

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**CYNTHIA ALGAYER DA SILVA**

**BIODEGRADABILIDADE DO LODO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO  
FORMADO DURANTE O PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM  
OS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E *MORINGA OLEIFERA***

**MARINGÁ**  
**PARANÁ - BRASIL**  
**MAIO - 2011**

**CYNTHIA ALGAYER DA SILVA**

**BIODEGRADABILIDADE DO LODO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO  
FORMADO DURANTE O PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM  
OS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E *MORINGA OLEIFERA***

**Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção  
do grau de Mestre em Engenharia Química, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Química, área de  
Desenvolvimento de Processos (linha de pesquisa: Gestão,  
Controle e Preservação Ambiental), Universidade Estadual  
de Maringá.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Rosângela Bergamasco, D.Sc.**

**Co-orientadora: Márcia Regina Fagundes Klen.**

**MARINGÁ  
PARANÁ - BRASIL  
MAIO – 2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

S586b Silva, Cynthia Algayer da  
Biodegradabilidade do lodo de água para consumo humano formado durante o processo de coagulação/floculação com os coagulantes policloreto de alumínio e *Moringa oleifera* / Cynthia Algayer da Silva. -- Maringá, 2011.  
x, 78 f. : il. col., figs., tabs.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosângela Bergamasco.  
Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Regina Fagundes Klen.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2011.

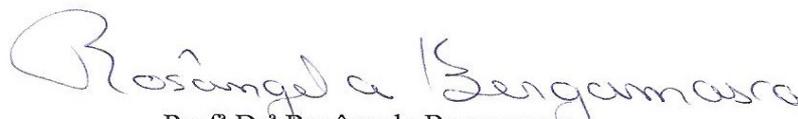
1. Resíduos sólidos. 2. Lodo - Tratamento de água. 3. Coagulante natural - *Moringa oleifera*. 4. Biodegradabilidade - Lodo. 5. Lodo - Classificação - NBR 10004. I. Bergamasco, Rosângela, orient. II. Klen, Márcia Regina Fagundes, co-orient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 21.ed. 628.744

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Dissertação de Mestrado apresentada por Cynthia Algayer da Silva perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 30 de maio de 2011.

COMISSÃO JULGADORA

  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosângela Bergamasco  
Orientadora

  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Fátima de Jesus Bassetti  
Membro

  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Grasielle Scaramal Madrona  
Membro

*"Não somos o que deveríamos ser; não somos o que queríamos ser;  
mas graças a Deus, não somos o que éramos." - Martin Luther King*

*“Duas estradas se bifurcaram no meio da minha vida,  
Ouvi um sábio dizer. Peguei a estrada menos usada.  
E isso fez toda a diferença cada noite e cada dia.” - Larry Norman*

*Dedico a meus pais que sempre me  
apoiaram em todas minhas escolhas.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus**, o engenheiro do universo, por me dar forças para seguir em frente.

Aos meus **pais e família** que mesmo distantes sempre se fizeram presentes em todos os momentos.

À orientadora, **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosangela Bergamasco**, por todo ensinamento, pela oportunidade de realizar este trabalho e credibilidade confiada.

Aos **professores componentes da banca examinadora**, por sua cordialidade e disponibilidade na avaliação deste trabalho.

O maior perigo que se coloca para o agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar. Então, a meus **amigos** que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

À **Sanepar – Maringá**, pelo auxílio na realização desse trabalho, sem os quais não teria se desenvolvido da mesma forma.

Á **Grasi** por estar sempre pronta a ajudar sempre que precisei.

A todos os **professores** que ministraram as disciplinas e compartilharam os seus conhecimentos.

Á **CAPES** pela bolsa de estudos concedida no Mestrado.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução dessa Dissertação de Mestrado.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. ÁGUA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. TRATAMENTO DA ÁGUA BRUTA.....</b>	<b>5</b>
3.2.1. Coagulação.....	6
3.2.1.1. Coagulantes .....	8
3.2.2. Flocculação .....	14
3.2.3. Decantação .....	15
3.2.4. Filtração .....	16
3.2.5. Desinfecção.....	16
<b>3.3. LODO .....</b>	<b>17</b>
3.3.1. Definição.....	17
3.3.2. Caracterização.....	18
3.3.3. Impacto ambiental.....	22
3.3.4. Metais pesados .....	23
3.3.5. Biodegradabilidade do lodo .....	24
3.4.1. Métodos de secagem.....	27
3.4.1.1. Lagoas de secagem de lodo.....	27
3.4.1.2. Leitos de secagem .....	28
3.4.1.3. Manta geotêxtil.....	29
3.4.2. Alternativas de disposição final .....	30
3.4.2.1. Lançamento direto em águas superficiais .....	30
3.4.2.2. Disposição em aterro sanitário .....	30
3.4.2.3. Disposição controlada em certos tipos de solo .....	31
3.4.2.4. Descarga do lodo de ETA em ETE .....	31
<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1. LODO .....</b>	<b>33</b>

<b>4.2. MÉTODOS ANALÍTICOS .....</b>	<b>36</b>
4.2.1. Cor aparente .....	36
4.2.3. pH.....	36
4.2.4. % Umidade .....	37
4.2.5. DQO (Demanda Química de Oxigênio) .....	37
4.2.6. DBO <sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio) .....	37
4.2.7. Carbono Orgânico Total – COT .....	38
4.2.8. Sólidos suspensos e totais .....	38
4.2.9. Formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e fosfato .....	38
4.2.10. Metais.....	38
4.2.11. Biodegradabilidade .....	39
4.2.12. Ensaio para classificação de resíduos sólidos .....	40
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2. CARACTERIZAÇÃO DO LODO.....</b>	<b>45</b>
<b>5.2. BIODEGRADABILIDADE.....</b>	<b>53</b>
<b>5.3. LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fotografia da árvore de <i>Moringa Oleifera</i> lam. ....	13
<b>Figura 2</b> – Fotografia das vagens de <i>Moringa Oleifera</i> lam. ....	13
<b>Figura 3</b> – Fotografia das sementes de <i>Moringa Oleifera</i> lam com casca e sem casca, respectivamente. ....	14
<b>Figura 4</b> – Mecanismos de desidratação do lodo em lagoa de secagem. ....	28
<b>Figura 5</b> – Desidratação esquemática em um leito de secagem ....	29
<b>Figura 6</b> – Fotografia da vista do ponto de captação de água da cidade de Maringá. ....	33
<b>Figura 7</b> – Fotografia do equipamento OxiTop OC 110. ....	39
<b>Figura 8</b> – Caracterização e classificação de resíduos sólidos. ....	41
<b>Figura 9</b> – Porcentagem de sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) no lodo de PCA e Moringa. ....	49
<b>Figura 10</b> – Biodegradabilidade dos lodos de PCA e Moringa. ....	54

**ÍNDICE DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Características dos lodos de ETAs.....	21
<b>Tabela 2</b> – Condições experimentais utilizadas no processo de coagulação/floculação. ....	34
<b>Tabela 3</b> – Valores médios para caracterização da água bruta. ....	43
<b>Tabela 4</b> – Concentração de metais na água bruta.....	44
<b>Tabela 5</b> – Caracterização do lodo de PCA.....	46
<b>Tabela 6</b> – Caracterização do lodo de Moringa. ....	47
<b>Tabela 7</b> – Concentração de metais no lodo de PCA.....	51
<b>Tabela 8</b> – Concentração de metais no lodo de Moringa.....	51
<b>Tabela 9</b> – Concentração de metais do Lixiviado do lodo de PCA.....	55
<b>Tabela 10</b> – Concentração de metais do Lixiviado do lodo de Moringa. ....	56
<b>Tabela 11</b> – Concentração de metais do Solubilizado do lodo de PCA. ....	57
<b>Tabela 12</b> – Concentração de metais do Solubilizado do lodo de Moringa. ....	57

**BIODEGRADABILIDADE DO LODO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO FORMADO DURANTE O PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM OS COAGULANTES POLICLORETO DE ALUMÍNIO E *MORINGA OLEIFERA***

**AUTORA: CYNTHIA ALGAYER DA SILVA**

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> ROSÂNGELA BERGAMASCO, D.Sc.**

**CO-ORIENTADORA: MÁRCIA REGINA FAGUNDES KLEN.**

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil.

**RESUMO**

O processo de tratamento para produção de água potável gera um resíduo (lodo), que segundo a ABNT NBR 10004 (2004) é classificado como resíduo sólido. Mas normalmente este lodo é devolvido aos mananciais sem qualquer tipo de tratamento, causando consideráveis impactos ambientais. O objetivo principal deste trabalho é caracterizar e avaliar a biodegradabilidade do lodo formado durante o processo de tratamento da água com o uso de coagulantes químico e natural. Para a produção do lodo foram realizados ensaios de coagulação/floculação em laboratório, com o auxílio do coagulante químico PAC (Policloreto de Alumínio) que é amplamente utilizado no tratamento de água nas ETAs, e o coagulante natural *Moringa oleifera* que vêm sendo investigado intensamente, para que possa substituir ou auxiliar no processo de tratamento convencional. Os resultados indicam que os lodos estudados são classificados como resíduos Classe II A Não perigoso – Não inertes, segundo ABNT NBR 10004 (2004). Os testes de biodegradabilidade mostraram que o lodo formado pelos coagulantes naturais possui uma maior biodegradabilidade quando comparado com o lodo obtido com o uso do coagulante químico. Com isso pode-se concluir que o uso de coagulantes de origem natural é uma alternativa viável para a substituição dos coagulantes químicos, principalmente em relação à biodegradabilidade do lodo formado, podendo facilitar assim a destinação final deste resíduo.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos sólidos; lodo; coagulante natural; biodegradabilidade.

**BIODEGRADABILITY OF SLUDGE FROM WATER FOR HUMAN  
CONSUMPTION FORMED DURING COAGULATION / FLOCCULATION WITH  
THE COAGULANTS POLY ALUMINIUM CHLORIDE AND *MORINGA OLEIFERA***

**AUTHOR: CYNTHIA ALGAYER DA SILVA**

**SUPERVISOR: PROF ROSANGELA BERGAMASCO, D.SC.**

**CO-ADVISOR: MARCIA REGINA FAGUNDES KLEN.**

Master Thesis; Chemical Engineering Graduate Program, State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil.

**ABSTRACT**

The treatment process for drinking water production generates a residue (sludge), which according to ABNT NBR 10004 (2004) is classified as solid waste. But usually this sludge is returned to the sources without any treatment, causing considerable environmental impacts. The main objective is to characterize and evaluate the biodegradability of the sludge formed during water treatment with the use of chemical coagulants and natural. For the production of sludge were assayed for coagulation/flocculation in the laboratory with the help of chemical coagulant PAC (Poly Aluminium Chloride) that is widely used in water treatment in the WTP, and *Moringa oleifera* that is a natural coagulant and is being intensively investigated for that can replace or assist the process of conventional treatment. The results indicate that the studied sludge wastes are classified as Class II A not dangerous - not inert, according to ABNT NBR 10004 (2004). The biodegradability tests showed that the sludge formed by natural coagulants has higher biodegradability compared with the sludge obtained with the use of chemical coagulant. Thus we can conclude that the use of natural coagulants is a viable alternative for the replacement of chemical coagulants, especially regarding the biodegradability of sludge formed and can thus facilitate the disposal of this waste.

**KEYWORDS:** solid waste, sewage sludge; natural coagulant; biodegradability.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, essencial a vida, devendo estar disponível em quantidade e qualidade adequada para consumo humano. Contudo, ao longo do tempo a água tem se tornado mais escassa e poluída, e esta contaminação pode ocorrer por meio de fontes naturais e antrópicas.

Para que a água bruta se torne potável, é necessário que a mesma passe por um processo de tratamento. A maioria das estações de tratamento de água no Brasil utiliza o processo convencional para tratamento da água bruta, que envolve as etapas de captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Uma das principais etapas deste processo é a coagulação/floculação, que consiste na remoção das impurezas (partículas em suspensão ou coloidais) da água, para isso é necessário o auxílio de um coagulante, os mais comumente usados nas ETA's são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio (PCA)

Durante o processo de tratamento é gerado um resíduo, o lodo, que é proveniente de duas etapas do processo: dos decantadores e da lavagem dos filtros. O resíduo oriundo da lavagem dos filtros contém um volume maior, porém em termos mássicos os decantadores possuem a maior quantidade de resíduo.

Devido ao aumento da demanda de água potável, ao crescimento populacional, e a má qualidade dos mananciais as ETA's necessitam utilizar uma quantidade maior de coagulante no tratamento, aumentando assim a quantidade de lodo formada.

Os lodos podem possuir características muito distintas, pois variam de acordo com a característica da água bruta coletada para tratamento.

Pela ABNT NBR 10.004 (2004) o lodo é classificado como “resíduo sólido”, portanto deve ser tratado e disposto conforme exigência dos órgãos ambientais. Há muito tempo, o destino dos resíduos de ETA vinha sendo os cursos d'água próximos das estações. No entanto, a crescente preocupação e a regulamentação têm restringido ou proibido essa disposição. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente.

Mesmo não sendo um problema recente, o efeito da disposição final inadequada dos resíduos sólidos gerados nas ETA's no meio ambiente tem-se mostrado extremamente danoso. Este resíduo tem um grande potencial poluidor devido principalmente a alta concentração de metais pesados. As características dos lodos variam muito, pois dependem da característica da água bruta, dos produtos químicos usados no processo, dentre outros fatores.

Existem atualmente muitos estudos que avaliam as vantagens da utilização de coagulantes naturais no tratamento de água. Um coagulante natural que vem sendo intensamente estudado, devido as suas propriedades coagulante, é a semente de *Moringa oleifera* lam. Segundo DAVINO (1976), a semente de Moringa possui uma proteína que provoca o mecanismo de coagulação/floculação na água de maneira análoga ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos, que são polímeros provenientes de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural.

Os coagulantes/floculantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este presente trabalho tem por objetivo estudar o lodo formado devido ao uso de coagulantes químico (PCA) e natural (Moringa) no processo de coagulação/floculação, para tratamento da água bruta.

#### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Caracterizar os lodos obtidos no processo de coagulação/floculação quanto as suas características físico-químicas;
- ✓ Estudar a biodegradabilidade dos lodos;
- ✓ Classificar os lodos, segundo a análise de metais, de acordo com a norma da ABNT NBR 10004 (2004).

## CAPÍTULO 3

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. ÁGUA

A água é fundamental à vida e é diretamente responsável pela manutenção dos ecossistemas e bem-estar do homem, devendo estar disponível em quantidade e qualidade suficientes para a população (CARVALHO, 2008). Porém, segundo GUERRA (2005), em função do aumento populacional, do desperdício, do uso nas cidades, na agricultura e indústria, atualmente, os recursos hídricos tornam-se cada vez mais escassos para atender a crescente demanda. A qualidade das águas, principalmente as superficiais, vêm sendo comprometida com maior intensidade próximo às áreas urbanas.

Apesar de o Brasil ser considerado um país privilegiado quanto aos seus recursos hídricos, a carência de uma política de preservação dos mananciais e de abastecimento ao longo dos anos, vem comprometendo a qualidade e a quantidade de água disponível (CARVALHO, 2008).

Segundo DAVIS e BURNS (1999), a contaminação das águas superficiais utilizadas como mananciais pode ocorrer por fontes naturais (decorrentes da ação da água sobre as rochas) e por ações antrópicas (aplicação de fertilizantes, pesticidas, lançamento de efluentes domésticos e industriais e descarga de águas pluviais urbanas).

De acordo com FRANCO (2010) a contaminação da água pode ocorrer por meio de alguns fatores como a falta de saneamento básico, que lança esgoto sem tratamento nos corpos d'água; do lixo que é lançado nos rios; produtos usados na agricultura (agrotóxicos, adubos e fertilizantes, inseticidas), que são fonte de poluição difusa, outros materiais como poluentes não-degradáveis e resíduos de indústrias em geral. O aumento de matéria orgânica nos corpos d'água pode provocar a redução de oxigênio disponível, que deste modo causa a morte de peixes, plantas aquáticas, animais das margens e do próprio rio ou lago, além de provocar doenças direta ou indiretamente em homens e animais.

A contaminação dos mananciais de abastecimento público, por resíduos provenientes das atividades antrópicas, tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde das pessoas, principalmente em regiões com condições inadequadas de saneamento e suprimento de água, e que se pode observar tanto em regiões brasileiras de alta concentração urbana como em áreas rurais (FUNASA, 2003 *apud* MADRONA, 2010).

Segundo DI BERNARDO et al. (2002) *apud* GUERRA (2005), a maior parte das doenças que se distribuem pelos países, especialmente aqueles em desenvolvimento, é oriunda de águas com má qualidade. As doenças de transmissão hídrica mais comuns são: desintérias bacilar e amebiana, as febres tifóide e paratifóide, cólera, hepatite infecciosa, esquistossomose, giardíase e criptosporidíase.

A natureza tem uma grande capacidade de recuperação e os seus recursos são suficientes para proporcionar ao homem uma aceitável qualidade de vida. Porém, essa capacidade é limitada, e quando um recurso natural é degradado, não tem condições de retornar às suas características originais (MADRONA, 2010).

A água naturalmente disponível, dificilmente é encontrada pura devido a sua grande capacidade de dissolver outras substâncias (especialmente minerais, gases e matéria orgânica), sendo, por isso, conhecida como solvente universal. Suas características, alteradas durante o ciclo hidrológico por agentes naturais ou antrópicos, definirá a necessidade ou não de tratamento e o tipo de tratamento mais adequado a que deve ser submetida para fins de abastecimento (ARAÚJO, 2006).

### 3.2. TRATEMENTO DA ÁGUA BRUTA

A água bruta, como é encontrada no curso d'água, na maioria das vezes necessita ser submetida a algum tipo de tratamento para enquadrar-se dentro dos padrões de potabilidade em suas características físicas, químicas e microbiológicas, de forma que não ofereça risco à saúde humana (ARAÚJO, 2006).

Os padrões de potabilidade da água para consumo humano é estabelecido pela Portaria 518/2004 Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), e os responsáveis pela obtenção de água de boa qualidade dentro dos padrões exigidos pela norma são as estações de tratamento de água (ETA's).

A água bruta, coletada para tratamento pelas ETA's, apresenta uma série de características que podem ser modificada conforme a região e as condições em que é feita a captação. No entanto, as impurezas nela contidas se encontram em duas principais formas: em suspensão ou dissolvidas (FRANCO, 2009).

De acordo com MEDEIROS-FILHO (2006), o tratamento de água deve seguir uma série de processos que melhorem suas características sensoriais, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que a água se torne adequada ao consumo humano, eliminando qualquer impureza que possa ser prejudicial e nociva à saúde.

As estações de tratamento de água, como em qualquer indústria na qual uma dada matéria-prima é transformada em um produto final, possuem operações e processos unitários para a transformação da água bruta em água potável, como consequência desse processo há a geração de resíduos em algumas etapas do processo (RIBEIRO, 2007).

De acordo com GUERRA (2005) o desenvolvimento urbano envolve duas atividades conflitantes: a degradação dos mananciais por contaminação (devido a falta de tratamento adequado dos resíduos gerados e disposição final apropriada), e o aumento da demanda de água com qualidade. Desta forma, o aumento da demanda de água potável, leva a um maior volume de captação e tratamento cada vez mais rigoroso. Contudo, devido à péssima qualidade dos mananciais, maior quantidade de produtos químicos são necessários para se efetuar o tratamento da água para abastecimento público, deixando o processo mais caro e gerando maior quantidade de resíduos.

O tratamento completo é a tecnologia mais usada nas ETA's brasileiras, sendo normalmente chamado de tratamento convencional (DI BERNARDO, 1993 *apud* FRANCO, 2009).

Segundo FRANCO (2009), os métodos de tratamento empregados, nesta tecnologia, compreendem as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção, para isso utiliza-se uma série de produtos químicos.

### **3.2.1. Coagulação**

O termo “coagulação”, deriva da palavra latina *coagulare*, que significa juntar. A coagulação consiste basicamente na introdução de um produto no meio líquido capaz de

anular as cargas, normalmente eletronegativas, dos colóides presentes, de forma a formar uma partícula de tamanho maior com maior tendência a sedimentar (GIRARDI, 2009).

Segundo DI BERNARDO E DANTAS (2005) *apud* FRANCO (2009) a coagulação é aplicada para a remoção de substâncias em suspensão ou coloidal. As partículas coloidais não sedimentam e não podem ser retiradas por processos de tratamento físicos convencionais. Os colóides possuem propriedades elétricas que criam uma força de repulsão que impede a aglomeração e a sedimentação. Se por acaso suas características não forem alteradas, continuam no meio líquido. Para que as impurezas sejam removidas, é necessário alterar algumas características por meio da coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

O processo de coagulação em uma ETA ocorre na unidade de mistura rápida, cujos parâmetros de projeto são o gradiente de velocidade e o tempo de mistura. A coagulação normalmente é realizada com sais de alumínio ou de ferro como coagulante primário e, eventualmente, polímeros. Este processo é consequência de dois fenômenos: o primeiro é químico e resulta das reações do coagulante com a água, o que leva a formação de espécies hidrolisadas com carga positiva; o segundo é físico e consiste em transportar as espécies hidrolisadas formadas, de forma que elas entrem em contato com as impurezas presentes na água, unindo-as para que sejam removidas nas etapas seguintes do tratamento. Essas impurezas, geralmente apresentam carga superficial negativa, que se repelem e tendem a permanecer no meio, se suas características não forem alteradas (ARAÚJO, 2006).

O objetivo do processo de mistura rápida é garantir uma coagulação completa e homogênea. Para que ocorra a distribuição uniforme do coagulante na água, é necessário agitação intensa, proporcionando o contato com as partículas suspensas antes que a reação esteja completa. Os coagulantes sofrem hidrólise e começam a polimerização assim que adicionados à água (HUDSON E WOLFNER, 1967 *apud* GUERRA, 2005).

Segundo FRANCO (2009) muitas são os fatores que influenciam diretamente o processo de coagulação, os predominantes são a dosagem de coagulantes, propriedades da água e pH. As características dos mananciais costumam variar muito, já que são alvos comuns da degradação resultante do descarte de esgotos e outros agentes poluidores. Com isso o tratamento se torna mais complexo, exigindo uma flexibilidade operacional maior, a fim de atender as ocasionais variações da qualidade da água.

A coagulação pode ocorrer por quatro mecanismos: compressão da camada difusa, adsorção-neutralização de carga, varredura e adsorção-formação de pontes. A definição do mecanismo de coagulação predominante depende da dosagem do coagulante, do pH de

coagulação e características químicas da água bruta. Em sistemas de tratamento de água que possuem unidades de decantação, o mecanismo que predomina é o de varredura, pois este mecanismo permite a formação de flocos maiores, facilitando sua sedimentação, esse tipo de processo utiliza altas dosagens de coagulantes, os normalmente utilizados são os sais de alumínio e ferro, formando precipitado de hidróxido de alumínio ou de ferro (DI BERNARDO, 2003 *apud* ARAÚJO, 2006).

Um dos primeiros processos utilizados para tratamento da água bruta coletada, na entrada de água bruta de uma ETA, é a coagulação química. Logo tornam-se imprescindíveis estudos mais aprofundados sobre os diversos tipos de coagulantes, devido a importância desse processo para o tratamento (CARVALHO, 2008).

#### 3.2.1.1. Coagulantes

Atualmente os coagulantes mais utilizados no processo de tratamento de água são os coagulantes químicos (sais de alumínio e ferro), por terem um custo baixo e capacidade coagulante já comprovada (MADRONA, 2010). Mas devido a leis cada vez mais rígidas, tem se buscado um coagulante natural que possa substituir ou auxiliar os coagulantes químicos no processo de produção de água potável. Os coagulantes naturais vêm sendo intensamente estudados de forma que os produtos potencialmente perigosos possam ser substituídos com vantagem.

O uso de coagulantes naturais tem demonstrado algumas vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

O homem tem procurado nos recursos naturais um coagulante natural para o tratamento da água bruta, que seja biodegradável, que apresente baixa toxicidade e seja de uso simples, barato e de fácil obtenção e aplicação. Segundo MOTA E PATERNIANI (2004) *apud* RIBEIRO (2007), alguns coagulantes têm sido estudados como coagulantes naturais, podendo se tornar uma alternativa viável para substituição dos sais metálicos, entre os materiais naturais que têm propriedades coagulantes pode-se citar a semente de Moringa, milho, substâncias da casca de caranguejo e taninos vegetais. Até o momento os coagulantes químicos (sais metálicos) aparecem como coagulantes superiores, e os coagulantes naturais

têm sido recomendados para serem utilizados em conjunto com coagulantes químicos, de forma a auxiliar no processo de coagulação.

O uso de coagulantes naturais é uma opção no tratamento de água para pequenas comunidades, pois podem ser artesanalmente preparados e proporcionam redução dos riscos trazidos pela água contaminada. As sementes da árvore da espécie *Moringa oleifera* têm se demonstrado eficiente nesta operação, pois elas apresentam ação coagulante, responsável pela agregação de partículas e microorganismos que podem ser mais facilmente removidos numa etapa posterior, além de proporcionar benefícios para a alimentação humana, com propriedades no combate à anemia, e propriedades para produção de sabão e cosméticos (FRANCO, 2010).

Comparada com os coagulante de sais de alumínio, as sementes de *M. oleifera* não alteraram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão (GALLÃO; DAMASCENO E BRITO, 2006).

De acordo com BORBA (2001) os coagulantes de origem orgânico-naturais conhecidos universalmente como polieletrólitos são representados por compostos constituídos de grandes cadeias moleculares, dotados de sítios com cargas positivas ou negativas.

Ainda segundo BORBA (2001) os polímeros sintéticos, assim como os naturais (amidos em geral), têm sido usados como auxiliar de coagulação/floculação, com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, a resistência dos flocos contra as forças de cisalhamento que podem ocorrer com a veiculação da água após a floculação e propiciar a diminuição da dosagem do coagulante primário. Por outro lado, a presença de um polieletrólito orgânico, natural ou sintético na água, pode aumentar seu teor de matéria orgânica ou inorgânica e causar problemas como o aparecimento de sabores desagradáveis e substâncias mal cheirosas, caso essa matéria orgânica não seja eliminada durante as fases da coagulação/floculação, sedimentação e desinfecção com cloro gasoso ou produto similar.

### **Coagulante químico – Policloreto de Alumínio (PCA)**

O Policloreto de Alumínio (PAC) é um coagulante inorgânico, catiônico e pré-polimerizado. Esse coagulante possui cadeias de polímeros pré-formadas, exibindo uma alta concentração de carga catiônica na unidade polimérica. A velocidade de formação dos flocos

é superior aos coagulantes tradicionais, não pré-polimerizados, garantindo aos flocos maior peso e conseqüente precipitação mais rápida e eficiente (CARDOSO, 2006 *apud* TARTARI, 2008).

Segundo PAVANELLI (2001) E SCHOENHALS (2006), o hidroxicloreto de alumínio é um sal de alumínio prepolimerizado, de fórmula bruta  $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$ . Em função da basicidade, o hidroxicloreto de alumínio em igualdade de dosagem de íons metálicos, durante a hidrólise, libera uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que o cloreto de alumínio e dos coagulantes tradicionais como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Fazendo com que ocorra uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original.

O policloreto de alumínio, na maioria das vezes, mostra-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia, em média, é 2,5 vezes superior com a mesma dosagem ao íon  $Al^{3+}$  a dos outros sais de alumínio comumente utilizados (PAVANELLI, 2001).

Devido ao seu estado prepolimerizado e à característica de sua estrutura molecular condensada com pontes de oxigênio entre os átomos de alumínio, o hidroxicloreto de alumínio apresenta vantagens na floculação em relação aos demais coagulantes inorgânicos não prepolimerizados, principalmente pela maior concentração do elemento ativo ( $Al_2O_3$ ). O hidroxicloreto de alumínio, polímero mineral de peso molecular elevado, é produzido em alguns países e é conhecido como PAC (*Poly Aluminium Chloride*) (PAVANELLI, 2001; SCHOENHALS, 2006).

Segundo SRIVASTAVA; MALL E MISHRA (2005) o PCA, que é um polímero inorgânico, tem mostrado um melhor desempenho em relação aos outros coagulantes, em termos de remoção de cor, turbidez, entre outros. O tratamento com PCA requer o uso de uma menor quantidade, levando a geração de um menor volume de lodo do que a obtida com outros coagulantes.

Os benefícios do uso do PCA para o tratamento de água são o baixo custo; forma líquida, permite fácil manuseio, estocagem e aplicação; é efetivo em uma larga faixa de pH; forma flocos grandes rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação; remove eficientemente a carga orgânica/inorgânica do líquido a ser tratado (STALGE SUNRISE, 2011).

## Coagulante natural – Moringa

A *Moringa oleifera* Lam, é uma planta originária da Índia, que já se espalhou por todo mundo, especialmente nos países tropicais, como o Brasil. Na região do Nordeste brasileiro a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é Quiabo de Quina (FRANCO, 2010).

A *Moringa oleifera* Lam pertence à família *Moringaceae*, que possui apenas um gênero (Moringa) e 14 espécies. É uma árvore de pequeno porte, de crescimento rápido, que se adapta a uma ampla faixa de solo e é tolerante à seca (CARDOSO et. al., 2008).

Segundo DALLA ROSA (1993), a moringa adapta-se a uma ampla faixa de solos, porém se desenvolve melhor em terra bem drenada ou em terra argilosa, preferindo um solo neutro a levemente ácido.

Essa espécie de *Moringa oleifera* pode ser propagada através de sementes, mudas e estacas, cresce rapidamente e pode frutificar no seu primeiro ano de vida. Seu crescimento é extremamente rápido, podendo alcançar 4 metros em um ano, atingindo alturas de 6-15 metros. Seu desenvolvimento ocorre em clima quente e semi-árido tropicais em temperaturas na faixa de 25-35 °C, podendo suportar até 48 °C por períodos limitados. Pode se desenvolver em solos argilosos, mas não com excesso de água (PRICE & DAVIS, 2000 apud FRANCO, 2010).

As folhas da Moringa contêm um alto conteúdo de proteína, em torno de 27% e são ricas em vitaminas A e C, fósforo, cálcio, ferro (MADRONA, 2010).

O composto encontrado em maior quantidade nas sementes de moringa é a proteína, aproximadamente 40%. A proteína das sementes de moringa é o composto de maior importância no processo de clarificação da água (GALLÃO; DAMASCENO E BRITO, 2006).

Segundo DALLA ROSA (1993), a moringa é uma planta de múltiplos usos, pode ser usada na alimentação humana e animal, pois suas folhas são ricas em proteínas, vitaminas A e C, os seus frutos, folhas e flores contêm de 5 a 10% de proteína e suas sementes contêm cerca de 35% de óleo, as sementes também são frequentemente usadas para purificar água bruta, ainda varias partes da moringa é utilizada para uso medicinal.

Ultimamente, a cultura da moringa vem sendo difundida em todo o semi-árido nordestino, devido a sua utilização no tratamento de água para uso doméstico (GALLÃO; DAMASCENO E BRITO, 2006).

As vantagens do uso das sementes de *Moringa oleifera* comparadas com os coagulantes químicos convencionais, para o tratamento da água, são: não afetar o pH do meio; não necessitar de ajustes de pH e alcalinidade; não causar problemas de corrosão; ser de fácil acesso e produzir um baixo volume de lodo que tem a vantagem de ser biodegradável (GHEBREMICHAEL et. al., 2005). Por isso pode-se apresentar como uma alternativa viável para substituição dos sais de alumínio para o tratamento da água bruta.

As descobertas do uso de sementes trituradas de *Moringa oleifera* para o tratamento de água, constituem uma alternativa de mais alta importância. Pois tem sido relatado em literatura, em relação à remoção de bactérias, reduções na ordem de 90-99% (MUYIBI & EVISON, 1995a *apud* PATERNIANI, MANTOVANI E SANT' ANNA, 2009).

Segundo MADRONA (2010) os coagulantes naturais apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, pois são biodegradáveis, não tóxicos e ainda produzem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais. Nesta situação, encontra-se a semente de *Moringa oleifera* Lam, a qual possui um composto ativo que atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação.

Em países tropicais em desenvolvimento, a clarificação de águas turvas de rios, com o uso de materiais naturais que atuam como agentes coagulantes é uma prática doméstica antiga. Um destes coagulantes naturais usados é a semente da árvore *Moringa oleifera*, a qual contém agentes ativos com excelente atividade e propriedades coagulantes. O extrato das sementes tem sido mencionado por diminuir drasticamente o lodo e a quantidade de bactérias em águas residuais (MUYIBI e EVISON, 1995 *apud* MADRONA, 2010).

Segundo DAVINO (1976) *apud* MADRONA (2010), o mecanismo de coagulação/floculação é provocado pela proteína existente na semente da *Moringa oleifera* lam, e é parecido ao mecanismo provocado por polieletrólitos.

Quando a coagulação/floculação é realizada com a utilização de polieletrólitos, acredita-se que o processo pode ocorrer sem o acontecimento de reação química, não havendo o processo de neutralização entre o coagulante e a água, para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes químicos, derivados de sais de alumínio e ferro. Isto ocorre devido ao fato dos polieletrólitos já serem constituídos de complexos dotados de grandes

cadeias moleculares, que apresentam pontos (sítios) com cargas positivas ou negativas, que têm grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Por essa razão, a coagulação/floculação com a utilização de polieletrólitos, praticamente, independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH (entre 4 e 12) (BORBA, 2001).

As Figuras 1, 2 e 3 mostram fotos da árvore, da vagem e sementes de *Moringa Oleifera* lam, respectivamente.



**Figura 1** – Fotografia da árvore de *Moringa Oleifera* lam.

Fonte: MADRONA (2010)



**Figura 2** – Fotografia das vagens de *Moringa Oleifera* lam.

Fonte: MADRONA (2010).



**Figura 3** – Fotografia das sementes de *Moringa Oleifera* lam com casca e sem casca, respectivamente.

### 3.2.2. Flocculação

Segundo GIRARDI (2009), a flocculação deriva do verbo latino *floculare*, que significa formar um flóculo ou um aglomerado de partículas. Esta etapa de aglomeração das partículas é efetuada com o auxílio de um processo mecânico que produz agitação no meio, os contatos provocados permitem que os flocos aumentem em tamanho e densidade, tornando-os mais fáceis de sedimentarem.

A flocculação ocorre em seguida à coagulação, e consiste em uma agitação lenta da água para que ocorram choques entre as impurezas, se aglomerando formando partículas maiores (flocos), podendo ser removidas mais facilmente, por meio de sedimentação (RIBEIRO, 2007).

Sob o ponto de vista operacional, a diferença básica entre a coagulação e a flocculação está no tempo em que cada uma ocorre e na diferença do valor adotado no gradiente hidráulico. Enquanto a coagulação ocorre na unidade de mistura rápida em um curto espaço de tempo, a flocculação exige um sistema onde a velocidade de agitação é consideravelmente menor e o tempo de agitação maior, dessa forma a agregação das partículas se efetiva, possibilitando a formação dos flocos (DI BERNARDO E DANTAS, 2005; RICHTER E NETTO, 1991) CITAR REFERÊNCIAS.

Segundo PAULA (2004) *apud* CARVALHO (2008), a formação dos flocos pode ocorrer de modo espontâneo, devido aos sucessivos choques entre as várias partículas em suspensão presentes, desde que o sistema possua energia disponível para tal, decorrente da agitação do sistema. Entretanto, uma agitação muito forte pode fazer com que os flocos formados se desagreguem espontaneamente.

A agitação lenta permite a ocorrência de muitas colisões entre as partículas desestabilizadas, assim, forças de adesão e coesão irão resultar na aglomeração destas, formando os flocos. O aumento do tamanho das partículas possibilitará uma sedimentação rápida (GUERRA, 2005).

### **3.2.3. Decantação**

A sedimentação, com a prévia coagulação e floculação, é um método de clarificação usado na maioria das estações de tratamento de água, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros.

Após o processo de floculação, espera-se que praticamente toda matéria em suspensão existente na água bruta tenha se aglutinado, formando os flocos, de preferência em tamanho e peso suficientes para que possam ser separados da água em tratamento através da decantação (ARAÚJO, 2006).

De acordo com RIBEIRO (2007), a sedimentação das partículas suspensas propiciam a clarificação do meio líquido, com a separação das fases líquida e sólida, que ocorre nos decantadores. A sedimentação é o fenômeno físico em que os flocos (partículas em suspensão) apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica devido a ação da gravidade, que se deposita no fundo do decantador formando uma camada de lodo, que é removida periodicamente.

### **3.2.4. Filtração**

Normalmente, apenas por meio do uso da coagulação/floculação e decantação não é possível se obter água totalmente clarificada, sendo necessário então, o uso da filtração. Esta consiste na remoção de partículas suspensas, coloidais e de microrganismos presentes na água, que passam através de um meio granular (CARVALHO, 2008).

Os processos de coagulação, floculação e decantação, que normalmente antecedem a filtração, são responsáveis pela retirada da maior parte da matéria em suspensão presente na água bruta, sendo os filtros responsáveis pela remoção das partículas coaguladas que não sedimentaram nos decantadores, das partículas coloidais e dos microrganismos presentes na água (GUERRA, 2005).

Segundo RIBEIRO (2007), após a decantação a água passa pelo processo de filtração, que é a operação final de retirada de impurezas em uma ETA, que consiste na remoção dos microrganismos, partículas suspensas e coloidais presentes na água. Este método consiste na passagem da água através de um meio filtrante, que pode conter uma camada simples ou dupla de areia e carvão antracito sobre uma camada suporte de pedregulhos. Esta etapa é a responsável pela produção de água com qualidade condizente com os padrões de potabilidade.

### **3.2.5. Desinfecção**

A desinfecção é a etapa responsável pela redução dos microrganismos patogênicos da água, visando obter os padrões de potabilidade e a preservação da saúde dos consumidores. Normalmente o cloro é o agente bactericida mais usado para eliminação dos microrganismos presentes, através da reação de oxidação que se processa sobre a matéria orgânica (FRANCO, 2009).

Grande parte dos microrganismos patogênicos é removida da água em tratamento pela decantação e filtração. Entretanto, alguns deles poderão estar presentes na água filtrada e, se não forem eliminados, podem ocasionar surtos de doenças e causar sérias epidemias. (ARAÚJO, 2006).

### 3.3. LODO

As estações de tratamento de água, até então projetadas e instaladas no Brasil, em sua grande maioria possuem foco apenas na qualidade do produto final distribuído à população (água potável), porém é necessária uma preocupação em relação aos resíduos gerados nas operações do tratamento da água (RIBEIRO, 2007).

Por outro lado, de acordo com PORTELLA et. al. (2003), a qualidade da água bruta está piorando e é necessária uma maior concentração de produtos químicos aplicados no seu tratamento. Como consequência, há um significativo aumento nos resíduos ou lodo, provenientes das estações de tratamento de água (ETA), os quais são gerados principalmente nos decantadores.

De acordo com BARROSO E CORDEIRO (2001), como em todo processo industrial de transformação da matéria prima, inevitavelmente, há geração de resíduos, no caso da produção de água potável os resíduos gerados são os lodos dos decantadores, água de lavagem dos filtros e água de lavagem da casa de química. Estes resíduos, muitas vezes são tóxicos ao homem e ao meio ambiente devido à presença de metais. No entanto somente nos últimos anos o tratamento e disposição final desses resíduos de ETA's, têm recebido a devida atenção.

Os principais tipos de resíduos gerados em uma ETA convencional são: a água de lavagem dos filtros, que em algumas ETA's recebe tratamento e destinação apropriado, normalmente este resíduo é reaproveitado, gerando uma economia, tornando esta alternativa viável e difundida; outro resíduo gerado em grande quantidade é o lodo que fica retido nos decantadores, o tratamento e disposição final deste resíduo ainda gera grandes problemas ambientais, pois ainda está em busca de uma solução definitiva (RIBEIRO, 2007).

#### 3.3.1. Definição

Segundo ABNT NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos são definidos como: “Resíduos nos estados sólido ou semi-sólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os **lodos provenientes de tratamento de água**, aqueles gerados em equipamentos e instalações

de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Segundo a ABNT NBR 10004 o lodo proveniente do tratamento de água é classificado como um resíduo sólido, portando deve ser tratado e disposto conforme estabelecido por órgãos regulamentadores. De acordo com PORTELLA et. al. (2003), há algum tempo, o destino final dos lodos de ETAs vinha sendo os cursos d'água, entretanto, a crescente população e a regulamentação têm limitado ou proibido essa disposição final. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente.

ALBRECHT (1972) *apud* FRANCO (2009) afirma que o lodo proveniente dos decantadores das ETAs pode ser considerado uma substância não newtoniana, gelatinosa e extremamente compressível.

### 3.3.2. Caracterização

No Brasil existem cerca de 7500 ETA's de ciclo convencional, que geram em média mais de 2000 toneladas por dia de lodos provenientes dos decantadores, e que quase 100% deste resíduo é lançado no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento, logo é de extrema importância o controle sobre a disposição destes resíduos de forma a minimizar os impactos ambientais (CORDEIRO, 2002).

De acordo com ARAÚJO (2006), nas ETA's que utilizam o processo convencional de tratamento, pode-se destacar como pontos geradores de resíduos a água de lavagem dos filtros, o lodo dos decantadores e a água de limpeza dos tanques de produtos químicos, sendo os decantadores os responsáveis pela maior produção de lodo.

FERREIRA FILHO (1997) *apud* ARAÚJO (2006) diz que em termos mássicos a maior quantidade de lodo produzido provém dos decantadores. Porém em termos volumétricos, a maior quantidade de resíduo gerado é proveniente da lavagem dos filtros.

Dependendo da natureza físico-química da água bruta, da eficiência hidráulica das unidades de processo, e do tipo de coagulante aplicado, entre 60 a 95% do lodo gerado é acumulado nos tanques de decantação e o restante nos filtros. (CARVALHO, 2008)

A quantidade de lodo gerado depende principalmente da qualidade físico-química das águas bruta e tratada e dos tipos coagulantes e produtos utilizados no processo de tratamento. Logo, o volume de lodo gerado é diretamente proporcional à dosagem de coagulante usado no processo, o qual varia entre 0,2 e 5% do volume total de água tratada pela ETA (RICHTER, 2001 *apud* HOPPEN et. al., 2006).

De acordo com WEBER E TORRES (2007), o lodo oriundo dos decantadores das ETAs é essencialmente líquido e possui um teor de matéria seca variando de 0,004 à 4,0 %, representando um valor entre 0,2 a 5,0 % do volume tratado de água.

Segundo REALLI (1999) a quantidade e características dos lodos gerados em estações de tratamento de água convencional variam expressivamente em função da qualidade da água bruta (características dos mananciais) e do tipo e quantidade dos produtos químicos utilizados no processo de coagulação dessa água. Além disso, deve-se considerar que um mesmo manancial (principalmente rios) pode apresentar variações sazonais significativas da água bruta, como, por exemplo, mudanças de turbidez, as quais exercem uma grande influencia não só na qualidade como nas características do lodo formado no sistema de tratamento de água.

O lodo das estações de tratamento de água é essencialmente o produto da coagulação da água bruta. Assim sendo, tem uma composição aproximada daquela, adicionado dos produtos resultantes do coagulante utilizado, principalmente hidróxidos de alumínio ou de ferro. Dessa forma, as características do lodo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e dos produtos químicos aplicados (CARVALHO, 2008).

A composição de lodo nas estações de tratamento de água é determinada principalmente pela geologia, hidrologia da bacia do rio, as atividades humanas realizadas nas bacias hidrográficas e produtos químicos utilizados no processo de purificação. Conseqüentemente os resíduos produzidos a partir de processos de purificação de água pode conter altas concentrações dessas impurezas retiradas pela processos de purificação (UWIMANA, 2010).

O lodo gerado nos decantadores das estações de tratamento de água possuem em sua composição, materiais orgânicos em solução ou suspensão, materiais inertes como argila e areia, microrganismos variados e constituintes resultantes dos compostos químicos aplicados no processo como por exemplo, sais de alumínio ou ferro, polieletrólitos e cal, entre outros. Estes constituintes produzem um lodo com alto teor de umidade (AWWA, 1969a *apud* GUERRA, 2005).

De acordo com GRANDIN et. al. (1993) *apud* RIBEIRO (2007), os resíduos presentes na água bruta são orgânicos e inorgânicos, tais como bactérias, vírus, alga, partículas orgânicas em suspensão, colóides, argilas, areia, siltes, além de outros compostos como o cálcio, ferro, magnésio, manganês, etc.

Na maioria das vezes, esses resíduos apresentam baixa biodegradabilidade, alta concentração de sólidos totais, agentes patogênicos e metais pesados que podem causar toxicidade à vida aquática (BARBOSA, 2000).

Segundo ALBRECHT (1972) *apud* GUERRA (2005), os lodos de ETA geralmente apresentam conteúdo de sólidos da ordem de 3.000 a 15.000 mg/L. Os sólidos suspensos representam de 75% a 90% dos sólidos totais, enquanto os sólidos voláteis totais representam de 20 a 35%. O nível de DBO geralmente é da ordem de 30 a 100 mgO<sub>2</sub>/L, e a DQO, de 500 a 10.000 mgO<sub>2</sub>/L.

O lodo formado a partir da utilização do sulfato de alumínio como coagulante é caracterizado como sendo uma suspensão não newtoniana, gelatinosa, cuja fração de sólidos, é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides de cor e outros resíduos orgânicos, inclusive bactérias e outros organismos que são removidos no processo de coagulação. Em geral, o conteúdo de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 à 40.000 mg/l (0,1 a 4%) e na água de lavagem de filtros entre 40 à 1.000 mg/l (0,004 a 0,1%). Normalmente, entre 75 à 90% destes valores representam sólidos suspensos e 20 à 35% compostos voláteis (RICHTER, 2001 *apud* TARTARI, 2008).

Na Tabela 1, apresenta-se um resumo de alguns parâmetros registrados na bibliografia consultada sobre as características do lodo (CORDEIRO, 1999). Observando a tabela pode-se verificar que os valores dos parâmetros mostram-se bem variáveis de uma ETA para outra, evidenciando a diversidade das características.

O lodo gerado em uma ETA tem suas características específicas, que pode diferir de qualquer outra ETA, as características dos lodos em uma mesma ETA pode ocorrer variações durante o ano conforme o índice de chuva, de acordo com o clima, ou despejos indevidos de resíduos nos mananciais de captação, e outros.

**Tabela 1** – Características dos lodos de ETAs.

<b>Autor/Ano</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>ST (mg/L)</b>	<b>SV %ST</b>	<b>SS %ST</b>
Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15000	6,0 a 7,6	1100 a 16000	20% a 30%	-
Southerland (1969)	100 a 232	667 a 1100	7,0	4300 a 14000	25%	80%
Bugg (1970)	380	1162 a 15800	6,5 a 6,7	4380 a 28580	20%	-
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10000	5,0 a 7,0	3000 a 15000	20%	75%
Culp (1974)	40 a 150	340 a 5000	7,0	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2300	-	10000	30%	-
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5150	6,5	81575	20,7%	-
Vidal (1990)	449	3487	6,0 a 7,4	21972	15,%	-
Vidal (1990)	173	1776	6,7 a 7,1	6300	73%	-
Cordeiro (1993)	-	5600	6,4	30275	26,3%	-
Patrizzo (1998)	-	-	5,55	6112	19%	-
Patrizzo (1998)	-	-	6,8	6281	-	-

Fonte: CORDEIRO (1999)

### 3.3.3. Impacto ambiental

A geração e disposição final de resíduos produzidos pelas atividades humanas, quando são dispostos de maneira indevida, torna-se uma preocupação constante em vista dos efeitos negativos proporcionados ao meio ambiente. O manejo inadequado dos resíduos sólidos contribui de forma acentuada para o agravamento dos problemas ambientais, e constitui uma atividade potencialmente poluidora do ar, solo e das águas superficiais e do subsolo (GUERRA, 2005).

Segundo MACHADO et. al. (2002), ao longo do tempo, os lodos removidos dos decantadores de ETAs foram lançados sem tratamento nos cursos de água, e hoje em dia este fato ainda acontece em muitas ETAs brasileiras. Esses resíduos apresentam alto teor poluente, sendo que os produtos químicos, os microrganismos e o material orgânico presentes no material sedimentado podem causar uma série de danos ao corpo receptor.

Quando há o lançamento de lodos de ETAs no corpo receptor, existe uma grande dificuldade em se generalizar os impactos que podem ser causado, pois dependem de fatores como características físicas, químicas e biológicas das águas brutas (AWWA, 1996 *apud* RIBEIRO, 2007).

Os resíduos de ETAs são potencialmente tóxicos para plantas, seres humanos e organismos aquáticos. O potencial tóxico varia com as reações sofridas durante o processo de tratamento, forma e tempo de retenção do lodo nos decantadores, as características físicas, químicas e biológicas do curso d'água receptor das descargas de ETAs, e a adição de metais presentes na composição e nas impurezas dos coagulantes primários e em outros produtos químicos empregados no tratamento da água (CORDEIRO, 1999 E BARROSO E CORDEIRO, 2001).

Se este resíduo for lançado em um curso d'água pode, dependendo das características do mesmo, dispersar rapidamente o resíduo por correntes, ou sedimentar próximo ao local de lançamento provocando inibição da atividade biológica, más condições estéticas (mudanças de cor e turbidez). (RIBEIRO, 2007)

Segundo MACHADO et. al. (2002), uma conseqüência da disposição inadequada dos lodos de ETA é a redução da concentração do oxigênio dissolvido nos mananciais pela decomposição da matéria orgânica contida nesse tipo de resíduo, o que pode tornar o

ambiente anaeróbico, com acúmulo de material no fundo, produção de odores desagradáveis e mortandade de peixes, algas e etc.

Dependendo das características da água bruta, pode-se ter maior ou menor presença de material orgânico ou inorgânico no lodo. A maior parte é de natureza inorgânica, formada por areias, argilas e siltes, e a parte orgânica composta de substâncias húmicas, as quais conferem cor à água, e organismos tais como plâncton, bactérias, vírus, etc (RIBEIRO, 2007).

### 3.3.4. Metais pesados

Quando o coagulante químico utilizado no tratamento da água bruta é um sal de alumínio, os rejeitos (lodos) oriundos deste processo contêm em sua composição uma grande concentração do mesmo. Existem poucos estudos sobre a toxicidade deste elemento, porém vem demonstrando algumas preocupações. (ARAÚJO, 2006).

Segundo BARBOSA (2000), deve-se ainda realizar estudos para uma melhor compreensão dos efeitos negativos do alumínio no ambiente. Os efeitos da disposição inadequada dos lodos de ETAs sobre o meio ambiente são inquestionavelmente negativos, podendo influenciar na atividade biológica, aumentar a concentração de sólido no fundo dos cursos d'água, alterar a cor, turbidez e demanda química de oxigênio, resultando em distúrbios na composição química e biológica da água, além de conter metais como alumínio, ferro e manganês. A toxicidade do alumínio varia com a forma molecular e sua concentração.

SILVA; BIDONE E MARQUES (2000) dizem que o impacto ambiental que ocorre devido a disposição inadequada dos lodos de ETA, ainda não são suficientemente conhecidos. Mas cita algumas pesquisas onde verificou-se a toxicidade do Al em peixes e outros organismos, a capacidade que o Al tem de se acumular em alguns órgãos de animais, inclusive no homem podendo ser o precursor do mal de Alzheimer. Ressalta também que a abundância do Al no mundo dificulta a determinação precisa das conseqüências nocivas desta prática de descarte.

Estudos desenvolvidos por SENGUPTA & SHI (1992) *apud* FRANCO (2009) mostram que ocorreu uma redução drástica na produção de fitoplânctons em áreas afetadas por descarte de lodo, além de constatarem uma diminuição na luminosidade desses locais.

Também abordam estudos onde verificou-se a presença de complexos de alumínio em órgãos de seres aquáticos, indicando que esse material pode-se acumular a longo prazo.

Há evidências de que lesões cerebrais, características do Mal de Alzheimer, podem estar associadas ao alumínio na água para consumo humano proveniente dos sistemas públicos de abastecimento quando esse se encontra em concentrações superior a  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  (BATALHA, 2006).

Segundo GOLDKORN (2005) *apud* MADRONA (2010), alguns estudos mostram que a quantidade de alumínio encontrada no cérebro de portadores do Mal de Alzheimer é assustadoramente alta. O Mal de Alzheimer é uma doença degenerativa do cérebro e é caracterizado por alteração comportamental, insanidade, distúrbio na fala, contração muscular e convulsões.

De acordo com SPINELLI (2001) *apud* CARVALHO (2008) vários estudos mostram que o alumínio é um possível fator patogênico do desenvolvimento da doença de Alzheimer, pois o metal produz uma progressão clínica nos sinais neurológicos (como déficits na memória e alterações elétricas neuronais).

### **3.3.5. Biodegradabilidade do lodo**

Principalmente quando se trata de processos ambientais, o conceito de biodegradabilidade tem várias conotações. O termo biodegradabilidade, geralmente, é usado para representar a tendência ou susceptibilidade de transformação de determinados substratos, substâncias ou compostos pela microbiota ambiental. Estas modificações são catalisadas por enzimas específicas, produzida pela microbiota presente nesse ambiente, capazes de transformar substratos complexos em substratos disponíveis para a assimilação pela microbiota ou biomassa microbiana no lodo. No caso da matéria orgânica, a assimilação pela microbiota ou biomassa depende de um processamento prévio caracterizado como digestão ou biodegradação promovida por enzimas extracelulares específicas (CASSINI et. al., 2003).

Segundo ARAÚJO (2006), alguns íons metálicos podem inibir os processos microbiológicos, incluindo a degradação de compostos orgânicos e comprometer significativamente as taxas de biodegradação. Normalmente a presença dos metais pesados

inibem os microorganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, podendo então, reduzir a capacidade de autodepuração dos corpos d'água.

O alumínio não é biodegradável, por isso pode causar sérios problemas à disposição final e tratamento do lodo gerado (MORAES, 2004). Por esses motivos alguns países como Estados Unidos, Japão e China têm adotado regularmente o uso de coagulantes naturais para o tratamento de água potável (KAWAMURA *et al.*, 1993 *apud* CARVALHO, 2008).

### 3.4. DISPOSIÇÃO FINAL

Hoje em dia não existem leis ambientais no país estabelecendo parâmetros de controle para o tratamento e disposição final dos lodos de ETA. Basicamente devido ao alto custo referente à implementação e operação, os métodos de tratamento e disposição final utilizados em outros países não são adotados no Brasil, de modo que a prática mais freqüentemente adotada é o descarte dos resíduos nos corpos de água (SILVA *et. al.*, 2000).

Devido às exigência dos órgãos ambientais muitas ETAs vêm tentando se adequar às exigências legais, gerando estudos expressivos no sentido de implantar alternativas para redução e disposição desses resíduos. Soluções que contemplem a otimização das dosagens de coagulantes e a redução dos sólidos gerados nos decantadores, que constituem a maior parte resíduos de uma ETA, são indiscutivelmente atrativas já que reduzem os gastos dispensados ao transporte e disposição dos resíduos e minimiza os impactos ao meio ambiente (FRANCO, 2009).

Um dos aspectos mais difíceis do gerenciamento do lodo em estações de tratamento de água tem sido a disposição final dos resíduos sólidos (lodos) proveniente dos decantadores das ETAs (AWWA, 1978b *apud* GUERRA, 2005).

A necessidade de dispor o lodo de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito atual. Os meios mais eficientes de disposição de lodo consistem naqueles de menor custo, que protejam o meio ambiente e mantenham a segurança operacional por longo período. A seleção da melhor opção ambientalmente praticável envolve a consideração de fatores sociais, técnicos e econômicos (RIBEIRO, 2007).

Segundo ARAÚJO (2006), na intenção de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente dos lodos de ETAs e tendo em vista as restrições por parte dos órgãos ambientais

quanto às formas de disposição desses tipos de rejeitos, cresce a busca por alternativas de tratamento e disposição final viáveis do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

De acordo com RICHTER (2001) *apud* RIBEIRO (2007), existem alguns métodos alternativos de disposição final do lodo de ETAs, como o lançamento em lagoas com grande tempo de detenção, em rede coletora, aterros sanitários, aplicação no solo e aproveitamento de subprodutos.

Os métodos de tratamento e de disposição final usados em outros países não são adotados no Brasil essencialmente devido ao alto custo de implantação e operação, de modo que a método mais comumente usado é o descarte dos resíduos nos corpos d'água. Logo, o aterro sanitário ainda se apresenta como uma alternativa viável para o tratamento e a disposição final de lodos de ETAs no Brasil, devido à disponibilidade de áreas economicamente acessíveis nas cidades de pequeno e médio porte. (BIDONE et al., 2001)

O lodo gerado pela lavagem dos decantadores ou pelos mecanismos de remoção contínua é um material com alto teor de água, logo com o intuito de minimizar o custo do tratamento e disposição final é necessário a diminuição do teor de umidade deste resíduo (GUERRA, 2005).

Segundo GIORDANI E ABREU (2005) *apud* ARAÚJO (2006), o principal objetivo do tratamento do lodo é a redução do seu volume, ou seja, diminuição da quantidade de água, devido ao alto teor de umidade, na faixa de 95% a 99%. A desidratação do lodo, além de reduzir seu volume, implicará em outros benefícios como melhores condições de manuseio, obtenção de lodos inodoros e menos putrescíveis e diminuição da quantidade de percolados quando o lodo for disposto em aterro.

Entre os métodos normalmente utilizados para melhorar as condições dos lodos para disposição final, ou seja, reduzir o teor de umidade do resíduo, pode-se citar a desidratação natural em lagoas e leitos de secagem, a desidratação mecânica em centrífugas, filtros a vácuo, filtros-prensa de placas ou esteiras (BIDONE et al., 2001).

Segundo ARAÚJO (2006) as principais vantagens da utilização dos sistemas naturais para reduzir o teor de umidade dos lodos são os baixos custos de implantação, operação e manutenção, facilidade operacional e melhor desempenho ambiental, embora sua eficácia dependa das condições climáticas locais, já os sistemas mecânicos de desidratação exigem maiores investimentos, pois necessitam de equipamentos com altos valores de aquisição, além de consumirem energia elétrica em seu funcionamento.

### 3.4.1. Métodos de secagem

#### 3.4.1.1. Lagoas de secagem de lodo

O método para tratamento dos lodos mais comumente utilizado em ETAs é a disposição em lagoas de secagem. A disposição em lagoas pode ser relativamente econômica, em locais onde terrenos próximos são disponíveis a custos aceitáveis. O principal problema encontrado em muitas lagoas de secagem é o fato do lodo não ser suficientemente desidratado até uma concentração de sólidos que permita sua remoção para um aterro (AWWA, 1969a *apud* GUERRA, 2005).

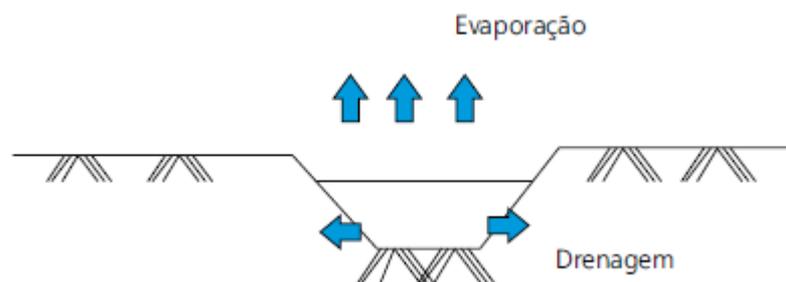
Segundo RIBEIRO (2007) o adensamento, neste processo, ocorre por gravidade e a desidratação se dá por perda de água através da infiltração no solo, e principalmente por evaporação e transpiração. Deve-se retirar constantemente o sobrenadante e, quando a lagoa estiver totalmente completada pelo material sólido, o lodo poderá ser removido e levado para outro destino, transformando a lagoa em um método contínuo de adensamento e desidratação, ou a lagoa poderá ser abandonada, tornando-se uma forma de disposição final.

Os custos operacionais das lagoas de secagem são baixos, mas o tamanho da área necessária é influenciada por alguns fatores como o clima, disposição intermitente ou contínua, percentagem de sólidos no lodo e, a disponibilidade de uma ou mais lagoas alternativas. Geralmente são necessárias pelo menos duas lagoas (AWWA, 1969b *apud* GUERRA, 2005).

Este processo de adensamento e desidratação apresenta algumas desvantagens como, a possibilidade de contaminação do lençol freático (com a infiltração da água para o subsolo principalmente por metais pesados) e também pela probabilidade de formação de crostas na superfície (que impedem a desidratação das camadas inferiores) (RIBEIRO, 2007).

A remoção da água em lagoas de secagem, é um dos métodos que podem ser usados quando há disposição de grandes áreas por preço acessível. Essas lagoas podem ser naturais ou artificiais, construídas por meio de diques ou escavações. O mecanismo de desidratação ocorre em três fases: drenagem, evaporação e transpiração. Experiências tem mostrado que a drenagem é independente da profundidade da lagoa e o principal fator para a desidratação é a evaporação (CORDEIRO, 1999).

A Figura 4 mostra os mecanismos de desidratação do lodo em lagoa de secagem.



**Figura 4** – Mecanismos de desidratação do lodo em lagoa de secagem.  
Fonte: CORDEIRO, 1999.

#### 3.4.1.2. Leitos de secagem

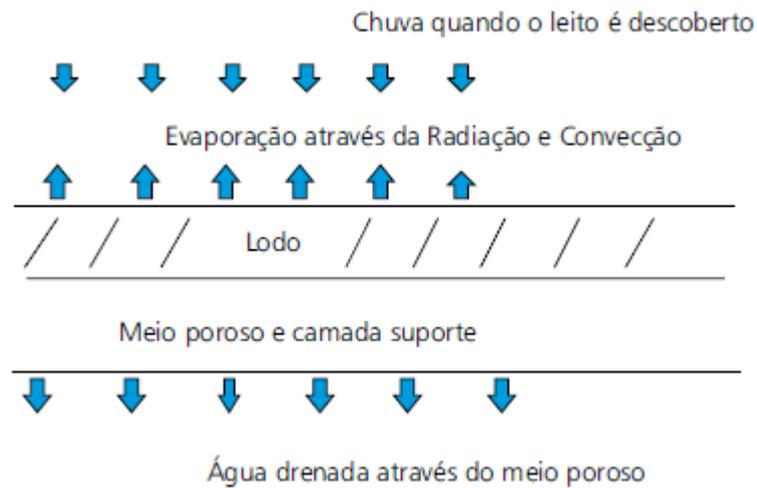
Em regiões onde as condições climáticas mostram-se adequadas e há disponibilidade de área física a utilização de leitos de secagem pode diminuir impactos ambientais, bem como reduzir o volume dos resíduos provenientes da lavagem dos decantadores, possibilitando a reciclagem do sobrenadante na unidade de mistura rápida, minimizando as perdas (CORDEIRO, 1999).

Em locais com elevada precipitação e umidade relativa do ar, as taxas de evaporação serão muito menores, resultando em um tempo de secagem mais longo. Características como a velocidade do vento e a direção predominante das correntes de ar são decisivas no tempo de secagem (CORDEIRO, 1999).

CORDEIRO (1993) *apud* RIBEIRO (2007) ressalta que esta técnica apresenta algumas vantagens como o baixo custo inicial, baixo consumo de energia, pequena necessidade de operação, pouca ou nenhuma necessidade de condicionamento químico, alta concentração de sólidos na torta. E sua desvantagem está na necessidade de uma área maior em relação a equipamentos mecânicos, necessidade de conhecimentos sobre dado climatológicos e trabalho intensivo para remoção do lodo.

A eficiência dos leitos de secagem é afetada por diversos fatores como por exemplo, características físico-químicas do lodo, teor de sólidos, espessura da camada aplicada, tipo de lodo a ser desidratado, condicionamento do lodo, condições climáticas do meio, características e condições do meio de drenagem, entre outros (CORDEIRO, 1999).

A Figura 5 mostra os mecanismos de desidratação do lodo em leito de secagem.



**Figura 5** – Desidratação esquemática em um leito de secagem  
Fonte: CORDEIRO, 1999.

#### 3.4.1.3. Manta geotêxtil

Segundo RIBEIRO (2007) entre as alternativas de tratamento e disposição dos resíduos de ETAs, uma nova tecnologia tem-se destacado visando o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção, que é a utilização de manta geotêxtil. Esta alternativa tem-se tornado satisfatória e eficiente em curtos prazos, devido ao aumento das exigências dos órgãos ambientais acerca da disposição dos resíduos.

A tecnologia de utilização de manta geotêxtil consiste no envio e armazenamento do lodo dos decantadores em unidades de geotêxtil de polipropileno de alta resistência, colocadas na própria área da ETA, exercendo assim o processo de drenagem dos líquidos e retenção da massa de sólidos presentes no lodo. As principais vantagens deste processo são a retenção efetiva da fração sólida do resíduo e a eficiente filtração dos líquidos efluentes (RIBEIRO, 2007).

### 3.4.2. Alternativas de disposição final

#### 3.4.2.1. Lançamento direto em águas superficiais

Segundo RIBEIRO (2007), o lançamento dos resíduos (lodos) gerados em ETAs em cursos d'água tem sido uma prática comum usada para destinar este resíduo, pois é o método de disposição final mais econômico, porém pode causar grandes problemas quanto ao grau de poluição.

#### 3.4.2.2. Disposição em aterro sanitário

Atualmente, a disposição de resíduos de ETAs em aterros sanitários, é uma das principais formas de disposição final dos lodos, pois a princípio é a solução mais simples e direta para a disposição adequada dos lodos, não causando impactos negativos ao meio ambiente (RIBEIRO, 2007).

GIORDANI E ABREU (2005) *apud* ARAÚJO (2006) dizem que para a disposição em aterros, é necessário um teor de sólidos no lodo superior a 25%, pois teores inferiores não dão capacidade suporte. Logo, para dispor o lodo de ETA em um aterro sanitário é necessário realizar uma prévia desidratação do mesmo, para que a concentração de sólidos aumente.

Os aterros podem produzir líquidos percolados devido ao excesso de água nos próprios resíduos ou à infiltração da água da chuva, devendo ser feita a drenagem adequada destes líquidos para evitar a contaminação, por metais pesados ou contaminantes orgânicos, tanto nas águas superficiais como subterrâneas (FRANCO, 2009).

A disposição final do lodo de ETA em aterros sanitários está condicionada as exigências legais por parte do órgão ambiental competente.

### 3.4.2.3. Disposição controlada em certos tipos de solo

A disposição controlada em certos tipos de solo requer que o lodo não seja considerado um resíduo perigoso e em meio as opções empregadas encontramos: uso na agricultura, uso em silvicultura, recuperação de áreas deterioradas e disposição em áreas especiais (ARAÚJO, 2006).

Segundo RIBEIRO (2007), a disposição final de resíduos de ETAs no solo é uma alternativa pouco divulgada, neste caso, nem todo tipo de lodo poderia ser utilizado, devido a seus compostos que poderiam ser prejudiciais ao invés de benéficos.

Lodos provenientes do tratamento de água com coagulantes metálicos têm a capacidade de colmatar o solo, impedindo assim a infiltração. Alguns estudos mostram a porcentagem adequada para uma disposição dos resíduos sem que ocorra este tipo de problema. Embora seja um método muito econômico, restrições devem ser feitas com relação à concentração de certos metais e à possível contaminação que podem causar. Portanto, deve-se fazer um controle rigoroso da poluição (FRANCO, 2009).

De acordo com ELLIOTT (1990) *apud* RIBEIRO (2007), os resíduos de ETAs têm comportamento semelhante a de solo de fina textura, e que o consequência mais séria desta aplicação é a redução da capacidade das plantas em utilizar fósforo, logo para a recuperação da fertilidade da área, deve-se portanto aplicar quantidades moderadas de fertilizantes à base de fósforo.

Segundo RIBEIRO (2007), pode-se citar alguns benefícios associados à adição de lodos em solos agrícolas como: aumento da capacidade de retenção de água; melhoria estrutural; melhoria nas condições de aeração do solo e ajuste de pH (quando os lodos tinham significativa concentração de cal).

### 3.4.2.4. Descarga do lodo de ETA em ETE

Neste método de disposição final, os resíduos de ETA's lançados na rede coletora de esgoto sanitário seriam tratados e dispostos juntamente com os esgotos, esta prática não

resolve o problema, apenas o transfere, podendo gerar problemas nos sistemas de tratamento das ETE's (RIBEIRO, 2007).

O responsável pela ETE deve avaliar atenciosamente alguns fatores como impacto do lodo de ETA no sistema de transporte (coletores, estações elevatórias, tubulações de recalque, abrasão e corrosão); impacto dos resíduos tanto no processo de tratamento líquido, quanto no processo de tratamento dos sólidos da ETE; a biotoxicidade tanto na ETE quanto nos seus resíduos finais (ARAÚJO, 2006).

Devido às suas características, a maior parte dos resíduos produzidos pelas ETA, será removido pelos decantadores primários das ETE's e, portanto encaminhados aos digestores de lodo, anaeróbio ou aeróbio. Deste modo, os resíduos de ETA's podem causar interferências na eficiência destas unidades em razão da sua toxicidade nos digestores de lodo, seja pelo aumento ou diminuição dos valores de diversos parâmetros, tais como turbidez, cor, SST e DQO no efluente final (FRANCO, 2009).

Porém segundo AWWA (1969a) *apud* GUERRA (2005), quando o lodo de ETA é lançado no sistema de esgoto não compromete a atividade biológica das ETE's operando sistemas de lodos ativados. Se o lodo de ETA's é lançado para a rede coletora de esgoto na quantidade em que é produzido, as evidências sugerem que não haverá dano no processo biológico desempenhado pela ETE.

## CAPÍTULO 4

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1. LODO

O estudo do lodo foi efetuado em etapas, assim definidas:

##### **Primeira etapa – Caracterização da água bruta:**

A água bruta utilizada é a mesma captada no Rio Pirapó pela Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, e foi coletada na adutora de água bruta da Estação de Tratamento de Água da cidade de Maringá – PR, (Figura 6).



**Figura 6** – Fotografia da vista do ponto de captação de água da cidade de Maringá.  
Fonte: CARVALHO, (2008).

Para a caracterização do água bruta foram realizadas as análises de cor aparente, turbidez, pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato), fosfato, sólidos suspensos, sólidos totais e metais.

### **Segunda etapa – Produção do lodo:**

Foram realizados ensaios em batelada de coagulação/floculação para obtenção do lodo. Foram utilizadas somente águas de alta cor e turbidez para obtenção de uma quantidade significativa de lodo, para realização das análises.

Utilizou-se nos ensaios o coagulante químico, Policloreto de Alumínio (PCA), e o coagulante natural, *Moringa oleifera*. Foram utilizadas nesta pesquisa sementes frescas de Moringa, provenientes da Universidade Federal de Sergipe – UFS, o PCA utilizado na coagulação/floculação foi doado pela SANEPAR de Maringá.

As concentrações ótimas dos coagulantes usados foram determinadas em trabalhos desenvolvidos anteriormente. A concentração ótima para a Moringa foi determinada por MADRONA (2010), para o PCA foi determinada por CARVALHO (2008). A Tabela 2 apresenta as condições experimentais aplicadas.

**Tabela 2** – Condições experimentais utilizadas no processo de coagulação/floculação.

<b>Coagulante aplicado</b>	<b>Concentração do coagulante</b>	<b>Fonte</b>
PCA (Policloreto de Alumínio) 10% v/v	80 mg/L	CARVALHO (2008)
Moringa 1% m/v em solução de KCl 1 mol/L	175 mg/L	MADRONA (2010)

Para a produção do lodo obtido com o uso do coagulante químico (PCA) os parâmetros de gradiente de mistura rápida e de mistura lenta, bem como as taxas de decantação foram obtidos fazendo-se uma relação com a operação da Estação de Tratamento de Água de Maringá. Foram mantidos constantes nos ensaios o gradiente de mistura rápida

( $800\text{s}^{-1}$ ), o tempo de coagulação (52 segundos), o gradiente de mistura lenta ( $12\text{ s}^{-1}$ ), o tempo de floculação (26 minutos e 24 segundos) e o tempo de decantação (aproximadamente 30 min).

Para a produção do lodo obtido com o uso do coagulante natural (Moringa) foram utilizadas as condições ótimas obtidas por MADRONA (2010). Foram mantidos constantes nos ensaios o gradiente de mistura rápida ( $100\text{ s}^{-1}$ ), o tempo de coagulação (3 minutos), o gradiente de mistura lenta ( $10\text{ s}^{-1}$ ), o tempo de floculação (15 minutos) e o tempo de decantação (1 h).

Foi utilizado, no total das bateladas, em torno de 100 litros de água bruta, por ensaio, para se obter uma quantidade significativa de lodo para realização das análises, tanto com o uso do coagulante químico quanto o coagulante natural na etapa de coagulação/floculação.

### **Terceira etapa – Caracterização do lodo:**

Para a caracterização do lodo foram realizadas as seguintes análises: Umidade, pH, DQO,  $\text{DBO}_5$ , formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato), fosfato, sólidos suspensos, sólidos totais e metais do lodo bruto.

Também foram realizados testes de biodegradabilidade que são de extrema importância para o estudo do lodo, pois mostra a tendência de estabilização da matéria orgânica. Segundo CASSINI (2003) o termo biodegradabilidade é usado para representar a tendência ou susceptibilidade de transformação de determinados substratos, substâncias ou compostos pela microbiota ambiental.

Para a classificação dos lodos de PCA e Moringa, foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização segundo as normas da ABNT NBR 10005 e 10006 respectivamente.

## 4.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

### 4.2.1. Cor aparente

Determinou-se a cor de acordo com o método padrão Platinum-Cobalt (método 2120C – APHA), onde se baseia na determinação da absorbância de uma solução e sua correlação com a absorbância de uma solução padrão de platina e cobalto. Para tanto, utilizou-se um espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR2010, fazendo-se a leitura de absorbância, no comprimento de onda de 455 nm.

### 4.2.2. Turbidez

A turbidez foi determinada a partir de um turbidímetro da marca HACH, modelo 2100P, cuja medida é realizada pelo princípio nefelométrico, que consiste na leitura de intensidade de luz desviada pelas partículas num ângulo de 90° em relação à luz incidente. Utilizando soluções padrões os resultados são expressos em NTU (Nephelometric Turbidity Unity).

### 4.2.3. pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico com auxílio de um medidor de pH, marca DIGIMED DMPH-2, previamente calibrado com solução tampão de pH 4,01 e 6,86.

#### 4.2.4. % Umidade

Realizou-se esta análise para determinar a porcentagem de umidade presente nos lodos.

Primeiramente lava-se uma cápsula de porcelana com água destilada, levou-se à mufla a 550°C por 30 minutos ou à estufa por no mínimo 12 horas até peso constante, colocou-se no dessecador até resfriamento total. Pesou-se obtendo-se  $P_1$ .

Pesar uma porção de amostra, obtendo-se  $P_2$ . Levar a cápsula contendo a amostra à estufa, permanecendo por no mínimo 16 horas. Deixar esfriar no dessecador e pesar obtendo-se  $P_3$ .

O valor da umidade foi calculada por meio da equação abaixo.

$$Umidade (\%) = \frac{(P_2 - P_3)}{(P_2 - P_1)} \times 100$$

#### 4.2.5. DQO (Demanda Química de Oxigênio)

A DQO foi determinada segundo a metodologia 5220 D9 (método colorimétrico) descrito por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – APHA (1998) – Anexo I. Os equipamentos utilizados foram um reator de DQO marca HACH, modelo 45600, para a digestão das amostras e um espectrofotômetro marca HACH, modelo DR/2010 para as leituras.

#### 4.2.6. DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

A DBO<sub>5</sub> é considerada como a quantidade de oxigênio consumido pela bactéria que oxida a matéria orgânica em uma amostra durante um determinado período de tempo (5 dias),

numa temperatura de incubação específica (20°C). Para a realização desta análise foi utilizado o equipamento BODTrak™ II da marca HACH.

#### **4.2.7. Carbono Orgânico Total – COT**

A determinação do COT foi realizado com a utilização de um KIT da marca HACH, segundo metodologia descrita no manual do equipamento Datalogging Spectrophotometer HACH DR 2010.

#### **4.2.8. Sólidos suspensos e totais**

As determinações dos sólidos suspensos e sólidos totais foram executadas pelo método gravimétrico descritos por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA (1995)*, descritos no Anexo II.

#### **4.2.9. Formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e fosfato**

A determinação das várias formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e fosfato foram realizadas com a utilização de KIT-HACH, segundo a metodologia descrita no manual do equipamento Datalogging Spectrophotometer HACH DR 2010.

#### **4.2.10. Metais**

A análise dos metais foi realizada segundo a metodologia descrita por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – Analytical Methods for Flame*

Spectroscopy – Anexo III. A quantificação dos metais foi realizada em um espectrofotômetro de Absorção Atômica Varian, Modelo Spectr AA. 10 plus.

A concentração dos metais é dada em  $\text{mg L}^{-1}$  e  $\text{mg kg}^{-1}$  para as amostras de água e sedimentos, respectivamente.

Para a análise de metais no lodo, foi utilizado lodo seco, em estufa, pois a umidade no mesmo varia muito.

#### 4.2.11. Biodegradabilidade

Esta análise tem por objetivo avaliar a biodegradabilidade dos lodos provenientes do tratamento da água com o uso de coagulante químico (PCA) e coagulante natural (Moringa).

Para os ensaios de biodegradabilidade o lodo foi transferido para os frascos do equipamento OxiTop OC 110 (Figura 7), este lodo foi mantido a temperatura constante de  $21^{\circ}\text{C}$ , sob agitação durante 28 dias, a biodegradabilidade foi analisada pelo programa do OxiTop OC 110 que mede a diferença de pressão dentro do frasco.

A determinação da Biodegradabilidade com o sistema OxiTop OC 110 se baseia no fato de que durante a respiração aeróbia haverá consumo de oxigênio dissolvido na fase líquida, com conseqüente reposição pelo oxigênio molecular presente na fase gasosa. Desta forma a pressão parcial do oxigênio no frasco tende a diminuir devido à reposição do oxigênio consumido pela atividade microbiana. Nos equipamentos OxiTop OC 110, a absorção de gás carbônico é feita por pastilhas de NaOH colocadas em um recipiente suspenso, através do qual os gases são obrigados a passar antes de atingirem o medidor de pressão.



**Figura 7** – Fotografia do equipamento OxiTop OC 110.

Foram realizados ensaios com o lodo de PCA com a adição de inóculos (esgoto bruto) com o objetivo de favorecer a biodegradabilidade. Foi adicionado cerca de 1 mL de esgoto bruto nos frascos do equipamento OxiTop OC 110 junto com o lodo de PCA para avaliar a biodegradabilidade deste lodo com a adição de inoculo, com o objetivo de verificar se houve influência na biodegradabilidade.

#### **4.2.12. Ensaio para classificação de resíduos sólidos**

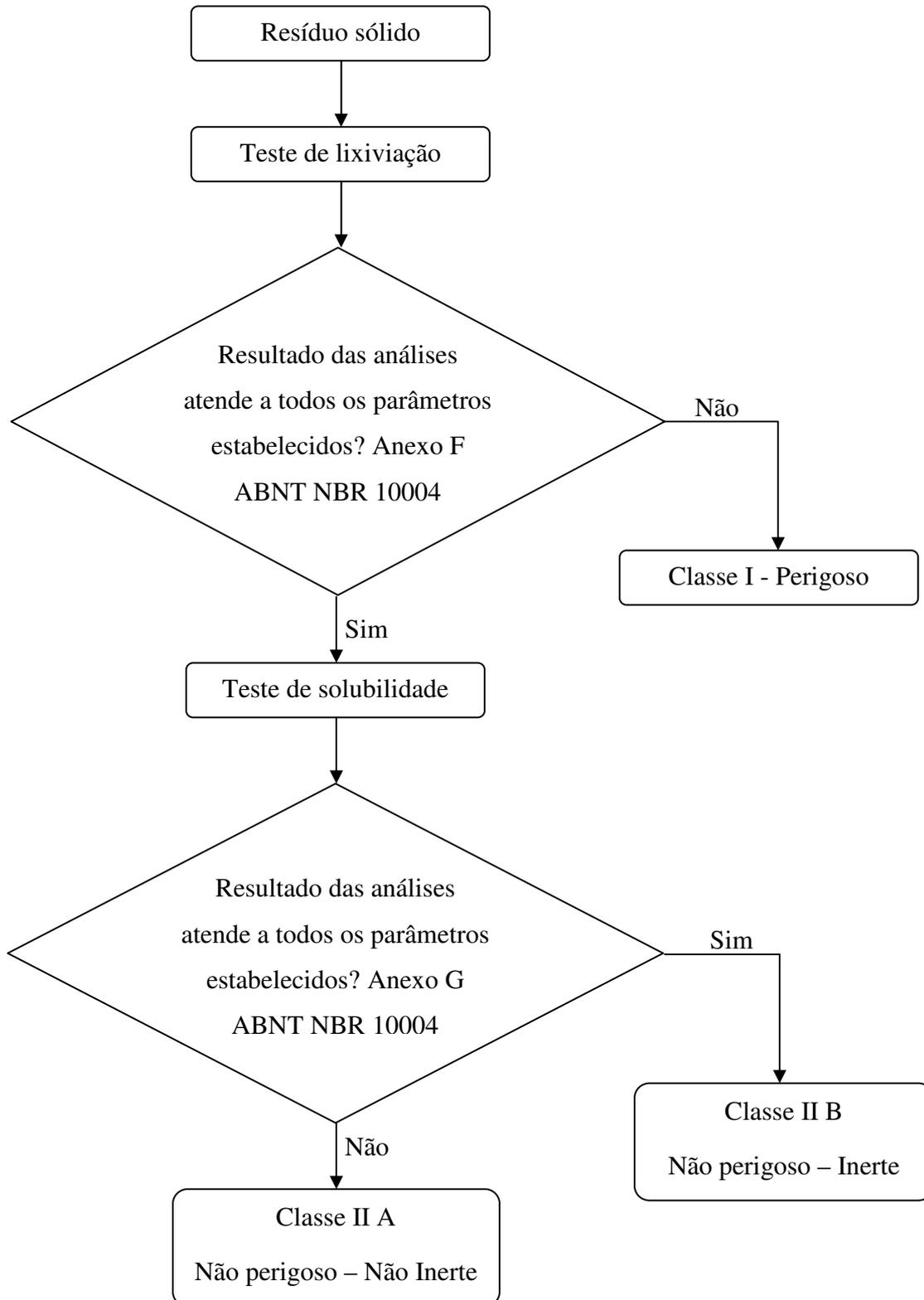
Para a realização dos ensaios de classificação dos resíduos sólidos, as amostras de lodo foram desidratadas em estufa, até o lodo estar completamente seco.

A classificação dos resíduos sólidos foi realizada de acordo com a norma técnica ABNT NBR 10004 (2004) “Resíduos sólidos – Classificação”, vinculada a três outras normas: ABNT NBR 10005 (2004) “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”; ABNT NBR 10006 (2004) “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos” e ABNT NBR 10007 (2004) “Amostragem de resíduos sólidos”.

Deste modo a partir dos ensaios estabelecidos pela norma, os resíduos sólidos podem ser classificados e enquadrados nas seguintes categorias: Classe I – Resíduo perigoso e Classe II – Resíduo não perigoso, que é subdividida em Classe IIA – Não inertes e Classe IIB – Inertes.

A classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do processo que os originou, de seus constituintes e características, e a comparação estes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Os resíduos, cujas características não podem ser prontamente avaliadas, foram analisados segundo o fluxograma de classificação de resíduos sólidos (Figura 8).



**Figura 8** – Caracterização e classificação de resíduos sólidos.

**Fonte:** Adaptado da norma ABNT NBR 10004.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste item serão apresentados os resultados referentes à caracterização da água bruta assim como os resultados referentes à caracterização do lodo e análise de metais, o estudo da biodegradabilidade, lixiviação e solubilização do lodo formado, proveniente dos processos de coagulação/floculação com os coagulantes PCA e Moringa.

Os resultados serão apresentados como média e também como faixa dos valores (mínimo – máximo) encontrados nas análises dos lodos. Os resultados encontrados variam muito, pois mudam de acordo com a característica da água bruta utilizada no tratamento.

#### **5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA**

A Tabela 3 apresenta a média das características físico-químicas presentes na água bruta, que foi utilizada nos ensaios de coagulação/floculação, com o uso dos coagulantes PCA e Moringa.

**Tabela 3** – Valores médios para caracterização da água bruta.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>Média</b>	<b>Limite CONAMA 357 (Classe 3)</b>	
<b>Cor Aparente (PtCo)</b>	3890	-	
<b>Cor Real (PtCo)</b>	459,7	75 mg Pt/L	
<b>Turbidez (NTU)</b>	897	100 UNT	
<b>pH</b>	7,91	6,0 – 9,0	
<b>DQO</b>	93,5	-	
<b>DBO<sub>5</sub></b>	37,66	10 mg/L	
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	862,33	-	
<b>% Sólidos Totais Fixos</b>	88,88	-	
<b>% Sólidos Totais Voláteis</b>	11,12	-	
<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>	705,33	-	
<b>% Sólidos Suspensos Fixos</b>	67,23	-	
<b>% Sólidos Suspensos Voláteis</b>	32,77	-	
<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>NH<sub>3</sub> - N</b>	0,933	-
	<b>NH<sub>3</sub></b>	1,133	-
	<b>NH<sub>4</sub></b>	1,203	-
	<b>TOTAL</b>	3,269	5,6 mg/L N
<b>Nitrito (mg/L)</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N</b>	0,056	-
	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	0,184	-
	<b>NaNO<sub>2</sub></b>	0,276	-
	<b>TOTAL</b>	0,516	1,0 mg/L N
<b>Nitrato (mg/L)</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N</b>	1,900	-
	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	8,450	-
	<b>TOTAL</b>	10,350	10,0 mg/L N
<b>Fosfato (mg/L)</b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,228	-
	<b>P</b>	0,070	-
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,168	-
	<b>TOTAL</b>	0,466	0,15 mg/L P

Os valores médios para a concentração dos metais na água bruta se encontram na Tabela 4.

**Tabela 4 – Concentração de metais na água bruta.**

<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média (mg/L)</b>	<b>Limite CONAMA 357 (Classe 3) mg/L</b>
Alumínio (Al)	45,57	0,2
Arsênio (As)	0,389	0,033
Bário (Ba)	0,747	1,0
Cádmio (Cd)	0,0	0,01
Cobalto (Co)	0,052	0,2
Cobre (Cu)	0,165	0,013
Chumbo (Pb)	0,061	0,033
Cromo Total (Cr)	0,023	0,05
Ferro (Fe)	83,28	5,0
Manganês (Mn)	1,03	0,5
Níquel (Ni)	0,038	0,025
Prata (Ag)	0,005	0,05
Selênio (Se)	0,244	0,05
Zinco (Zn)	0,072	5,0

Observando a Tabela 3 pode-se notar que as águas brutas utilizadas no processo de coagulação/floculação, possuem alta cor aparente e turbidez, que teve como objetivo gerar uma maior quantidade de lodo para realização das análises.

A concentração de STV na água é pequena, apenas 11,12 %, indicando uma pequena fração de sólidos biodegradáveis na água bruta.

O nitrogênio na água pode ser encontrado de quatro formas: orgânica, amoniacal, nitrito e nitrato. Essas formas em que o nitrogênio é encontrado podem indicar a quanto tempo essa água se encontra contaminada. Se houver altas concentrações de nitrogênio amoniacal e orgânico, ou mesmo pequenas concentrações de nitratos e nitritos, a água não está apropriada para o consumo, devido à poluição recente. Por outro lado, se a amostra não apresentar nitrogênio amoniacal e orgânico, e alguma concentração de nitrato significa que a nitrificação, transformação de amônia em nitrito e posteriormente em nitrato ocorreu, o que evidencia que a poluição é remota. Quando há presença de nitrogênio amoniacal e nitrato é sinal de que a poluição é contínua (SCHNEIDER, 2009).

Em relação a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), o nitrogênio na forma de nitrato foi o único valor que ficou acima do permitido pela legislação (CONAMA 357), que é de 10 mg/L N para corpos receptores classes 2 e 3.

Comparando com os limites estabelecidos pelo CONAMA 357, para corpos receptores classe 3, as concentrações de Al, As, Ba, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni e Se estão acima do permitido pela norma. Alguns metais se destacam devido sua elevada concentração na água bruta, como o Alumínio e o Ferro, como pode ser observado na Tabela 4.

A água *in natura* apresenta impurezas, que tornam a água imprópria para consumo humano sem que haja um tratamento prévio. Os padrões de potabilidade se encontram na legislação vigente – Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

## 5.2. CARACTERIZAÇÃO DO LODO

A determinação de certos parâmetros do lodo, como a concentração de sólidos, DBO<sub>5</sub> e DQO, permite avaliar a possível ocorrência de efeitos negativos nos cursos d'água, quando este resíduo é lançado sem que seja submetido a um tratamento prévio à disposição no ambiente.

Os possíveis efeitos da disposição inadequada deste resíduo, têm relação com a deposição excessiva de sólidos e partículas em suspensão na água, assim como, a presença de altos níveis de carga orgânica, ocasionando alta demanda do oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor. Desta forma, podendo influenciar negativamente a biota aquática.

A faixa de valores obtidos para a caracterização dos lodos provenientes da coagulação/floculação da água bruta de alta turbidez com o coagulante químico (PCA) e com o coagulante natural (Moringa) se encontram nas Tabelas 5 e 6 respectivamente.

Tabela 5 – Caracterização do lodo de PCA.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	
<b>UMIDADE (%)</b>	94,27	91,47 - 98,07	
<b>pH</b>	6,86	6,43 - 7,42	
<b>DQO (mg/L)</b>	6227,65	2818,75 - 9645,33	
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	66,66	47,03 - 94,10	
<b>COT (mgC/L)</b>	1854	898 - 2810	
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	52030	18393 - 99026	
<b>% Sólidos Totais Fixos</b>	86,26	85,47 - 87,36	
<b>% Sólidos Totais Voláteis</b>	13,74	12,64 - 14,53	
<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>	48253	16653 - 83820	
<b>% Sólidos Suspensos Fixos</b>	85,23	83,10 - 87,96	
<b>% Sólidos Suspensos Voláteis</b>	14,77	12,04 - 16,90	
<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>NH<sub>3</sub> - N</b>	67,38	22,25 - 104,00
	<b>NH<sub>3</sub></b>	81,81	27,00 - 126,00
	<b>NH<sub>4</sub></b>	86,69	28,75 - 133,50
	<b>TOTAL</b>	235,88	78,00 - 363,50
<b>Nitrito (mg/L)</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N</b>	5,69	1,53 - 9,25
	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	17,95	5,05 - 30,30
	<b>NaNO<sub>2</sub></b>	26,91	7,55 - 45,40
	<b>TOTAL</b>	50,54	14,13 - 84,95
<b>Nitrato (mg/L)</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N</b>	101,25	30 - 190
	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	450,63	137,50 - 845
	<b>TOTAL</b>	551,88	167,50 - 1035
<b>Fosfato (mg/L)</b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	54,38	16,50 - 100
	<b>P</b>	17,75	5,50 - 32,50
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	40,69	12,25 - 75
	<b>TOTAL</b>	112,81	34,25 - 207,50

**Tabela 6 – Caracterização do lodo de Moringa.**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	
<b>UMIDADE (%)</b>	94,62	84,08 - 98,88	
<b>pH</b>	6,93	6,84 - 7,04	
<b>DQO (mg/L)</b>	10725,21	6554,00 - 12438,10	
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	1137,79	1030,60 - 1322,77	
<b>COT (mgC/L)</b>	2625,835	1566,67 - 3685,00	
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	99577,56	25532,67 - 174176,67	
<b>% Sólidos Totais Fixos</b>	83,38	80,88 - 85,18	
<b>% Sólidos Totais Voláteis</b>	16,62	14,82 - 19,12	
<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>	100136,66	22683,33 - 175593,33	
<b>% Sólidos Suspensos Fixos</b>	83,15	77,50 - 86,40	
<b>% Sólidos Suspensos Voláteis</b>	16,85	13,60 - 22,50	
<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>NH<sub>3</sub> - N</b>	144,83	99,50 - 168,00
	<b>NH<sub>3</sub></b>	164,17	121,50 - 204,50
	<b>NH<sub>4</sub></b>	173,83	128,50 - 216,50
	<b>TOTAL</b>	472,83	349,50 - 589,00
<b>Nitrito (mg/L)</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - N</b>	11,47	8,30 - 15,40
	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	37,57	27,00 - 50,50
	<b>NaNO<sub>2</sub></b>	56,30	40,45 - 75,70
	<b>TOTAL</b>	105,33	75,75 - 141,60
<b>Nitrato (mg/L)</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N</b>	208,33	195,00 - 225,00
	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	915,00	850,00 - 980,00
	<b>TOTAL</b>	1123,33	1045,00 - 1205,00
<b>Fosfato (mg/L)</b>	<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	105,17	55,50 - 150,00
	<b>P</b>	34,50	18,50 - 49,00
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	78,67	42,00 - 112,00
	<b>TOTAL</b>	218,33	116,00 - 311,00

Nas análises realizadas o lodo de PCA apresentou uma umidade em média de 94,27%, tendo uma variação de 91,47% à 98,07% nas amostras, já o lodo de Moringa apresentou uma média de 94,62%, tendo uma variação de 84,08% à 98,88% de umidade nas amostras analisadas, apresentando uma maior variação.

Observando os valores de DQO nas Tabelas 5 e 6, pode-se constatar que ambos os resíduos possuem um elevado teor de matéria orgânica, porém o lodo com coagulante natural contém uma maior carga orgânica quando comparado com o lodo com coagulante químico. Esse aumento de matéria orgânica encontrado no lodo de moringa possivelmente se deve a adição de matéria orgânica presente nas sementes de moringa.

Os menores índices de  $DBO_5$  encontrados nos resíduos provenientes dos tratamentos de água bruta com o coagulante químico PCA sugerem que, dentre os compostos orgânicos carbonáceos presentes no lodo, existe apenas uma pequena fração biodegradável, sendo a maior parcela desse tipo de despejo formada por material não biodegradável.

No lodo de PCA esta análise pode estar “mascarada” por alguns fatores que interferem na medição de  $DBO_5$ . Por exemplo, a presença de metais pesados no lodo pode estar inibindo o processo metabólico dos microrganismos, ou estes microrganismos podem não estar adaptados às condições do ambiente. Estes metais pesados encontrado nos lodos provavelmente são oriundos da água bruta utilizada e dos coagulantes químicos usados no processo de tratamento, no caso do PCA, o excesso de alumínio.

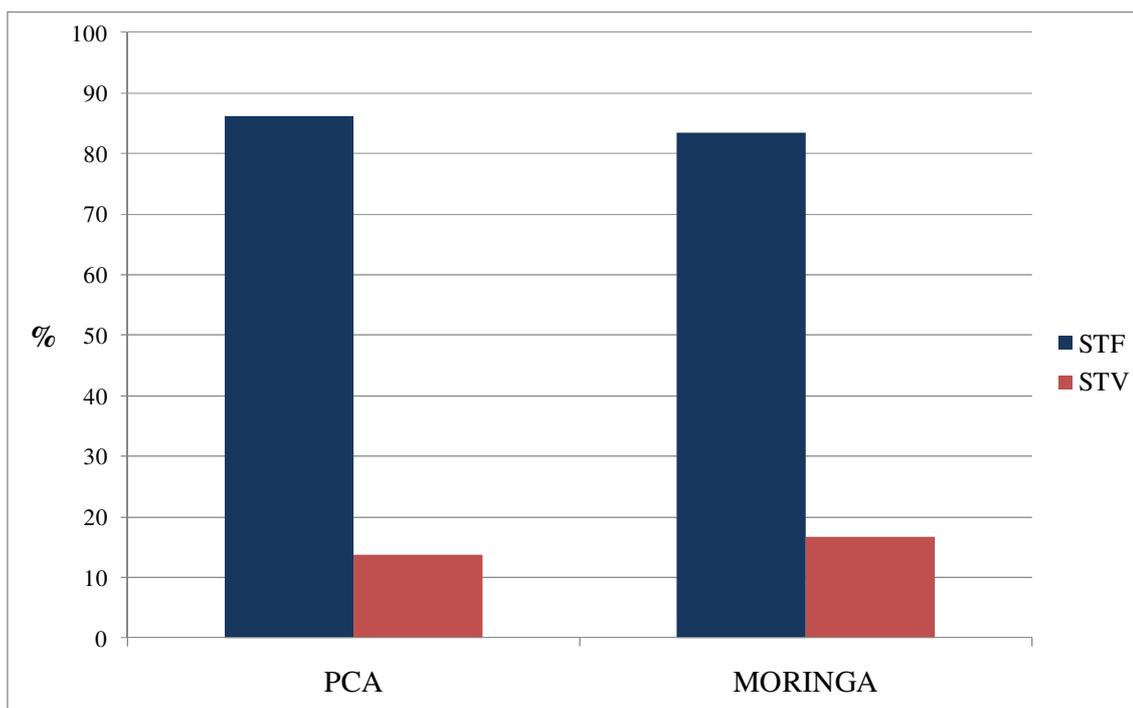
O carbono orgânico total COT, foi usado para caracterizar a matéria orgânica nas amostras analisadas. Ao contrário da  $DBO_5$  e DQO, o COT é independente do estado de oxidação da matéria orgânica e não sofre a interferência de outros átomos ligados à estrutura orgânica tais como o nitrogênio e hidrogênio, e espécies inorgânicas como Fe (II), Mn (II), sulfeto e cloreto. O princípio da técnica consiste na clivagem (decomposição) de moléculas orgânicas e a liberação do carbono em uma forma molecular simples ( $CO_2$ ) que possa ser quantificada (ANÁLISE DA ÁGUA).

Os lodos oriundos do processo de coagulação/floculação devido ao uso de coagulante natural apresentou uma maior concentração de COT, comparado com os lodos de PCA, logo, conclui-se que o lodo de Moringa possui uma maior quantidade de matéria orgânica em sua composição, devido a adição de matéria orgânica presente nas sementes de moringa (origem vegetal).

BARBOSA et. al. (2000), em seu estudo caracterizaram os lodos das ETAs das cidades de Araraquara (ETA-1) e São Carlos (ETA-2), obtiveram valores de DQO de 558 mg/L (ETA-1) e 20.500 mg/L (ETA-2), para período chuvoso, e 239 mg/L (ETA-1) e 11.380 mg/L (ETA-2), no período seco. Em relação a análise de sólidos totais, a ETA-1 apresentou uma concentração ST de 5.074 mg/L com uma porcentagem de STV de 23,54% para período chuvoso, e concentração ST de 2.132 mg/L com uma porcentagem de STV de 29,17% para período seco, já para a ETA-2 obteve uma concentração de ST de 52.345 mg/L com uma porcentagem de STV de 25,35% para período chuvoso, e concentração de 29.595 mg/L com uma porcentagem de STV de 24,96% para período seco. Ficando evidente a diferença de valores para as análises entre os períodos seco e chuvoso (esses valores mudam de acordo

com a quantidade de material que é carregado para as águas), e principalmente entre as próprias ETAs.

A composição de sólidos totais dos lodos de PCA e Moringa, estão apresentadas na Figura 9.



**Figura 9** – Porcentagem de sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) no lodo de PCA e Moringa.

A parcela de sólidos fixos no lodo de PCA nas amostragens foi em média 87%, e no lodo de Moringa nas amostragens foi em média de 84%. Os sólidos voláteis no lodo de PCA foi em média 13% e no lodo de Moringa 16%. A pequena parcela de sólidos voláteis presentes nos lodos de PCA e Moringa sugere a presença de uma pequena porção biodegradável.

Estudos realizados por ARAÚJO (2006) nas ETAs Barreiros, que usavam como coagulante primário o sulfato de alumínio, mostram que o lodo proveniente do decantador possui uma parcela de sólidos voláteis de 25%, indicando baixa biodegradabilidade, também evidenciado pelas baixas parcelas de  $DBO_5$  encontrados nos resíduos estudados, que foram em média de 200 mg/L.

Porém estudos realizados por MACHADO et. al. (2002) mostram que o lodo proveniente dos decantadores apresentaram grande concentração de STV (65% dos ST) e, conseqüentemente, baixa concentração de STF, e que isso possivelmente esta relacionado com as características do manancial de abastecimento, que possui uma elevada quantidade de matéria orgânica segundo dados da COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará).

Ressalta-se que as altas cargas de sólidos presentes nesses tipos resíduos, quando lançadas em corpos receptores sem o devido tratamento, representam um risco potencial para as plantas, organismos aquáticos e até mesmo para os seres humanos.

Segundo BARBOSA et. al. (2000), quase todas as variáveis físicas e químicas utilizadas para caracterizar os lodos das ETAs, foram observadas variações temporais nos períodos chuvoso e seco. As variáveis que expressaram melhor a influência das chuvas (período chuvoso) foram pH, turbidez, sólidos (totais e suspensos), DQO, N e P. As concentrações de metais (Zn, Pb, Ni, Cu e Cr) apresentaram variações pouco significativas, apenas Al, Fe e Mn tiveram suas concentrações elevadas no período chuvoso, o que se justifica pelo aumento da dosagem de coagulantes durante o processo de tratamento da água nesta período, pois a água apresenta maiores concentrações de sólidos e de outros contaminantes. As alterações das demais propriedades dos lodos no período chuvoso também se justificam pela qualidade da água bruta que carrega maior quantidade de materiais de origem alóctone provenientes dos processos de lavagem dos solos.

BOTERO et. al., (2009) afirmaram em sua pesquisa que o teor de matéria orgânica presente nos lodos ETAs, apresentam elevados valores, sendo que, os maiores valores encontrados foi para a ETA de Manaus-AM, principalmente devido à elevada quantidade de matéria orgânica presente na água bruta captada proveniente do Rio Negro-AM. O valor encontrado para a ETA Manaus-AM foi de 68,9%, para a ETA de Jaboticabal-SP 20,5% e para a ETA de Taquaritinga-SP 32,5%.

As Tabelas 7 e 8 mostram os resultados para a análise dos metais encontrados no lodo bruto com o uso do coagulante químico e natural respectivamente.

**Tabela 7 – Concentração de metais no lodo de PCA.**

<b>METAIS PCA (mg/Kg)</b>		
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>
Alumínio (Al)	906,17	583,29 - 1769,66
Arsênio (As)	2,42	1,93 - 3,09
Bário (Ba)	5,82	5,31 - 6,91
Cádmio (Cd)	0,01	n.d. - 0,01
Cobalto (Co)	1,5	1,26 - 2,02
Cobre (Cu)	3,14	2,61 - 4,07
Chumbo (Pb)	0,33	0,27 - 0,50
Cromo Total (Cr)	0,48	0,41 - 0,63
Ferro (Fe)	1409,98	1201,97 - 1892,08
Magnésio (Mg)	13,57	9,64 - 15,63
Manganês (Mn)	16,77	13,60 - 24,19
Níquel (Ni)	0,76	0,58 - 1,23
Mercúrio (Hg)	0,04	0,01 - 0,08
Prata (Ag)	0,08	0,03 - 0,11
Selênio (Se)	0,615	n.d. - 1,74
Zinco (Zn)	1,41	1,17 - 1,99

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

**Tabela 8 – Concentração de metais no lodo de Moringa.**

<b>METAIS MORINGA (mg/Kg)</b>		
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>
Alumínio (Al)	820,84	699,78 - 1131,62
Arsênio (As)	2,34	2,06 - 2,79
Bário (Ba)	7,00	5,93 - 9,64
Cádmio (Cd)	0,03	0,01 - 0,09
Cobalto (Co)	1,69	1,35 - 2,61
Cobre (Cu)	3,53	2,49 - 5,04
Chumbo (Pb)	0,38	0,25 - 0,62
Cromo Total (Cr)	0,49	0,36 - 0,76
Ferro (Fe)	1487,27	1129,86 - 2347,77
Magnésio (Mg)	15,36	11,94 - 22,64
Manganês (Mn)	18,47	15,36 - 26,89
Níquel (Ni)	0,77	0,60 - 1,19
Mercúrio (Hg)	0,04	0,01 - 0,09
Prata (Ag)	0,07	0,03 - 0,12
Selênio (Se)	0,863	n.d. - 2,42
Zinco (Zn)	1,61	1,08 - 3,08

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

Observando as Tabelas 7 e 8 pode-se notar que tanto no lodo de PCA quanto no lodo de Moringa existe uma grande quantidade de metais pesados em sua composição, destacando-se os metais Al e Fe devido suas elevadas concentrações.

Mesmo com o uso de um coagulante natural o lodo pode possuir metais pesados, pois estes possivelmente são oriundos da água bruta utilizada, ressaltando que foram utilizadas somente águas de alta cor e turbidez.

Os ensaios para quantificação da concentração de metais nos lodos foi realizado em base seca pois a umidade dos lodos variam muito, logo, os resultados da concentração dos metais foram obtidos em mg/Kg. Para a digestão dos lodos foi utilizando uma chapa (para aquecimento), e este método pode gerar erro na concentração dos metais.

SILVA et. al. (2000), em seus estudos caracterizaram o lodo proveniente da ETA da cidade de Porto Alegre, oriundo do processo de coagulação/floculação com o coagulante sulfato de alumínio. O lodo caracterizado foi coletado no leito de secagem da ETA. Para a análise de metais os que mais se destacaram devido sua elevada concentração foi o alumínio e o ferro, nos quais obtiveram uma concentração de 49.574 mg/Kg e 38.791 mg/Kg respectivamente.

BARBOSA (2000) obteve uma elevada concentração de Al e Fe nos lodos das ETA's. Na ETA-1 a concentração de Al foi de 95.773,0 mg/Kg e de Fe foi de 299.500,0 mg/Kg, já na ETA-2 a concentração de Al foi de 171.769,0 mg/Kg e de Fe foi de 130.500,0 mg/Kg, para o período chuvoso.

Estudos realizados por ARAÚJO (2006), mostram que os lodos provenientes dos decantadores das ETA's Barreiros, indicam elevados índices de Al, Fe e Mn, dentre os metais encontrados no resíduo. E que esses resultados devem-se ao uso do sulfato de alumínio como coagulante primário, que também possui em sua composição uma parcela de Fe (em geral 0,9% de  $Fe_2O_3$ ). Também conclui que esse elemento, assim como o Mn, é comum em mananciais superficiais utilizados como fontes de abastecimento.

RIBEIRO (2007) cita que o lodo possui uma grande quantidade de metais pesados, e os que se encontram em maiores concentrações são o Al e o Fe. E que além desses foram encontrados outros elementos potencialmente nocivos, mostrando que se deve tomar precauções quanto a disposição deste resíduo.

A água captada em mananciais superficiais para tratamento está sujeita a constantes variações de qualidade, em virtude de fontes difusas de poluição ou em decorrência do regime pluvial. Desta forma, o resíduo proveniente do processo de tratamento da água para consumo

humano pode apresentar variações em suas características, dependendo principalmente de condições climáticas e atividades econômicas desenvolvidas próximo dos mananciais, assim, podendo tornar inviável o descarte desses resíduos em cursos d'água, sem um tratamento prévio.

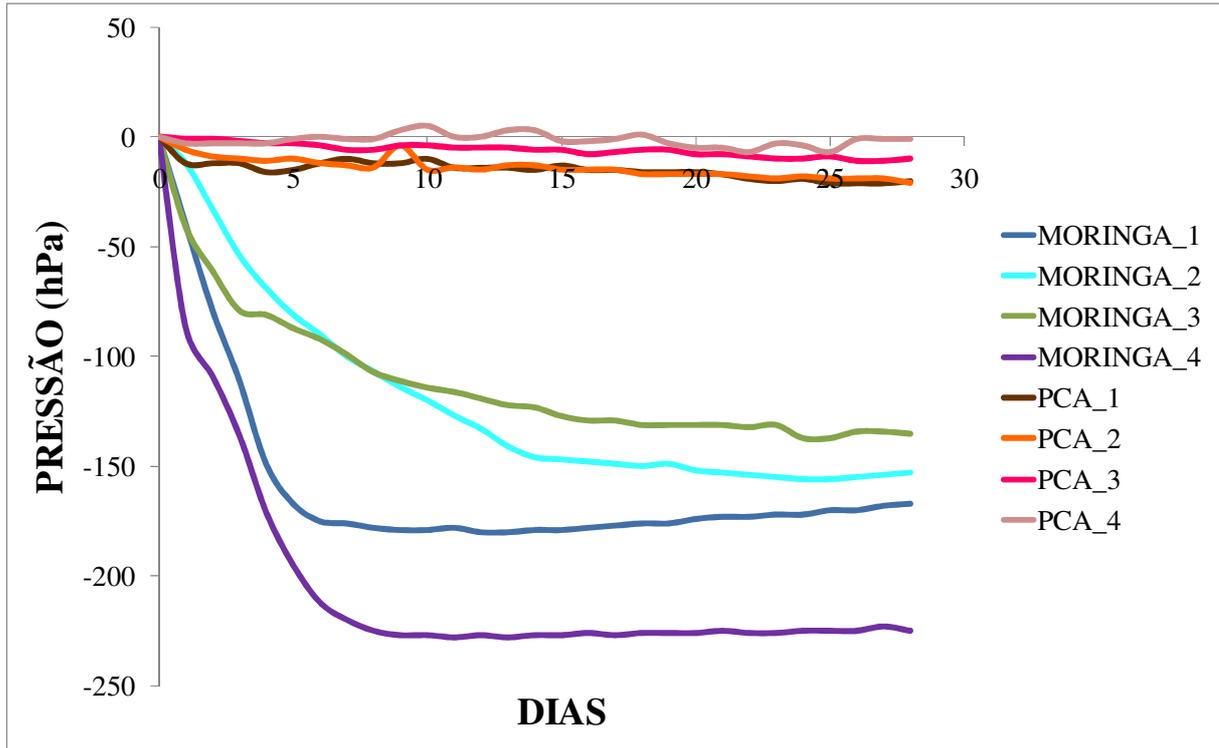
A Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicada em 17 de Março de 2005, estabelece as condições que devem ser cumpridas para o lançamento de efluentes, de forma direta ou indireta, de qualquer fonte poluidora. Limitando a concentração de materiais sedimentáveis a 1 mL/L em teste de uma hora em cone de Inhoff. Desta forma, a disposição dos lodos de estações de tratamento de água, que naturalmente excedem esse valor, por se tratar essencialmente de um resíduo gerado pela coagulação de partículas em suspensão na água, não se enquadra no limite estabelecido pela norma. Sendo assim impedido o lançamento sem prévio tratamento, do lodo de estação de tratamento de água.

## 5.2. BIODEGRADABILIDADE

Este item apresenta os ensaios realizados de Biodegradabilidade dos lodos formados com a utilização dos coagulantes PCA e Moringa.

A Figura 10 mostra o gráfico de biodegradabilidade das amostras de lodo formado com a utilização dos coagulantes PCA e Moringa.

Neste gráfico está apresentado os resultados de quatro ensaios para o lodo de Moringa e quatro ensaios para o lodo de PCA, nesses ensaios a umidade nas amostras varia muito (ou concentração de sólidos nas amostras varia muito), conforme mostra a Tabela no Anexo IV.



**Figura 10** – Biodegradabilidade dos lodos de PCA e Moringa.

Por meio da Figura 10 nota-se que os lodos de Moringa consumiram muito mais oxigênio, o que pode ser observado pela diferença de pressão, quando comparado com o lodo de PCA, logo conclui-se que o lodo de PCA sofreu uma menor degradação da matéria orgânica, sendo o lodo obtido com o uso de coagulante natural (Moringa) mais biodegradável se comparado ao lodo obtido com o uso de coagulante químico (PCA).

Em relação aos testes com a adição de inóculo com o objetivo de verificar a influência deste na biodegradabilidade, observou-se que não houve alteração nos resultados de biodegradabilidade do lodo de PCA com adição de inóculo em comparação do lodo sem adição de inóculo.

As Tabelas com os valores da diferença de pressão obtida pelo equipamento Oxitop OC 110 para os lodos provindos do processo de coagulação/floculação com coagulantes químicos e natural encontram-se no anexo IV.

SIQUEIRA (2009) realizou ensaios preliminares de biodegradabilidade com lodos formados em uma ETA piloto, oriundos da utilização de coagulantes químicos (sulfato de alumínio e policloreto de alumínio) e coagulantes naturais (Moringa, Quitosana e Tanfloc). Os ensaios foram realizados utilizando tanto água bruta de alta quanto de baixa turbidez, e em ambos foi constatado que os lodos provenientes do uso de coagulantes naturais são

biodegradáveis ao passo que os coagulantes químicos não apresentaram biodegradabilidade. Entre os lodos de coagulante natural o que apresentou maior biodegradabilidade foi o de Moringa.

GUERRA E ANGELIS (2005) estudaram a aplicação de lodo de ETA em solo para disposição em aterro, em sua pesquisa comprovaram que os tratamentos contendo 100% de lodo, foram responsáveis pelo consumo de maior quantidade de carbono orgânico, indicando a biodegradabilidade do material.

### 5.3. LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

O extrato lixiviado, dos lodos de PCA e Moringa, obtido pela execução dos ensaios, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 10005, foram analisados frente a alguns parâmetros, apresentados nas tabelas 9 e 10.

**Tabela 9** – Concentração de metais do Lixiviado do lodo de PCA.

<b>LIXIVIADO PCA (mg/L)</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	<b>LIMITE NBR 10004 ANEXO F</b>
Alumínio (Al)	15,007	4,148 - 29,753	-
Arsênio (As)	0,543	n.d. - 0,905	1,0
Bário (Ba)	11,631	1,223 - 18,178	70,0
Cádmio (Cd)	0,016	0,007 - 0,025	0,5
Chumbo (Pb)	0,094	0,007 - 0,168	1,0
Cromo Total (Cr)	0,028	0,017 - 0,035	5,0
Mercúrio (Hg)	n.d.	n.d.	0,1
Prata (Ag)	0,003	n.d. - 0,005	5,0
Selênio (Se)	0,700	0,240 - 0,852	1,0

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

**Tabela 10** – Concentração de metais do Lixiviado do lodo de Moringa.

<b>LIXIVIADO MORINGA (mg/L)</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	<b>LIMITE NBR 10004 ANEXO F</b>
Alumínio (Al)	0,309	n.d. - 0,600	-
Arsênio (As)	0,73	0,265 - 0,921	1,0
Bário (Ba)	11,401	8,145 - 13,598	70,0
Cádmio (Cd)	0,008	0,004 - 0,013	0,5
Chumbo (Pb)	0,029	n.d. - 0,049	1,0
Cromo Total (Cr)	0,029	n.d. - 0,033	5,0
Mercúrio (Hg)	0,004	n.d. - 0,018	0,1
Prata (Ag)	0,011	n.d. - 0,021	5,0
Selênio (Se)	0,249	n.d. - 0,587	1,0

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

Os resultados obtidos pela análise química do extrato lixiviado dos lodos estudados, encontram-se de acordo com a respectiva Norma Técnica, não excedendo os limites máximos estabelecidos, indicando que estas amostras de lodo não representam um resíduo com características de periculosidade (resíduo Classe I).

Apesar do Al não ser um parâmetro estabelecido pela norma para este tipo de análise, neste caso é de suma importância devido ao tipo de coagulante utilizado no tratamento da água bruta. Pode-se observar que a concentração de alumínio em todas as amostras de PCA são muito altas quando comparado com as concentrações de alumínio nas amostras de Moringa.

As Tabelas 11 e 12 mostram os resultados das análises dos metais do extrato solubilizado conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 10006.

**Tabela 11** – Concentração de metais do Solubilizado do lodo de PCA.

<b>SOLUBILIZADO PCA (mg/L)</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	<b>LIMITE NBR 10004 ANEXO G</b>
Alumínio (Al)	0,389	n.d. - 0,872	0,2
Arsênio (As)	0,961	0,825 - 1,069	0,01
Bário (Ba)	5,053	4,719 - 5,387	0,7
Cádmio (Cd)	0,002	n.d. - 0,005	0,005
Chumbo (Pb)	0,006	n.d. - 0,014	0,001
Cobre (Cu)	0,024	n.d. - 0,050	2,0
Cromo Total (Cr)	0,026	0,025 - 0,027	0,05
Ferro(Fe)	1,317	0,361 - 2,372	0,3
Manganês (Mn)	9,736	0,468 - 19,636	0,1
Mercurio (Hg)	n.d.	n.d.	0,001
Prata (Ag)	n.d.	n.d.	0,05
Selênio (Se)	0,444	0,229 - 0,740	0,01
Sódio (Na)	16,562	13,037 - 21,432	200
Zinco (Zn)	0,295	0,045 - 0,545	5,0

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

**Tabela 12** – Concentração de metais do Solubilizado do lodo de Moringa.

<b>SOLUBILIZADO MORINGA (mg/L)</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>Média</b>	<b>Faixa</b>	<b>LIMITE NBR 10004 ANEXO G</b>
Alumínio (Al)	0,252	n.d. - 0,531	0,2
Arsênio (As)	1,062	0,783 - 1,207	0,01
Bário (Ba)	9,621	9,395 - 9,846	0,7
Cádmio (Cd)	0,002	n.d. - 0,005	0,005
Chumbo (Pb)	0,01	n.d. - 0,025	0,001
Cobre (Cu)	0,036	n.d. - 0,098	2,0
Cromo Total (Cr)	0,029	0,027 - 0,031	0,05
Ferro(Fe)	4,091	0,282 - 10,066	0,3
Manganês (Mn)	27,250	18,394 - 40,171	0,1
Mercurio (Hg)	n.d.	n.d.	0,001
Prata (Ag)	n.d.	n.d.	0,05
Selênio (Se)	0,434	0,198 - 0,649	0,01
Sódio (Na)	9,032	7,086 - 10,554	200
Zinco (Zn)	1,548	0,065 - 3,030	5,0

\* n.d. = não detectado pelo aparelho.

A análise química do extrato obtido pela execução dos ensaios de solubilização, indica solubilização dos elementos Al, As, Ba, Pb, Fe, Mn e Se acima do limite máximo estabelecido neste ensaio, desta forma, tanto no lodo proveniente do uso de coagulante químico quanto o lodo proveniente do uso de coagulante natural. Logo ambos os lodos são classificados, segundo a norma técnica, como um resíduo Classe II A, Não perigoso – Não Inerte.

Os demais parâmetros quantificados no ensaio de solubilização, se encontram dentro dos limites estabelecidos, não excedendo as concentrações máximas para o extrato solubilizado, estabelecidas pela norma técnica ABNT NBR 10.004, para este ensaio.

De acordo com estudos realizados por GUERRA E ANGELIS (2005), o lodo proveniente dos decantadores da ETA II e ETA Capim Fino, segundo a norma ABNT, NBR 10.004, são classificados como um resíduo Classe IIA (não perigoso-não inerte).

ARAÚJO (2006) diz que os testes para obtenção do extrato solubilizado a partir do lodo da ETA Barreiros enquadram esses resíduos como resíduo sólido classe II A – não inerte, evidenciando os potenciais riscos que eles representam para o meio aquático e para os solos onde são dispostos. Os metais que não se enquadram dentro dos limites para o extrato solubilizado foram Al, Fe e Mn.

## CAPITULO 6

### CONCLUSÕES

A caracterização dos lodos de PCA e Moringa mostrou que ambos apresentam uma alta porcentagem de umidade em sua composição, e um alto teor de matéria orgânica, principalmente nos lodos de Moringa, devido à adição de matéria orgânica presente nas sementes da mesma, o que pode ser observado pelos valores de DQO, DBO e COT. Estas análises indicam uma maior biodegradabilidade dos lodos de Moringa se comparado aos lodos de PCA.

Em relação a concentração de metais nos lodos, em ambos pode-se observar uma elevada concentração de metais pesados, pois dependem da qualidade da água bruta utilizada no tratamento. Ressaltando que neste trabalho foi utilizado somente água de alta cor e turbidez.

Verificou-se neste trabalho que os lodos provenientes do uso de coagulante natural (Moringa), no processo de coagulação/floculação para tratamento da água bruta, possuem uma biodegradabilidade superior quando comparados com os lodos de coagulante químico (PCA).

Após avaliação dos resultados dos ensaios de Lixiviação e Solubilização, conclui-se que os lodos de PCA e Moringa caracteriza-se como um resíduo Classe II A, Não perigoso – Não inerte.

Por fim, a inadequação dos lodos estudados, em relação aos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA nº 357 para o descarte de efluentes, tornando impraticável o lançamento deste resíduo diretamente em cursos d'água.

## CAPÍTULO 7

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos – Classificação**. 2ª Ed. 2004.

ABNT NBR 10005. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. 2ª Ed. 2004.

ABNT NBR 10006. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. 2ª Ed. 2004.

ARAÚJO, A. P. M. **Avaliação operacional e características do lodo gerado na indústria da água do litoral sul de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, 2006.

BARBOSA, R. M. **A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea)**. IN: XXVII. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre-RS. 2000.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Problemática dos metais pesados nos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. ABES, 2001.

BATALHA, B. H. L. **Água Potável: o Imperativo da Atualização**. Disponível em: <[http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/agua\\_potavel.htm](http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/agua_potavel.htm)>. Acesso em 23 de Abril de 2011. 2006.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. **Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) – Desidratação em leitos de Secagem e Codisposição em Aterro Sanitário.** In: ANDREOLI, C. V. (Org.). Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, PROJETO PROSAB. cap. 9. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2001.

BOTERO, W. G.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, J. C. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola.** Química Nova, vol. 32, nº 8, p. 2018 – 2022, 2009.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam.** Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CASSINI, S. T.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; BORGES, E. S. M.; GONÇALVES, R. F. **Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos.** In: Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. CASSINI, S. T. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 1-19. 2003.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2008.

CORDEIRO, J. S. **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs.** In: Noções gerais de tratamento e disposição adequada dos lodos de estações de tratamento de

água. REALLI, M. A. P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 1-19. 1999.

CORDEIRO, J. S. **Remoção natural de água de lodos de ETAs utilizando leite de secagem e lagoas de lodo.** In: Noções gerais de tratamento e disposição adequada dos lodos de estações de tratamento de água. REALLI, M. A. P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 125-140. 1999.

CORDEIRO, J. S. **Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água.** Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún – México. 2002.

DALLA ROSA, K. R. *Moringa oleifera: a perfect tree for home gardens.* Hawai: NFTA, Agroforestry Species Highlights, 1993.

DAVINO, F. **Tecnologia de Tratamento de Água – Água na Indústria.** Rio de Janeiro: Almeida Neves., 1976.

DAVIS, A.P.; BURNS, M. **Evaluation of lead concentration in runoff from painted structures.** Water Research, v.33, n.13, pp.2949-2958, 1999.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Mestrado em Engenharia Ambiental. Ouro Preto – MG, 2009.

FRANCO, M. **Uso de coagulante extraído de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP, 2010.

GALLÃO, I. M.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. **Avaliação química e estrutural da semente de Moringa.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. **A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed.** *Water Research* 39, 2338–2344, 2005.

GIRARDI, F. **Tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maringá – Pr, 2009.

GUERRA, R. C. **Caracterização e biodegradabilidade de lodo de estação de tratamento de água para descarte em aterro sanitário.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada). Rio Claro, 2005.

GUERRA, R. C.; ANGELIS, D. F. D. **Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário.** *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.72, n.1, p.87-91, 2005.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C. V. **Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental.** *Química Nova*, Vol. 29, nº 1, pg. 79-84. 2006.

MACHADO, L. C. G. T.; PEREIRA, J. A. R.; CUNHA, M. V. P. O.; SILVA, M. N. A.; SOUSA, E. C. M. **Caracterização do lodo gerado nos decantadores da ETA – Bolonha.** VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 2002.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; **“Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed’s Active Component for Water Treatment”** *Water Air Soil Pollut*, v. 211, pg. 409–415. 2010.

MEDEIROS-FILHO, C.F. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Capítulo VIII – **Noções Sobre Tratamento de Água** (13 Páginas). Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam00.htm>>. Acesso em: 23 de Abril de 2011, 2006.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2001.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT’ANNA, M. R. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.13, n.6, p.765–771, 2009.

PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinvile, 2003.

REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 21-39. 1999.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de itabirito – MG**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos. Ouro Preto – MG, 2007.

SCHNEIDER, R. M. **Qualidade da água e deposição de sedimentos em trechos da bacia hidrográfica do Rio Pirapó representados pelo Ribeirão Maringá**. Tese de Doutorado,

Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá – Pr. 2009.

SCHOENHALS, M. **avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2006.

SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da M. **Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários.** In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, XXVII., Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SIQUEIRA, M. E. T. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (eta-piloto).** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Maringá – Pr, 2009.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. **Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash.** Colloids and Surfaces, 260, pg. 17-28. 2005.

STALGE SUNRISE. PAC – **Policloreto de Alumínio.** Disponível em: <<http://www.stalgesunrise.com.br/conteudo/item/pac---policloreto-de-alumnio>>. Acesso em 23 de Abril de 2011.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Toledo – Pr, 2008.

UWIMANA, A.; NHAPI A, I.; WALI A, U. G.; HOKO, Z. **Sludge Characterization at Kadahokwa Water Treatment Plant, Rwanda.** Water Science and Technology: Water supply. Vol. 10, n° 5, pp. 848-859. 2010.

WEBER, P; TORRES, T. L. **Estudo para caracterização quantitativa e qualitativa lodo de estação de tratamento de água.** In: 24° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.

**ANEXOS**

## ANEXO I

## MÉTODOS ANALÍTICOS

## DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

## Reagentes

## a) Solução Oxidante:

Dissolver em 500 mL de água destilada 10,216 g de  $K_2Cr_2O_7$  seco à  $100^{\circ}C$  e 33,3 g de  $HgSO_4$  e adicionar 167 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Esperar esfriar e após, completar o volume com água destilada.

## b) Solução Catálise

Dissolver 10 gramas de Sulfato de Prata em 1 litro de ácido Sulfúrico concentrado.

## c) Solução padrão

Pesar 0,8509 g de Biftalato de Potássio P.A. ( $C_8H_5KO_4$ ) seco em estufa à  $100^{\circ}C$  por 2 horas e dissolver em água destilada, logo após completar o volume a 1000 mL. Esta solução corresponde a uma concentração de 1000 mg de  $O_2/L$ .

## Procedimento:

## Preparação da curva de calibração:

Preparar uma série de soluções padrões de 100 a 700 mg de  $O_2/L$  a partir da solução padrão de acordo com a tabela 1.

Volume da solução padrão a elevar a 100 mL	Concentração (mg de $O_2/L$ )
10	100
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600
70	700

Conhecida a concentração de oxigênio a ser oxidado em cada amostra, faça o procedimento abaixo para cada solução e determine a absorbância para solução e construa uma reta de calibração. O branco é preparado, substituindo a amostra por água destilada.

**Determinação da DQO:**

Em tubos de oxidação adicionar 1,5 mL de solução oxidante, 2,5 mL da amostra (DQO menor que 600 mg de O<sub>2</sub>/L) e 3,5 mL de solução catálise, fechar e agitar. Levar ao reator (COD – REACTOR HACH) a 150<sup>0</sup>C durante duas horas. Ler a absorbância a 600 nm após ligeiro resfriamento. Determinar a concentração de oxigênio necessário para oxidar a amostra na curva de calibração. Se amostra contiver íons Cl<sup>-</sup>, a leitura deve ser realizada a quente, pois os íons Cl<sup>-</sup> precipitam com a prata, falseando a leitura.

## ANEXO II

### MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS

#### 1. Vidraria e equipamentos

- Cápsulas de evaporação de capacidade adequada, feitas dos seguintes materiais: porcelana, platina, vidro Vycor\*,
- banho-maria,
- estufa para operação a 103 – 105°C,
- forno mufla para operação a 500±50°C;
- dessecador,
- agitador magnético com hastes de agitação revestidas de teflon,
- pipetas volumétricas 25 – 100 mL,
- provetas 25 – 100 mL,
- balança analítica com precisão de 0,1 mg.

\* Vycor é um vidro constituído por um alto teor (96%) de sílica que apresenta um coeficiente de expansão linear aproximadamente 75% menor que o do vidro Pyrex. Suporta trabalho contínuo em temperaturas de até 900°C e apresenta ponto de fusão de 1530°C.

#### 2. Seqüência de execução do método

- a. Preparação da cápsula de evaporação; quando for necessário fazer o fracionamento do resíduo total, a cápsula limpa deverá ser incandescida a 500±50°C durante uma hora no forno mufla. Quando somente os sólidos totais forem de interesses, a cápsula limpa deverá ser aquecida na estufa a 103-105°C durante uma hora. Em ambos os casos a cápsula deverá ser resfriada até a temperatura ambiente em um dessecador. Pesar imediatamente antes de usar.
- b. Um determinado volume da amostra homogeneizada ( $V_a$ ) é medido e posto a evaporar numa cápsula de porcelana previamente tratada e pesada ( $A$  = peso da cápsula), em banho-maria, no interior de uma capela. O volume de amostra selecionado deve ser suficiente para permitir a formação de uma massa de resíduo seco entre 2,5 e 2000 mg. Depois da evaporação, a cápsula com o resíduo é levada à estufa com temperatura entre 103-105°C para eliminação da umidade residual. O tempo de secagem na estufa deve ser o bastante para obtenção de peso constante e depende do tipo e da concentração da amostra. Para

amostras líquidas, particularmente de águas residuárias domésticas e efluentes de lagoas de estabilização o tempo de 1 hora é, normalmente suficiente.

- c. Após a secagem, a cápsula é então resfriada em um dessecador e pesada (B = peso da cápsula com resíduo após secagem). O último estágio da determinação de sólidos totais inclui a ignição da cápsula mais o resíduo no forno mufla pré-aquecido a  $500 \pm 50^\circ\text{C}$ , com posterior resfriamento em um dessecador (C = peso da cápsula com resíduo após ignição). Geralmente 15 a 20 minutos de ignição, são suficientes para trazer uma amostra de cerca de 200 mg de sólidos para peso constante. Deixar a cápsula esfriar parcialmente ao ar livre, até que a maior parte de calor tenha sido dissipada. Transferir para um dessecador, para o resfriamento total em uma atmosfera seca. Pesá-la tão logo ela se resfrie. Quando necessário, repetir o ciclo, ignição, esfriamento, dessecação e pesagem, até que seja atingido peso constante em dois ciclos sucessivos, ou até quando a diferença de peso seja menor do que 4% ou 0,5 mg, sendo dada preferência ao menor desses dois limites. Determinações realizadas em duplicata devem apresentar valores que podem variar em até 5% da média aritmética das mesmas.

Resumindo:

A = peso da cápsula (g),

B = peso da cápsula com resíduo após secagem (g),

C = peso da cápsula com resíduo após ignição (g),

$V_a$  = volume da amostra (mL).

### 3. Cálculos

As relações envolvidas entre os pesos são:

$$\text{ST (sólidos Totais), mg/L} = \frac{1000(B - A)}{\frac{V_a}{1000}}$$

$$\text{STV (Sólidos Totais Voláteis), mg/L} = \frac{1000(B - C)}{\frac{V_a}{1000}}$$

$$\text{STF (Sólidos Totais Fixos), mg/L} = \frac{1000(C - A)}{\frac{V_a}{1000}}$$

## MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS SUSPENSOS OU NÃO FILTRÁVEIS

### 1. Vidraria e equipamentos

- bomba de vácuo,
- forno mufla para operação a  $500 \pm 50^\circ\text{C}$ ,
- estufa para operação a  $103-105^\circ\text{C}$ ,
- dessecador,
- agitador magnético com hastes de agitação cobertas com teflon,
- equipamento de filtração, por exemplo: funil de Büchner de partes separadas,
- proveta de 100 mL,
- frasco cônico de filtração (1000 – 2000 mL),
- pipetas volumétricas,
- suportes de alumínio ou aço inoxidável para secagem de filtros (placas 300 x 200 mm, por exemplo),
- discos de papel de filtro que suportem altas temperaturas ( $500 \pm 50^\circ\text{C}$ ) sem se decompor (fibra de vidro), com diâmetro compatível com a base do funil de filtração,
- balança analítica com precisão de 0,1 mg.

### 2. Seqüência de execução do método

- a. Preparação do filtro de fibra de vidro: colocar no equipamento de filtração o disco do filtro com a face enrugada voltada para cima. Aplicar vácuo e lavar o filtro três vezes, utilizando a cada vez, 20 mL de água destilada. Continuar a sucção até remover todos os vestígios de água de filtro. Descartar o filtrado. Remover o filtro do equipamento de filtração e transferi-lo para um suporte inerte evitando que o filtro grude no suporte. Secar na estufa a  $103-105^\circ\text{C}$  durante 1 hora. Se as frações fixa e volátil serão determinadas, ignizar o filtro no forno mufla a  $500 \pm 50^\circ\text{C}$ , durante 15 minutos. Esfriar em um dessecador e pesar.

b. Montar o equipamento de filtração, colocando o filtro previamente tratado e pesado (D) sobre a base do funil e iniciar a sucção com a bomba de vácuo. Molhar o filtro com uma pequena quantidade de água destilada para assentá-lo na base. Homogeneizar a amostra com um agitador magnético, medir um determinado volume ( $V_a$ ) com uma pipeta ou uma proveta e filtrar completamente, a vácuo, através do equipamento de filtração. Lavar três vezes, consecutivamente, com porções de 10 mL de água destilada permitindo a completa drenagem após cada lavagem e continuar a sucção durante cerca de 3 minutos após completar a filtração. Remover cuidadosamente o filtro do equipamento de filtração e transferir para um suporte de Al ou aço inoxidável. Secar na estufa por, pelo menos, uma hora entre 103-105°C, esfriar em um dessecador e pesar (E). Ignizar o filtro com o resíduo em uma mufla a  $500 \pm 50^\circ\text{C}$ , esfriar no dessecador e pesar (F). A ignição é feita aquecendo-se previamente o forno, à temperatura de  $500 \pm 50^\circ\text{C}$ , para em seguida, introduzir os filtros. Geralmente, 15 a 20 minutos de ignição são suficientes para trazer um resíduo de cerca de 200 mg, para peso constante. Deixar o filtro esfriar parcialmente ao ar livre, até que a maior parte do calor tenha sido dissipada. Transferir para um dessecador, para o esfriamento final em uma atmosfera seca. Pesar o filtro tão logo ele esfrie. Quando necessário, repetir o ciclo, ignição, esfriamento, dessecação e pesagem, até que um peso constante, em dois ciclos sucessivos, seja conseguido ou até que a diferença de peso seja menor do que 4% do peso anterior, ou 0,5 mg, prevalecendo a menor diferença dessas diferenças. Determinações realizadas em duplicata devem apresentar valores que podem variar em até 5% da média aritmética das mesmas.

Resumindo:

D = peso do papel de filtro tratado (g),

E = peso do papel de filtro após filtração da amostra e secagem (g),

F = peso do papel de filtro após ignição (g),

$V_a$  = volume da amostra (mL).

### 3. Cálculos

As relações envolvidas entre os diversos pesos são as seguintes:

$$\text{SST (Sólidos Suspensos Totais), mg/L} = \frac{1000(E - D)}{\frac{V_a}{1000}}$$

$$\text{SSV (Sólidos Suspensos Voláteis), mg/L} = \frac{1000(E - F)}{\frac{V_a}{1000}}$$

$$\text{SSF (Sólidos Suspensos Fixos), mg/L} = \frac{1000(F - D)}{\frac{V_a}{1000}}$$

## **MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS FILTRÁVEIS OU DISSOLVIDOS**

Os sólidos filtráveis ou dissolvidos compreendem as seguintes frações:

SDT = Sólidos Filtráveis ou Dissolvidos Totais (mg/L),

SDV = Sólidos Filtráveis ou Dissolvidos Voláteis (mg/L),

SDF = Sólidos Filtráveis ou Dissolvidos Fixos (mg/L).

Os sólidos filtráveis ou dissolvidos podem ser obtidos por diferença entre as correspondentes frações dos sólidos totais e dos sólidos suspensos, determinadas na mesma amostra:

SDT = ST – SST,

SDV = STV – SSV,

SDF = STF – SST.

## ANEXO III

### DETERMINAÇÃO DE METAIS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

(Analytical Methods for Flame Spectroscopy)

#### **Materiais**

- Béquero de 250ml
- Solução de ácido clorídrico e ácido nítrico
- Água deionizada
- Chapa de aquecimento
- Tubo digestor
- Bloco digestor
- Balão de 50 ml
- Membrana HA em éster de celulose, 0,45 µm de poro, 47mm de diâmetro
- Espectrometro de absorção atômica Spectr AA. 10 plus.

#### **Mistura para digestão:**

6H<sub>2</sub>O.5HCl.1HNO<sub>3</sub>

#### **Procedimento**

*Para determinação de metais totais*

Colocar 250 mL da amostra em um béquer de 250 mL. Adicionar 12 mL da mistura ácida para digestão para cada 100 mL da amostra. Tampar com vidro de relógio. Colocar o béquer numa chapa aquecida, aproximadamente 100 °C. Deixar na chapa para reduzir até aproximadamente 30 mL, sem ferver. Completar volume para 50 mL e filtrar. Se for necessário, ou seja, se houver presença de sólidos, adiciona-se mais solução ácida de mistura (aproximadamente 5 mL).

Obs: A determinação do metal deve ser feita pela leitura da amostra no AA, multiplicada pelo fator 50/250 (0,2).

*Para a determinação dos metais nos sedimentos*

Metodologia de digestão do Standard Methods for Water and Wastewater para resíduos sólidos (mistura oxidante 2:1, nítrico-clorídrico). Coloca-se uma certa quantidade conhecida de sólido (0,5 g p.e.) (SECO - na estufa 24 horas) e 10 mL de mistura oxidante em um tubo digestor. Leva-se para o bloco digestor e aumenta-se gradativamente a temperatura até 160°C até reduzir à metade o volume. Depois aumenta-se a temperatura para 210°C até ficar incolor se não digerir tudo, coloca-se mais um pouco de mistura e quando estiver digerido, deixar reduzir à +/- 1 mL. Esfria-se e coloca-se em um balão de 50 mL e completa o volume do mesmo. É necessário filtrar.

Obs: Lavar todo o material a ser utilizado nas digestões com ácido nítrico 5%.

## ANEXO IV

As Tabelas 7 e 8 mostra os valores da análise de Biodegradabilidade do lodo proveniente dos ensaios realizados em laboratório para o tratamento de água com o uso do coagulante químico PCA e coagulante natural Moringa, respectivamente.

**Tabela A – Biodegradabilidade do lodo com PCA.**

<b>PCA</b>				
<b>BIODEGRADABILIDADE</b>				
<b>AMOSTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>UMIDADE</b>	<b>91,47%</b>	<b>93,96%</b>	<b>98,07%</b>	<b>93,24%</b>
<b>DIAS</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>1</b>	-12	-6	-1	-3
<b>2</b>	-12	-9	-1	-3
<b>3</b>	-12	-10	-2	-3
<b>4</b>	-16	-11	-3	-3
<b>5</b>	-15	-10	-3	-1
<b>6</b>	-12	-12	-4	0
<b>7</b>	-10	-13	-6	-1
<b>8</b>	-12	-14	-6	-1
<b>9</b>	-12	-4	-4	3
<b>10</b>	-10	-15	-4	5
<b>11</b>	-14	-14	-5	0
<b>12</b>	-14	-15	-5	0
<b>13</b>	-14	-13	-5	3
<b>14</b>	-15	-13	-6	3
<b>15</b>	-13	-15	-6	-2
<b>16</b>	-15	-15	-8	-2
<b>17</b>	-15	-15	-7	-1
<b>18</b>	-16	-17	-6	1
<b>19</b>	-16	-17	-6	-3
<b>20</b>	-16	-17	-8	-5
<b>21</b>	-17	-17	-8	-5
<b>22</b>	-19	-18	-9	-7
<b>23</b>	-20	-19	-10	-3
<b>24</b>	-19	-18	-10	-4
<b>25</b>	-21	-19	-9	-7
<b>26</b>	-21	-19	-11	-1
<b>27</b>	-21	-19	-11	-1
<b>28</b>	-20	-21	-10	-1

**Tabela B – Biodegradabilidade do lodo com Moringa.**

<b>MORINGA</b>				
<b>BIODEGRADABILIDADE</b>				
<b>AMOSTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>UMIDADE</b>	<b>91,36%</b>	<b>97,06%</b>	<b>92,70%</b>	<b>84,08%</b>
<b>DIAS</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>	<b>P (hPa)</b>
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>1</b>	-40	-12	-41	-87
<b>2</b>	-79	-33	-61	-109
<b>3</b>	-111	-54	-79	-136
<b>4</b>	-149	-69	-81	-171
<b>5</b>	-167	-81	-87	-195
<b>6</b>	-175	-90	-92	-212
<b>7</b>	-176	-100	-99	-220
<b>8</b>	-178	-107	-107	-225
<b>9</b>	-179	-114	-111	-227
<b>10</b>	-179	-120	-114	-227
<b>11</b>	-178	-127	-116	-228
<b>12</b>	-180	-133	-119	-227
<b>13</b>	-180	-141	-122	-228
<b>14</b>	-179	-146	-123	-227
<b>15</b>	-179	-147	-127	-227
<b>16</b>	-178	-148	-129	-226
<b>17</b>	-177	-149	-129	-227
<b>18</b>	-176	-150	-131	-226
<b>19</b>	-176	-149	-131	-226
<b>20</b>	-174	-152	-131	-226
<b>21</b>	-173	-153	-131	-225
<b>22</b>	-173	-154	-132	-226
<b>23</b>	-172	-155	-131	-226
<b>24</b>	-172	-156	-137	-225
<b>25</b>	-170	-156	-137	-225
<b>26</b>	-170	-155	-134	-225
<b>27</b>	-168	-154	-134	-223
<b>28</b>	-167	-153	-135	-225