



## TRATAMENTO DE CHORUME: ANÁLISE DOS EFLUENTES DA EVAPORAÇÃO FORÇADA

Bernardo Ferreira Dias Tavares

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Rio de Janeiro

Março de 2011

# TRATAMENTO DE CHORUME: ANÁLISE DOS EFLUENTES DA EVAPORAÇÃO FORÇADA

Bernardo Ferreira Dias Tavares

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

---

Prof. Cláudio Fernando Mahler, D.Sc.

---

Prof. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc.

---

Dr. Juliana Lundgren Rose, D.Sc.

---

Eng. Harley Alves da Mata Bacelar.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2011

Tavares, Bernardo Ferreira Dias

Tratamento de Chorume: Análise dos Efluentes da Evaporação Forçada / Bernardo Ferreira Dias Tavares. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2011.

XII, 59 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 54-59

1. Chorume. 2. Evaporação forçada. 3. Aterro de RSU. I. Mahler, Cláudio Fernando. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

## TRATAMENTO DE CHORUME: ANÁLISE DOS EFLUENTES DA EVAPORAÇÃO FORÇADA

Bernardo Ferreira Dias Tavares

Março/2011

Orientador: Cláudio Fernando Mahler.

Curso: Engenharia Ambiental

Este trabalho estuda os efluentes gasosos originados da evaporação forçada de chorume oriundo de aterros de resíduos sólidos. O chorume é um dos grandes vilões dos aterros, devido à enorme quantidade gerada e da capacidade de causar danos ao meio ambiente pela contaminação do solo e dos corpos hídricos próximos ao aterro. Seu tratamento é extremamente custoso o que justifica plenamente a pesquisa desenvolvida.

Esta pesquisa foi realizada em laboratório com um equipamento desenvolvido especialmente para o caso a ser estudado. Amostras de chorume foram aquecidas e evaporadas em um forno composto. A temperatura do forno variou em cada experimento. Ao final de cada procedimento foi recolhida a borra resultante (basicamente, soluto não evaporado) e os gases produzidos pelo aquecimento (água, compostos voláteis e elementos arrastados pelo fluxo gasoso) foram armazenados na forma líquida.

O estudo dos gases e da borra produzidos permite a análise prévia dos impactos ambientais desta tecnologia e, portanto, a viabilidade da mesma frente à legislação e às políticas de sustentabilidade. Os resultados obtidos mostram que a evaporação forçada tem faixas de eficiência que variam de acordo com cada poluente. A evaporação forçada tem eficiência inversamente proporcional à quantidade de elementos poluentes que são transferidos para a fase gasosa. O resultado ideal da tecnologia de evaporação forçada seria a obtenção de uma borra que contivesse todos os resíduos poluentes de chorume, e que o gás liberado pelo processo fosse constituído apenas de vapor d'água.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

## LEACHATE TREATMENT: ANALYSIS OF EFFLUENTS OF FORCED EVAPORATION

Bernardo Ferreira Dias Tavares

March/2011

Advisor: Cláudio Fernando Mahler.

Course: Environmental Engineering

This work studies the waste gases generated from the forced evaporation of leachate derived from solid waste landfills. The leachate is one of the great villains of landfills because of the huge amount generated and the ability to cause damage to the environment through contamination of soil and water bodies near the landfill. Their treatment is extremely expensive which fully justifies the research developed.

This research was conducted in a laboratory with an equipment developed especially for the case to be studied. Leachate samples were heated and evaporated in an oven compound. The oven temperature varied in each experiment. At the end of each procedure was gathered resulting sludge (basically, not evaporated solute) and the gases produced by heating (water, volatile compounds and elements drawn by the gas flow) were stored in liquid form.

The study of gases and sludge produced allows the previous analysis of the environmental impacts of this technology and therefore its viability against the legislation and policies for sustainability. The results show that the forced evaporation efficiency has tracks that vary with each pollutant. The forced evaporation efficiency is inversely proportional to the amount of polluting elements that are transferred to the gas phase. The ideal result of forced evaporation technology would be obtain a sludge that contains all the polluting waste slurry and the gas released by process would consist of only water vapor.

# Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. A importância do estudo.....	1
1.2. Objetivo .....	2
1.3. Organização da monografia .....	2
2. Revisão Bibliográfica .....	3
2.1. Tratamento e Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) .....	3
2.2. Processos de tratamento de resíduos sólidos .....	4
2.3. Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos .....	5
2.3.1 Tipos de Aterro.....	5
2.3.2 Jardim Gramacho.....	8
2.4. Geração de Chorume.....	9
2.4.1 Formas de Tratamento do Chorume.....	10
2.5. Geração de Biogás.....	15
2.5.1 Técnicas de Captação e Remediação do Biogás .....	15
2.6. Legislação .....	16
2.6.1 Resoluções .....	17
2.7. Características dos índices significativos.....	18
2.7.1 Metais.....	18
2.7.2 Propriedades Físico-Químicas.....	20
2.7.3 Íons .....	22
3. Metodologia.....	31
3.1. Procedimentos .....	31
3.1.1 Recolhimento de Chorume .....	31
3.1.2 Armazenamento.....	31
3.2. Materiais.....	32
3.2.1 Manual de Uso do Equipamento.....	33
3.3. Metodologias de Análises .....	36
4. Resultados.....	38
5. Conclusões.....	53
5.1. Conclusões.....	53
5.2. Complementações .....	53
Referências bibliográficas.....	55

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - SISTEMA DE MANEJAMENTO QUE INCLUI APENAS ATERROS (KAY E CAWTHORNE, 2010) .....	3
FIGURA 2.2 - SISTEMA DE MANEJAMENTO DE RESÍDUOS INCORPORANDO RECICLAGEM, INCINERAÇÃO E ATERROS DE RESÍDUOS (KAY E CAWTHORNE, 2010) .....	4
FIGURA 2.3 - REPRESENTAÇÃO ARTÍSTICA DO LIXÃO (PROIN/CAPES E UNESP/IGCE, 1999) .....	6
FIGURA 2.4 - ESQUEMA DE UM ATERRO CONTROLADO (LIXÃO X ATERRO, 2010) .....	7
FIGURA 2.5 - ESQUEMA DE UM ATERRO SANITÁRIO (LIXÃO X ATERRO, 2010) .....	8
FIGURA 2.6 - VISÃO AÉREA DO ATERRO DE JARDIM GRAMACHO (GOOGLE EARTH, 2010) .....	9
FIGURA 2.7 - ESQUEMA DE EVAPORADOR NATURAL (GOMES, 2009) .....	14
FIGURA 2.8 - EVAPORADOR UNITÁRIO A GÁS EM GRAMACHO (BACELAR, 2008) .....	15
FIGURA 2.9 - CICLO DO NITROGÊNIO (WIKIPEDIA, 2010) .....	24
FIGURA 2.10 - CICLO DO FÓSFORO (CÉSAR, 2010) .....	26
FIGURA 2.11 - PROLIFERAÇÃO DE ALGAS EM RIO CHINÊS (XNA, 2009) .....	28
FIGURA 2.12 - PEIXES MORTOS NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS DEVIDO AOS BAIXOS NÍVEIS DE OXIGÊNIO NA ÁGUA (ESTADÃO, 2010) .....	28
FIGURA 2.13 - TEIA ALIMENTAR DOS GRANDES LAGOS, COM CONCENTRAÇÕES DE DDT EM ALGUMAS ESPÉCIES (BAIRD, 2002) .....	30
FIGURA 3.1 - RECOLHIMENTO DE CHORUME NA LAGOA DE ESPERA .....	31
FIGURA 3.2 - EQUIPAMENTO PRONTO PARA ENSAIO. ....	32
FIGURA 3.3 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO EQUIPAMENTO. AS CAIXAS EM CINZA INDICAM AS PEÇAS POR ONDE PASSA O VAPOR DE CHORUME. ....	34
FIGURA 3.4 - AQUECIMENTO DO CHORUME. O REFLUXO É DETIDO PELO ERLLENMEYER MODIFICADO. ....	35
FIGURA 4.1 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E O PH MÉDIO NO CONDENSADO COMPARADAS A MÉDIA DO CHORUME BRUTO. ....	42
FIGURA 4.2 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE CLORETOS NO CONDENSADO COMPARADAS A MÉDIA DO CHORUME BRUTO. ....	43
FIGURA 4.3 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE DQO NO CONDENSADO COMPARADAS A MÉDIA DO CHORUME BRUTO. ....	44
FIGURA 4.4 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NITRATO NO CONDENSADO COMPARADAS A MÉDIA DO CHORUME BRUTO.....	45
FIGURA 4.5 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE AMÔNIA NO CONDENSADO COMPARADAS A MÉDIA DO CHORUME BRUTO.....	46
FIGURA 4.6 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NTK NO CONDENSADO. ....	46
FIGURA 4.7 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE FÓSFORO NO CONDENSADO E NO CHORUME BRUTO.....	47
FIGURA 4.8 – RELAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA E A CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE ORTOFOSFATO NO CONDENSADO E NO CHORUME BRUTO.....	48

## INDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – FORMAS DO NITROGÊNIO .....	23
TABELA 4.1 - PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO CHORUME .....	39
TABELA 4.2 – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS PARA O CONDENSADO EM DIFERENTES TEMPERATURAS .....	41
TABELA 4.3 – VARIAÇÃO DA COR MÉDIA COM A TEMPERATURA NO CONDENSADO. O VALOR MÍNIMO DO CHORUME FOI DE 4500 PtCo. ....	49
TABELA 4.4 – VARIAÇÃO DA TURBIDEZ MÉDIA COM A TEMPERATURA NO CONDENSADO. O VALOR MÍNIMO DO CHORUME FOI DE 164 FAU. ....	50
TABELA 4.5 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS NO CHORUME BRUTO EM MG/L .....	51
TABELA 4.6 – CONCENTRAÇÃO DE METAIS NO CONDENSADO EM MG/L. AS MARCAÇÕES INDICAM CONCENTRAÇÕES SIGNIFICATIVAS DE METAIS.....	52

# SÍMBOLOS e ABREVIATURAS

°C – Grau Celsius

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ag – Prata

Al – Alumínio

As – Arsênio

B- Boro

Ba – Bário

CAG – Carvão Ativado Granular

CAP – Carvão Ativado em Pó

Cd – Cádmio

CH<sub>4</sub> – Metano

Cl<sup>-</sup> - Íon cloreto

CN – Cianetos

CNTP – Condições normais de temperatura e pressão

Co – Cobalto

CO<sub>2</sub> – Gás Carbônico

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr – Cromo

Cu – Cobre

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EHC – Environmental Health Criteria

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

F – Flúor

Fe – Ferro

FUNDREM – Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana

H<sup>+</sup> - íon hidrogênio

H<sub>2</sub>S – Sulfeto de Hidrogênio

Hg – Mercúrio

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

Kg/h – Quilogramas por Hora

LI – Licença de Instalação

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

mBar – Milibar

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

mg/l – Miligramas por litro

ml – mililitros

mm – milímetros

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

N<sub>2</sub> – Nitrogênio Gasoso

NH<sub>3</sub> – Amônia

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Amônio

Ni – Níquel

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Nitrito

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

O<sub>2</sub> – Oxigênio Molecular

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fósforo

Pb – Chumbo

Pd – Paládio

pH – Potencial hidrogeniônico

POA – Processo Oxidativo Avançado

ppm– partes por milhão

PRONAR – Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar

Pt – Platina

PVC – Cloreto de Polivinila

Reduc – Refinaria de Duque de Caxias

Rh – Ródio

RIMA – Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

Sb – Antimônio

Se – Selênio

SLAP – Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras

SSF – Sólidos Suspensos Fixos

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

TCDD – Tetracloro-dibenzo-para-dioxina

Te – Telúrio

TEQ – Total de Toxicidade Equivalente

Tl – Tálcio

V – Vanádio

Zn – Zinco

# 1. Introdução

## 1.1. A importância do estudo

O aumento da população humana e a melhoria nos índices de qualidade de vida estão relacionados à ampliação do consumo gerado pelo desenvolvimento tecnológico. Os lados negativos do acréscimo produtivo são a maior exploração dos recursos naturais e o maior aporte de resíduos.

A grande quantidade de resíduo gerado é um dos maiores problemas da época atual. Dentre os problemas causados pelo acúmulo de resíduos temos a geração de chorume.

A lixiviação ocorre quando os constituintes químicos de um material sólido são extraídos ou solubilizados pela ação de um fluido percolante (normalmente, a água). A decomposição é o processo de transformação que ocorre em moléculas orgânicas onde elas são transformadas em compostos mais simples. Ambos são processos naturais que conduzem a formação de um líquido denso, de cor escura, odor desagradável, conhecido popularmente como chorume. As características físico-químicas do chorume são determinadas pelas quantidades e tipos de solutos presentes na água. Em se tratando de aterros sanitários, por exemplo, a composição do lixo é o que será decisivo para os valores de pH, alcalinidade, cor, demanda química de oxigênio e outras qualidades do chorume.

Esse líquido é extremamente danoso para os corpos d'água e pode vir a contaminar o solo e os mananciais subterrâneos.

Em muitos países, nos quais a disposição final de resíduos em aterros é bem regulamentada, várias iniciativas já foram tomadas na tentativa de tratar o chorume produzido nos aterros. Dentre os processos adotados, pode-se citar a separação química, os filtros biológicos, a adsorção por carvão ativado e (nos países em desenvolvimento) a evaporação do chorume.

No método da evaporação, o chorume recolhido é aquecido para a sua conversão em gás. Nesse processo a fase sólida do chorume não é evaporada, dando origem a um material conhecido como borra (ou resíduo sólido) que pode ser devolvida ao aterro sem o risco de infiltrações ou escorrimentos. Contudo, outras substâncias podem ser levadas a atmosfera pelo processo de evaporação, tendo sido convertidas em gás ou arrastadas pelos gases formados. Elas devem ser estudadas e controladas.

## **1.2. Objetivo**

Analisar os efluentes atmosféricos derivados da evaporação forçada do chorume para avaliar a efetividade do processo.

## **1.3. Organização da monografia**

Este trabalho foi dividido em cinco partes. No capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica no qual são discutidos os temas: tratamento e disposição de resíduos sólidos; geração de chorume; aterro de resíduos sólidos, e a legislação pertinente aos assuntos abordados. No capítulo 3 está descrita a metodologia que foi empregada para o desenvolvimento do tema proposto. Já o capítulo 4 está destinado à apresentação dos resultados obtidos e à discussão dos mesmos. As conclusões e as sugestões para futuros trabalhos são descritas no capítulo 5. Na última parte deste trabalho, têm-se as referências bibliográficas.

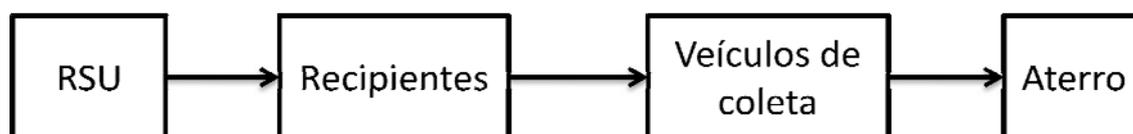
## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Tratamento e Disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Resíduos sólidos devem ser levados a locais adequados para que possam ser tratados, ou armazenados. Os tratamentos visam transformar o resíduo em material inerte ou de menor periculosidade. O armazenamento procura estocar o material de forma segura de forma a evitar o seu contato com o meio ambiente e a sociedade.

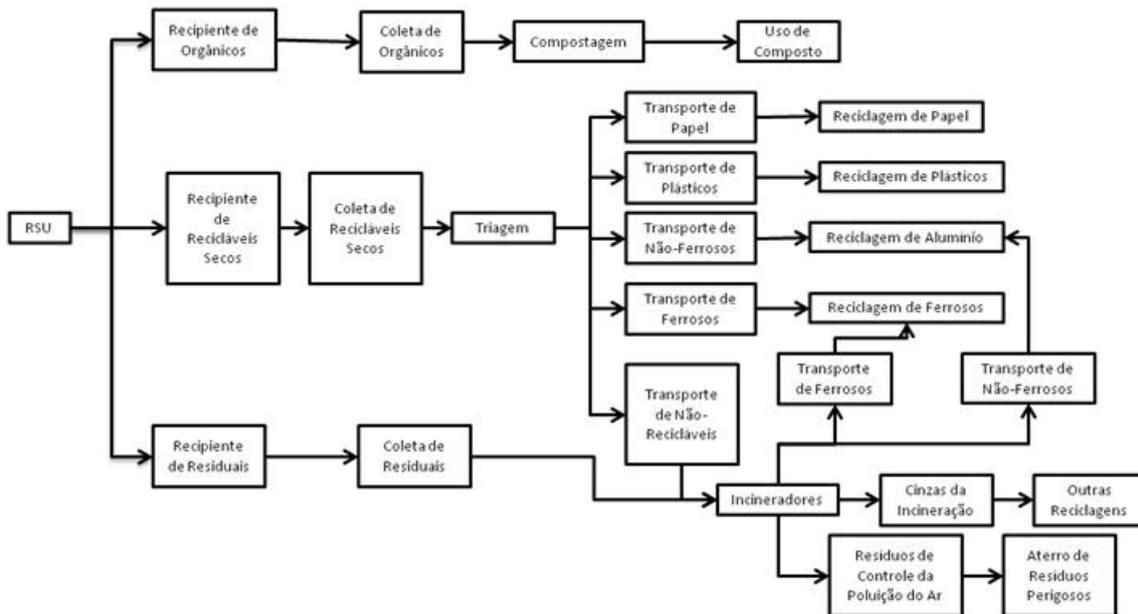
Não existe solução única para os resíduos, e sim um conjunto de soluções que devem fazer parte de um Plano Diretor e de um Plano de Gestão de Resíduos Municipal.

O esquema da Figura 2.1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa o ciclo de vida de um manejo relativamente simples, com todos os resíduos sólidos sendo conduzidos para aterros sanitários.



**Figura 2.1 - Sistema de Manejamento que inclui apenas Aterros (KAY e CAWTHORNE, 2010)**

Já na Figura 2.2, observa-se um esquema mais complexo. Nesta forma de manejo, foram incorporados a compostagem, a reciclagem e a incineração do lixo.



**Figura 2.2 - Sistema de Manejo de resíduos incorporando reciclagem, incineração e aterros de resíduos (KAY e CAWTHORNE, 2010)**

## 2.2 Processos de tratamento de resíduos sólidos

### a. Incineração

Incineração é um processo de combustão controlada para reduzir resíduos combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos a gás carbônico, vapor d'água e subprodutos. A pequena quantidade de resíduo não combustível que sobra do processo pode então ser aterrado de uma maneira ambientalmente aceitável. Incineradores são especialmente utilizados para o tratamento de certos tipos de resíduos perigosos, como os hospitalares.

Atualmente as plantas de incineração de resíduos sólidos convertem a energia produzida na incineração em energia elétrica, garantindo um suprimento extra de energia para as populações e cortando custos operacionais. Os gases produzidos pela queima são tratados por sistemas de filtragem e lavagem de gases para evitar a contaminação atmosférica (UFC, 2004).

Há uma grande diversidade de modelos de incineradores, dentre eles podemos citar: incineradores modulares, de leito fluidizado, fornalhas e incineradores a plasma (UFC, 2004).

A principal desvantagem dos incineradores é o alto custo de investimento quando comparado com as outras tecnologias de tratamento (UFC, 2004).

## **b. Reciclagem**

É o processo de reaproveitamento do resíduo como matéria-prima para a indústria transformando-o novamente em produtos comercializáveis no mercado. Antes de ser reaproveitado, o resíduo deve sofrer um processo de triagem para que os diferentes materiais (vidro, papel, plásticos entre outros) possam ser separados. A reciclagem propicia a preservação de recursos naturais, economia de energia e redução de resíduos para os aterros. Porém para sua implantação é necessária a participação (e, portanto, educação) efetiva da sociedade, além do estudo e implantação de logística reversa para direcionar os produtos utilizados ao seu reaproveitamento. Os próprios estabelecimentos industriais devem fazer parte desse processo, responsabilizando-se pelo que produzem e até lucrando com a obtenção de matérias-primas. As indústrias de vidros e materiais de alumínio obtêm resultados mais satisfatórios com materiais reciclados do que com suas matérias primas tradicionais.

## **c. Compostagem**

Processo de decomposição do resíduo orgânico pela ação de microorganismos. Não são necessárias adições de elementos químicos ou físicos na ação, porém diversas técnicas são usadas buscando a sua melhora como a adição de ar para favorecer a decomposição aeróbia, por exemplo. O produto final do processo é um composto orgânico rico em húmus e nutrientes minerais que pode ser aproveitado como fertilizante na agricultura. A compostagem, portanto, pode ser considerada como uma reciclagem de resíduos orgânicos.

## **2.3 Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**

No Brasil a divulgação e aplicação das formas modernas de disposição de resíduos vieram tardiamente em comparação aos países desenvolvidos. A primeira norma editada pela ABNT para disposição de resíduos sólidos urbanos veio apenas no meio da década de 80 (NBR 8849/85).

### **2.3.1 Tipos de Aterro**

#### **a. Lixão**

Nos lixões (ou vazadouros) não há nenhum controle sobre os tipos de resíduos descartados ou sobre o local de disposição. Nesses “depósitos” o resíduo é

simplesmente descarregado sobre o solo, sem que haja medidas para proteger o meio ambiente ou a saúde pública (LIXÃO X ATERRO, 2010) (Figura 2.3).

Como não possuem nenhum tipo de controle, os lixões causam grandes impactos sócio-ambientais nas áreas onde são estabelecidos ao potencializar os atributos negativos dos resíduos. Geração de mau-cheiro, contaminação do solo, da água e do ar, proliferação de vetores de doenças e outras pragas, desvalorização das áreas ao redor e a presença de catadores que passam a se estabelecer no local são alguns desses problemas.



**Figura 2.3 - Representação Artística do Lixão (PROIN/CAPES e UNESP/IGCE, 1999)**

#### **b. Aterro Controlado**

Lixões que sofrem intervenção a fim de minimizar e remediar os impactos causados ao meio ambiente, e ao mesmo tempo consolidados como receptores de resíduos sólidos, são classificados como aterros controlados (LIXÃO X ATERRO, 2010) (Figura 2.4 -).

Geralmente, o que acontece nesses aterros é o recobrimento dos resíduos depositados anteriormente a intervenção da mesma maneira como em um aterro sanitário. A diferença é que não existem camadas impermeabilizantes instaladas abaixo do depósito inicial, sujeitando o solo a uma eventual contaminação. Medidas paliativas podem ser tomadas para recolher o gás e o chorume da célula original.

Os resíduos recebidos posteriormente a intervenção inicial é tratado da mesma maneira que os resíduos de um aterro sanitário.

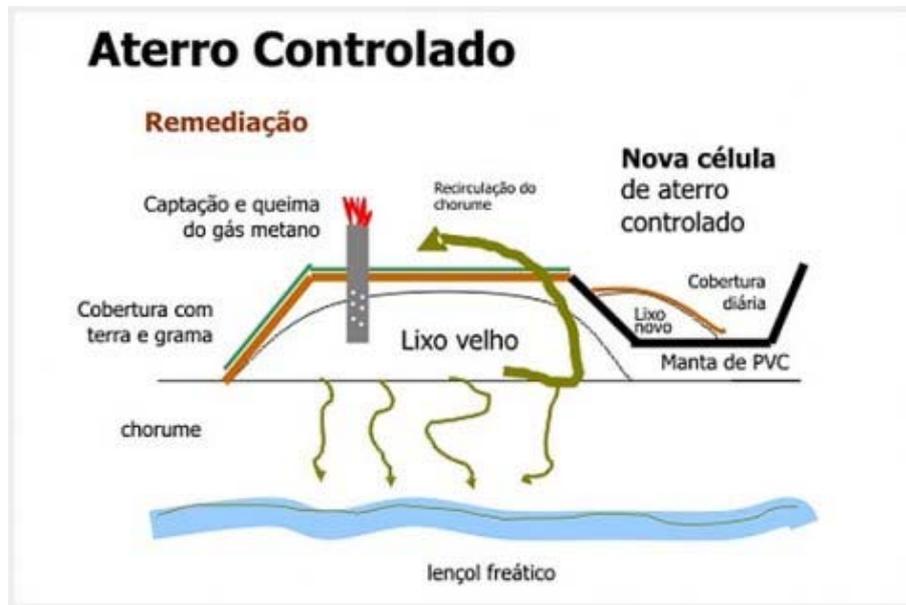


Figura 2.4 - Esquema de um aterro controlado (LIXÃO X ATERRO, 2010)

### c. Aterro Sanitário

Em um aterro sanitário, antes de iniciar a disposição dos resíduos, o terreno deve ser preparado previamente com o nivelamento de terra e com o selamento da base com argila e mantas impermeáveis (LIXÃO X ATERRO, 2010). Desta forma, com essa impermeabilização do solo, o lençol freático não será contaminado pelo chorume que é coletado através de drenos. Drenos também são instalados para captarem o metano produzido no aterro, para queima ou aproveitamento energético. O chorume acumulado será encaminhado para tratamento. A operação do aterro sanitário prevê a cobertura diária dos resíduos, não ocorrendo a proliferação de vetores, mau cheiro e poluição visual (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Esquema de um aterro sanitário (LIXÃO X ATERRO , 2010)

#### d. Aterro Industrial

Os resíduos industriais possuem características específicas que o diferenciam do resíduo doméstico comum, dentre elas a presença de elementos tóxicos e metais pesados em maior intensidade e a menor presença de matérias suscetíveis a decomposição. Devido a isso, são necessários métodos de acondicionamento e segurança específicos para esse tipo de resíduo. A norma 8418 de 1984 da ABNT foi a primeira no país a tratar sobre os aterros industriais.

#### 2.3.2 Jardim Gramacho

O aterro fica situado no Município de Duque de Caxias, RJ, no bairro de Jardim Gramacho, 1º Distrito (Duque de Caxias), situado às margens da Baía de Guanabara. Ocupa atualmente uma área de aproximadamente 1,3 milhões de m<sup>2</sup> (Figura 2.6). Foi instalado a partir de convênio firmado em 1976 entre a FUNDREM, a COMLURB e a Prefeitura Municipal de Nilópolis, e com termos aditivos ao convênio foram incluídos os municípios de Nova Iguaçu e São João de Meriti. Atualmente, recebe, em média, 8.000 t/dia de resíduos domésticos dos municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro atendendo principalmente a capital, Duque de Caxias, Nilópolis São João de Meriti e Queimados (COMLURB, 2010).



**Figura 2.6 - Visão aérea do aterro de Jardim Gramacho (GOOGLE EARTH, 2010)**

## **2.4 Geração de Chorume**

O significado da palavra “chorume”, inicialmente, designava apenas a substância gordurosa expelida pelo tecido adiposo da banha de um animal (WIKIPÉDIA, 2010). SCHIMIDIT et AL. (2003) atribuem a origem ao líquido resultante das lavagens de estábulos, que é conhecido pelos agropecuaristas como fonte de adubo orgânico. Posteriormente, o significado da palavra foi ampliado e passou a significar o líquido poluente, de cor escura e odor nauseante, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos.

Os chorumes de aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) são resultado da interação dos resultados dos processos de degradação da fração orgânica do lixo causada por microorganismos e outros fatores ambientais (luz solar, insetos, água...) com a água infiltrada pelo aterro ou já contida no resíduo.

A composição do chorume está condicionada a vários fatores. Primariamente à composição dos resíduos do aterro. Mas também a fatores climáticos (chuva, temperatura, área de insolação...), operação do aterro (acondicionamento, tipos de cobertura dos resíduos...) e tempo.

A umidade dos resíduos é um dos parâmetros que pode influenciar, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, a composição do chorume. Atualmente há

técnicas e pesquisas para se controlar a umidade do resíduo dos aterros influenciando assim a velocidade de sua degradação. O objetivo desse controle é alcançar um meio no qual a degradação dos resíduos seja maximizada a fim de reduzir o volume do aterro.

Além dos componentes orgânicos e inorgânicos, o chorume também recebe outras substâncias tóxicas, provenientes da disposição inadequada de resíduos pela população e até o recebimento de resíduos industriais introduzidos de maneira inadvertida nos aterros. Todas essas substâncias perigosas que eventualmente existem na massa de resíduos sólidos podem causar danos ambientais se atingirem o lençol freático ou as águas superficiais, além de serem prejudiciais em caso de emissões de gases voláteis para a atmosfera. Esses efeitos danosos podem se estender à comunidade animal e vegetal da redondeza e aos seres humanos que dela se utilizam.

Sabe-se que o chorume contém altas concentrações de nitrogênio amoniacal e que desse fato provêm vários problemas. Os efluentes com alta concentração de nitrogênio amoniacal, quando descartados em cursos d'água sem prévio tratamento, podem estimular o crescimento de algas, provocar depleção do oxigênio dissolvido e serem tóxicos à biota do ecossistema aquático. Em sistemas de tratamento biológico, as altas concentrações de nitrogênio amoniacal podem causar problemas de odor, além de serem tóxicas às bactérias decompositoras.

A variabilidade na composição de acordo com o aterro e as oscilações de vazão ao longo do ano devido ao regime de chuvas são alguns dos problemas para o tratamento desse efluente.

#### **2.4.1 Formas de Tratamento do Chorume**

- ***Stripping* de amônia**

Segundo GOMES (2009):

“O processo de *stripping* (dessorção) consiste basicamente em retirar os componentes mais voláteis de uma mistura líquida por meio de um gás que se faz passar pelo líquido e que entra em contato direto com ele. Os componentes transferidos são denominados solutos e os demais denominados inertes. Portanto, somente os solutos deverão ser transferidos da fase líquida para a fase gasosa. Esse processo é de aplicação generalizada na indústria química, na indústria do petróleo, petroquímica, alimentícia e em equipamentos de controle de poluição. O equipamento empregado para a sua realização varia

consideravelmente de acordo com: as características do sistema tratado, natureza do soluto, grau de recuperação desejado, escala de operação, cinética do processo, flexibilidade desejada e fatores econômicos.”

- **Processos Físico-Químicos**

- 1. Precipitação Química**

Segundo GOMES (2009):

“A precipitação química tem sido empregada tanto no tratamento de água quanto no tratamento de diferentes tipos de efluentes, visando principalmente à remoção de compostos orgânicos não biodegradáveis, nitrogênio amoniacal e metais pesados. Esse método envolve a adição de produtos químicos que promovem a remoção de substâncias dissolvidas e suspensas por sedimentação. O método de precipitação química usualmente utiliza como precipitantes químicos: fosfato de amônia e magnésio ou estruvita, também conhecido com PAM, e hidróxido de cálcio ou cal hidratada, dependendo do alvo de remoção.”

- 2. Coagulação/Floculação**

Segundo GOMES (2009).

“O processo de coagulação desestabiliza as partículas coloidais pela ação de um agente coagulante e é empregado imediatamente antes do processo de floculação, que promove a aglomeração dessas partículas através de agitação suave, porém completa, para facilitar o contato dos flocos uns com os outros, formando flocos maiores, mais suscetíveis à sedimentação. Os principais fatores relacionados ao processo são: a natureza química do coagulante, o pH e as condições (velocidade e tempo de mistura) de coagulação e floculação. O sulfato de alumínio tem sido o coagulante mais utilizado no tratamento dos chorumes, mas existem outros que também podem ser utilizados, tais como o sulfato ferroso, o sulfato férrico e o aluminato de sódio.”

- **Processos Oxidativos Avançados**

Os processos oxidativos avançados (POA) envolvem a geração de radicais hidroxila (OH<sup>-</sup>), altamente reativos, que têm a capacidade de destruição total de muitos poluentes orgânicos. Para produzir esses ânions são utilizados oxidantes fortes

como o ozônio e o peróxido de hidrogênio. Os POAs formam como subprodutos o dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos. Vantagens do processo incluem o alto potencial de oxidação, a remoção de sólidos dissolvidos, ferro e manganês, e a mineralização completa dos poluentes. (BAHÉ, 2008).

- **Adsorção por Carvão Ativado**

A adsorção é um fenômeno de superfície no qual ocorre transferência de massa: uma substância é transferida da fase líquida para a fase sólida, permanecendo ligada por interações físicas ou químicas. Esse processo pode ser reversível ou irreversível e está relacionado à área disponível do adsorvente, à relação entre massa do adsorvido e massa do adsorvente, pH, temperatura, forças iônicas e natureza química do adsorvente e do adsorvido. Devido à grande área de superfície, estruturas dos microporos e alta capacidade de adsorção e reatividade, a adsorção por meio do emprego de carvão ativado granular (CAG) e carvão ativado em pó (CAP) vêm sendo largamente empregada na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos dos chorumes (GOMES, 2009).

- **Sistemas de Lagoas**

São lagoas naturais ou artificiais preparadas para receber efluentes orgânicos. A degradação dos poluentes orgânicos é feita pelos microorganismos presentes na lagoa. As reações de degradação podem ser aeróbias (dependentes de oxigênio), anaeróbias (ocorrem sem a presença de oxigênio) ou uma combinação das duas. Sistemas de lagoas são projetados para realizar a melhor combinação possível de reações. A luz solar e a temperatura são parâmetros determinantes para a regulação das lagoas, fazendo com que elas sejam mais eficientes em climas tropicais e subtropicais (BAHÉ, 2008; GOMES 2009).

- **Filtros Biológicos**

São reatores preenchidos com material inerte (pedras, peças de plástico...) que serve de base para o lodo biológico se fixar. A biomassa aderida é composta de microorganismos que degradam a matéria orgânica do efluente que passa pelo reator. Da mesma forma que as lagoas, os filtros biológicos são classificados em aeróbios (necessitam de aeração) e anaeróbios. São costumeiramente utilizados em tratamento de esgotos (BAHÉ, 2008; GOMES, 2009).

- **Evaporação**

A evaporação do chorume permite elevada redução de seu volume. Para realizar o processo pode-se fazer uso da energia solar, o que caracteriza uma evaporação natural, ou a queima do gás do aterro, o que caracteriza uma evaporação forçada.

A tecnologia de evaporação tem baixo custo de implantação e é de fácil manutenção. A evaporação natural se aplica a regiões de altos índices de insolação (regiões tropicais e subtropicais, por exemplo) e a evaporação forçada possibilita, ainda, a geração de créditos de carbono, fatores que estimularam o emprego de evaporadores convencionais em alguns aterros no Brasil (São Paulo, Bahia e Rio de Janeiro) (GOMES, 2009). Porém, segundo MAHLER (2011), a tecnologia de evaporadores convencionais tem sofrido barreiras em países desenvolvidos devido aos efluentes gasosos produzidos no processo.

Apesar de promissora, a tecnologia de evaporação precisa ser avaliada sob alguns aspectos: custos reais de implantação e operação, parâmetros de controle operacional dos equipamentos e características dos resíduos sólidos e gasosos gerados principalmente no processo forçado, dentre outros.

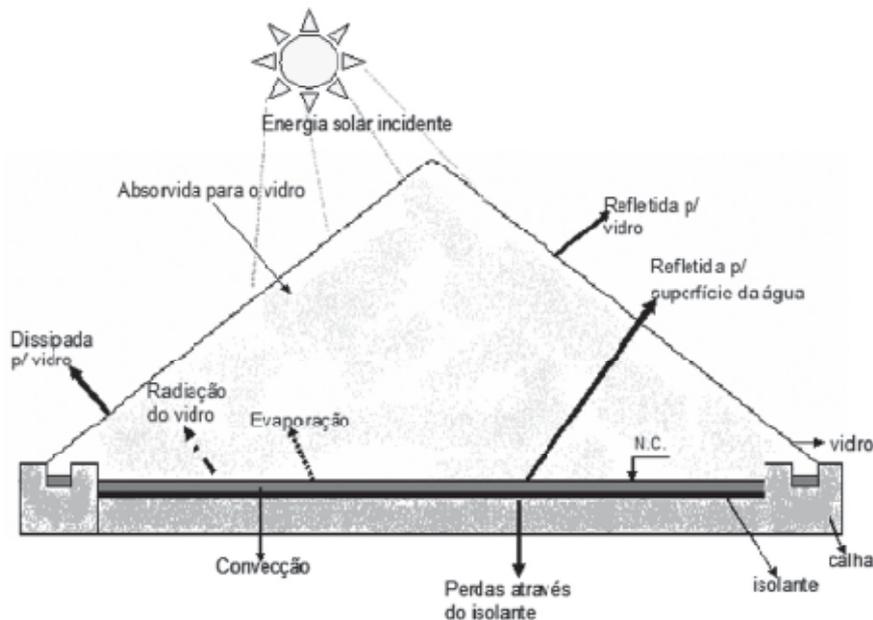
- a. Evaporação natural**

O tratamento do chorume por evaporação natural utiliza diretamente a energia solar em um sistema conceitualmente simples, no qual o processo natural de purificação de água através da evaporação é reproduzido em pequena escala.

O processo de evaporação natural consiste em permitir que a radiação solar aqueça o chorume, fazendo com que a água evapore deixando para trás os efluentes sólidos. Alguns modelos de evaporadores deixam os gases do processo serem emitidos para a atmosfera, enquanto outros recolhem os gases gerados para evitar a contaminação do meio ambiente uma vez que esse processo pode produzir gases nocivos em conjunto com o vapor d'água.

Alguns modelos de evaporadores, por exemplo, consistem em uma cobertura transparente que fecha um espaço situado sobre um tanque pouco profundo. Essa cobertura se inclina em direção às bordas de forma que a água condensada na superfície da cobertura se direcione, por gravidade, até calhas externas ao tanque. As diferenças entre os modelos de evaporadores estão nos materiais utilizados, geometria, pelos métodos de segurar e apoiar a cobertura transparente e pelos arranjos para admissão e descargas de líquidos. Dentre os vários fatores que

influenciam a eficiência do processo de evaporação desse modelo, a inclinação da superfície de vidro é um dos mais importantes, pois quanto mais inclinado for, maior será a quantidade de radiação solar absorvida no evaporador (GOMES, 2009) (Figura 2.7).



**Figura 2.7 - Esquema de Evaporador Natural (GOMES, 2009)**

### **b. Evaporação forçada**

O princípio da evaporação forçada é similar ao da evaporação natural, sendo que a diferença básica entre os processos diz respeito ao tipo de energia utilizada para elevar a temperatura do chorume, sendo comumente utilizado para isso o biogás gerado no próprio aterro sanitário.

A evaporação permite redução em até 97% do volume do chorume, utilizando-se como fonte de energia calórica o gás de aterro. Esse processo gera resíduos sólidos ou semi-sólidos, que podem ser retornados ao aterro sanitários, e resíduos gasosos que podem ser lançados na atmosfera ou tratados de acordo com imposição da legislação pertinente (GOMES, 2009) (Figura 2.8).



**Figura 2.8 - Evaporador Unitário a Gás em Gramacho (BACELAR, 2008)**

## **2.5 Geração de Biogás**

Biogás é o resultado da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Os componentes que caracterizam o biogás são o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), sendo que há traços de impurezas como o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) entre outras. A composição final do biogás varia de acordo com o meio do processo.

As condições necessárias para o processo de anaerobiose são o acúmulo de material orgânico e a ausência de oxigênio. Esse cenário é comumente encontrado nos esgotos urbanos, esgotos industriais orgânicos, aterros, lixões e na criação intensiva de animais.

Além do odor desagradável devido ao enxofre presente, a maior fonte de risco dos biogases provém da sua alta concentração de metano. O  $\text{CH}_4$  é um gás explosivo oferecendo risco a vida nas áreas onde são produzidos. O metano também é um potente gás de efeito estufa possuindo um efeito potencial de aquecimento até 25 vezes maior que o gás carbônico.

### **2.5.1 Técnicas de Captação e Remediação do Biogás**

A combustão do gás metano é uma reação altamente energética. O gás natural explorado para a obtenção de energia tem como um de seus principais componentes o

metano. Depois de sua oxidação o metano forma gás carbônico e água que possuem menores potenciais estufa do que o produto original.

Tendo em vista esse potencial energético, diversas ações estão sendo tomadas para fazer o aproveitamento do biogás gerado. Em Jardim Gramacho a rede de drenagem de gases foi adaptada para conduzir o biogás até a Refinaria de Duque de Caxias. Parte do biogás pode ser aproveitada no próprio aterro para fornecer calor aos evaporadores de chorume.

O aproveitamento do biogás gera energia, evita a poluição atmosférica e garante créditos de carbono aos empreendedores.

## **2.6 Legislação**

O Direito Ambiental é a área do conhecimento jurídico que estuda as interações do homem com a natureza e os mecanismos legais para proteção do meio ambiente.

Atualmente, diversas são as regras jurídicas de proteção ambiental. No entanto, as primeiras regras jurídicas visavam apenas impedir as práticas daquelas atividades prejudiciais à saúde e ao bem-estar da espécie humana, ou tinham como principal pano de fundo o interesse econômico. Alguns juristas não consideram estas normas como normas de proteção ambiental, embora a grande maioria aceite estas normas como sendo as precursoras do cenário jurídico ambiental. Exemplos destas regras, no âmbito Nacional, são o código das águas, decreto nº 24.643/1934, o código florestal, Lei nº 4.771/1965, código de caça ou de proteção à fauna, lei nº 5197/1967, e o código de mineração, decreto-lei nº 227/1967.

Estes juristas só consideram que a matéria do meio ambiente tenha sido introduzida no ordenamento jurídico Nacional pela Lei 6.938/1981, que estabeleceu a PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente. Esse código estabelece definições claras para o meio ambiente, qualifica as ações dos agentes modificadores e prevê mecanismos para assegurar a proteção ambiental. Em 1985 foi editada a Lei 7.347, que proporcionou a oportunidade de agir processualmente, através da Ação Civil Pública, toda vez que houvesse lesão ou ameaça ao meio ambiente, ao consumidor, aos bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.

A Constituição Federal (CF) de 1988, no entanto, trouxe ao ordenamento Nacional jurídico a defesa dos bens coletivos, através da inclusão da redação constante no artigo 225. Admite, inclusive, a existência de uma terceira espécie de bem: o bem ambiental. Este bem é caracterizado por não ter uma propriedade

definida, isto é, não é interesse único do particular, nem tampouco é considerado bem público: é um bem comum, de uso coletivo de todo um povo.

Depois que a CF foi sancionada, diversas novas regras jurídicas ambientais surgiram. Dentre os instrumentos legais mais significativos pode-se citar a lei dos recursos hídricos (9433/1997), a lei dos crimes ambientais (9605/1998), a lei do SNUC (9985/2000) (sistema nacional de unidades de conservação), e a lei do estatuto da cidade (10257/2001).

O que se observa é que o direito como um todo está em constante evolução, ou atualização, mas nas últimas décadas esse processo acelerou-se, como exigência decorrente da própria velocidade das mudanças de ordem social.

O direito ambiental é o ramo mais dinâmico do direito uma vez que está intimamente ligado a outros ramos do direito, como por exemplo, o direito constitucional, civil (direito de propriedade, direito de vizinhança), administrativo (poder de polícia, atos administrativos), processual (princípios processuais, ações coletivas), penal (normas de proteção à saúde, crimes ambientais), tributário (incidência ou isenção de tributos), e internacional (sistematização de regras internacionais por meio de convenções) (COSTA, 2010). Desta forma, quando há uma atualização em alguma regra jurídica esta poderá afetar direta ou indiretamente os preceitos jurídico-ambientais.

Devido a esta dinâmica e a grande variedade de regras jurídicas ambientais aplicáveis a um mesmo caso, é inviável basear-se em apenas em uma para que decisões possam ser tomadas. Deste modo, esta monografia reportar-se-á as seguintes regras como referência para a análise dos resultados obtidos e para o desenvolvimento e compreensão do tema em discussão:

### **2.6.1 Resoluções**

- **CONAMA 1/1986** - “Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.”
- **CONAMA 5/1989** - “Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR.”
- **CONAMA 3/1990** - “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.”
- **CONAMA 8/1990** – “Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.”

- **CONAMA 237/1997** - “Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental”
  - **CONAMA 316/2002** - “Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.”
  - **CONAMA 357/2005** - “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.”
  - **CONAMA 382/2006** - “Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.”
  - **CONAMA 397/2008** - “Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art.34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº 357, de 2005.”
- **Nota Técnica nº 202 R-10** - Estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP

## **2.7 Características dos índices significativos**

Como foi observado, a legislação exige a caracterização de diversos parâmetros para que o descarte do resíduo cause o menor impacto negativo possível ao meio ambiente.

Desta forma, a seguir, alguns dos parâmetros citados na legislação e que foram considerados para as análises, serão descritos.

### **2.7.1 Metais**

#### **a. Níquel (Ni)**

O níquel, em concentrações de 0,05-5 mg/l, causa inibição do crescimento em microorganismos aquáticos, especialmente em alga. Fatores abióticos como temperatura, salinidade e pH também influenciam na toxicidade deste metal. Em termos de saúde humana, carbonilas (C=O) ligadas ao metal se mostram como os compostos de níquel mais tóxicos à saúde, tendo inclusive propriedades cancerígenas. Níquel dissolvido, também possui alta periculosidade (ª EHC, 1991).

### **b. Boro (B)**

Embora seja um elemento essencial para o crescimento de plantas, concentrações de boro acima de 2,0 mg/l em águas de irrigação são deletérias para certas plantas, pode-se concluir que há uma faixa de concentração ideal de boro para a vida vegetal. Para a vida humana, entretanto, o boro apresenta toxicidade inócua necessitando de níveis muito mais altos do que os encontrados normalmente para levar a intoxicação. Exposição ao boro leva a irritações nos olhos e sistema respiratório, porém reversíveis e de curta duração. De maneira geral, outros organismos também apresentaram alta resistência ao boro (<sup>b</sup>EHC, 1998).

### **c. Cobre (Cu)**

Cobre é um elemento essencial e efeitos adversos a saúde podem ser resultado tanto da falta quanto do excesso do metal. A deficiência de cobre é associada à anemia, anormalidades ósseas e neutropenia, mas é relativamente incomum em humanos. Exceto por alguns incidentes graves de envenenamento de cobre, poucos efeitos são normalmente notados em populações humanas. Efeitos derivados de exposição individual seguida à exposição oral acidental ou suicida incluem: gosto metálico, dor epigástrica, dores de cabeça, náusea, tonteados, vômitos ou diarreias, taquicardia, dificuldades respiratórias, sangramentos gastrointestinais, anemia hemolítica, hematúria, falência de fígado e rins, óbito. Efeitos gastrointestinais são resultantes de ingestões repetidas ou singulares e falências hepáticas associadas à ingestão crônica. Trabalhadores sujeitos a altos níveis atmosféricos do metal que inalaram estimadamente 200 mg/dia de cobre apresentaram sinais de intoxicação crônica. Em seres humanos o limite inferior de ingestão de cobre é de 20 µg Cu/kg de peso corporal para adultos e 50 µg Cu/kg de peso corporal para crianças. O limite superior fica numa faixa de 2-3 mg/kg de peso corporal por dia. Para a proteção de vida aquática em águas com alta concentração biótica os valores recomendados são inferiores a 10 µg Cu/litro de água. O valor final, porém dependerá da biota e das condições de exposição necessitando de maior avaliação da natureza local (<sup>c</sup> EHC, 1998).

### **d. Prata (Ag)**

Em solução, prata iônica é extremamente tóxica para os ecossistemas aquáticos. Porém o nível de toxicidade varia drasticamente com as formas químicas da prata. Em sistemas naturais os íons de prata são rapidamente complexados ou sorvidos pelos materiais suspensos presentes. Substâncias com prata complexada ou sorvida são menos letais do que os íons prata em pelo menos uma ordem de

magnitude. O nitrato de prata, que é fortemente dissociado, é extremamente tóxico a truta arco-íris sendo mortal a 50% de uma população da espécie quando esta passa uma semana em um meio com concentração de 9.1 µg/litro da substância, enquanto que o sulfeto de prata é comparativamente inofensivo precisando de uma concentração maior que 100.000 µg/litro para causar o mesmo efeito, presumivelmente pela habilidade dos ânions removerem os cátions de prata da água. Em geral águas com elevados níveis de dureza, pH, sulfetos e materiais orgânicos reduzem a toxicidade dos cátions de prata.

Em cobaias foram relatados os seguintes efeitos sub-letais pela ingestão de nitrato de prata: danos aos rins de ratos nutridos por cem dias com concentrações de 0,4 mg/l, lentidão em camundongos nutridos por 125 dias com soluções de 125 mg/l (ATSDR, 1990).

Em seres humanos, a exposição por longos períodos de tempo a altas concentrações de prata podem resultar em uma condição denominada argiria, uma descoloração azul-acinzentada da pele e outros tecidos. Exposição a baixas concentrações podem levar a depósitos de prata inócuos no corpo. Argiria é um problema cosmético, porém de natureza permanente (ATSDR, 1990).

Exposição a altos níveis de prata no ar podem levar a irritações respiratórias e cutâneas além de dores estomacais. Sabe-se de pessoas com reações alérgicas a prata.

## 2.7.2 Propriedades Físico-Químicas

### a. pH

O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de íon hidrogênio. (JORDÃO e PESSOA, 2009) (Equação 1).

$$pH = \log_{10} \frac{1}{H^+} \quad \text{Equação 1}$$

Como a água produz tanto cátions de hidrogênio como ânions hidroxila (Equação 2)



Sempre existem certas quantidades de ambos os ânions em qualquer solução. Em uma solução com base o pH será alto e em uma com ácido será baixo. O pH natural da água é 7.

Para a existência de vida aquática nos corpos d'água, requer-se uma faixa de pH de 6 a 9, em geral (JORDÃO e PESSOA, 2009).

### **b. Alcalinidade**

A alcalinidade é uma medida da capacidade que as águas têm de neutralizar ácidos, em outras palavras, capturar cátions. Esta capacidade, é devida à presença de bases fortes, de bases fracas, de sais de ácidos fracos, tais como bicarbonatos, boratos, silicatos e fosfatos, de sais de ácidos orgânicos, tais como o ácido húmico e, no caso de águas poluídas, os ácidos acético e propiônico. Em águas superficiais a alcalinidade pode ser devida à presença de grande quantidade de algas que removem dióxido de carbono da água, elevando o pH da mesma (APPA, 1998).

Embora sejam várias as substâncias que conferem alcalinidade à água, as predominantes são os hidróxidos, os carbonatos e os bicarbonatos.

O conhecimento da alcalinidade é importante no controle dos processos de coagulação química de águas, esgotos e águas residuárias, no amolecimento de águas e no controle da corrosão. Ainda, alcalinidade elevada altera o sabor da água.

### **c. Cor**

A cor de uma água é conseqüência de substâncias dissolvidas. Quando pura, e em grandes volumes, a água é azulada. Quando rica em ferro, é arroxeadada. Quando rica em manganês, é negra e, quando rica em ácidos húmicos, é amarelada (APPA, 1998).

O termo "cor" é usado aqui como sinônimo de "cor verdadeira"; isso é a cor da água de onde a turbidez foi removida. O termo "cor aparente" inclui tanto a cor derivada das substâncias em solução quanto à cor resultante da matéria em suspensão.

O parâmetro cor não é usado como atributo de controle para determinar a qualidade da água, mas a sua remoção é obrigatória em estações de tratamento de esgoto por causar desagrado aos usuários da água.

### **d. Turbidez**

É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água. A turbidez é causada por materiais sólidos em suspensão (silte, argila, colóides,

matéria orgânica, etc.). A turbidez é medida através do turbidímetro, comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão (APPA, 1998).

As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar devido à formação de óxidos.

### **2.7.3 Íons**

#### **a. Cloretos ( $\text{Cl}^-$ )**

Vários íons são encontrados em pequenas concentrações nos sistemas vivos e como produto de excreção destes, pois participam nos processos bioquímicos. Mas em maiores quantidades deflagram mecanismos lesivos às células. Íons cloreto em concentração elevada nos cursos d'água indicam que está ocorrendo contaminação por resíduos domiciliares ou industriais. Como o íon cloreto é muito reativo, além de alterar o equilíbrio do sistema, é potencializador da corrosão em tubulações e altera a potabilidade da água (APPA, 1998).

Usado como um purificador em sistemas de tratamento de água, o íon cloreto torna-se perigoso por causa da formação de substâncias organocloradas ao reagir com componentes orgânicos. Essas substâncias têm propriedades cancerígenas.

#### **b. Nitrogênio**

O nitrogênio é constituinte natural de proteínas, clorofila e vários outros compostos biológicos, podendo também ser encontrado em despejos domésticos, despejos industriais, excrementos de animais e em fertilizantes. O nitrogênio altera-se entre várias formas e estados de oxidação, sendo as de maior interesse, em ordem decrescente do estado de oxidação, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão) (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1 – Formas do nitrogênio**

<b>Forma do Nitrogênio</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Definição</b>
Nitrogênio Gasoso	$N_2$	$N_2$
Amônia	$NH_3$	$NH_3$
Íon amônio	$NH_4^+$	$NH_4^+$
Nitrogênio amoniacal total	NAT	$NH_3 + NH_4^+$
Nitrito	$NO_2^-$	$NO_2^-$
Nitrato	$NO_3^-$	$NO_3^-$
Nitrogênio inorgânico total	NIT	$NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$
Nitrogênio total Kjeldahl	NTK	$N\text{ orgânico} + NH_3 + NH_4^+$
Nitrogênio orgânico	N org.	$NTK - (NH_4^+ + NH_3)$
Nitrogênio total	NT	$N\text{ orgânico} + NH_3 + NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$

O nitrogênio orgânico e a amônia podem ser determinados juntos e são referidos como “Nitrogênio de Kjeldahl”, o termo que reflete a técnica usada para suas determinações. Nitrogênio orgânico inclui matéria natural (proteínas, peptídeos, ácidos nucleicos, uréia) e numerosos compostos orgânicos sintéticos. A amônia está naturalmente presente em águas superficiais e águas residuárias. Ela é produzida largamente pela amonificação de nitrogênio orgânico e pela hidrólise da uréia. Nitrato geralmente ocorre em pequenas quantidades em águas superficiais, mas podem alcançar altos níveis em algumas águas subterrâneas. Nitrito é um estado de oxidação intermediário do nitrogênio, obtido tanto da oxidação da amônia a nitrato como da redução do nitrato. Sua oxidação ou redução pode ocorrer tanto em estações de tratamento de esgoto, em sistemas de distribuição de água e em águas naturais. Ele é usado como inibidor corrosivo em processos industriais de água (JORDÃO e PESSOA, 2009).

A fonte de nitrogênio orgânico é o material produzido após a hidrólise química: aminoácidos, açúcares aminados, aminas e peptídios, como também o material proveniente da endogenia (tipo de divisão celular) dos microrganismos. O processo de amonificação consiste na transformação de nitrogênio orgânico em amônia, na forma de íon ( $NH_4^+$ ) ou livre ( $NH_3$ ), por intermédio de bactérias heterotróficas. Amônia também é produzida por fixação do nitrogênio atmosférico por meio das bactérias fixadoras de nitrogênio (Figura 2.9).

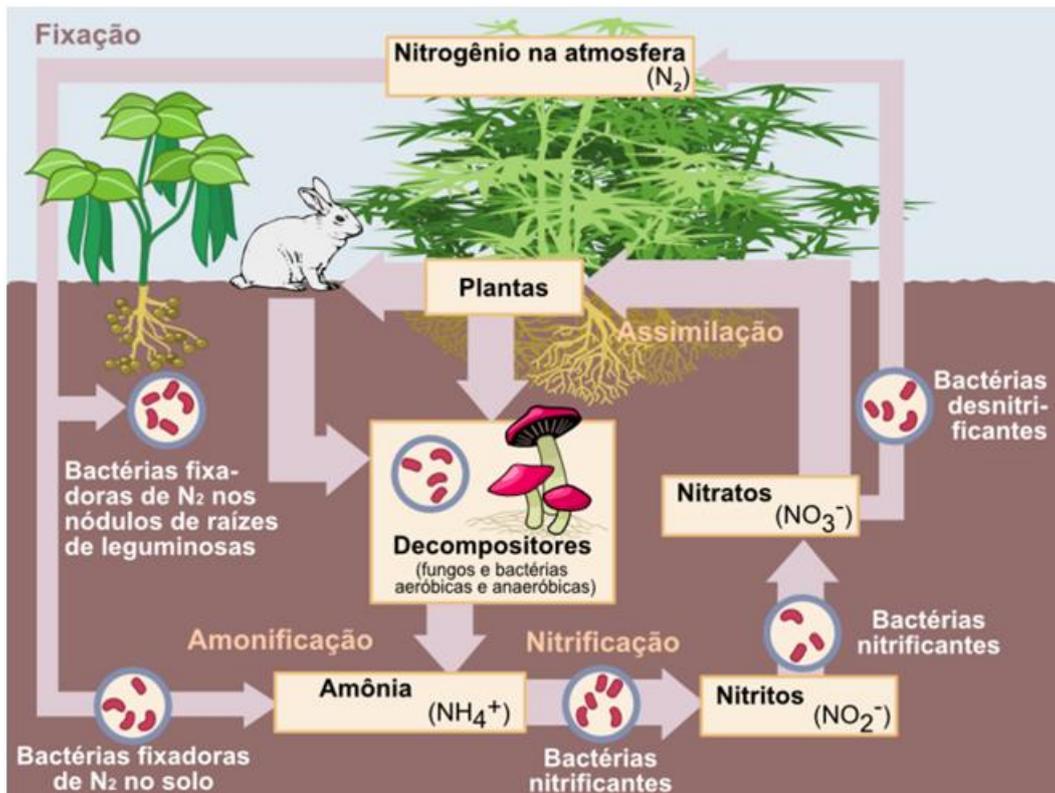
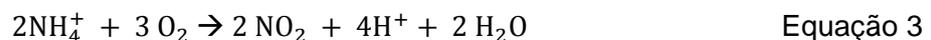


Figura 2.9 - Ciclo do Nitrogênio (WIKIPEDIA, 2010)

Em seguida, a amônia é transformada em nitritos e estes em nitratos, fenômeno denominado de nitrificação. Neste processo, os microrganismos envolvidos são autótrofos quimiossintetizantes, isto é, utilizam o gás carbônico como fonte de carbono e como fonte de energia química a amônia.

A transformação da amônia em nitritos é realizada por bactérias do gênero Nitrosomonas, de acordo com a seguinte reação (Equação 3):

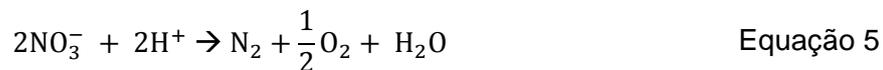


Já a oxidação dos nitritos a nitratos dá-se principalmente pela atuação de bactérias do gênero Nitrobacter, segundo a seguinte reação (Equação 4):



Os nitratos produzidos na reação são então aproveitados pelas plantas e entram na cadeia alimentar. Em condições anóxicas (ausência de oxigênio, mas presença de nitrato), os nitratos são utilizados por microrganismos heterotróficos como aceptores de elétrons, em substituição ao oxigênio. Este processo é chamado de desnitrificação,

onde o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso, segundo a seguinte reação (Equação 5):



Na nitrificação ocorre o consumo de oxigênio livre, demanda nitrogenada, e a liberação de H<sup>+</sup>, consumo de alcalinidade do meio com possível redução de pH. Já no processo de desnitrificação ocorre economia de oxigênio e consumo de H<sup>+</sup>, ou seja, aumento da capacidade tampão do meio.

O objetivo em se determinar amônia, nitrogênio orgânico, nitrato e nitrito é que o nitrogênio é um componente de grande importância em termos de geração e controle de poluição das águas, devido aos seguintes aspectos:

- O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas podendo levar ao fenômeno de eutrofização de lagos e represas;
- A conversão de amônia a nitrito e este a nitrato implica no consumo de oxigênio livre do curso d'água (o que pode afetar a vida aquática);
- Amônia livre é tóxica aos peixes;
- Associa-se o nitrato à doença conhecida como metahemoglobinemia (síndrome do bebe azul);
- Na atmosfera, nitratos provocam a formação de chuva ácida.
- O nitrogênio é uma fonte para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo "Tratamento de Esgotos";
- Amônia produz um forte odor quando presente na atmosfera em concentrações superiores a 50 ppm.

O conhecimento da concentração de nitratos, bem como das outras formas de nitrogênio, é empregado na verificação do grau de oxidação em rios e estuários e na avaliação dos níveis de purificação obtidos em processos biológicos de tratamento.

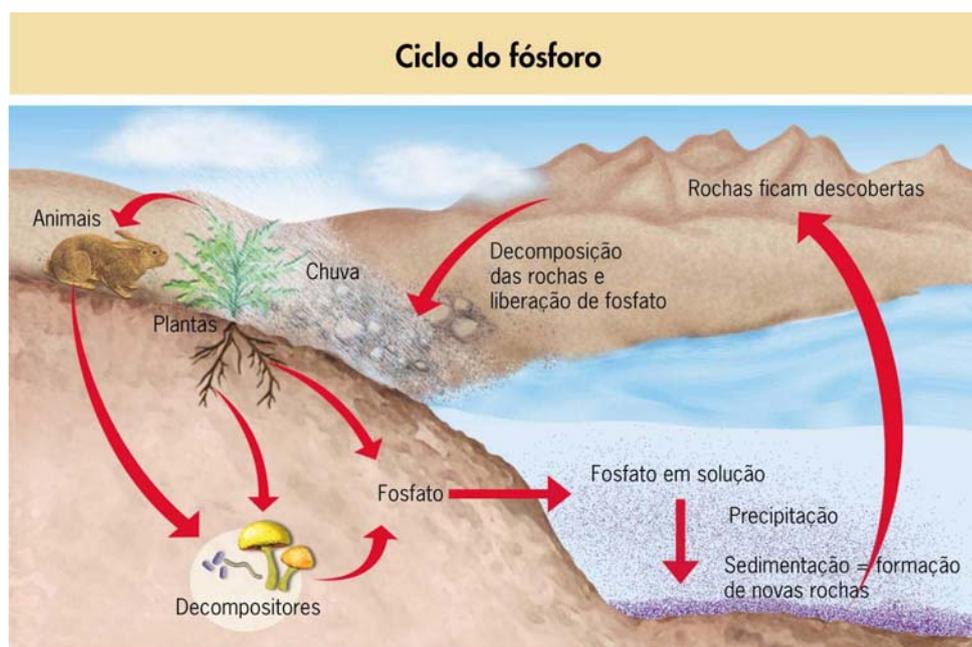
### **c. Fósforo e Ortofosfatos**

Fosfatos são compostos que possuem o fósforo (P) em sua estrutura molecular. O fósforo ocorre em águas naturais, em efluentes domésticos e industriais e na forma de depósitos minerais quase exclusivamente na forma de fosfatos. Estes são classificados como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta- e outros

polifosfatos) e fosfatos orgânicos. As formas podem estar solubilizadas, em partículas, em sais minerais ou em corpos organismos.

Os polifosfatos são moléculas mais complexas, com dois ou mais átomos de fósforo. Os polifosfatos se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise, mas tal transformação é usualmente lenta. Os polifosfatos estão sempre presentes em despejos contendo detergentes sintéticos.

O fósforo é um nutriente essencial para a vida possuindo um ciclo biogeoquímico característico. Vegetais e algas retiram fosfato inorgânico do ambiente ligando-os em compostos orgânicos. Herbívoros consomem as plantas fazendo o fósforo entrar na cadeia alimentar. Depois da morte desses seres e sua decomposição, os fosfatos podem ser utilizados por organismos decompositores que os retornam a forma inorgânica. Parte dos fosfatos acaba se depositando no solo ou no fundo dos oceanos, mas fenômenos como a ressurgência nos corpos d'água, processos geológicos e meteorização tornam os nutrientes novamente acessíveis aos seres vivos (Figura 2.10).



**Figura 2.10 - Ciclo do Fósforo (CÉSAR, 2010)**

O principal dano ambiental causado pela presença excessiva de fósforo é o fenômeno da eutrofização.

#### **d. Eutrofização**

Para que um organismo possa viver e crescer ele precisa fazer uso de substâncias retiradas do ambiente. Essas substâncias regulam o metabolismo, produzem energia e produzem tecidos. A quantidade necessária de cada tipo de nutriente é variada, portanto temos os chamados macronutrientes (muito exigidos) e os micronutrientes (pouco exigidos).

Um organismo precisa de um mínimo necessário de cada nutriente para se desenvolver já que um nutriente não pode substituir outro. Esse é o conceito básico dos nutrientes limitantes. Se houver abundância de nutrientes em um meio, a biota só poderá aproveitar os recursos disponíveis até esgotar o recurso mais escasso. Uma comparação simples, se você tem farinha o bastante para fazer 50 bolos, mas açúcar o bastante para fazer apenas dois, você só poderá fazer dois bolos, o açúcar seria o nutriente limitante.

Em ecossistemas aquáticos os principais nutrientes limitantes são o nitrogênio e o fósforo. Como já foi mostrado nos ciclos dos elementos, eles entram na cadeia alimentar por intermédio de microorganismos.

Segundo BAIRD (2002) a eutrofização (ou eutroficação) ocorre quando há grande abundância desses elementos limitantes, causando uma explosão populacional dos organismos fixadores desses elementos (Figura 2.11). Para se desenvolverem eles tomam não só esses elementos do meio como também o oxigênio d'água diminuindo os níveis disponíveis desse elemento. Além disso, a presença abundante de algas e outros organismos bloqueia a luz do sol, impedindo a fotossíntese e, portanto a produção de oxigênio na água. Esse tipo de condição também favorece a anaerobiose, que produz gases tóxicos, como o metano.



**Figura 2.11 - Proliferação de algas em rio chinês (XNA, 2009)**

Essa depleção de oxigênio associada ao acúmulo de toxinas leva a mortandade dos organismos aquáticos (Figura 2.12). Quando mortos a decomposição desses organismos consome ainda mais oxigênio e fornece mais nutrientes aos microorganismos favorecendo uma retroalimentação positiva, piorando ainda mais a situação.



**Figura 2.12 - Peixes mortos na Lagoa Rodrigo de Freitas devido aos baixos níveis de oxigênio na água (ESTADÃO, 2010)**

O fenômeno da eutrofização é o resultado usual da descarga de esgotos não tratados em corpos d'água. Fertilizantes usados na agricultura quando arrastados para corpos d'água também o causam.

#### **e. Sólidos**

A matéria sólida contida em efluentes apresenta diversas características e propriedades. Por isso um sistema de classificação foi elaborado para distinguir as propriedades dos diferentes sólidos encontrados no líquido:

- **Pela dimensão das partículas** - Os sólidos suspensos compõem a parte que é retida, quando um volume de amostra é filtrado através de uma membrana filtrante apropriada, usualmente um filtro de fibra de vidro com tamanho de poro igual a 1,2 mm; a fração que passa compõe a matéria sólida dissolvida, que está presente em solução ou sob forma coloidal (JORDÃO e PESSOA, 2009).
- **Pela volatilidade** - Os sólidos voláteis são aqueles que são volatilizados quando o resíduo originado do processo de secagem do efluente (103 a 105°C) é submetido à temperatura de 600°C. Os sólidos restantes do processo são os sólidos fixos. Os sólidos voláteis são compostos em sua maior parte por substâncias orgânicas, enquanto que os fixos são compostos por minerais (JORDÃO e PESSOA, 2009).

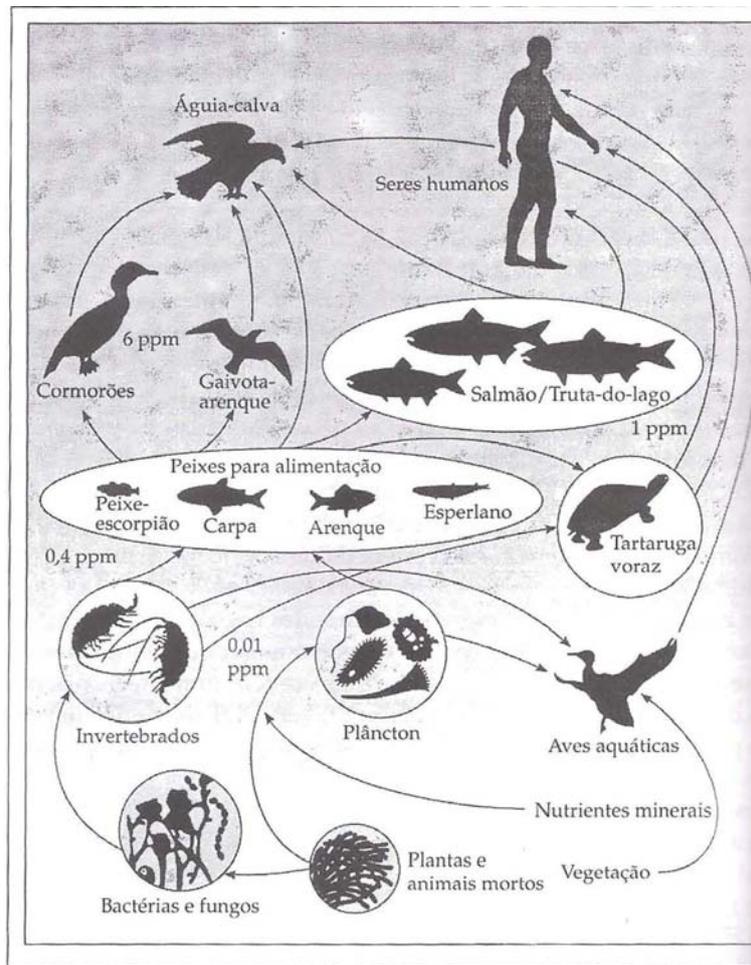
Para este estudo foram feitas análises para os sólidos totais (ST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV).

#### **f. Bioacumulação e biomagnificação**

A solubilidade das substâncias químicas varia de acordo com o meio onde se encontram. Algumas delas são muito mais solúveis em meios similares a hidrocarbonetos, como o tecido gorduroso dos peixes, do que em água. Logo, quando a água passa através das brânquias dos peixes, os compostos difundem até a gordura e outros tecidos corporais, tornando-se aí mais concentrados: esse processo, capaz de afetar outros organismos além dos peixes, é conhecido como bioacumulação.

Os organismos aquáticos também acumulam produtos originados da alimentação e da ingestão de material particulado e sedimentos nos quais os produtos encontram-se adsorvidos. Em muitos casos esses produtos não são metabolizados,

simplesmente se ligam aos tecidos adiposos, aumentando a sua concentração com o tempo. Basicamente a bioacumulação é quando o corpo acumula uma substância a uma velocidade maior do que a elimina (Figura 2.13).



**Figura 2.13 - Teia alimentar dos Grandes Lagos, com concentrações de DDT em algumas espécies (BAIRD, 2002)**

A bioacumulação também pode aumentar à medida que se avança na cadeia alimentar. Isso acontece em organismos de níveis mais altos na cadeia alimentar que se alimentam de organismos de níveis mais baixos e da mesma forma não conseguem eliminar as substâncias nocivas a uma velocidade maior do que as acumulam. Além disso, por estarem obtendo essas substâncias de fontes com maiores concentrações, a tendência é que seus corpos fiquem com concentrações maiores dessas substâncias. A esse fenômeno é dado o nome de biomagnificação (BAIRD, 2002).

Entre as substâncias conhecidas por serem biomagnificadas estão: bifenilas policloradas, hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados e cianeto.

## 3. Metodologia

### 3.1 Procedimentos

#### 3.1.1 Recolhimento de Chorume

No aterro metropolitano de Jardim Gramacho foram recolhidos cerca de 40 litros de chorume. Essa captação foi feita na saída da calha que levava o chorume à lagoa de espera para garantir amostras frescas e homogêneas (Figura 3.1). Todo o chorume usado nos experimentos provém do mesmo lugar e hora.

O chorume recolhido foi homogêneo no balde de recolhimento e então transferido para frascos âmbar que foram colocados em recipientes de isopor com tampa. O uso dos frascos âmbar foi para evitar a exposição do chorume à luz, o que poderia alterar as suas propriedades.



**Figura 3.1 - Recolhimento de chorume na lagoa de espera**

#### 3.1.2 Armazenamento

Os frascos âmbar foram armazenados na câmara fria do “Laboratório de Geotecnia e Geotecnia Ambiental”. Mantidos a temperaturas baixas (14 °C), e em um ambiente sem luz, a degradação e posteriores reações químicas do chorume são desaceleradas ou mesmo interrompidas, mantendo o chorume com as mesmas características de quando foi recolhido.

## 3.2 Materiais

Na Figura 3.2 observa-se o equipamento montado para o início dos ensaios.

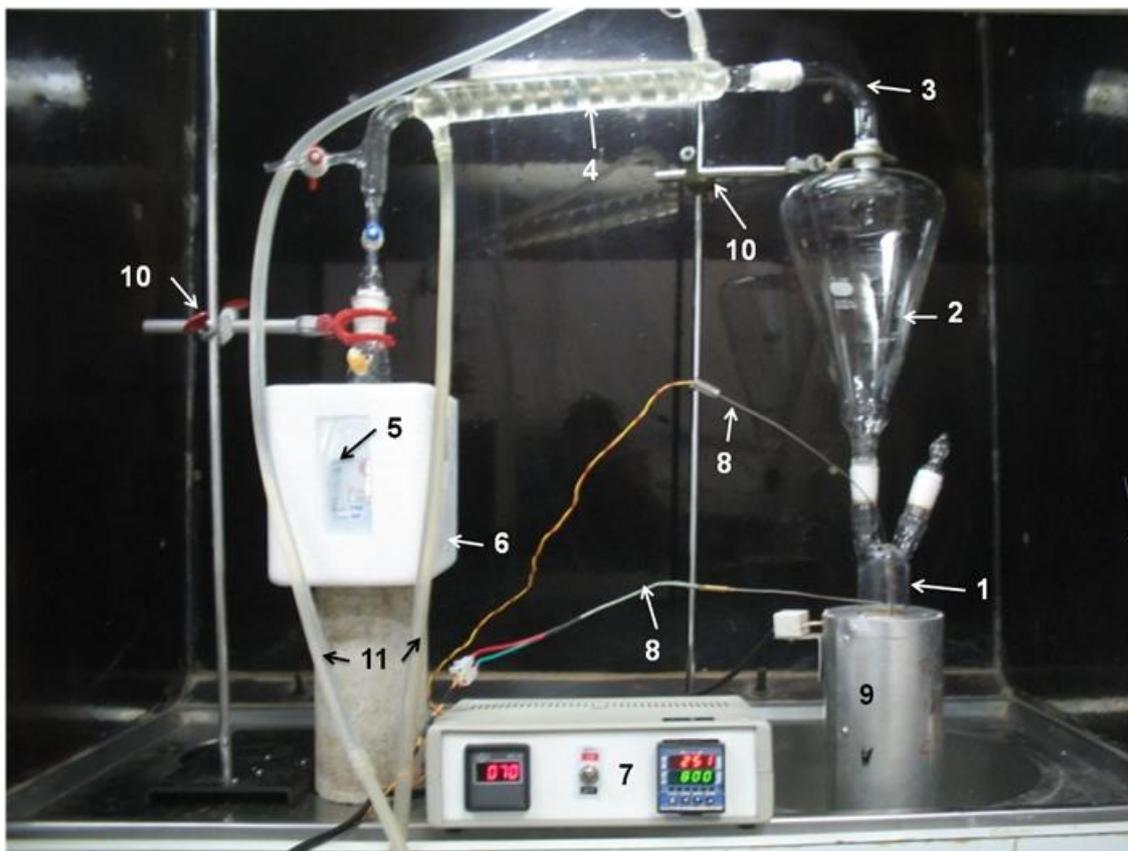


Figura 3.2 - Equipamento pronto para ensaio.

A seguir, uma lista com todos os materiais necessários para a realização dos ensaios com suas respectivas funções.

1. Saturadores (01 célula de vidro e 01 célula de quartzo - Servem de recipiente para aquecimento do chorume);
2. *Erlenmeyer* de 2 litros, modificado para conter o refluxo do processo de aquecimento.
3. Unha de destilação (conecta o *erlenmeyer* ao condensador);
4. Condensador de vidro com tubo em espiral (liquefaz o vapor a ser recolhido pelo *kitassato*);
5. Balão *kitassato* de 500 ml (recolhe o condensado);
6. Caixa de isopor (armazena o *kitassato* e as almofadas térmicas);
7. Controlador universal micro processado (regula a temperatura do forno);

8. 02 Termopares (lêem a temperatura do forno para que haja regulação deste e também a temperatura do chorume)
9. Forno composto de 02 resistências *meia cana* (comporta o saturador e o aquece);
10. Suporte universal com garras (fornece suporte ao equipamento);
11. Mangueiras de silicone (conectam o líquido de resfriamento do banho-maria ultratermostato ao condensador);
12. Banho-maria ultra-termostato (resfria o condensador facilitando a liquefação do vapor);
13. Pérolas de vidro (ajudam a diminuir o refluxo);
14. Fitas de teflon (vedam as possíveis saídas de escape do vapor);
15. Almofadas térmicas de 100 g (propilenoglicol) para resfriar o balão kitassato prevenindo a evaporação de condensado;
16. Proveta de 300 ml (serve para medir o volume de chorume a ser analisado);
17. 20 Frascos de vidro âmbar de 500 ml (armazenam o chorume e o material condensado);
18. Funis de plástico (servem para auxiliar na transferência de líquidos de um recipiente para outro);
19. Água destilada (para a lavagem de equipamentos);
20. Solução de dicromato de potássio em ácido sulfúrico (para lavar equipamentos extremamente sujos)

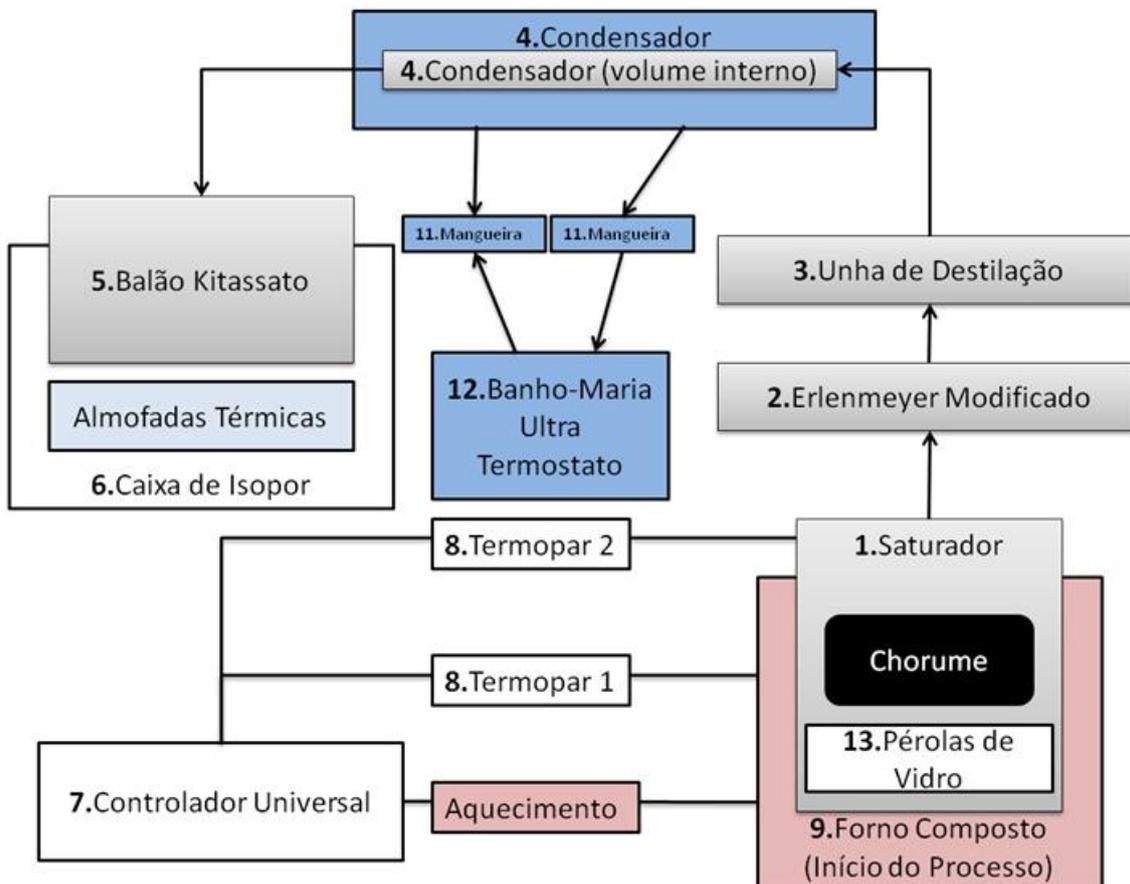
### 3.2.1 Manual de Uso do Equipamento

#### a. Montagem do Equipamento

Fez-se a montagem do equipamento do ensaio. Os itens que manteriam contato direto com o chorume foram lavados com água destilada para evitar a contaminação das amostras e assim prejudicar os ensaios. Os itens lavados foram: saturador, *erlenmeyer*, unha de destilação, condensador, pérolas de vidro, balão *kitassato*, proveta, funis. Suportes e garras são necessários para assegurar a estabilidade do equipamento.

Periodicamente, os saturadores foram lavados com uma solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para remover os resíduos da evaporação.

O choro me colocado no saturador será aquecido pelo forno composto. O vapor de choro me então passará pelo erlenmeyer, pela unha de destilação, pelo condensador (onde é resfriado e condensado) e então despejado na forma líquida no balão kitassato (Figura 3.3).



**Figura 3.3 - Esquema de montagem do equipamento. As caixas em cinza indicam as peças por onde passa o vapor de choro me.**

### **b. Medição**

Usando uma proveta, coletavam-se de 210 a 230 ml de choro me dos vidros âmbar. Os vidros eram imediatamente devolvidos a câmara fria após o uso.

### **c. Transferência**

Da proveta, o choro me era transferido para o saturador. Buscava-se assegurar a presença das pérolas de vidro no equipamento para evitar o refluxo de choro me durante o aquecimento.

#### **d. Vedação**

Fechava-se o saturador, fixando-se a tampa com um arame para garantir que a mesma não saltasse devido ao excesso de pressão. Verificava-se todas as possíveis saídas de vapor, principalmente nos engates e conexões dos equipamentos.

#### **e. Resfriamento**

Conectavam-se as mangueiras de silicone do ultra-termostato ao condensador. Configurava-se o termostato para que este mantivesse o líquido de resfriamento a 15 °C e ligava-se o bombeamento do líquido para que este esfriasse o condensador. Mantendo o condensador resfriado a condensação do vapor do chorume era facilitada.

#### **f. Aquecimento**

Posicionavam-se os termopares para medir as temperaturas do forno e do líquido e acionava-se o controlador universal programando a temperatura final desejada.

#### **g. Observação**

Marcava-se o tempo de início de aquecimento e observava-se o experimento para garantir que não haveria contaminação por refluxo e para marcar o início da evaporação (Figura 3.4).



**Figura 3.4 - Aquecimento do Chorume. O refluxo é detido pelo Erlenmeyer modificado.**

#### **h. Término**

Quando o balão kitassato apresentava um volume de aproximadamente 200 ml de condensado desligava-se o forno. No saturador restava um pequeno volume de chorume que era considerado como a borra.

#### **i. Recolhimento**

Desconectava-se o balão *kitassato* do restante do equipamento e transferia-se o condensado para um vidro âmbar limpo. O vidro âmbar com a amostra era então levado para a câmara fria ou para o laboratório de análise.

#### **j. Limpeza**

Desmontava-se o equipamento e lavavam-se as partes não aquecidas com água destilada. As partes aquecidas deviam ser esfriadas antes de serem limpas. Os saturadores tinham que ser lavados com a solução de dicromato de potássio.

### **3.3 Metodologias de Análises**

Para a realização dos ensaios físico-químicos e biológicos nas amostras de lixiviado bruto e no vapor condensado, foram utilizados os seguintes métodos:

- Demanda Química de Oxigênio - Metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio – Metodologia Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), método 5210 B (método das diluições) sem utilização de sementes;
- Cor - Método 8025 (APHA – Platinun-Cobalt Standard Method ) – HACH;
- Turbidez – Método 8237 (Attenuated Radiation Method – direct reading) – HACH;
- Cloretos – Método 4500 Cl – B –Método de Mohr –Argentométrico – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Alcalinidade – MF – 441 – Método Titulométrico com indicador - FEEMA;

- pH – Método 4500 B – Potenciométrico – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Sólidos Totais / Fixos e Voláteis – Método 2540 – B – (Secagem 103º C) e 2540 – E (Ignição 550º C) - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA - 20º Edição;
- Sólidos Suspensos Totais/Fixos/Voláteis – Método 2540 D - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Nitrato – Método 8171 (Cadmium Reduction Method) –HACH;
- Nitrito –Método 4500 NO<sub>2</sub> – B – Colorimétrico - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Amônia – Método 4500- NH<sub>3</sub> F – Método Indofenol - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Nitrogênio Kjeldahl – Método 4500 Norg – C (digestão, destilação e titulação) - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Fósforo Total – Método 4500 P – E – (digestão com ácido ascórbico) - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA -20º Edição;
- Metais – Método USEPA 3005A e 7470A, e equipamento utilizado para fazer as análises - ICP-OES PERKIN ELMER 2010;
- Compostos Orgânicos Voláteis - Método USEPA 8260B;
- Compostos Orgânicos Semi-Voláteis - Método USEPA 8270C;
- Dioxinas e Furanos - Método USEPA 8290 e 1613.

## 4. Resultados

Abaixo são apresentados resultados das análises das amostras de chorume e do condensado obtidos nos ensaios experimentais. Examinando o condensado e comparando-o ao chorume bruto pode-se verificar quais poluentes presentes no chorume são emitidos para a atmosfera e em que quantidade. O objetivo foi verificar para quais efluentes o processo de evaporação forçada pode ser considerado como uma fonte eficiente de tratamento.

As evaporações foram realizadas nas temperaturas de 300°C, 500°C e 700°C. O objetivo dessa distinção foi avaliar se há influência da temperatura do forno na composição do condensado.

Quando presentes, os limites dos gráficos abaixo são aqueles estipulados pelo CONAMA 357 de 2005. Os parâmetros correlacionados foram analisados de forma conjunta (alcalinidade e pH; sólidos, cor e turbidez; compostos nitrogenados).

- **Chorume bruto**

Na Tabela 4.1 os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos do chorume de Gramacho são descritos. Os resultados são referentes a duas análises da mesma amostra de chorume. Na coluna da direita são exibidos os resultados para a análise da borra restante no saturador após a obtenção de uma das amostras de condensado.

**Tabela 4.1 - Parâmetros físico-químicos do chorume**

Amostra		Amostras do Aterro de Gramacho		
Parâmetros	Unidade	Chorume 1	Chorume 2	Borra
DQO	mg/L	2350,00	2300,00	14100,00
Cloretos	mg/L	6040,70	6251,20	38660,00
Alcalinidade	mg/L	10600,00	5500,00	11900,00
Amônia	mg/L	1221,00	1619,70	12,83
Nitrito	mg/L	0,31	0,37	1,03
Nitrato	mg/L	1,00	70,00	0,20
NTK	mg/L	-	2296,00	140,00
Nitrogênio Orgânico	mg/l	-	676,3	127,17
Fósforo Total	mg/L	94,48	152,07	173,37
Ortofosfato	mg/L	113,34	153,64	127,05
SST	mg/L	92,00	39,00	-
SSF	mg/L	42,00	4,00	-
SSV	mg/L	50,00	35,00	-
ST	mg/L	9456,60	8743,30	91785,00
SV	mg/L	1600,00	-	45355,00
STF	mg/L	-	7106,60	-
STV	mg/L	-	1636,70	-
Cor	PtCo	4500,00	5750,00	26250,00
Turbidez	FAU	5900,00	164,00	400,00
pH	-	8,90	8,10	9,30

SST=Sólidos Suspensos Totais; SSF=Sólidos Suspensos Fixos; SSV= Sólidos Suspensos Voláteis; ST= Sólidos Totais; SV= Sólidos Voláteis; STF= Sólidos Totais Fixos; STV= Sólidos Totais Voláteis; NTK= Nitrogênio Total Kjeldahl.

Analisando a tabela 4.1 pode-se concluir que algumas das substâncias analisadas residem como borra ao final do processo. Vê-se que as concentrações de DQO, cloretos, STs e SVs são muito mais altas na borra do que nas amostras de chorume. Isso significa que o chorume teve o seu volume de água muito reduzido, fazendo com que a borra apresentasse concentrações muito maiores desses parâmetros.

- **Condensado**

Na Tabela 4.2 podem ser observados os mesmos parâmetros físico-químicos analisados no condensado. Foram feitas 6 análises com o chorume recolhido de gramacho. Para os propósitos deste experimento consideramos o condensado como todo o chorume convertido em gás devido ao aquecimento do destilador que foi retornado ao estado líquido no balão kitassato, juntamente com qualquer material que possa ter sido arrastado junto com o gás. Estes parâmetros são os mesmos analisados para o chorume e que foram descritos na Tabela 4.1.

**Tabela 4.2 – Parâmetros físico-químicos obtidos para o condensado em diferentes temperaturas**

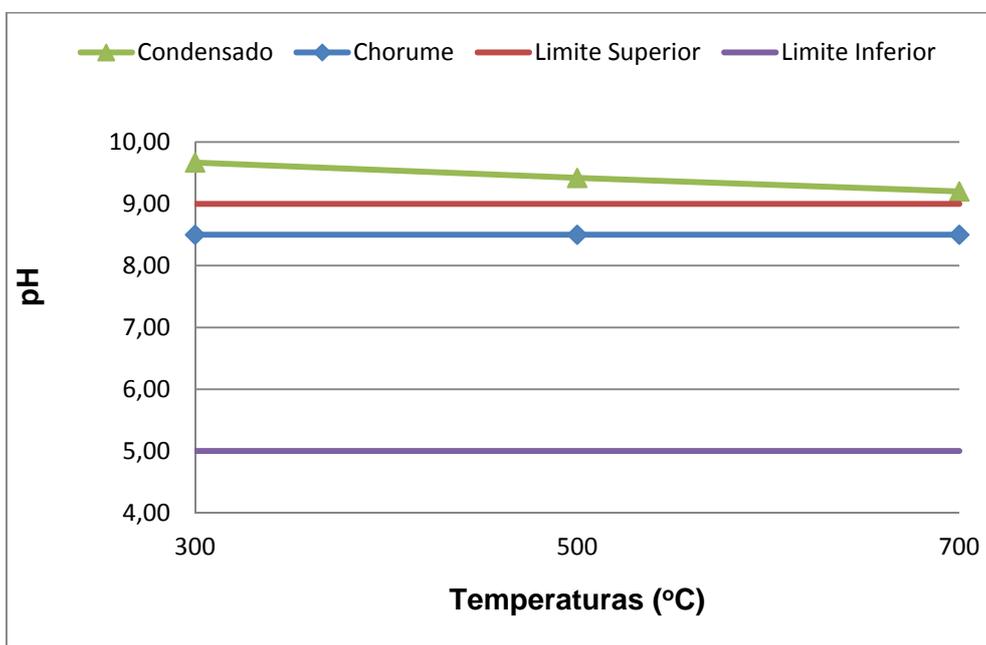
Parâmetros	unidade	Temperatura do Forno (condensado)					
		300° C	300° C	500° C	500° C	700° C	700° C
<b>DQO</b>	mg/L	-	55,30	44,00	89,00	53,00	82,00
<b>Cloretos</b>	mg/L	1933,00	1424,30	2123,4	1336,90	1277,30	1197,50
<b>Alcalinidade</b>	mg/L	8800,00	7300,00	8900	7850,00	7850,00	7700,00
<b>NH<sub>4</sub></b>	mg/L	1253,13	1236,10	1134,03	1246,19	1765,45	1162,33
<b>Nitrito</b>	mg/L	0,11	0,24	0,24	0,17	0,05	0,21
<b>Nitrato</b>	mg/L	15,70	12,80	0,8	14,50	15,70	14,00
<b>NTK</b>	mg/L	-	2310,00	2226	2212	2184,00	2044,00
<b>Nitrogênio Orgânico</b>	mg/l	-	1074,00	1091,97	965,81	418,85	881,67
<b>Fósforo Total</b>	mg/L	97,39	46,94	141,91	63,68	206,50	53,54
<b>Ortofosfato</b>	mg/L	22,61	34,15	93,27	33,52	24,04	26,48
<b>SST</b>	mg/L	20,00	4,00	24,00	2,00	8,00	6,00
<b>SSF</b>	mg/L	12,00	2,00	11,00	0,00	4,00	0,00
<b>SSV</b>	mg/L	8,00	2,00	13,00	2,00	4,00	6,00
<b>ST</b>	mg/L	70,00	80,00	68,00	33,30	-	26,60
<b>SV</b>	mg/L	13,40	-	15,8	-	-	-
<b>STF</b>	mg/L	-	53,30	-	13,30	-	0,00
<b>STV</b>	mg/L	-	26,70	-	20,00	-	26,60
<b>Cor</b>	PtCo	10,00	27,00	5,00	32,00	19,00	19,00
<b>Turbidez</b>	FAU	2,00	5,00	1,00	5,00	3,00	3,00
<b>pH</b>	-	10,00	9,33	9,50	9,34	9,19	9,20

Abaixo, cada parâmetro físico-químico analisado para o chorume bruto e para o condensado (Tabela 4.1 e Tabela 4.2, respectivamente) serão analisados comparativamente.

- **pH e alcalinidade (chorume bruto e condensado)**

Nas amostras de chorume observaram-se valores de alcalinidade de 10.600 e 5.500 mg/l (Tabela 4.1). As amostras de condensado apresentaram valores entre 7.000 e 9.000 mg/l, estes valores são próximos da média dos resultados observados no chorume.

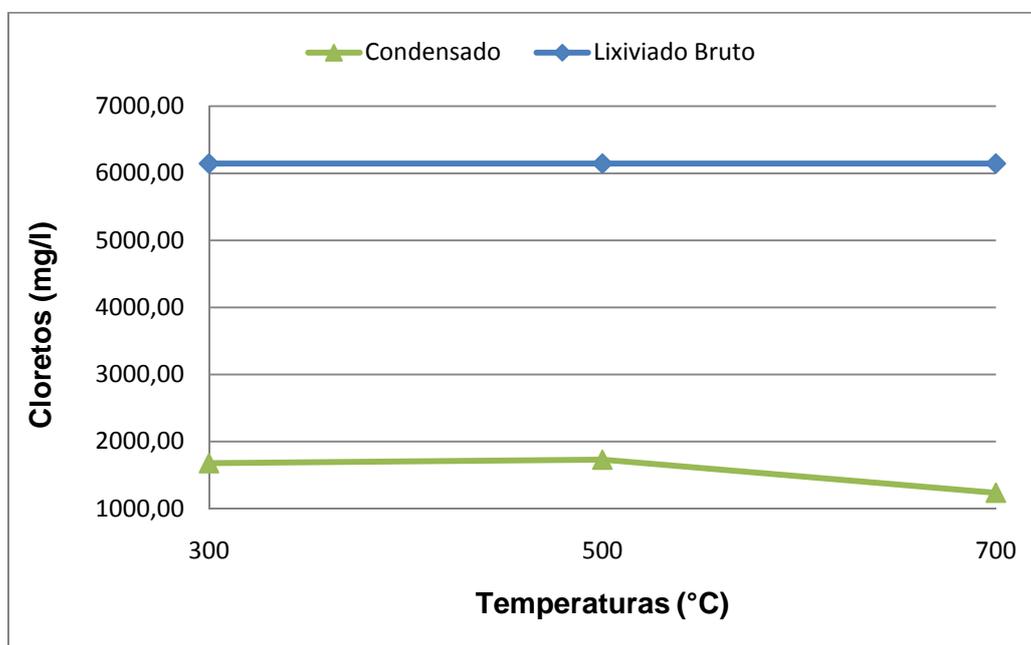
Já o pH médio do condensado apresentou valores maiores do que o chorume bruto (Figura 4.1). Nos estudos de GOMES (2009), foi sugerido que esse fenômeno ocorre devido à degradação dos ácidos orgânicos presentes no chorume por causa do calor. Esse aumento de pH faz com que o condensado tenha um pH superior ao limite legal (CONAMA 327, 2005), indicando um efluente básico. Considerando que os níveis de alcalinidade são bastante altos temos um líquido alcalino de difícil neutralização. Desta forma, há a possibilidade deste material poder ser aproveitado para neutralizar ácidos.



**Figura 4.1 – Relação entre a variação de temperatura e o pH médio no condensado comparadas a média do chorume bruto.**

- **Cloretos (chorume bruto e condensado)**

Embora o processo de evaporação forçada obtenha um condensado com concentrações de cloreto até 80% menores que os de chorume bruto (Figura 4.2), as concentrações continuam sendo ainda muito maiores do que as admitidas pela legislação que é de 5 mg/L (CONAMA, 2005). Isso acontece porque as concentrações de cloro do chorume de Gramacho são especialmente altas. Na Tabela 4.1 as concentrações de cloretos no chorume são superiores a 6000 mg/L e no resíduo superiores a 38600 mg/L. Deve-se estudar a possibilidade de aliar um processo específico para a remoção de cloro à evaporação forçada para o tratamento dos poluentes. Um processo preliminar de remoção de cloro, inclusive ajudaria a conservar o evaporador uma vez que os cloretos corroem itens metálicos.

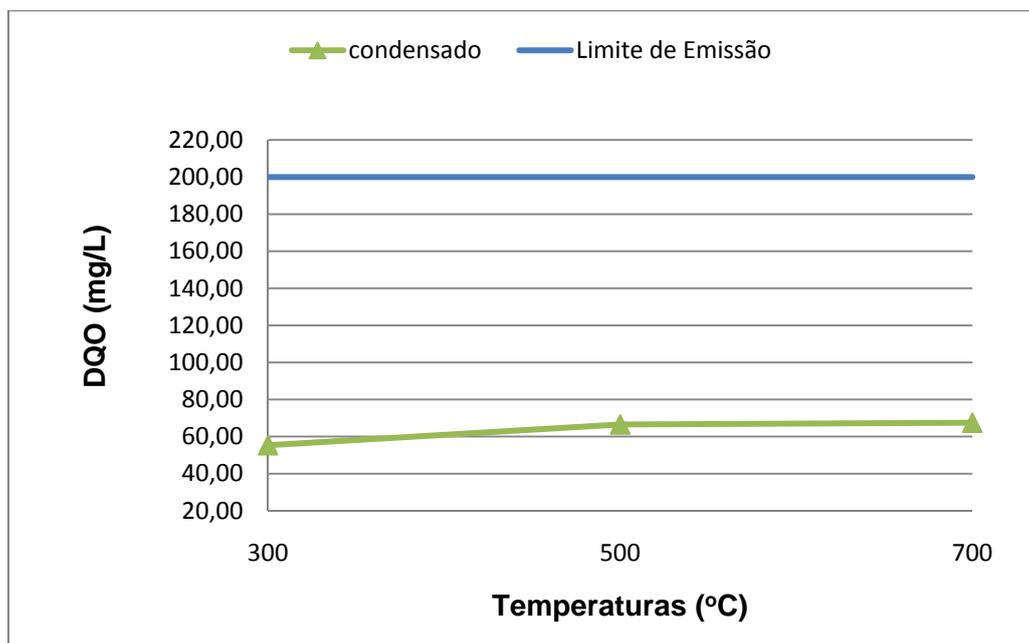


**Figura 4.2 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de cloretos no condensado comparadas a média do chorume bruto.**

- **DQO – Demanda Química de Oxigênio (chorume bruto e condensado)**

A análise de DQO do chorume bruto apresentou concentrações superiores a 2300 mg/L, muito além do limite de 200 mg/L do CONAMA (2005), enquanto que o condensado apresenta concentrações inferiores à metade desse limite (Figura 4.3). Esses resultados são bastante positivos no referente ao tratamento desse tipo de poluente. Além disso, devido à aplicação de calor, é provável que diversas substâncias

consumidoras de oxigênio tenham sido degradadas no processo reduzindo assim o total de DQO do sistema.



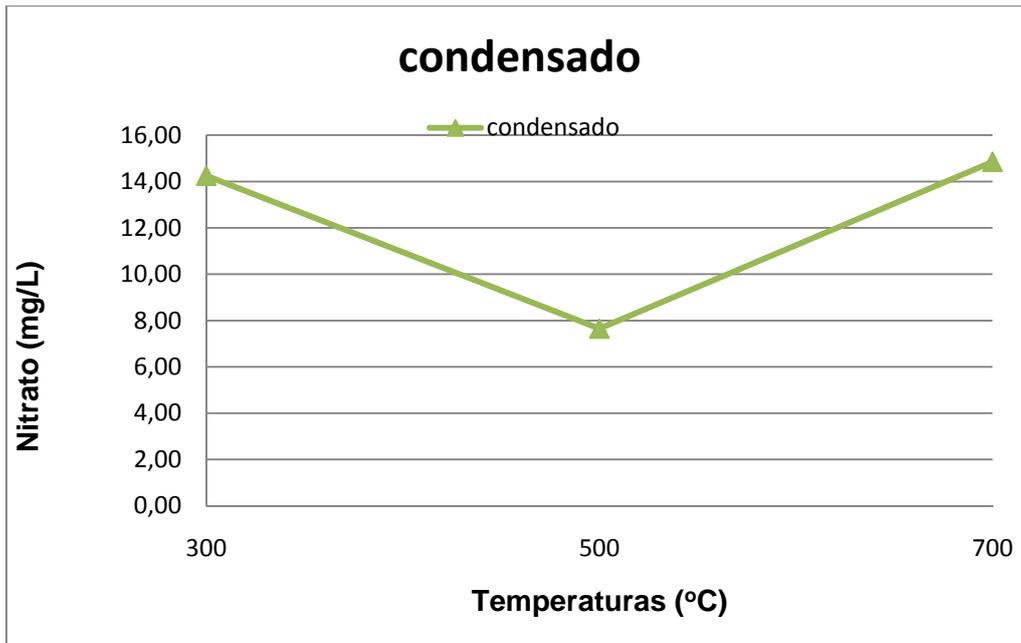
**Figura 4.3 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de DQO no condensado comparadas a média do chorume bruto.**

- **Nitrogênio (chorume bruto e condensado)**

O limite de concentração de nitrogênio total para emissões em corpos d'água é de 10 mg/L (CONAMA, 2005).

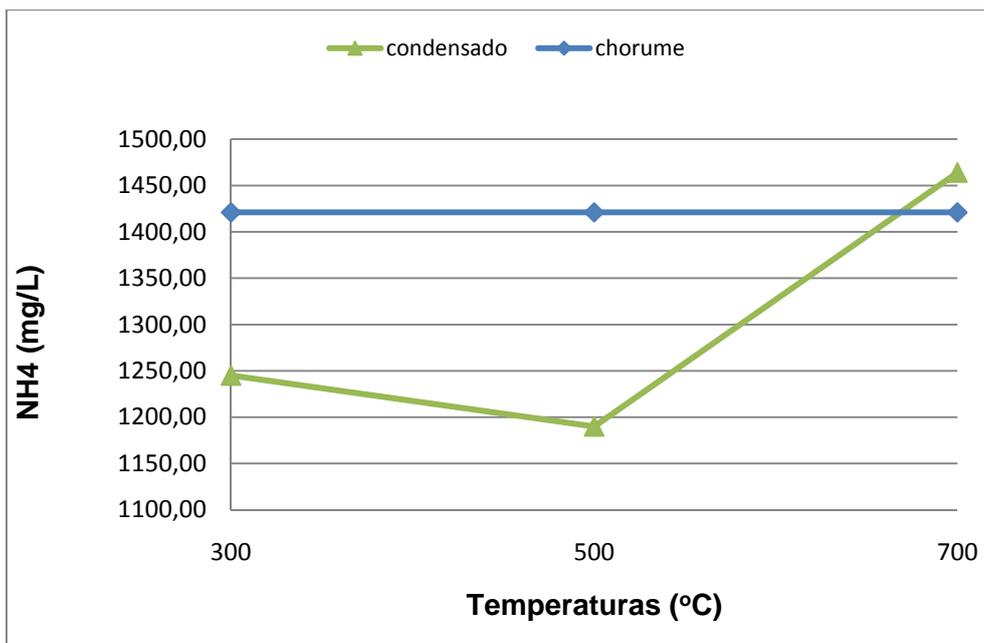
Os resultados obtidos para o nitrogênio mostraram a alta importância da pesquisa. Sendo uma substância abundante no chorume, especialmente na forma de amônia, a eliminação do nitrogênio é altamente importante para preservar os corpos d'água.

A concentração de nitrito mostrou-se bem baixa no chorume, assim como no condensado (tabela 4.2). Entretanto, as concentrações de nitrato são muito mais significativas, normalmente ultrapassando 10 mg/L no condensado (figura 4.4) e chegando até a 70 mg/L em uma das amostras de chorume (tabela 4.1). Considerando a alta concentração de amônia e o ciclo do nitrogênio é possível que a forma de nitrito do nitrogênio no ciclo seja especialmente curta nas condições do aterro sendo rapidamente oxidado a nitrato pelas bactérias nitrificantes.



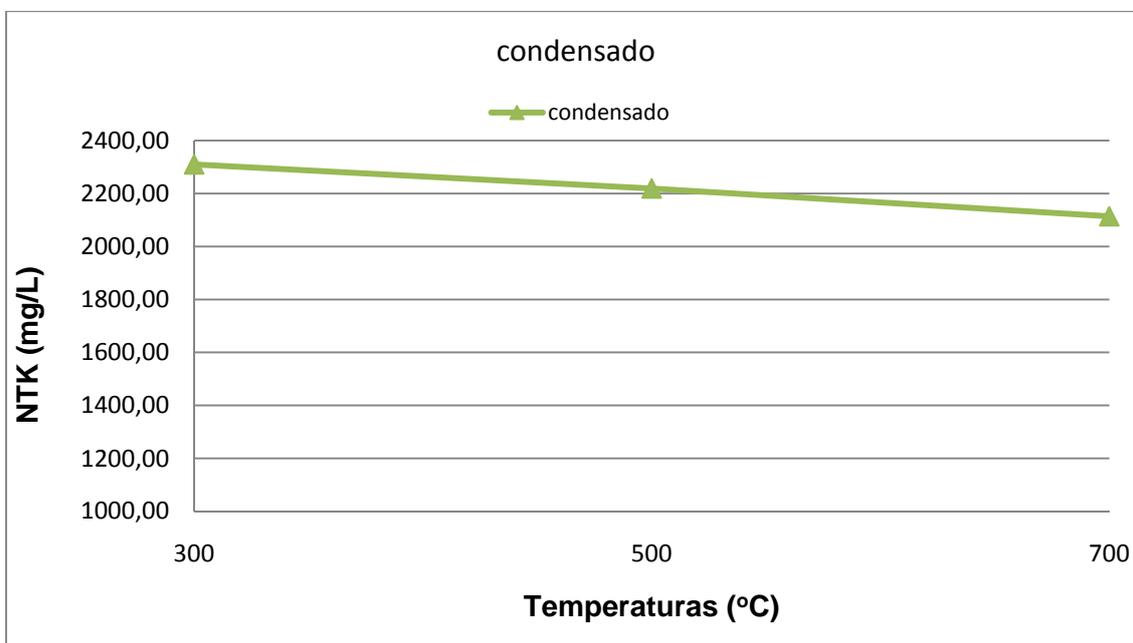
**Figura 4.4 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de nitrato no condensado comparadas a média do chorume bruto.**

As concentrações de amônia no condensado não apresentaram quedas consideráveis em relação ao chorume bruto, sendo que média da amostra de 700 °C foi maior do que a média encontrada no chorume (Figura 4.5). Conjugando esse fator com o fato das concentrações encontradas serem até mais que 200 vezes maiores que os limites de lançamento de nitrogênio (10 mg/L) (CONAMA, 2005), conclui-se que os evaporadores não evitam que a amônia contamine o ambiente.



**Figura 4.5 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de amônia no condensado comparadas a média do chorume bruto.**

Grandes concentrações de NTK foram encontradas no chorume bruto e no condensado (Figura 4.6).



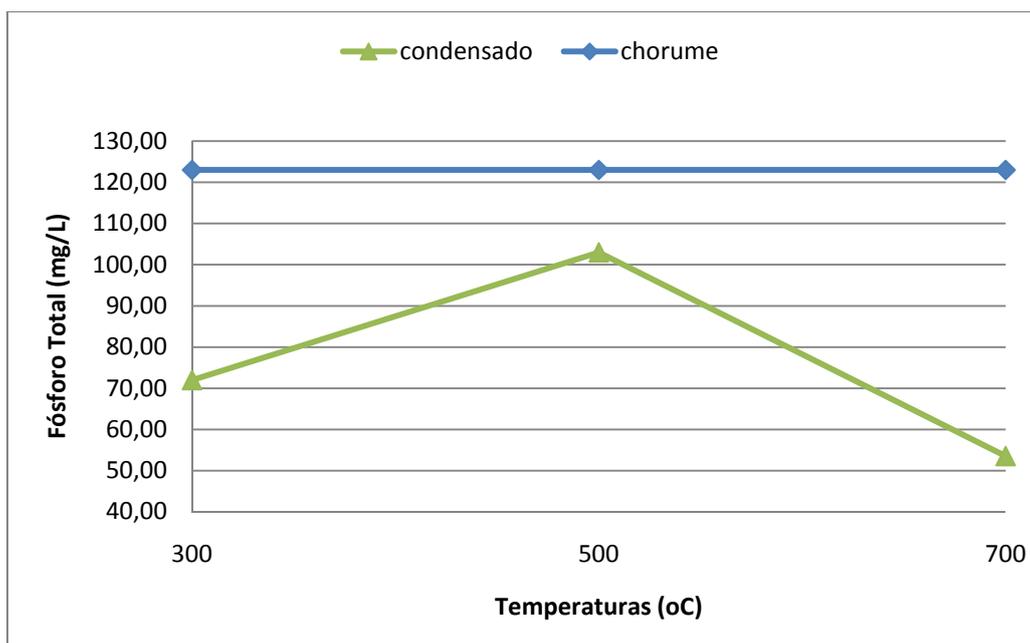
**Figura 4.6 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de NTK no condensado.**

Além da amônia também há uma grande presença de nitrogênio orgânico, tanto no condensado como no chorume. Os efeitos dessas moléculas orgânicas só poderão ser descobertos estudando-se mais detalhadamente a natureza de sua decomposição, mas pode-se inferir que elas também poderão desencadear eutrofização nos corpos d'água.

A baixa presença de NTK, amônia e nitrogênio orgânico no resíduo quando em comparação ao chorume e ao condensado indicam que quase todo o nitrogênio contido no chorume é levado ao ar quando este é submetido ao processo de evaporação forçada.

- **Fósforo (chorume bruto e condensado)**

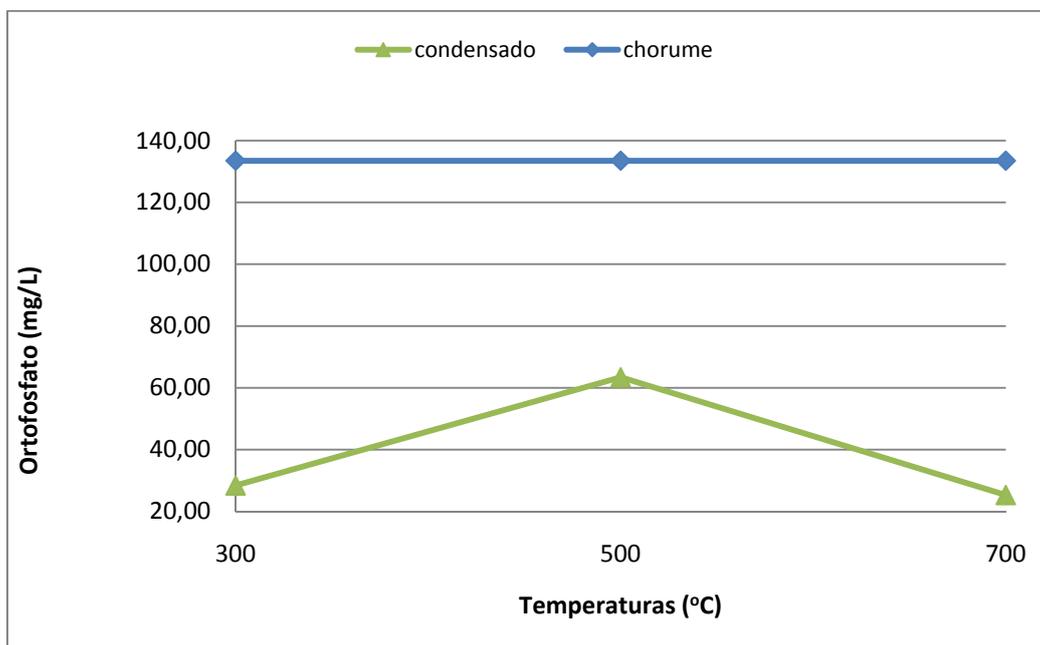
Há muita variação na concentração de fósforo total no condensado de acordo com a temperatura. Mas mesmo levando em consideração o menor resultado, eles ainda são muito maiores que o limite de 1 mg/L estipulado no CONAMA 327 (2005). (Figura 4.7)



**Figura 4.7 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de fósforo no condensado e no chorume bruto.**

A concentração de ortofosfatos em todas as análises é consideravelmente maior do que a concentração limite de fósforo total de 1 mg/L. Deve-se lembrar que o fósforo tem maior capacidade de ser assimilado pelo ambiente na forma de ortofosfatos,

portanto é possível que o processo de eutrofização seja facilitado pela presença dessa forma da substância (Figura 4.8).



**Figura 4.8 – Relação entre a variação de temperatura e a concentração média de ortofosfato no condensado e no chorume bruto.**

- **Sólidos (chorume bruto e condensado)**

A concentração de sólidos suspensos totais no chorume (SST) ultrapassou os 8500 mg/L. Porém nas amostras de condensado a máxima concentração foi de 80 mg/L (Tabela 4.2). Os SST representam a soma dos SSV (sólidos suspensos voláteis) com os SSF (sólidos suspensos fixos) totalizando os sólidos suspensos presentes.

Considerando que no resíduo avaliado a concentração encontrada de sólidos totais (ST) foi de 91500 mg/L e que a maior concentração encontrada no condensado foi de 80 mg/L podemos afirmar, seguramente, que há pouca transferência de material sólido para a área externa ao forno. Essa comparação se repete para todas as formas de material sólido analisadas. Isso acontece porque, embora o forno possa estar aquecido a altas temperaturas, a água, a pressão atmosférica, evapora na temperatura de 100° C. Enquanto ela não passar de líquido para gás sob essas condições, a sua temperatura não passa da sua temperatura de ebulição. As substâncias sólidas no chorume possuem pontos de fusão e ebulição muito superiores ao da água, logo eles não evaporam juntamente com ela, no máximo elas são arrastadas junto com o vapor.

Os SSF são definidos como sólidos que só se volatilizam em valores de temperatura inferiores a 600 °C (JORDÃO e PESSOA, 2009). A presença de SSF no condensado se deve ao seu arraste junto com o vapor e não a sua evaporação. A redução de concentração, portanto já era esperada.

Os SSV evaporam em sua totalidade em temperaturas de 600 °C. Verifica-se que as concentração de SSV no chorume são bem maiores que as do condensado. O motivo da concentração de SSV do condensado não ser igual a do chorume bruto é porque o meio aquoso se mantém a temperatura por volta de 100 °C quando em processo de evaporação. Esse resultado é importante para demonstrar que a temperatura do chorume aquecido chega a certo limite (por volta de 100 °C) enquanto houver água no forno.

Corroborando os resultados da análise de sólidos temos os resultados para cor e turbidez que são parâmetros dependentes, respectivamente, dos sólidos dissolvidos e dos sólidos suspensos.

A cor é uma medida da quantidade de sólidos dissolvidos em um líquido (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3 – Variação da cor média com a temperatura no condensado. O valor mínimo do chorume foi de 4500 PtCo.**

Temperatura (°C)	Condensado- média (PtCo)
300	18,50
500	18,50
700	19,00

O processo de evaporação forçada mostrou bons resultados. O chorume apresentou 4500 PtCo como valor mínimo de cor (Tabela 4.1). O condensado é transparente por comparação.

A turbidez é uma medida de sólidos não dissolvidos em um líquido (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4 – Variação da turbidez média com a temperatura no condensado. O valor mínimo do chorume foi de 164 FAU.**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Condensado -média (FAU)</b>
300	3,50
500	3,00
700	3,00

Também com a remoção de turbidez o processo apresentou bons resultados. O mínimo valor do chorume foi de 164 FAU (Tabela 4.1), muito superior as médias do condensado.

- **Metais (chorume bruto e condensado)**

Na Tabela 4.5 observam-se as concentrações dos principais metais potencialmente poluidores presentes em 3 amostras de chorume bruto coletadas. Também são mostrados os resultados do exame do resíduo restante de uma amostra de chorume após a sua evaporação. Na última coluna, os limites legais segundo a CONAMA (2005) são adicionados para servirem de comparação. Os valores sombreados com cinza marcam aqueles que ultrapassaram os limites do CONAMA 327.

**Tabela 4.5 – Concentração de metais no chorume bruto em mg/L**

Símbolo	Chorume 1	Chorume 2	Chorume 3	Resíduo	Médias	Limites
Al	0,15	<0,01	0,40	1,36	0,18	3,00
As	0,03	<0,01	<0,01	0,08	0,01	0,10
Ag	<0,01	<0,01	0,022	0,06	0,01	0,10
B	<b>2,66</b>	2,69	2,45	<b>65,78</b>	2,60	5,00
Ba	0,12	0,21	0,15	<0,01	0,16	5,00
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10
Co	0,04	0,07	<0,01	0,37	0,04	1,00
Cr	0,14	0,10	0,10	0,22	0,11	0,50
Cu	0,03	<0,01	<0,01	0,17	0,01	0,50
Fe	<b>2,03</b>	1,90	3,84	0,53	2,59	15,00
Mn	0,28	0,08	0,01	<0,01	0,12	1,00
Mo	0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,00	X
Ni	0,26	<b>1,30</b>	0,12	<b>1,12</b>	0,56	1,00
Pb	0,31	<0,01	<0,01	0,33	0,10	0,50
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	X
Se	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
V	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,01	4,00
Zn	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,02	1,00

A baixa presença de metais pesados no chorume pode ser referente ao fato de existir controle sobre os tipos de resíduos que entram no aterro. Considerando que Gramacho não recebe resíduo industrial e que os RSU brasileiros são compostos majoritariamente de matéria orgânica, explicam a ausência desses elementos. No chorume do aterro o boro e o ferro são os elementos mais abundantes, porém houve violação dos limites em apenas uma das amostras que apresentou concentração de níquel acima do limite estabelecido como aceitável.

Com relação à presença de metais no resíduo, os valores observados estão dentro dos limites estabelecidos por lei, com exceção do boro e do níquel.

Na Tabela 4.6 observam-se as concentrações dos principais metais potencialmente poluidores presentes nas amostras de condensado. As concentrações iguais ou maiores a 0,01 mg/L foram realçadas.

**Tabela 4.6 – Concentração de metais no condensado em mg/L. As marcações indicam concentrações significativas de metais.**

Símbolo	Condensado				Limites
	100°C	300°C	500°C	700°C	
Al	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3,0
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Ag	<b>0,036</b>	<b>0,029</b>	<b>0,08</b>	<b>0,029</b>	0,1
B	<0,01	<b>0,03</b>	<0,01	<0,01	5,0
Ba	<0,01	<b>0,01</b>	<0,01	<0,01	5,0
Cd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0
Cr	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,5
Cu	<0,01	<b>0,41</b>	<b>0,05</b>	<b>0,22</b>	0,5
Fe	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	15,0
Mn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0
Mo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Ni	<0,01	<0,01	<b>0,06</b>	<0,01	1,0
Pb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,5
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
Se	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
V	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,0
Zn	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0

A grande maioria dos elementos apresentou concentrações muito pequenas no condensado. E mesmo aqueles que mostraram quantidades detectáveis estavam abaixo dos limites estabelecidos pela lei.

A prata e o cobre apresentaram resultados de interesse porque o primeiro apresentou uma concentração próxima do limite e o segundo mostrou-se presente em 75% das amostras de condensado.

Devido ao fato da amostra de churume apresentar concentrações baixas dos elementos metálicos analisados é natural que as concentrações do condensado também tenham sido baixas. Porém não se deve descartar o fato de que a maioria desses elementos metálicos estejam na fase sólida ou dissolvida durante o processo de evaporação, estando sujeitos aos efeitos explicados no tópico de sólidos neste mesmo capítulo.

## **5. Conclusões**

### **5.1 Conclusões**

O processo de evaporação forçada mostrou-se eficiente em remover metais e partículas que se encontram de forma suspensa ou dissolvida no chorume além de reduzir a DQO. O ponto de evaporação da água é próximo de 100 °C, os sólidos apresentam, em geral, pontos de ebulição muito superiores, portanto é esperado que eles sejam a sobra do processo após a água ser evaporada.

Embora o forno possa apresentar temperaturas muito superiores a 100 °C o meio aquoso permanece nessa temperatura enquanto estiver no estágio de mudança de fase de líquido para gasoso, impedindo a evaporação dos materiais sólidos. Porém, um fluxo de energia mais alto para o forno pode resultar em maior turbulência fazendo com que haja maior arraste de partículas junto com os gases formados.

Embora tenha havido redução na quantidade total de cloretos presentes no chorume, a quantidade residual no condensado ainda foi muito alta. A alta concentração de cloro no chorume não pode ser impedida de chegar ao meio ambiente através da evaporação forçada.

Praticamente não houve redução significativa nos teores de nitrogênio e amônia, que se mostraram, juntamente com o cloro, como os parâmetros mais preocupantes.

A análise da borra gerada no processo laboratorial comprovou que grande parte do material sólido contido no chorume permanece na forma de escória ao final do processo. Os elementos metálicos, em especial, permaneceram na borra em sua totalidade. Compostos voláteis, como a amônia e outras formas de nitrogenados, apresentaram baixos índices de concentração na borra.

### **5.2 Complementações**

Devem ser feitas análises específicas para certos tipos de poluentes orgânicos. As dioxinas e furanos são compostos que necessitam de especial atenção. Sendo poluentes orgânicos persistentes, estes subprodutos de processos de combustão são conhecidos por sua alta toxicidade e por persistirem por longos períodos no meio ambiente sendo compostos que podem passar pelos processos de biomagnificação na cadeia alimentar.

Análises direcionadas a outros elementos químicos, como o mercúrio, também devem ser consideradas.

Considerando as altas concentrações de cloro, amônia e nitrogênio deve-se desenvolver em uma forma de tratamento direcionada a estes poluentes, para que a tecnologia de evaporação seja otimizada.

Para tanto se pode considerar:

1. Tratamentos preliminares: Antes de realizar a evaporação dos gases, o chorume passa por processos de remoção de elementos que poderiam vir a contaminar a atmosfera caso o líquido fosse evaporado.
2. Tratamento dos gases: São adaptadas tecnologias mitigadoras de poluição atmosférica aos evaporadores.
3. Recolhimento e tratamento posterior: Os gases gerados são condensados e o condensado obtido tratado ou reaproveitado.

## Referências bibliográficas

1. APPA – American Public Health Association, 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. Ed. Washington DC: APPA; AWA; WEF.
2. ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1990. **CAS# 7440-22-4**. Estados Unidos. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp146.pdf>>. Acesso em: 02/03/2010.
3. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. **NBR 8418/1984**. Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos: Procedimento.
4. \_\_\_\_\_, 1985. **NBR 8849/1985**. Informação e Documentação: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos: Procedimento.
5. BACELAR, H. A. M., 2011, Foto Utilizada em Pesquisa do Prosab
6. BAHÉ, J.M.C.F., 2008. **Estudo da Evaporação de Lixiviados de Aterros Sanitários como Alternativa Tecnológica de Tratamento: Testes em Bancada**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 110 f.
7. BAIRD, C. 2002. **Química Ambiental**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman.
8. CESAR, P. 2010. **Ciclo do Fósforo**. Disponível em: <[http://www.profpc.com.br/ciclo\\_fosforo.htm](http://www.profpc.com.br/ciclo_fosforo.htm)>. Acesso em: 12/11/2010
9. CHORUME. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Chorume>>. Acesso em: 15/02/2011.
10. CICLO DO NITROGÊNIO. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_do\\_nitrog%C3%AAnio](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_nitrog%C3%AAnio)>. Acesso em: 02/03/2010.

11. COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro (2010). Disponível em: [http://comlurb.rio.rj.gov.br/serv\\_atgramacho.htm](http://comlurb.rio.rj.gov.br/serv_atgramacho.htm). Acesso em: 8/2/2011.
12. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986. **Resolução nº 001 23 de janeiro de 1986**. "Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA" . Data da legislação: 23/01/1986 - Publicação DOU, de 17/02/1986, págs. 2548-2549.
13. \_\_\_\_\_, 1989. **Resolução nº 005 de 25 de agosto de 1989**. "Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR". Data da legislação: 15/06/1989 - Publicação DOU, de 25/08/1989, págs. 14713-14714.
14. \_\_\_\_\_, 1990. **Resolução nº 003 de 28 de agosto de 1990**. "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR". Data da legislação: 28/06/1990 - Publicação DOU, de 22/08/1990, págs. 15937-15939.
15. \_\_\_\_\_, 1990. **Resolução nº 008 de 28 de dezembro de 1990**. "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR". Data da legislação: 06/12/1990 - Publicação DOU, de 28/12/1990, pág. 25539.
16. \_\_\_\_\_, 1997. **Resolução nº 237 de 22 de dezembro de 1997**. "Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente". Data da legislação: 22/12/1997 - Publicação DOU nº 247, de 22/12/1997, págs. 30.841-30.843.
17. \_\_\_\_\_, 2002. **Resolução nº 316 de 20 de novembro de 2002**. "Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos". Data da legislação: 29/10/2002 - Publicação DOU nº 224, de 20/11/2002, págs. 92-95.
18. \_\_\_\_\_, 2005. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.". Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

19. \_\_\_\_\_, 2006. **Resolução nº 382 de 02 de janeiro de 2006**. "Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas". Data da legislação: 26/12/2006 - Publicação DOU nº 1, de 02/01/2007, pág. 131.
20. \_\_\_\_\_, 2006. **Resolução nº 397 de 03 de abril de 2008**. "Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA no. 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes." Data da legislação: 03/04/2008 - Publicação DOU nº 66, de 07/04/2008, págs. 68-69.
21. CF, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**
22. COSTA, F. 2010. Introdução ao direito ambiental. Disponível em: <[http://www.i3g.org.br/nucleos/ecotec/apresentacoes/introducao\\_ao\\_direito\\_ambiental.pdf](http://www.i3g.org.br/nucleos/ecotec/apresentacoes/introducao_ao_direito_ambiental.pdf)>. Acesso em: 10/11/2010
23. **Decreto nº 24643/34 de 10 de julho de 1934**. "Decreta o Código de Águas".
24. **Decreto nº 227/67 de 28 de fevereiro de 1967**. "Código de Mineração".
25. ESTADÃO - O estado de S. Paulo, São Paulo (2010). **Algas teriam asfixiado peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas**. Disponível em <<http://www.estadao.com.br/noticias/vidae,algas-teriam-asfixiado-peixes-na-lagoa-rodrigo-de-freitas,518443,0.htm>>. Acesso em: 02/03/2010.
26. <sup>a</sup> EHC - Environmental Health Criteria - World Health Organization, 1991. **Article number 108**. Genebra. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm>>. Acesso em 2010.
27. <sup>b</sup> EHC - Environmental Health Criteria - World Health Organization. **Article number 204**. Genebra. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm>>. Acesso em 2010.

28. ° EHC - Environmental Health Criteria - World Health Organization. **Article number 200**. Genebra. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc200.htm>>. Acesso em 2010.
29. **Formas de Disposição de Resíduos, Módulo 12**. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res12.html>>. Acesso em 2010.
30. GOMES, L.P., 2009. **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras**. PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABES. 2009.
31. GOOGLE EARTH, 2010. Acesso em: 04/11/2010
32. HMAA - Hamilton Magalhães Advogados Associados. O que é direito ambiental. Disponível em: < <http://www.direitoambiental.adv.br/ambiental.qps/Ref/PAIA-6S9TNQ> >. Acesso em: 10/11/2010
33. INEA - Instituto Estadual do Ambiente, 2010. **Licenciamento Ambiental. Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/fma/licenciamento-documentos.asp#aterros-sanitarios>>. Acesso em: 02/03/2010.
34. JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A., 2009. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
35. **Lei nº 4771/65 de 15 de setembro de 1965**. "Institui o Novo Código Florestal".
36. **Lei nº 5197/67 de 3 de janeiro de 1967**. "Dispõe Sobre a Proteção da Fauna e dá Outras Providências".
37. **Lei nº 6938/81 de 31 de agosto de 1981**. "Dispões Sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências".

38. **Lei nº 7347/85 de 24 de julho de 1985.** "Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (VETADO) e dá outras providências".
39. **Lei nº 9433/97 de 8 de janeiro de 1997.** "Institui a política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art.1º da lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989".
40. **Lei nº 9605/98 de 12 de fevereiro de 1998.** " Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências."
41. **Lei nº 9985/00 de 18 de julho de 2000.** " Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
42. **Lei nº 10257/01 de 10 de julho de 2001.** "Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências ".
43. LIXÃO x ATERRO. Disponível em <[http://www.lixo.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=144&Itemid=251](http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251)>. Acesso em: 02/03/2010.
44. NOTA TÉCNICA, 1986. NT-202. R-10 - **Critérios e Padrões Para Lançamento de Efluentes Líquidos.** CECA-RJ.
45. KAY, S. e CAWTHORNE, N., 2010. **Using Life Cycle Assessment as a Decision Making Tool**
46. MAHLER, C.F. **Comunicação Pessoal (2011)**
47. PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências (CD).** Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

48. SCHIMIDT, L. T., DAS, P. F., SOUTO, S. M., ROSSIELLO, R. O. P., ZANINE, A. M., MACEDO JUNIOR, G. M., PEREIRA, B. M., 2003. **Efeito de Doses de N de Chorume e Épocas de Coleta no Desenvolvimento do Capim da Tanzânia.** Revista Ciência Agronômica. Vol 34, nº 1.
49. UFC - Unified Facilities Criteria (2004). **Solid Waste Incineration.** Disponível em <[http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc\\_3\\_240\\_05a.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_3_240_05a.pdf)>. Acesso em: 16/02/2011
50. XNA - Xinhua News Agency. 2009. **2009 in Photos.** Disponível em <[http://www.boston.com/bigpicture/2009/12/2009\\_in\\_photos\\_part\\_1\\_of\\_3.html](http://www.boston.com/bigpicture/2009/12/2009_in_photos_part_1_of_3.html)>. Acesso em: 12/12/2010