

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DIOGO BONFANTE MAGAGNIN**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE FLOTAÇÃO POR AR  
DISSOLVIDO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES DE UM  
ABATEDOURO DE AVES**

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2012.**

**DIOGO BONFANTE MAGAGNIN**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE FLOTAÇÃO POR AR  
DISSOLVIDO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES DE UM  
ABATEDOURO DE AVES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> MSc. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2012.**

**DIOGO BONFANTE MAGAGNIN**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE FLOTAÇÃO POR AR  
DISSOLVIDO NO TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES DE UM  
ABATEDOURO DE AVES**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Criciúma, 29 de Junho de 2012.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.<sup>a</sup> Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann - Mestre - (UNESC) -  
Orientadora

Prof. José Alfredo Dallarmi da Costa - Mestre - (UNESC)

Prof.<sup>a</sup> Nadja Zim Alexandre - Mestre - (UNESC)

**Dedico este trabalho aos meus pais, que durante todos estes anos, me apoiaram e foram exemplo de coragem e persistência, as minhas irmãs e a minha namorada pelo apoio dedicado.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por minha vida, família e amigos.

Aos meus pais, João Osmar e Verginia, pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

As minhas irmãs Keli e Tayse pelo incentivo e apoio.

A minha namorada Raíssa por sua compreensão, pelo apoio em todos os momentos desta importante etapa em minha vida.

A minha orientadora Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann pelo conhecimento, experiência, apoio e confiança.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas de trabalho que de alguma maneira ajudaram para esta realização.

**“A persistência é o menor caminho do  
êxito”**

**Charles Chaplin**

## RESUMO

O processo produtivo de abatedouros de aves, assim como em vários outros tipos de indústrias, apresenta elevado consumo de água, acarretando a geração de grandes volumes de efluentes. Este efluente possui grande quantidade de matéria orgânica proveniente de sangue, fragmentos de tecidos e gordura, necessitando, portanto, de um tratamento eficaz para a sua remoção. Nesse sentido o tratamento primário exerce um relevante papel, por ser responsável pela diminuição de boa parte da carga poluidora do lançamento e de seu condicionamento para as etapas seguintes. No presente trabalho, foi avaliada a eficiência da aplicação do processo de flotação por ar dissolvido, em escala de bancada, como tratamento primário de efluentes de um abatedouro de aves, etapa não realizada pela empresa em estudo. Na primeira etapa foram avaliados os desempenhos dos coagulantes sulfato de alumínio (solução 4 %), sulfato férrico (solução 1 %) e cloreto férrico (solução 1 %) e um polímero aniônico como floculante (solução 1%), monitorados através das análises de pH e turbidez, onde verificou-se maior eficiência com o uso do sulfato de alumínio (solução 4 %) , com a redução de 80,73 % da turbidez. A segunda etapa do trabalho consistiu em avaliar a dosagem ideal do coagulante selecionado e do polímero aniônico. Pode-se observar que as dosagens ótimas para o referido efluente foram de 2,5 mL/L de coagulante e 2,5 mL/L de floculante, também monitorados pelas análises de pH e turbidez. A terceira etapa foi a simulação do processo de flotação por ar dissolvido onde se obteve resultados significativos com a remoção de aproximadamente 95 % de turbidez, 89 % de sólidos em suspensão totais, 94 % de sólidos em suspensão fixos, 74 % de sólidos em suspensão voláteis e 90 % de óleos e graxas. O processo de flotação por ar dissolvido mostrou ser muito eficiente para condicionamento do efluente em questão, principalmente se em comparação com os resultados obtidos no tratamento primário realizado hoje na empresa, o qual remove cerca de 5 % de sólidos suspensos e 31 % de óleos e graxas. Portanto a implantação da flotação por ar dissolvido como tratamento primário de efluentes pode auxiliar muito o posterior tratamento biológico existente.

**Palavras-chave:** Efluentes. Flotação por ar dissolvido. Abatedouro de aves.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01</b> - Fluxograma do processo produtivo de um abatedouro com a identificação das etapas onde ocorre a geração de efluentes líquidos. ....	20
<b>Figura 02</b> - Fenômeno de captura (colisão mais adesão) de partículas de diâmetro $d_p$ por bolhas de diâmetro $d_b$ dentro de um raio crítico $r_c$ . ....	28
<b>Figura 03</b> - Processo de tratamento de efluentes do abatedouro. ....	46
<b>Figura 04</b> - Flocos adquirindo movimento ascendente após adição de microbolhas de ar com 40 % de reciclo. ....	51
<b>Figura 05</b> - Ação das microbolhas no efluente mostrando duas fases: efluente tratado (transparente) e, produto flotado (lodo). ....	52
<b>Figura 06</b> - Representação dos valores de Sólidos Totais na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa. ....	56
<b>Figura 07</b> - Representação dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa. ....	57
<b>Figura 08</b> - Representação dos valores de Sólidos Suspensos na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa. ....	57
<b>Figura 09</b> - Representação dos valores de pH na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa. ....	58
<b>Figura 10</b> - Representação dos valores de Óleos e Graxas na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa. ....	58

**Figura 11** - Representação da porcentagem de eficiência na remoção de turbidez, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos, sólidos em suspensão voláteis e óleos e graxas pelo processo de Flotação por Ar Dissolvido.....65

**Figura 12** - Efluente bruto e tratado após o teste de Flotação por Ar Dissolvido.....68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Valores médios do efluente do abatedouro de aves em estudo e suas porcentagens de eficiência na remoção dos poluentes no tanque para remoção de gordura e final do tratamento. ....	59
<b>Tabela 02</b> - Dosagens dos coagulantes utilizados nos ensaios.....	60
<b>Tabela 03</b> - Dosagens dos coagulantes e respectivo floculante utilizados nos ensaios.....	60
<b>Tabela 04</b> - Dosagem ótima do coagulante e respectivo floculante utilizados nos ensaios.....	62
<b>Tabela 05</b> - Caracterização do Efluente in Natura e depois de passar pelo processo de flotação por ar dissolvido (teste 01).....	63
<b>Tabela 06</b> - Caracterização do Efluente in Natura e depois de passar pelo processo de flotação por ar dissolvido (teste 02).....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
OG	Óleos e Graxas
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
ETA	Estação de Tratamento de Água
ST	Sólidos Totais
pH	Potencial Hidrogeiônico
µm	Micrômetro
µs	Microsegundo
atm	Atmosfera
Pf	Probabilidade de Flotação
Pc	Probabilidade de Colisão
Pa	Probabilidade de Adesão
Pp	Probabilidade de Permanência
Pr	Probabilidade de Remoção ou Coleta
Ec	Eficiência de Colisão
rc	Raio Crítico
Fd	Força de Cisalhamento
Tr	Tempo de Ruptura
Td	Tempo de Deslocamento
Al(OH) <sub>3</sub>	Hidróxido de Alumínio
Fe(OH) <sub>3</sub>	Hidróxido de Ferro
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Ferro
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto de Ferro
mg	Miligrama
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
S	Superfície
V	Volume

CV	Cavalo a Vapor
RPM	Rotações por Minuto
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
m <sup>3</sup>	Metro Cubico
°C	Graus Celsius
mL	Mililitro
L	Litro
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
SST	Sólidos em Suspensão Totais
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
SSF	Sólidos em Suspensão Fixos
HCl	Ácido Clorídrico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1. OBJETIVO GERAL .....	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1. GERAÇÃO E CRACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS NOS ABATEDOUROS AVÍCOLAS .....	18
2.2. PROCESSO PRODUTIVO DO ABATE DE AVES .....	20
<b>2.2.1. Recepção de aves</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.2. Atordoamento</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.3. Sangria</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.4. Escaldagem</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.5. Depenagem</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.6. Evisceração</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.7. Resfriamento</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.8. Cortes</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.9. Embalagem</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.10. Congelamento</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.11. Expedição</b> .....	<b>23</b>
2.3. IMPORTÂNCIA DA ETAPA DE TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES..	23
2.4. PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO .....	24
<b>2.4.1. Princípios básicos</b> .....	<b>26</b>
2.4.1.1. Probabilidade de colisão .....	26
2.4.1.2. Probabilidade de adesão.....	27
2.4.1.3. Probabilidade de permanência (resistência) .....	28
2.4.1.4. Probabilidade de remoção ou coleta .....	29
2.4.1.5. Influência da vazão de ar no processo de flotação .....	29
2.5. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	29
<b>2.5.1. Coagulação</b> .....	<b>30</b>
2.5.1.1. Compressão da camada difusa .....	31
2.5.1.2. Adsorção-neutralização .....	31
2.5.1.3. Varredura .....	32

2.5.1.4. Adsorção-formação de pontes .....	32
<b>2.5.2. Coagulantes .....</b>	<b>32</b>
2.5.2.1. Cloreto férrico .....	33
2.5.2.2. Sulfato férrico .....	33
2.5.2.3. Sulfato de alumínio .....	34
<b>2.5.3. Floculação.....</b>	<b>34</b>
2.5.3.1. Os polímeros utilizados como floculantes .....	35
<b>2.5.4. Potencial zeta .....</b>	<b>37</b>
<b>2.5.5. Remoção de nutrientes pelo processo de coagulação/floculação .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5.6. Teste de jarros .....</b>	<b>38</b>
2.6. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	39
2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO EFLUENTE .....	40
<b>2.7.1. Turbidez .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7.2. Temperatura da água .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.3. Condutividade elétrica .....</b>	<b>41</b>
<b>2.7.4. pH e alcalinidade .....</b>	<b>42</b>
<b>2.7.5. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7.6. Óleos e graxas (OG) .....</b>	<b>43</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	45
3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS .....	46
3.3. COLETA DO EFLUENTE .....	47
3.4. SIMULAÇÃO E ENSAIOS ANALÍTICOS.....	47
<b>3.4.1. Coagulantes e floculantes utilizados.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.2. Equipamentos e materiais utilizados na flotação por ar dissolvido e nas análises físico-químicas do efluente .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.3. Reagentes utilizados.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.4. Preparo das soluções .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.5. Ensaio de flotação por ar dissolvido (FAD) .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.6. Metodologia para determinação dos parâmetros físico-químicos.....</b>	<b>52</b>
3.4.6.1. Potencial hidrogeniônico (pH) .....	52
3.4.6.2. Turbidez .....	53
3.4.6.3. Sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis .....	53
3.4.6.4. Óleos e graxas (OG) .....	54

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>56</b>
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS .....	56
4.2. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA DETERMINAÇÃO DO COAGULANTE A SER UTILIZADO .....	59
4.3. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA A DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE COAGULANTE/FLOCULANTE .....	61
4.4. TESTES DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS EFLUENTES AO PROCESSO.....	63
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é fundamental à vida e responsável direta pelo bem-estar da espécie humana, devendo estar acessível em quantidade e qualidade suficientes para a população mundial. Porém, tornou-se, ao longo do tempo, mais escassa e poluída. A sua poluição tem procedência na ação antrópica modificadora do ambiente.

Desde as origens do homem, a carne faz parte da sua alimentação, exigindo portanto, o abate de animais, que vem aprimorando suas técnicas através dos tempos. Isto resulta em Processos de Abate que conseqüentemente geram efluentes contaminados.

Nos frigoríficos, como resultado dos procedimentos do abate animal e industrialização da carne, são produzidos grandes volumes de efluentes.

Segundo Sena (2005), as indústrias de processamento de carnes utilizam aproximadamente 62 milhões de metros cúbicos de água por ano em todo o mundo. Deste total, apenas uma pequena quantidade é incorporada ao produto final. A maior parte desta água é transformada em efluentes com alta concentração de poluentes, contendo altos valores de demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5$ ), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (OG), sólidos totais (ST), e outros resíduos diversos, além de nitrogênio, fósforo e cloretos.

De acordo com Bassoi e Guazelli (2004), o lançamento de efluentes líquidos nos corpos d'água, tratados ou não, provoca alterações em suas características físicas, químicas e biológicas. Essas alterações poderão ser ou não representativas para os usos a que as águas do corpo receptor se destinam, dependendo da intensidade da carga de poluentes lançada.

Os tratamentos de efluentes industriais compreendem processos essenciais à remoção de impurezas produzidas na fabricação de produtos de interesse. As formas de tratamento estão associadas de forma direta ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da indústria e às características da água utilizada (CRESPILO, SANTANA & REZENDE, 2004).

O processamento e/ou tratamento dos resíduos e efluentes de abatedouros tem sido uma das grandes preocupações da indústria avícola, principalmente em decorrência das restrições que o mercado consumidor vem impondo as questões de meio ambiente e da sua reutilização (SROKA et al., 2004).

De acordo com Schoenhals (2006), embora que na teoria seja possível tratar o efluente de um frigorífico para qualquer padrão requerido, existem fatores limitantes como os custos de capital, orçamento operacional e espaço físico. As fases primárias de tratamento podem ser determinadas como responsáveis pela remoção da maior parte da matéria poluidora e preparação do efluente para a posterior etapa. Trata-se geralmente de processos que geram economia de capital, operação e área, além de contribuir para um processo biológico posterior mais eficiente.

Grande parte dos materiais presentes em um efluente e responsáveis por sua contaminação não são passíveis de serem removidos pela simples separação física. Os processos físico-químicos aplicados com o objetivo de clarificar efluentes são baseados na desestabilização dos coloides por coagulação/floculação, e separação das fases por sedimentação ou flotação (GHANDI, 2005).

No processo de tratamento físico-químico dos efluentes, por meio de agentes coagulantes/floculantes e seguido do processo de flotação, é possível a separação da parte orgânica do efluente na forma flotada, que consiste em um composto de aparência pastosa, denominada flotado industrial, sendo o mesmo constituído, sobretudo por proteínas e lipídios, os quais são os principais responsáveis pelas alterações dos parâmetros de controle ambiental como pH, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, óleos e graxas entre outros (AGUILAR, *et al.*, 2002).

Segundo Cecchet (2007), no processo de flotação por ar dissolvido ocorre a suspensão do material particulado e/ou coagulado. O resíduo é carregado por microbolhas, que são injetadas no fundo de um reator. Ao chegar à superfície do reator, a suspensão (resíduo flotado) pode ser removida por processos físicos convencionais (raspagem, sucção etc.).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação do processo de flotação por ar dissolvido como tratamento primário para melhoria na eficiência do tratamento do efluente gerado no processo industrial de abate de aves.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Realizar e avaliar testes envolvendo o processo de flotação por ar dissolvido para melhoria na eficiência do tratamento primário da ETE de uma indústria de abate de aves.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as etapas da produção geradoras de efluentes para ETE;
- Analisar e descrever o processo de tratamento de efluentes da ETE;
- Avaliar e monitorar os resultados de parâmetros físicos e físico-químicos da ETE;
- Realizar testes de bancada envolvendo o processo de flotação por ar dissolvido para melhoria na eficiência do tratamento primário da ETE;
- Caracterizar o efluente tratado em bancada e comparar com os resultados obtidos em escala real na indústria de abate de aves.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. GERAÇÃO E CRACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES GERADOS NOS ABATEDOUROS AVÍCOLAS

De acordo com Pacheco (2006), em abatedouros, assim como em vários outros tipos de indústria, seu processo produtivo necessita de alto consumo de água, e conseqüentemente acarreta na geração de grandes volumes de efluentes, cerca de 80 a 95% da água consumida, é descarregada como efluente líquido.

Os efluentes líquidos ao serem despejados com os seus respectivos poluentes característicos, podem causar a alteração da qualidade nos corpos receptores e em conseqüência disto a sua poluição, sendo necessário assim, um tratamento antes do descarte dos mesmos (SCHOENHALS, 2006).

Segundo a Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do Ministério da Agricultura e Abastecimento – Secretaria de Defesa Agropecuária (BRASIL, 1998), o consumo médio de água em matadouros avícolas pode ser calculado tomando-se por base o volume de 30 litros por ave abatida, estando incluso neste número, o consumo de todas as seções do matadouro.

Os efluentes de um abatedouro de aves, segundo Giordano (2004), podem ser gerados nas lavagens de pisos e das instalações nas seguintes etapas da produção: área de recebimentos das aves; lavagens das caixas utilizadas no transporte; sala de abate; sala de sangria; escaldamento; depenagem mecanizada; evisceramento; resfriamento com gelo; embalagem; congelamento e expedição.

Nos frigoríficos, os efluentes gerados possuem uma elevada quantidade de matéria orgânica, proveniente de sangue, fragmentos de tecidos e gordura, que desta forma possuem altos valores de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), sólidos em suspensão, graxas e material flotável. O sangue tem a DQO mais alta de todos os efluentes líquidos gerados no processamento de carnes. Sangue líquido bruto tem uma DQO em torno de 400g/L, uma DBO<sub>5</sub> de aproximadamente 200g/L e concentração de nitrogênio em torno de 30g/L (PACHECO, 2006).

Segundo Dornelles (2009), esses efluentes são altamente putrescíveis, pois entram em estado de decomposição poucas horas depois de seu aparecimento,

liberando odor característico. O aspecto do efluente que é lançado possui cor avermelhada, pelancas, pedaços de gordura em suspensão, são praticamente opacas apresentando assim turbidez elevada e em sua parte coloidal apresentam microrganismos patogênicos.

Os tipos de dejetos e subprodutos produzidos nos diferentes estágios do processamento são mostrados no quadro 01, e incluem a manutenção das aves desde o momento em que elas chegam à plataforma de recepção até a obtenção do produto final.

Quadro 01 - Tipos de dejetos e subprodutos produzidos nos diferentes estágios do processo de abate de aves.

<b>Etapa do processamento</b>	<b>Tipo de dejetos ou processamento</b>
Recepção	Fezes, Penas, Água de Limpeza
Sacrifício	Sangue, Água de Limpeza
Escalda/Depenamento	Penas, Sangue/Gordura, Água de Limpeza
Evisceração	Vísceras, Sangue, Gordura, Pedacos de Carne, Água
Resfriamento	Sangue, Gordura, Pedacos de Carne, Água
Classificação e Empacotamento	Água de Limpeza
Limpeza da Planta	Água de Limpeza

Fonte: Pereira, 2004.

De acordo com Pacheco (2006), é comum nos abatedouros, os efluentes líquidos serem divididos em duas correntes (ou linhas), que podem ser identificadas como: linha “verde”, e linha “vermelha”, sendo que na primeira estão contidos os efluentes líquidos gerados em áreas sem presença de sangue, que podem decorrer das etapas de recepção, lavagens de pátios, caminhões, e na segunda, com os efluentes que contêm sangue de várias áreas do abate em diante. Este processo de separação pode ser feito para facilitar e melhorar seu tratamento primário (físico-químico), que é feito separadamente, permitindo remover e segregar mais e melhor os resíduos em suspensão destes efluentes, de forma a facilitar e aumentar possibilidades para sua destinação adequada.

## 2.2. PROCESSO PRODUTIVO DO ABATE DE AVES

O abate de frangos possui características próprias, peculiares ao animal e ao processo produtivo. A velocidade de abate em um abatedouro é medida em milhares por hora (SALES e PORTO, 1999).

Compõe o processo produtivo de um abatedouro de aves as seguintes etapas: recepção de aves; atordoamento; sangria; escaldagem; depenagem; evisceração; resfriamento; cortes; embalagem; congelamento e expedição, conforme mostra a figura 01.

Figura 01 - Fluxograma do processo produtivo de um abatedouro com a identificação das etapas onde ocorre a geração de efluentes líquidos.



Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

### **2.2.1. Recepção de aves**

Os caminhões com frangos chegam à indústria e permanecem no boxe de repouso por algumas horas, sob ventilação e refrigeração com névoa de água. Os frangos chegam ao matadouro em número de 8 a 10 aves por gaiola e transportados em caminhões abertos. À medida que os frangos deixam as gaiolas, as mesmas são lavadas para possibilitar sua reutilização. Manualmente, os frangos retirados das gaiolas, são pendurados em uma linha aérea com cabeça voltada para baixo (SILVEIRA, 2009).

### **2.2.2. Atordoamento**

Pela linha aérea, os frangos passam em série por uma unidade elétrica de insensibilização dos mesmos, através de descargas elétricas e/ou comprimento de onda de luz infravermelho como opção de instalação (SILVEIRA, 2009).

### **2.2.3. Sangria**

Esta etapa é feita ou pelo corte da veia jugular ou pela perfuração na fenda palatina, quando o sangue percorre por dentro de um túnel de sangria para gotejamento do sangue até a morte. O tempo do processo é calculado em função do número de aves por abate, em geral leva cerca de 3 minutos (SALES e PORTO, 1999).

### **2.2.4. Escaldagem**

De acordo com Sales e Porto (1999), a escaldagem consiste na imersão da carcaça em um tanque de água quente sob agitação. A ave deve entrar no tanque sem vida, para que não aspire água e contamine o interior do organismo por via pulmonar. A escalda tem por finalidade, facilitar a remoção das penas, sendo recomendadas temperaturas que podem variar dos 50°C aos 80°C. Temperaturas mais baixas implicarão na necessidade de maiores tempos para a depenagem, mas menores alterações no aspecto visual da carcaça irão ocorrer. Temperaturas

elevadas na escala diminuem o tempo de depenagem, mas alteram o aspecto visual da carcaça, deixando-a com um aspecto mais descolorido.

### **2.2.5. Depenagem**

A etapa de retirada das penas pode ser realizada por um conjunto de três máquinas, sendo que nelas contem diversos discos que possuem dedos de borracha que giram ao redor de ambos os lados da carcaça, arrancando assim as penas. Água de lavagem é constantemente jogada por cima do equipamento para arrastar as penas. O tempo do processo pode ser feito de forma mais ou menos longo, dependendo da etapa anterior (SALES e PORTO, 1999).

### **2.2.6. Evisceração**

A evisceração pode ser feita de modo manual ou automático. Inicia-se com a abertura da cloaca, com pistola de vácuo, após é aberta a cavidade abdominal, expondo-se as vísceras, de onde se retiram os miúdos e por meio de aspiração os pulmões são removidos. Nesta etapa, deve-se haver extremo cuidado para não se romper os intestinos e contaminar a carcaça com material fecal (SALES e PORTO, 1999).

### **2.2.7. Resfriamento**

A etapa de resfriamento é descrita a seguir, conforme Sales e Porto (1999, p. 03):

Na etapa de resfriamento, a temperatura da carcaça deve descer dos 30°C para 4°C, podendo ser executada de 2 modos: a) Imersão ("spin-chiller"), b) ar frio ("spray-chiller"). Imersão ("spin-chiller"): geralmente consiste em uma série de 2 tanques, sendo um para o pre-resfriamento e outro para o resfriamento, contendo água e gelo. As carcaças vão sendo conduzidas por intermédio de uma rosca sem fim. Neste processo as carcaças absorvem água e ganham peso, devendo gotejar por um certo tempo após a saída do tanque para que o aumento seja excessivo. É o processo utilizado no Brasil e EUA, sendo de custo reduzido em relação ao "spray-chiller".

### **2.2.8. Cortes**

Determinada quantidade de frangos da linha aérea, é distribuída em um conjunto de esteiras rolantes, onde as mesmas sofrem desmontagem da estrutura anatômica em partes denominadas de cortes especiais (SILVEIRA, 2009).

### **2.2.9. Embalagem**

Frangos inteiros são embalados em sacos plásticos, enquanto que a linha de cortes e produtos que sofrem cocção é embalada em bandejas e plásticos (SILVEIRA, 2009).

### **2.2.10. Congelamento**

Determinada quantidade de produtos, de acordo com os pedidos, sofrerão congelamento rápido, menor que  $-35^{\circ}\text{C}$ , para apresentarem maior durabilidade de sua qualidade (SILVEIRA, 2009).

### **2.2.11. Expedição**

Os produtos finais, resfriados a  $0^{\circ}\text{C}$  ou congelados, a temperatura inferior a  $-20^{\circ}\text{C}$  serão transportados por caminhões e navios com sistema de refrigeração, até os clientes da empresa (SILVEIRA, 2009).

## **2.3. IMPORTÂNCIA DA ETAPA DE TRATAMENTO PRIMÁRIO DE EFLUENTES**

De acordo com Crespilho et al (2004), os tratamentos de efluentes industriais contemplam processos necessários à remoção de impurezas geradas na fabricação dos seus produtos. Os métodos de tratamento a serem adotados estão diretamente associados ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da indústria e às características da água utilizada.

Com isso, a caracterização de efluentes é uma tarefa básica para o equacionamento adequado do problema de tratamento dos mesmos. Esta é a etapa de trabalho que gera informações quanto à composição e vazão da água residual,

levando em conta as suas variações ao longo do tempo, em função das atividades responsáveis por sua geração. A partir dessas informações, podem ser adotados métodos físicos, químicos ou biológicos de tratamento (PEREIRA, 2004).

A instalação de equipamentos de pré-tratamento pode reduzir significativamente o capital, o tamanho e os custos de operação de uma planta de tratamento biológico pela sua alta eficiência na remoção de óleos e graxas e sólidos suspensos do efluente (RAVINDRA & MEYLOR, 2005).

Segundo Schoenhals (2006), os sólidos suspensos e óleos e graxas no efluente de um abatedouro, podem contribuir em aproximadamente 30 a 70 % da carga de DBO na água. Pode-se dizer então que sua remoção efetiva pode reduzir a mesma em percentagens relativamente iguais, além de reduzir os custos e o tamanho da planta de tratamento biológica secundária. O tratamento primário contribui ainda para um posterior processo biológico mais eficiente, uma vez que as bactérias são mais efetivas na digestão da matéria dissolvida do que são na digestão de óleos e graxas e sólidos suspensos, pelo simples fato de serem muito grandes para serem dissolvidas.

Dentre os vários tipos existentes para o tratamento de efluentes, podem ser destacados os por processo físico, em que as características são por métodos de separação de fases: sedimentação, decantação, filtração, centrifugação ou flotação dos resíduos. Esses métodos correspondem à transferência dos resíduos para uma nova fase. Além dos métodos físicos, existem ainda processos por troca iônica, oxidação química, biológicos e adsortivos (CRESPILHO et al, 2004).

#### 2.4. PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

A flotação é classificada como um processo de separação de partículas através de sua adesão a bolhas de ar. Os agregados formados apresentam uma densidade aparente menor do que a do meio aquoso e “flutuam” até a superfície de um reator, que é denominado célula de flotação, onde são removidos. Dentre os métodos de flotação, o que tem maior aplicação no setor de saneamento e tratamento de águas e efluentes é a flotação a ar dissolvido (FAD) que utiliza bolhas de dimensões micrométricas (30 – 100  $\mu\text{m}$ ), possibilitando a remoção de partículas coloidais e ultrafinas (< 5  $\mu\text{m}$ ) (MATIOLLO, 2003).

Ainda de acordo com Matiolo (2003), o processo de FAD é realizado fazendo-se a cavitação da água saturada com ar a pressões elevadas, 3-6 atm, e que se libera através de placas de orifício, perfuradas ou válvulas tipo venturi ou de agulha. Nessas constrições de fluxo, a solução se “sobressatura”, se despressuriza e o ar “rompe” a estrutura do fluido pela nucleação/cavitação para formar as microbolhas.

Segundo Fernandes (2010), a utilização do processo de FAD na recuperação de um corpo de água, apesar de ser uma técnica que exige recurso financeiro considerável, apresenta alguns benefícios, tais como a utilização de menor concentração de coagulante e/ou floculantes, alta eficiência na remoção dos sólidos, utilização de menor área para a instalação dos equipamentos, em função da elevada cinética de separação, e maior eficiência na separação de contaminantes em comparação a outros processos de separação gravitacional.

No campo industrial a FAD vem sendo utilizada como tratamento primário de efluentes de indústrias, que possuem grande concentração de substâncias insolúveis, como gorduras e óleos e graxas (DI BERNARDO, 1993).

De acordo com Giordano (2004), a flotação deve ser aplicada principalmente para sólidos que possuam altos teores de óleos e graxas e ou detergentes, tais como os oriundos de indústrias frigoríficas, de pescado, petroquímicas e de lavanderias.

Para que se possa ter a otimização das técnicas de flotação na aplicação ao tratamento de efluentes, o conhecimento dos fenômenos físico-químicos interfaciais, bem como os artifícios envolvidos na geração de bolhas e nas etapas de condicionamento e separação são muito importantes. Além desses fatores, a eficiência dos micro processos envolvidos na flotação sofre influencia pela forma e distribuição do tamanho de bolhas (TESSELE et al, 2004).

Com o desenvolvimento das pesquisas, os parâmetros para o processo de flotação a ar dissolvido vêm sendo consolidados, tornando esse processo ambientalmente confiável e técnico-economicamente viável, se comparado com outras alternativas de separação de sólidos e líquidos, e largamente empregado em vários campos do tratamento de águas e de efluentes em todo o mundo. Os princípios básicos de funcionamento do processo de flotação a ar dissolvido, embora simples, pois se resumem no contato das partículas sólidas com as bolhas de ar dissolvidas no líquido e no seu consequente arraste para a superfície do líquido, dependem de um cuidadoso controle dos parâmetros de projeto, determinados em função das características do efluente a ser tratado (COUTINHO, 2007, p. 7 - 8).

Pode-se destacar dentre estes parâmetros, vários aspectos como, o tamanho das bolhas, o tempo floculação, a taxa de aplicação superficial de flotação, a taxa de recirculação do líquido pressurizado com ar, a pressão na câmara de saturação e, conseqüentemente, a quantidade de ar fornecida em relação à massa de sólidos em suspensão no líquido. Como a flotação é sempre precedida da etapa de coagulação/floculação, devem ser cuidadosamente controlados também, os parâmetros dessa fase (COUTINHO, 2007).

#### **2.4.1. Princípios básicos**

De acordo com Rubio et al. 2002; Yoon, 1999 (apud Schoenhals 2006), a flotação tem grande dependência das características superficiais/interfaciais do sistema partículas e bolhas, portanto, desempenham importante papel na otimização de vários micro processos envolvidos, entre eles, os reagentes hidrofobizantes, coagulantes, floculantes e modificadores de carga. A flotação de partículas em suspensão é, portanto o fenômeno cinético composto por diversas etapas (ou microfenômenos). A seguir (equação 01) descreve-se um modelo probabilístico, micro cinético desta tecnologia representado pela equação:

$$P_f = P_c \cdot P_a \cdot P_p \cdot P_r \quad (01)$$

Onde:

$P_f$  = probabilidade de flotação

$P_c$  = Probabilidade de colisão

$P_a$  = Probabilidade de adesão

$P_p$  = probabilidade de permanência (resistência)

$P_r$  = probabilidade de remoção ou coleta (do produto flotado)

##### **2.4.1.1. Probabilidade de colisão**

De acordo com Schoenhals (2006), o controle da probabilidade de Colisão é basicamente exercido pela hidrodinâmica do sistema. Não existe uma teoria quantitativa que incorpora ao mesmo tempo a influência da concentração de sólidos, distribuição de tamanho de bolhas e partículas sob condições de regime

laminar ou turbulento. Em experimentos tem sido possível medir esta “probabilidade” por meio da  $E_c$  “eficiência de colisão”. Este parâmetro pode ser definido como a razão entre a massa de partículas disponíveis para a colisão localizadas acima da bolha e dentro de uma coluna com um raio “crítico”  $r_c$  (em relação ao centro da bolha) e a massa de partículas que realmente colidiram. Define a capacidade de uma bolha de “capturar” (coletar) partículas dentro de  $r_c$ .

A probabilidade de colisão é, portanto, função do movimento relativo de partículas e bolhas, controlado pelos seguintes fatores:  
 $F_d$ : força de cisalhamento produzido pelo movimento relativo entre o líquido e as partículas;  
 $g$ : força de atração gravitacional com maior importância para partículas densas, de tamanho intermediário e partículas gasosas;  
 A inércia e/ou momentum das partículas (partículas grossas);  
 A difusão ou movimento browniano (partículas ultrafinas) (SCHOENHALS, 2006).

#### 2.4.1.2. Probabilidade de adesão

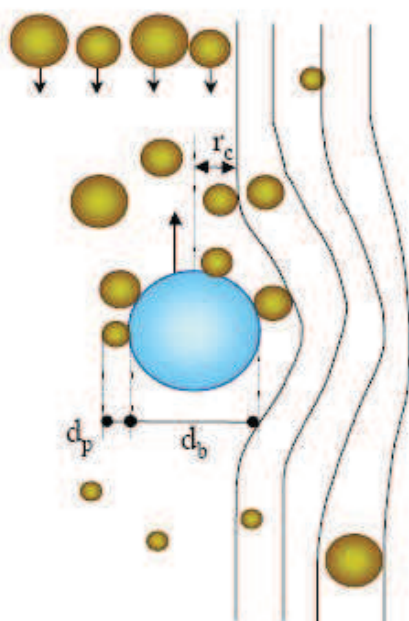
Segundo Schoenhals (2006, p. 34 – 35), o processo de adesão envolve as seguintes etapas:

1. Indução, tempo que leva após a colisão, para se localizar ao ponto onde acontece a adesão propriamente dita. O tempo de indução é da ordem de milissegundos e possui dependência do ângulo de contato das forças interfaciais e da energia de colisão e inclui o adelgaçamento inicial do filme ou película líquida.
2. Ruptura do filme ou película líquida.  $T_r$  = tempo de ruptura, que é da ordem de microssegundos e depende fundamentalmente do ângulo de contato.
3. Deslocamento do filme até o ponto de equilíbrio. O tempo  $T_d$  de deslocamento do filme é da ordem de milissegundos e depende do  $\phi$  (ângulo de contato), do tipo de tensoativo e da rugosidade das partículas.

A “captura” aumenta com a diminuição do tamanho das bolhas e com o aumento do tamanho das partículas. Possui dependência ainda, do fluxo da área superficial de bolhas disponível, de características hidrodinâmicas (peso no campo gravitacional, pressão hidrostática e capilaridade, tensão, compressão e forças de cisalhamento), fatores termodinâmicos relacionados à interação hidrofóbica entre bolhas e partículas e de fatores cinéticos como a energia mínima de colisão para destruir a camada líquida de água que antecede a adesão (SCHOENHALS, 2006).

A representação do fenômeno de captura das partículas pode ser observada na figura 02.

Figura 02 - Fenômeno de captura (colisão mais adesão) de partículas de diâmetro  $d_p$  por bolhas de diâmetro  $d_b$  dentro de um raio crítico  $r_c$ .



Fonte: Matiolo, 2003.

#### 2.4.1.3. Probabilidade de permanência (resistência)

De acordo com Schoenhals, (2006), este fator compreende os sub processos que se acompanham ao de captura, ou seja, os de ascensão das unidades bolhas-partículas e sua recuperação como lodo ou produto flotado. Os dois fatores principais nesta etapa são: um fator ligado à resistência ao cisalhamento na ascensão entre as próprias partículas, e outro com o fenômeno de ruptura via colapso das unidades bolhas-partículas. Portanto, pode-se dizer que a probabilidade de permanência depende dos seguintes parâmetros:

Termodinâmicos: Hidrofobicidade, medida via ângulo de contato na interface sólido/líquido;

Hidrodinâmicos: Turbulência, fricção velocidade de ascensão das bolhas, densidade das partículas e aceleração das unidades bolhas-partículas;

Físicos: Teor do material a ser flotado, diâmetro das partículas que flutam, diâmetro das bolhas, viscosidade e densidade da polpa.

#### 2.4.1.4. Probabilidade de remoção ou coleta

A probabilidade de remoção ou coleta é descrita a seguir por Schoenhals (2006, p. 36):

Esse fator é controlado por fatores termodinâmicos (hidrofobicidade ou ângulo de contato), pelos diâmetros das partículas e bolhas, pelo arraste dos sistemas de coleta (raspadores) do material flotado e por parâmetros físicos, como a viscosidade-rigidez (teor de sólidos) do produto flotado.

#### 2.4.1.5. Influência da vazão de ar no processo de flotação

Na flotação, para que ocorra uma maior eficiência no processo, a vazão de ar deve ser ajustada ao mesmo. Uma interação eficaz entre as bolhas de ar e as partículas coaguladas induz a incorporação de ar dentro dos flocos pré-formados, de forma que esses aglomerados de flocos “inflados” apresentem uma menor densidade, fator principal pelo qual esses tendem a flotação, enquanto que os flocos “compactos” que são formados quando a interação dos flocos e das bolhas de ar é insuficiente, ao se estabilizarem, tendem à sedimentação por serem mais densos que a água (SCHOENHALS, 2006).

### 2.5. COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Na coagulação-floculação ocorre o aglutinamento de partículas em pequenas massas ou flocos, com peso específico maior que o da água, suscetíveis de remoção por filtração ou decantação. Com isto, permite remover partículas de tamanhos que variam entre 0,001  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$ , estando inclusas nesta faixa as partículas coloidais e algumas suspensas (DALSASSO, 2005).

As impurezas presentes na água apresentam cargas superficiais negativas, isso ocorre devido ao pequeno tamanho das partículas e das forças de repulsão. Elas não se aproximam umas das outras e permanecem no seio da água, se suas características não forem alteradas. Para que possam ser removidas as impurezas é necessário alterar algumas propriedades da água e conseqüentemente de suas impurezas, através da adição de determinadas substâncias químicas, denominadas de coagulantes (DI BERNARDO, 1993).

Os termos coagulação e floculação são utilizados, praticamente, como sinônimos, uma vez que o significado de ambos é o processo integral de aglomeração das partículas. Mas, pode-se dizer que a coagulação é o processo por meio do qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam sedimentar (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

De acordo com Sena (2005), os coagulantes mais empregados no tratamento de efluentes são o sulfato de alumínio, sais férricos, soda e polímeros sintéticos, do qual dosagens diversificam amplamente no objetivo de se alcançar uma maior eficiência de remoção de matéria química, usando dosagens mínimas em valores de pH ótimos.

### **2.5.1. Coagulação**

De acordo com Vianna (1997), considerando que a água bruta contém no seu interior suspensões e sistemas coloidais, responsáveis respectivamente pela turbidez e cor, torna-se necessário a remoção desses coloides, sendo feitos através de sua desestabilização. Isto é feito através de processos químicos, mediante a adição de coagulantes ou ainda em alguns casos através de produtos auxiliares. O processo de coagulação começa assim que o coagulante é adicionado na água e sua duração é de fração de segundos e consistem basicamente em uma série de interações físicas e químicas envolvendo o coagulante, a superfície das partículas e algumas substâncias químicas presentes na água.

Estudos sobre a cinética das reações, estabilidade das partículas e química da coagulação tem importância fundamental para o aprimoramento deste processo. A percepção da coagulação progrediu muito com os trabalhos realizados sobre o potencial zeta, a desestabilização das partículas e o tempo de formação dos flocos, bem como a otimização da intensidade da mistura, determinando os gradientes de velocidades mais adequados no processo de coagulação (DI BERNARDO, 1993).

Segundo Azevedo Netto (1976), coagular significa reduzir o potencial zeta a tal ponto que se consiga a união das partículas coloidais produzindo flocos.

Alguns passos são essenciais para que se obtenha a coagulação-floculação, e eles são descritos por Schoenhals, 2006, p. 15 – 16, como:

- redução do potencial zeta;
- fornecimento de energia para provocar agitação que acarrete maior número de choques;
- adição de produtos químicos que auxiliem na formação de aglomerados de partículas.

São extremamente rápidas as reações de adsorção-desestabilização, acontecendo em frações de segundos, (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

A coagulação pode ser considerada como o resultado da ação de quatro mecanismos distintos, que são: a) compressão da camada difusa; b) adsorção-neutralização; c) varredura; d) adsorção-formação de pontes (DALSSASSO, 2005).

#### 2.5.1.1. Compressão da camada difusa

Segundo Sena (2005), a introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal irá ocasionar uma elevação na densidade de cargas na camada difusa e diminuição na “esfera” de influência das partículas, acontecendo assim, a coagulação por compressão da camada difusa.

Concentrações elevadas de íons positivos e negativos acarretam acréscimo do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, tem seu volume reduzido, de tal modo que as forças de Van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática. Dois aspectos são importantes nesse mecanismo de coagulação: a) para haver a coagulação, a quantidade de eletrólitos é praticamente independente da concentração de colóides na água. b) para qualquer quantidade adicionada de eletrólitos, é impossível causar a reestabilização das partículas coloidais, ou seja, a reversão da sua carga, que passa a ser positiva (SENA, 2005, p. 9 - 10).

#### 2.5.1.2. Adsorção-neutralização

Para que ocorra a desestabilização de uma dispersão coloidal precisa-se das interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente. As interações responsáveis pela adsorção do coagulante na interface coloide-água são coagulante-solvente. No caso de espécies hidrolisadas de alumínio e ferro ou de

polímeros sintéticos catiônicos, é comum a ocorrência de adsorção específica, que é causada pela interação entre coagulante e coloide (SENA, 2005).

#### 2.5.1.3. Varredura

Segundo Di Bernardo (1993), conforme a quantidade de coagulante, o pH da mistura e a concentração de alguns tipos de íons presentes, poderá ocorrer a formação de precipitados como o hidróxido de alumínio  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , hidróxido de ferro  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , e outros, dependendo do coagulante.

O mecanismo de varredura é intensivamente empregado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e a sedimentação precedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de tamanho maior e exprimem velocidades de sedimentação relativamente maiores do que os dos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização (SCHOENHALS, 2006).

#### 2.5.1.4. Adsorção-formação de pontes

De acordo com Mendes (1989), por meio do emprego de compostos orgânicos utilizados como coadjuvantes de coagulação, este mecanismo é desenvolvido. Existe uma variedade significativa de compostos orgânicos naturais e sintéticos que atuam como coagulantes e são caracterizados por grandes cadeias moleculares, e apresentação de sítios ionizáveis ao longo da cadeia.

### 2.5.2. Coagulantes

Os coagulantes mais utilizados são os inorgânicos, como por exemplo, o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico. São utilizados ainda os coagulantes orgânicos com densidade de carga positiva que podem ser chamados também de polímeros catiônicos, podendo ser sintéticos ou naturais (SCHOENHALS, 2006).

A distinção entre os coagulantes metálicos e os polímeros catiônicos está na sua reação hidrolítica com a água. As cadeias polimerizadas nos polieletrólitos, já estão formadas quando eles são acrescentados no meio líquido. Nos coagulantes metálicos, a polimerização é originada no contato com o meio líquido, vindo a seguir

a etapa de adsorção dos coloides existentes no meio, segundo Philippi (2001, apud SCHOENHALS 2006).

#### 2.5.2.1. Cloreto férrico

De acordo com Pavaneli (2000), a reação a quente do ácido clorídrico concentrado com o minério de ferro (hematita –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sucedido de resfriamento e filtração, fornece a produção de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) com altíssimo índice de pureza. A concentração final do produto é determinada em torno de 40% em peso de  $\text{FeCl}_3$ . A utilização de  $\text{FeCl}_3$  reduz drasticamente a cor, turbidez, quantidade de sólidos suspensos, DBO, além de eliminar fosfatos.

Quando o cloreto férrico é adicionado em exagero ao meio, parte não participa da reação de coagulação/floculação, ficando este em solução e aumentando os valores dos parâmetros cor e turbidez. A presença de ferro pode ser favorável a uma coloração amarelada e turva à água dependendo dos níveis de concentração (MENDES, 1989).

#### 2.5.2.2. Sulfato férrico

Os sais de ferro são bastante aplicados como coagulantes para tratamento de água. Suas reações são as de neutralização de cargas e formações de hidróxidos insolúveis em ferro. Devido a baixa solubilidade dos hidróxidos férricos, eles podem atuar sobre uma extensa faixa de pH (PAVANELI 2000).

Ainda segundo o mesmo autor, quando da utilização na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, e isto se deve ao seu alto peso molecular se comparado ao alumínio e, por consequência, os flocos são mais densos e o tempo de sedimentação tem significativa redução. O lodo formado é mais compacto, especialmente quando se tem baixa temperatura.

O sulfato férrico vem ganhando espaço no tratamento de efluentes tanto devido a sua significativa redução de custos, quanto a sua menor corrosividade. O sulfato férrico possui um valor médio de 30% mais barato em relação ao cloreto férrico. Sua produção ocorre de forma análoga à produção do cloreto férrico, através da reação do minério de ferro com o ácido sulfúrico, com concentração final em torno de 40% em peso de sulfato férrico (SENA, 2005).

### 2.5.2.3. Sulfato de alumínio

Segundo Silva (1999), os sais de alumínio são amplamente utilizados em todo o mundo como agente coagulante. O sulfato de alumínio apresenta facilidade no seu transporte, manejo, apresenta custo reduzido e é produzido em diversas regiões do Brasil. A coagulação com este coagulante é geralmente efetiva na faixa de pH entre 5,0 a 8,0.

Os flocos resultantes da coagulação com sulfato de alumínio apresentam um lodo gelatinoso e volumoso e são basicamente de natureza inorgânica, assim sendo, o lodo não entra em decomposição biológica, isto é, não é biodegradável, dificultando assim sua disposição final (SANTOS FILHO & RITA, 2002).

### 2.5.3. Floculação

A floculação consiste nas colisões de partículas desestabilizadas (mecanismo de adsorção-neutralização) ou através de colisões entre colóides e partículas floculentas, formadas pela presença de hidróxidos devido à adição de coagulantes inorgânicos (mecanismo de varredura). No processo de floculação faz-se a distinção entre floculação pericinética e ortocinética. Em geral todas as partículas estão submetidas a esses dois tipos de floculação, porém, para partículas pequenas ( $< 1 \mu\text{m}$ ) predomina o movimento browniano, e, portanto, a floculação pericinética. Neste caso, as moléculas de água, devido à energia térmica, proporcionam movimentos erráticos das partículas, favorecendo a colisão entre as mesmas (DALSASSO, 2005).

Segundo o mesmo autor, por outro lado, para partículas maiores, a floculação ortocinética, criada pelas diferenças de velocidade dentro do líquido, tanto em regime laminar como em turbulento, é a quem tem maior importância.

Nos numerosos fatores que afetam o fenômeno da floculação existem diversas relações complexas. Estes fatores podem ser: o sistema químico, incluindo o tipo e concentração do coagulante, pH, alcalinidade, tipo e concentração de íons no meio líquido; heterogeneidade de uma suspensão em relação ao tipo, tamanho e fração de volume de partículas; e o tipo de reator incluindo o grau de mistura e

variação na escala e intensidade da turbulência, segundo Ayoub (1996, apud SCHOENHALS 2006).

Um fator muito importante no meio líquido para floculação é o pH, este parâmetro com valor entre 6 e 7, está numa variação efetiva para floculação com alumínio, mas sais de ferro como cloreto férrico e sulfato férrico fornecem uma variação muito grande de pH para a formação dos flocos. A variação do pH ótimo depende da temperatura do meio líquido e dos tipos de sólidos suspensos, especialmente na floculação com alumínio, conforme Mcconhachie *et al.* (1999, apud SCHOENHALS 2006).

Outro fator muito importante no processo de floculação é o efeito da temperatura. O tempo de composição dos flocos ocorre muito antes em meio líquido frio quando o alumínio é usado como coagulante. Entretanto, o uso de coagulante férrico em meio líquido frio frequentemente resulta em uma rápida formação de flocos e a turbidez se mantém igual ou menor do que a floculação com alumínio em meio líquido quente, segundo Ernest *et al.* (1995, apud MAGNAN 2010).

#### 2.5.3.1. Os polímeros utilizados como floculantes

No processo de floculação introduzem-se os polímeros orgânicos, sintéticos ou naturais, (polieletrólitos) utilizados normalmente como auxiliares de coagulação. Podem ser usados para elevar a velocidade de sedimentação dos flocos, em estações de filtração direta, para ampliar a resistência destes aos efeitos de cisalhamento provocado pelas forças hidrodinâmicas do escoamento no decorrer dos interstícios do meio filtrante, retardando a ocorrência do transpasse (fenômeno pelo qual as partículas atravessam os interstícios do meio filtrante ocasionando a queda da qualidade do efluente). Em consequência disto, a duração das carreiras dos filtros é prolongada (LIBÂNIO, 2005).

De acordo com Metcalf; Eddy (1995, apud SCHOENHALS 2006), os polímeros ou polieletrólitos são formados de monômeros simples que são polimerizados às substâncias de alto peso molecular com pesos moleculares variando de  $10^4$  a  $10^6$ .

Nos polímeros, podem prevalecer sítios ionizáveis positivos (catiônicos) e negativos (aniônicos), ou nenhum destes (não-iônicos). O catiônico é aquele que quando dissolvido em água se ioniza, adquire carga positiva e atua como um

autêntico cátion. O aniônico, de forma semelhante, adquire carga negativa e atua como anion. O não iônico é aquele que não se ioniza em água. Os polímeros não iônicos não são polieletrólitos, mas são incorporados nessa categoria devido à semelhança de suas aplicações (SCHOENHALS, 2006).

Nos polímeros catiônicos a carga positiva fica adjunta ao corpo do polímero, ou seja, à cadeia do mesmo, e nos aniônicos a carga negativa é a que fica ligada ao corpo do polímero (SANTOS FILHO, 1973).

Os polímeros de peso molecular alto têm cadeias muito longas e por isso são capazes de estabelecer ligações entre partículas diminutas dispersas na água, facilitando sua aglutinação e as transformando, conseqüentemente, em partículas relativamente grandes. Para que a aglutinação de partículas suspensas na água se verifique é necessário que a molécula do polímero seja adsorvida nas superfícies de duas ou mais destas partículas. Para tanto, são fundamentais a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero. A carga do polímero serve para neutralizar as cargas da matéria em suspensão na água e o grupo funcional, quanto mais atuante, mais facilitará a adsorção das partículas ao polímero (SANTOS FILHO, 1973, p. 34).

Quando se adiciona um excesso de polímero catiônico a um efluente que tem por objetivo ser clarificado, as partículas suspensas adquirirão cargas positivas e permanecem dispersas no seio da água. Isso é a definição do que se chama de “reversão de carga” da matéria em suspensão, pois de negativas que eram tornaram-se positivas. A seguir neutraliza-se com cautela o excesso de cargas positivas usando-se um polímero aniônico. Nesta etapa pode-se notar a aglutinação das partículas e a conseqüente clarificação da água (DI BERNARDO, 1993).

Os polímeros aniônicos são polieletrólitos com massas molares típicas entre 12-15 mg.mol<sup>-1</sup>, comercialmente disponíveis na forma sólida, tendo necessidade de intensiva agitação durante a dissolução em concentrações recomendadas entre 0,25 e 1,0% (p/v) para uma dissolução satisfatória, sendo eficientes em dosagens muito baixas, conforme Entry et al. (2002, apud SCHOENHALS 2006).

Estes polímeros em geral são efetivos dentro de uma ampla faixa de pH, cujas características aniônicas permitem a neutralização de cargas positivas presentes na superfície das partículas suspensas em meio aquoso. Além disso, por efeitos de adsorção e formação de pontes intermoleculares de partículas em suspensão, é possível formar flocos maiores que serão mais facilmente separados do meio, segundo Blggs *et al.* (2000, apud SCHOENHALS 2006, p. 28).

#### 2.5.4. Potencial zeta

O potencial zeta é utilizado para determinar a estabilidade e a tendência à floculação de sistemas coloidais, dado que pode ser considerada uma característica aceitável para medir a grandeza das interações repulsivas entre partículas coloidais. A medida do potencial zeta, ou potencial eletrocinético, corresponde ao estabelecimento da carga eletrostática superficial de pequenas partículas sólidas dispersas em água (colóide). A maioria dos colóides na natureza possuem carga negativa, e a magnitude dessa carga determina a estabilidade do coloide (DI BERNARDO, 1993).

O potencial zeta é uma função da carga da camada difusa e sua extensão é proporcional à velocidade, ou seja, quanto maior a densidade e extensão da camada difusa, maior será a velocidade da partícula dispersa sob a ação de um campo elétrico, ao passo que o atrito entre as partículas e o líquido que contém a camada difusa será menor (AZEVEDO NETTO, 1976, p. 53).

O potencial zeta possui caráter negativo quando as partículas migram do polo negativo para o positivo, e positivo quando o contrario acontece (SCHOENHALS, 2006).

Segundo o mesmo autor, as forças de Van der Waals, mais representativas que as forças gravitacionais, decrescem à medida que aumenta a distância entre as partículas, não havendo efeito significativo, a não ser quando as partículas estão muito próximas.

As forças de Van der Waals, quando estão muito próximas, provocam a adesão entre as partículas, constituindo assim aglomerados passíveis de serem removidos. Para que isso tenha condições de ocorrer, é necessário reduzir a força de repulsão eletrostática, isto é, o potencial zeta (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

### 2.5.5. Remoção de nutrientes pelo processo de coagulação/floculação

Segundo Edwards e Amirtharajah (1985, apud SCHOENHALS, 2006), a remoção de nitrogênio ao longo do processo de coagulação/floculação está ligada à remoção de material coloidal. São removidos neste caso, sobretudo nitratos, já que representam o conteúdo de proteínas e as mesmas podem ser consideradas em parte hidrofóbicas e em partes hidrofílicas (ligações de peptídeos, grupos amino e carboxílicos).

Aguilar *et al.* (2002, apud Schoenhals 2006), aplicando o processo de coagulação/floculação a um efluente frigorífico alcançaram de 85 a 88% de taxas de remoção de nitratos, sendo que a remoção de nitrogênio amoniacal foi muito pequena (<10%), pois o processo em questão não o remove diretamente.

### 2.5.6. Teste de jarros

A determinação de forma analítica da dosagem de coagulante e auxiliar de coagulação essencial para o tratamento de um efluente é complicado, pelo fato de que existem complexas inter-relações entre o coagulante químico e os vários elementos existentes nos efluentes a serem tratados, entre eles, fatores como o pH, a temperatura, intensidade e duração da mistura. Para tanto, equipamentos conhecidos como Jar-Test podem ser utilizados para que se obtenha a dosagem mais eficiente e econômica de certo coagulante para uma determinada intensidade e duração de mistura (SCHOENHALS, 2006).

Este ensaio é muito utilizado em laboratório para que se possa determinar parâmetros básicos fundamentais na elaboração de projetos de estações de tratamento de água. É através dos testes de jarros em laboratório que se obtém o tempo e a agitação necessária à condição ótima de coagulação/floculação de um efluente. Uma vez determinada a dosagem ótima dos coagulantes, verifica-se o tempo e o gradiente de velocidade ótimo para se flocular o efluente em estudo. A floculação obtida deve apresentar uma boa porcentagem no decaimento da turbidez após a decantação (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1976, p. 56).

De acordo com Mendes (1989), para cada período de floculação existe um gradiente de velocidade ótimo, com o qual se alcança a maior eficiência de remoção de flocos por sedimentação.

## 2.6. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Segundo Jordão & Pessôa (1975), as lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é feita pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas.

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. O seu processo consiste basicamente na retenção do efluente por um período longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam. Suas vantagens são que os processos naturais são confiáveis e que não há equipamentos, ficando assim, simples e barato a sua utilização. Já suas desvantagens são que se necessitam longos tempos de detenção, a dependência da temperatura e grandes quantidades de área para instalações (VON SPERLING, 1996).

Segundo Jordão & Pessôa (1975), as lagoas aeradas são uma forma de sistema de tratamento por lagoas de estabilização, onde o suprimento de oxigênio é garantido por aeradores mecânicos. As lagoas aeradas são classificadas, segundo o comportamento e a cinética do processo, em lagoas aeradas aeróbias ou de mistura completa e lagoas aeradas facultativas.

De acordo com Von Sperling (1996), as lagoas aeradas de mistura completa são essencialmente aeróbias e os aeradores garantem a oxigenação do meio e mantém os sólidos em suspensão. A lagoa aerada facultativa é utilizada quando se deseja ter um sistema predominantemente aeróbio, e também de dimensões mais reduzidas que as lagoas facultativas ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas. A principal diferença da lagoa aerada facultativa para a lagoa facultativa convencional é quanto à forma de suprimento de oxigênio, onde, enquanto em uma lagoa facultativa o oxigênio é advindo da fotossíntese, em uma lagoa aerada facultativa o oxigênio é principalmente obtido através de aeradores mecânicos. As lagoas aeradas facultativas são menos simples em termos de manutenção e operação das lagoas facultativas convencionais, devido ao fato de sua mecanização.

Segundo o mesmo autor, a denominação de lagoa aerada facultativa é pelo fato de que o nível de energia introduzido pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação, não para manter os sólidos (biomassa e sólidos em suspensão

do esgoto bruto) dispersos na massa líquida, desta forma, os sólidos tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo do fundo, a ser decomposta anaerobiamente. Apenas a DBO solúvel e a DBO representada pelos sólidos de menores dimensões permanecem na massa líquida, vindo a sofrer decomposição aeróbia. Portanto, em termos da distribuição da biomassa heterotrófica, a lagoa se comporta como uma lagoa facultativa convencional.

Lagoas anaeróbias é uma forma alternativa de tratamento de efluentes, na qual se necessita da existência de condições estritamente anaeróbias. A condição de anaerobiose é alcançada quando ocorre o lançamento de uma grande carga de DBO<sub>5</sub> por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a velocidade de consumo de oxigênio seja superior à velocidade de produção (VON SPERLING,1996).

## 2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO EFLUENTE

As características físicas do efluente têm um importante papel quando da escolha da tecnologia de tratamento a ser adotada. Em geral, as características físicas são facilmente determinadas (Di Bernardo *et al*, 2002).

Segundo o mesmo autor, do ponto de vista sanitário, as características químicas das águas são de grande importância, pois a presença de alguns elementos ou compostos químicos pode fazer com que se torne inviável o uso de determinadas tecnologias de tratamento e impor tratamentos específicos.

### 2.7.1. Turbidez

A presença de partículas em suspensão e em estado coloidal nas águas forma a turbidez, que pode ser ocasionada por uma grande variedade de materiais, incluindo partículas de areia fina, silte, argila e microrganismos. As partículas que possuem menor tamanho e baixa massa específica são as mais complicadas de ser removidas nas ETE's, por possuírem menor velocidade de sedimentação (DI BERNARDO, 1993).

Quanto menor a turbidez da água produzida na ETA, mais eficiente é a sua remoção de sólidos suspensos. No entanto, para valores idênticos de turbidez, pode haver grande diferença no número e tamanho das partículas,

sendo que, para maior eficiência de remoção são preferíveis partículas menores (Di Bernardo, *et al*, 2002, p. 23).

### **2.7.2. Temperatura da água**

Variações de temperatura é parte do regime climático normal, e corpos de água naturais e artificiais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos (CETESB, 2012).

De modo geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Organismos aquáticos apresentam limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2012).

### **2.7.3. Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica possui dependência da qualidade de sais dissolvidos na água. A estimativa da quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) na água pode ser conseguida pela medição da condutividade elétrica. Para valores elevados de STD, a solubilidade dos precipitados de ferro e alumínio aumenta o que influi na cinética da coagulação. Também são afetadas a formação e a precipitação de carbonato de cálcio, favorecendo a corrosão (DI BERNARDO, *et al*, 2002).

A condutividade elétrica constitui uma medição indireta da acumulação de poluentes. De modo geral, níveis acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados. A condutividade fornece ainda uma boa indicação das alterações na composição de uma água, principalmente na sua concentração mineral, porém, não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos iônicos são acrescentados, a condutividade da água

aumenta. Altos valores podem apontar características corrosivas da água (CETESB, 2012).

#### 2.7.4. pH e alcalinidade

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é universalmente utilizado para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de exprimir a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de 0 (zero) indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade (CETESB, 2012).

De acordo com Di Bernardo *et al* (2002), trata-se de um importante parâmetro principalmente nas etapas de coagulação, filtração, desinfecção e controle da corrosão. Pode-se entender a alcalinidade como a capacidade da água de neutralizar ácidos, e a acidez por sua vez, a capacidade de neutralizar bases. A alcalinidade e a acidez de soluções aquosas baseiam-se, geralmente, no sistema do ácido carbônico.

Segundo os mesmos autores, a medição da alcalinidade é usualmente feita por meio de titulação com ácido padronizado, sendo seus resultados expressos em quantidade de carbonato de cálcio. A não ser que seja devida a hidróxidos ou que contribua de modo acentuado para a quantidade de sólidos totais, a alcalinidade não possui importância para o aspecto sanitário.

A alcalinidade tem considerável influência na coagulação química, uma vez que os principais coagulantes primários usualmente utilizados no Brasil – sais de alumínio e ferro – atuam como ácidos dipróticos em solução. Se a alcalinidade da água for baixa, poderá ser requerida a adição de um alcalinizante para ajuste do pH de coagulação, mas, se, por outro lado, a alcalinidade e pH forem relativamente altos, é provável que o sulfato de alumínio não seja o coagulante indicado (DI BERNARDO, 1993).

Embora não tão significativa, há interesse em conhecer a acidez, pois o condicionamento final da água na ETA pode exigir a adição de alcalinizante para manter a estabilidade do carbonato de cálcio e evitar problemas relacionados à corrosão no sistema de abastecimento de água. A acidez também é expressa em termos de carbonato de cálcio e pode ser

determinada por titulação utilizando uma base para neutralizar o CO<sub>2</sub> presente, segundo (DI BERNARDO, *et al*, 2002, p. 41).

### **2.7.5. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**

A expressão Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), empregada para expressar o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente, corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos do esgoto ou efluentes industriais, na oxidação biológica, quando mantida a uma determinada temperatura por um espaço de tempo convencional. Essa demanda pode ser suficientemente grande, para consumir todo o oxigênio dissolvido da água, o que condiciona a morte de todos os organismos aeróbios de respiração subaquática (DEBERDT, 2012).

Segundo Cetesb (2012), os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

### **2.7.6. Óleos e graxas (OG)**

De acordo com Cetesb (2012), os óleos e graxas são substâncias orgânicas que podem ser de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias de forma geral são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, sendo normalmente originados de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. Os lançamentos de origem industrial são os que mais colaboram para o aumento de matérias graxas nos corpos d'água. A baixa solubilidade dos óleos e graxas estabelece um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de efluentes por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento d'água. A presença de material graxo nos corpos d'água,

além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo assim, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água. Os óleos e graxas em seu processo de decomposição reduzem o oxigênio dissolvido elevando a DBO e a DQO, causando alteração no ecossistema aquático.

### 3. METODOLOGIA

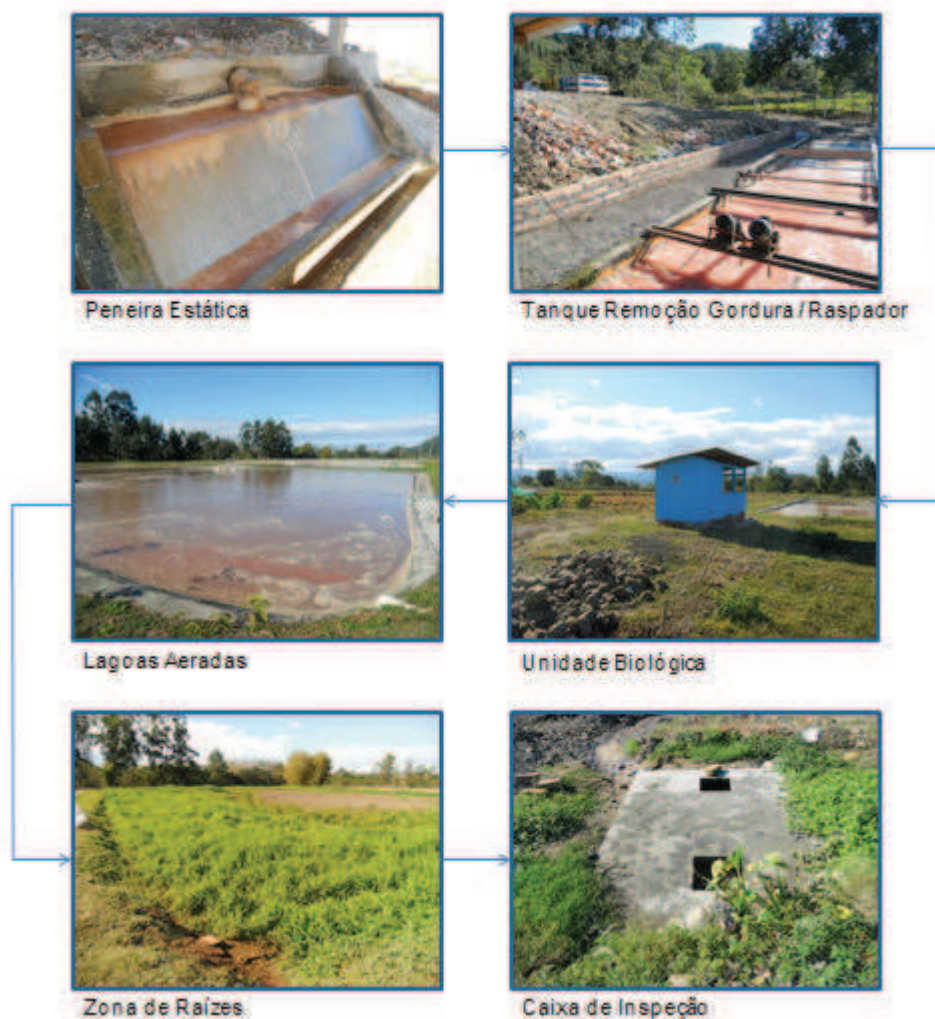
A parte experimental deste trabalho foi efetuada no Laboratório de Química da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), onde foram realizados os ensaios de flotação por ar dissolvido e definidos, através de análises, os parâmetros necessários para que seja possível avaliar a eficiência do tratamento.

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

A estação de tratamento de efluentes (ETE) onde foi realizado o trabalho encontra-se localizada em um abatedouro de aves no município de Morro Grande – SC, que possui capacidade de abate de 100.000 aves/dia e vazão média de efluentes de 3.000 m<sup>3</sup>/dia. O tratamento de efluentes é realizado por processo Físico e Biológico, que é composto por uma peneira estática ( $S = 3 \text{ m}^2$ ), um tanque para remoção de gordura ( $V = 120 \text{ m}^3$ ), onde nele estão instalados dois aparelhos aeradores (10 CV / 3500 RPM) para causar o turbilhonamento do efluente, um sistema de raspador de lodo (3 CV / 200 RPM), para fazer a retirada da gordura que flutua no tanque para remoção de gordura, uma unidade microbiológica (quatro leitões para dosagem de bactérias), quatro lagoas aeradas revestidas em concreto, distribuídas em série com volume unitário de 6.000 m<sup>3</sup> e volume total de 24.000 m<sup>3</sup>, dez aparelhos de aeração (10 CV / 3500 RPM), os aparelhos são distribuídos gradativamente sobre as lagoas aeradas, sendo três aeradores na primeira lagoa, três aeradores na segunda lagoa, dois aeradores na terceira lagoa e dois aeradores na quarta lagoa e uma lagoa zona de raízes ( $S = 2.400 \text{ m}^2$ ) com vegetação de juncos e taboas. Os efluentes depois de tratados passam por uma caixa de inspeção e em seguida são despejados no rio Manoel Alves, localizado a aproximadamente 350 metros da ETE.

A figura 03 apresenta em forma de fotos o processo de tratamento da empresa.

Figura 03 - Processo de tratamento de efluentes do abatedouro.



Fonte: o autor

### 3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

Foram levantados os resultados das análises de efluentes do abatedouro de aves no período de janeiro de 2011 a março de 2012. Os pontos de amostragem foram: a entrada da estação de tratamento de efluentes; a saída do tanque para remoção de gordura e a saída da última lagoa (zona de raízes).

Foram registrados os valores referentes ao efluente bruto e o tratado. Os parâmetros levantados foram pH, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos, Sólidos Totais Dissolvidos e Óleos e Graxas.

### 3.3. COLETA DO EFLUENTE

Foi coletado o efluente bruto por meio da técnica de amostra simples. O ponto de amostragem empregado para todas as coletas estava localizado na entrada da estação de tratamento de efluentes de um abatedouro de aves localizado no município de Morro Grande - SC. Posteriormente, o efluente foi armazenado em recipientes de polietileno com capacidade volumétrica de cinco litros, sendo encaminhado de forma imediata para o Laboratório de Química da UNESC procurando manter suas propriedades físico-químicas e biológicas inalteradas.

### 3.4. SIMULAÇÃO E ENSAIOS ANALÍTICOS

#### 3.4.1. Coagulantes e floculantes utilizados

Nesta etapa, buscou-se definir a necessidade da adição de coagulante/floculante e sua quantidade no processo de flotação por ar dissolvido. Foram realizados testes sem e com a adição de coagulante/floculante.

Foi tomado como referencia na definição dos tipos de coagulantes e floculante, concentração e quantidade utilizadas, trabalhos anteriores como, Schoenhals (2006).

Os ensaios de coagulação/floculação foram feitos em escala de bancada utilizando três coagulantes: Sulfato de Alumínio (solução 4 %), Sulfato Férrico (solução 1 %) e Cloreto Férrico – (solução 1 %), com um polímero aniônico (solução 1 %) como floculante.

Para monitorar a eficiência dos produtos, foram realizados testes de pH e turbidez.

#### 3.4.2. Equipamentos e materiais utilizados na flotação por ar dissolvido e nas análises físico-químicas do efluente

- Galão de plástico com efluente de Abatedouro de Aves;
- Beckers;
- pHmetro para leitura de pH (modelo) QUIMIS Q – 400 calibrado com solução tampão com pH 4,0 e 7,0;

- Pipeta graduada;
- Pipetador;
- Pissete com água deionizada;
- Papel absorvente;
- Bastão de vidro;
- Proveta graduada;
- Turbidímetro nefelométrico policontrol AP 2000, calibrado com os padrões de 10, 100, e 1000 NTU;
- Unidade laboratorial de FAD;
- Célula de flotação em acrílico com capacidade para 1 litro;
- Vaso saturador em PVC com capacidade de 3 litros;
- Compressor;
- Balança eletrônica;
- Balão volumétrico;
- Agitador magnético;
- Suporte e garra;
- Peixinho;
- Cadinho de porcelana;
- Bomba de vácuo;
- Kitasato;
- Papel de filtro quantitativo faixa branca (filtração média);
- Balança analítica;
- Mufla regulada a  $550 \pm 50$  °C;
- Estufa regulada a  $104 \pm 1$  °C;
- Dessecador com sílica-gel;
- Pinça metálica;
- Balão de fundo chato com boca esmerilhada;
- Aparelho extrator de Soxhlet;
- Banho-maria regulado a  $85$  °C ou chapa aquecedora;
- Funil de Büchner;
- Frasco de boca larga;
- Vidro de relógio;
- Algodão.

### 3.4.3. Reagentes utilizados

- Caulin (suspensão);
- Água de diluição;
- Solução Indicadora de Amido;
- Tiosulfato 0,025 N;
- Cal Hidratada (solução 5%);
- Ácido clorídrico concentrado;
- Éter de petróleo.

### 3.4.4. Preparo das soluções

- Caulin (suspensão): Suspendeu-se cinco gramas de Caulin em 1000 mL de água destilada.
- Cal Hidratada (suspensão 5%): Foi adicionado 50 gramas do reagente em um litro de água deionizada, sendo agitado até proporcionar uma mistura homogênea.
- Sulfato de Alumínio (Solução 4 %): Pesou-se 18,47 gramas do produto e dissolveu-se com água até o volume de 250 mL.
- Sulfato Férrico (Solução 1 %): Pesou-se 2,5 gramas do produto e dissolveu-se com água até o volume de 250 mL.
- Cloreto Férrico (Solução 1 %): Pesou-se 2,5 gramas do produto e dissolveu-se com água até o volume de 250 mL.

### 3.4.5. Ensaio de flotação por ar dissolvido (FAD)

Primeiramente para o funcionamento da célula de FAD foi adicionado água deionizada até completar o vaso saturador com um volume de 3L. Em seguida, foi ligado o compressor para injeção de ar comprimido, controlando a pressão até atingir 4,5 Kgf/cm<sup>2</sup>. Manteve-se cerca de vinte minutos ligado até dar início ao processo de flotação, valores estes, indicados em GALATTO (2003).

Após, foi colocado um litro de efluente bruto em um Becker, o qual foi ajustado o pH com cal virgem (5%) até atingir pH 8,8, conforme sugerido em GALATTO (2003), e também devido a acidez do coagulante. Foi colocada a solução lentamente com uma pipeta graduada aguardando o tempo necessário para que as

reações acontecessem e atingissem o pH desejado. Durante este processo o pH foi monitorado por meio de um pHmetro digital, finalizando a etapa quando pH ideal de 8,8 foi atingido.

Após, colocou-se o efluente na célula de FAD e adicionou-se 2,5 mL do coagulante Sulfato de Alumínio (solução 4%), com a ajuda de uma pipeta graduada, agitando-se a amostra com o auxílio de um bastão de vidro. Após foi adicionado 2,5 mL de floculante, solução 1% de polímero aniônico, também com auxílio de uma pipeta graduada, agitando-se o efluente.

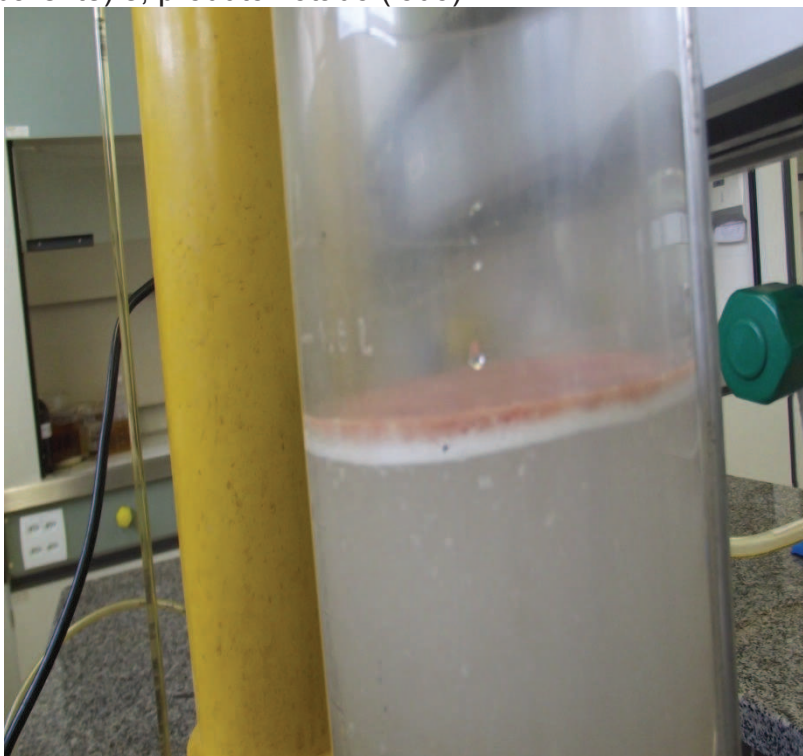
Após, injetou-se ar comprimido na amostra, com taxa de reciclo 40 % a uma pressão de 4,5 Kgf/cm<sup>2</sup> por cerca de 1 minuto (tempo de agregação bolha - partícula), (GALATTO, 2003). Neste intervalo de tempo os flocos reagiram normalmente e adquiriram movimento ascendente, flotando até a superfície conforme observado nas figuras 04 e 05.

Figura 04 - Flocos adquirindo movimento ascendente após adição de microbolhas de ar com 40 % de reciclo.



Fonte: o autor

Figura 05 - Ação das microbolhas no efluente mostrando duas fases: efluente tratado (transparente) e, produto flotado (lodo).



Fonte: o autor

Nos ensaios foram tomadas alíquotas do efluente bruto e após o tratamento por FAD, para análise de pH, turbidez, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos, sólidos em suspensão voláteis e óleos e graxas no Laboratório de Química da UNESC.

### **3.4.6. Metodologia para determinação dos parâmetros físico-químicos**

#### **3.4.6.1. Potencial hidrogeniônico (pH)**

Para a determinação do pH, primeiramente ligou-se o potenciômetro e calibrou-se com soluções tampão. Em seguida, foi agitado o frasco que continha à amostra de efluente e, em seguida, foi passado o mesmo para um Becker de 100 mL. Feito isto, introduziu-se o eletrodo na amostra e esperou-se até que o mesmo se estabilizasse e fez-se a leitura do valor de pH através do mostrador digital.

#### 3.4.6.2. Turbidez

Para estabelecer a turbidez da amostra de efluente, primeiramente foi ligado o aparelho turbidímetro e, em seguida, foi calibrado o mesmo conforme orientação do fabricante com soluções padrões de: 10 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), 100 NTU e 1000 NTU. Após, colocou-se a amostra no frasco correspondente até a marca indicada, secando com cuidado a área externa do mesmo. Feito isto, prosseguiu-se introduzindo o frasco em local apropriado no aparelho. A leitura deu-se de forma direta através do mostrador digital do aparelho, sendo expressa em NTU.

#### 3.4.6.3. Sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis

Para a determinação de sólidos, inicialmente fez-se o preparo do cadinho de porcelana, aquecendo-o na mufla a  $550 \pm 50$  °C por uma hora, e após passou-se o mesmo a estufa a  $104 \pm 1$  °C por mais uma hora. Esfriou-se o cadinho em um dessecador e em seguida pesou-se o mesmo. Foram repetidas as operações de aquecimento, resfriamento e pesagem até peso constante ( $P_1$ ). Prosseguiu-se com a preparação do papel filtro, onde o mesmo foi previamente aquecido em estufa a temperatura de  $104 \pm 1$  °C por uma hora, resfriando-o e após realizando a pesagem do mesmo ( $P_1$ ). Em seguida foi conectado o aparelho de filtração a vácuo e colocado o papel filtro. Após, agitou-se a amostra do efluente e retirou-se a alíquota de 50 mL. Foi pego este volume e filtrou-se o mesmo a vácuo. Depois disto, foi secado o papel filtro na estufa a  $104 \pm 1$  °C durante uma hora e após foi resfriado em dessecador pesando-o posteriormente ( $P_2$ ). Para a continuação da análise foi calcinado na mufla a  $550 \pm 50$  °C durante uma hora, até cinzas brancas e em seguida foi esfriado novamente em dessecador e posteriormente pesado ( $P_3$ ).

A expressão dos valores de Sólidos em Suspensão Totais, Sólidos Voláteis e Sólidos em Suspensão Fixos foram dados pelas equações 02, 03 e 04, respectivamente.

$$\text{SST} = (P_2 - P_1) \times 1.000.000 / V \quad (02)$$

$$\text{SSV} = (P_2 - P_3) \times 1.000.000 / V \quad (03)$$

$$\text{SSF} = \text{SST} - \text{SSV} \quad (04)$$

Onde:

SST = Sólidos em Suspensão Totais (em miligrama por litro – mg/L).

SSV = Sólidos em Suspensão Voláteis (em miligrama por litro - mg/L).

SSF = Sólidos em Suspensão Fixos (em miligrama por litro - mg/L).

P<sub>1</sub> = Peso (em gramas) do cadinho de Gooch vazio.

P<sub>2</sub> = Peso (em gramas) do cadinho com sólidos filtrados da amostra.

P<sub>3</sub> = Peso (em gramas) do cadinho com sólidos filtrados da amostra calcinados.

V= Volume de amostra utilizado na filtração (em miligrama).

#### 3.4.6.4. Óleos e graxas (OG)

O teor de óleos e graxas no efluente foi determinado pelo método de extração em Soxhlet com éter como solvente. Para isto, primeiramente coletou-se 250 mL de efluente e após foi adicionado 0,75 mL de HCl concentrado para que ocorresse a acidificação da amostra a pH 1,0. Após Fez-se a preparação do filtro introduzindo sobre o funil de Büchner um papel filtro. Umedeceu-se o papel filtro com água deionizada e filtrou-se 100 mL de suspensão utilizando sistema de vácuo para remoção de todo o líquido e, em seguida, repetiu-se a operação com 100 mL de água deionizada. Prosseguindo, agitou-se o frasco que continha à amostra de 250 mL acidificada, e filtrou-se através deste filtro preparado, utilizando vácuo. Posteriormente com o auxílio de uma pinça, foi retirado o papel de filtro e colocado em um vidro de relógio. Utilizou-se tiras de papel de filtro para limpar toda aderência que ficou no funil. Após foi dobrado o papel de filtro e as tiras e foi introduzido no cartucho de extração. Foi limpo qualquer remanescência de material que ficou no funil e no vidro de relógio, com papel de filtro embebido no solvente (éter) e após foi introduzido no cartucho tampando-o com algodão. Este cartucho com os papéis de filtro foram secos na estufa a  $104 \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante duas horas. Em seguida foi tarado o balão de extração em estufa a  $104 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por uma hora. Depois foi resfriado em dessecador e pesado, foram repetidas as operações de aquecimento, resfriamento e

pesagem até peso constante ( $P_1$ ). Prosseguindo, foi extraída a gordura no aparelho de Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente. O período de extração foi de quatro horas. Em seguida foi evaporado o solvente contido no balão em banho-maria a  $85^{\circ}\text{C}$ , por cerca de 10 a 15 minutos, e após, levou-se para estufa  $104 \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante 10 minutos. Esfriou-se em dessecador e pesou-se. Foram repetidas as operações até peso constante ( $P_2$ ).

A expressão do valor de óleos e graxas foi dada pela equação 05.

$$\text{Óleos e Graxas (mg/L)} = (P_2 - P_1) \times 1000000 / V \quad (05)$$

Onde:

$P_1$  = Peso (em gramas) do balão de extração vazio.

$P_2$  = Peso (em gramas) do balão com óleo extraído da amostra.

$V$  = Volume (em mililitro) de amostra utilizada na extração.

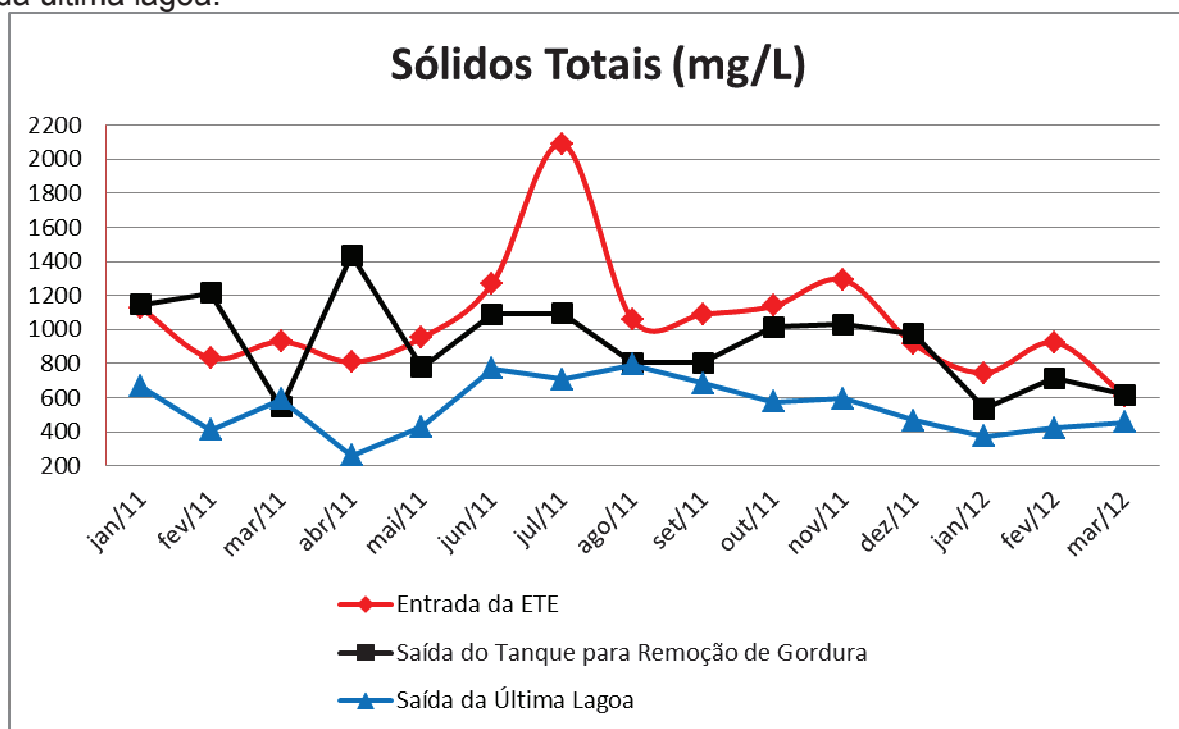
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Nas figuras 06 a 10, verificam-se os resultados das análises de efluentes do abatedouro de aves em estudo no período de janeiro de 2011 a março de 2012. Os pontos de amostragem foram: a entrada da estação de tratamento de efluentes; a saída do tanque para remoção de gordura e a saída da última lagoa (zona de raízes).

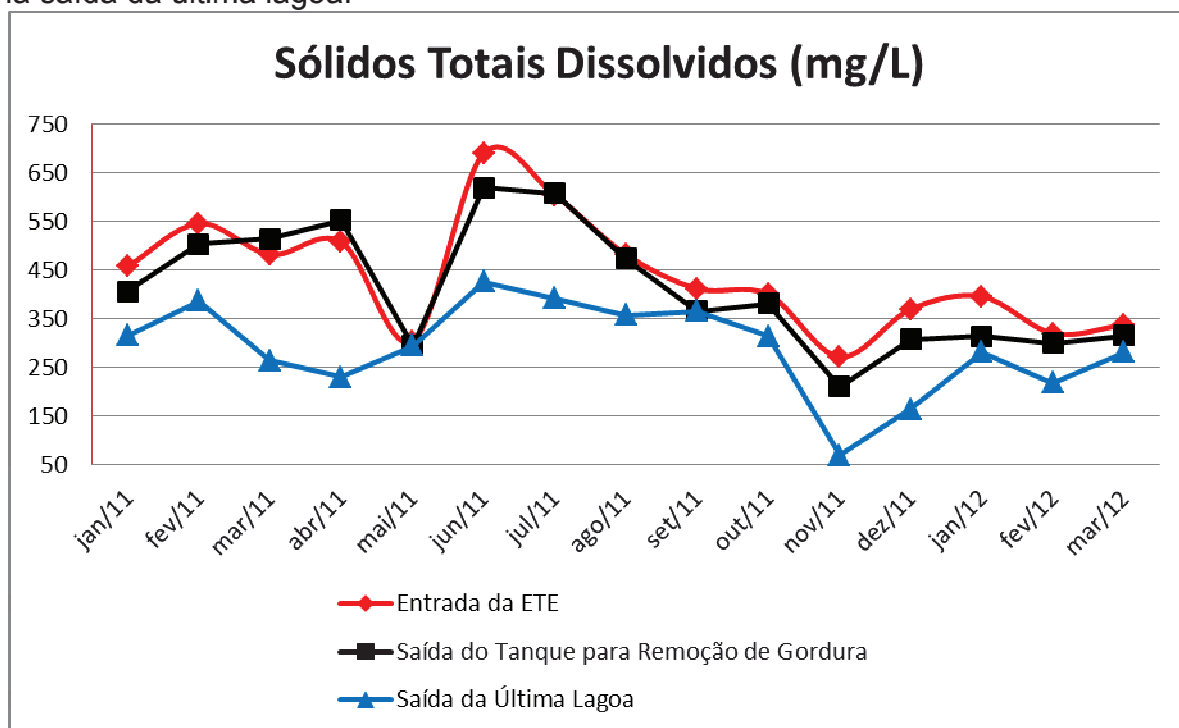
Foram registrados os valores referentes ao efluente bruto e o tratado. Os parâmetros levantados foram sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos, pH, e óleos e graxas.

Figura 06 - Representação dos valores de Sólidos Totais na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa.



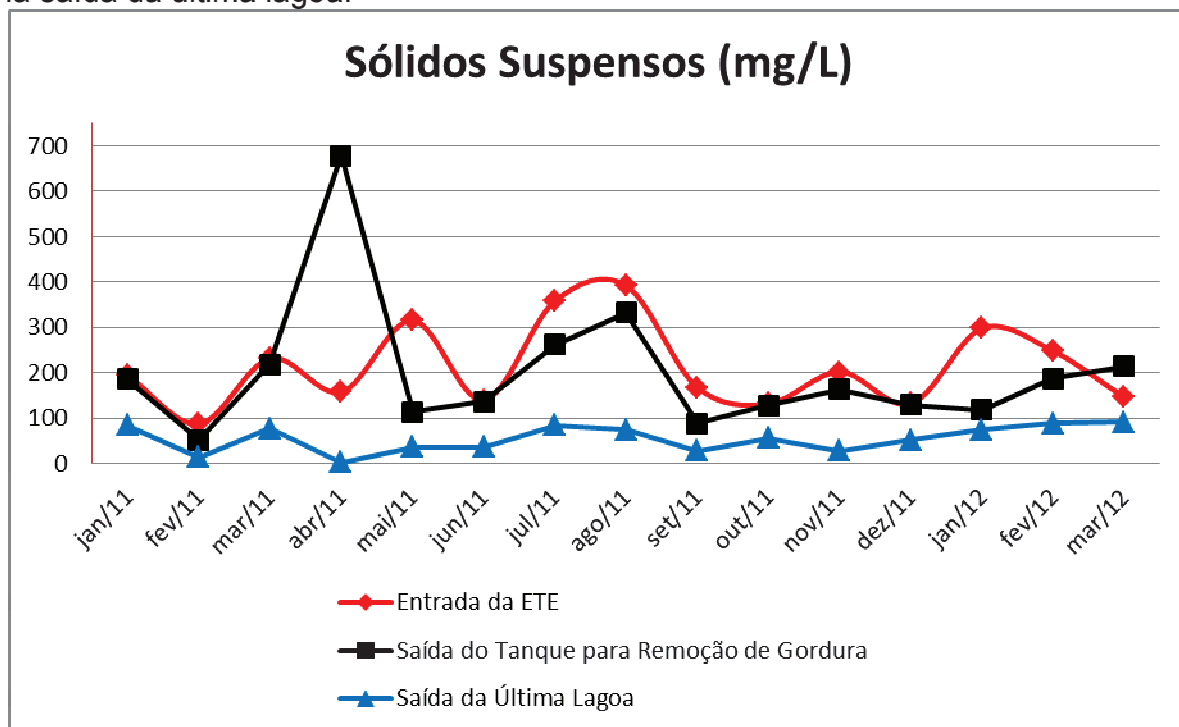
Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

Figura 07 - Representação dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa.



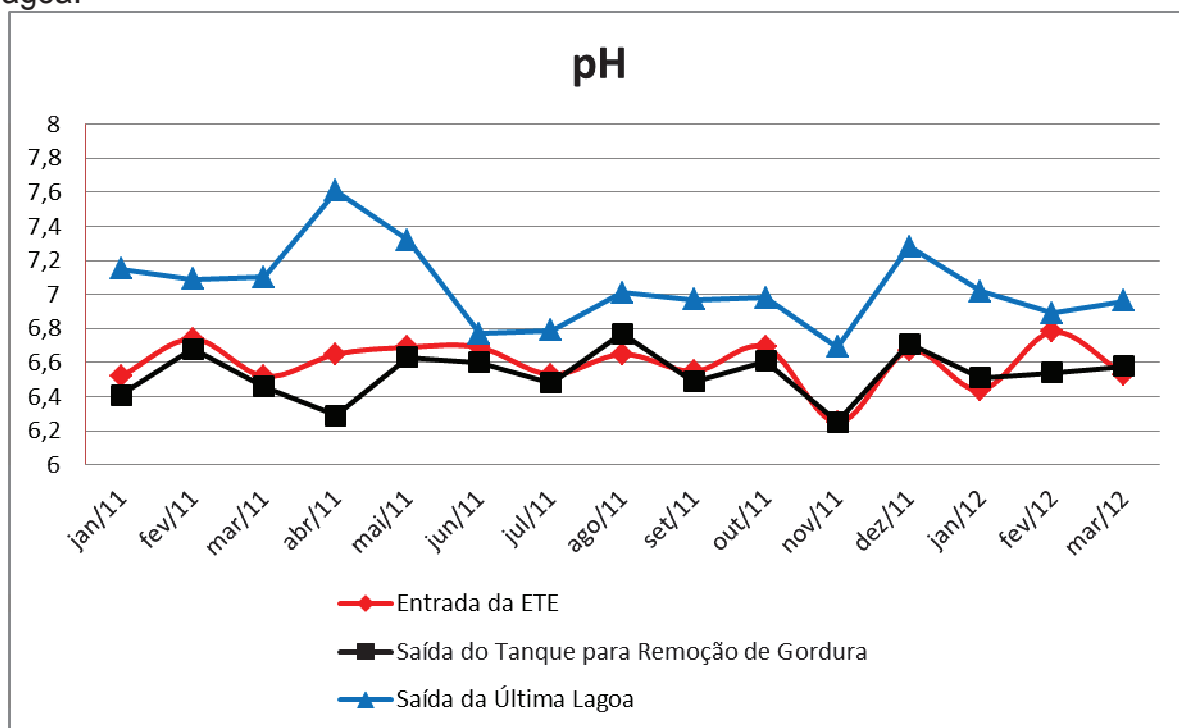
Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

Figura 08 - Representação dos valores de Sólidos Suspensos na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa.



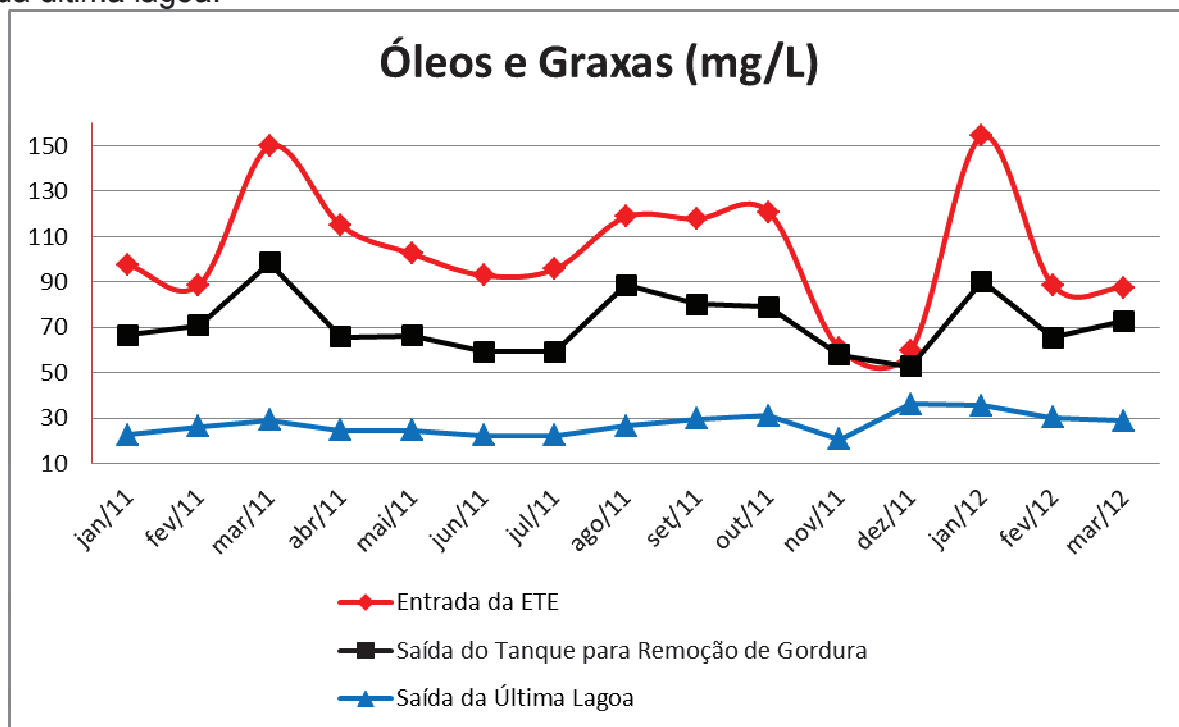
Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

Figura 09 - Representação dos valores de pH na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa.



Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

Figura 10 - Representação dos valores de Óleos e Graxas na entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, na saída do tanque para remoção de gordura e na saída da última lagoa.



Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, 2012.

Na tabela 01 encontram-se os percentuais de remoção dos poluentes nos três pontos de coletas, em relação aos gráficos apresentados nas figuras de 06 a 10.

Tabela 01 - Valores médios do efluente do abatedouro de aves em estudo e suas porcentagens de eficiência na remoção dos poluentes no tanque para remoção de gordura e final do tratamento.

Parâmetros	Bruto (mg/L)	Saída do Tanque Gordura (mg/L)	Final (mg/L)	% Remoção Bruto para Saída do Tanque	% Remoção Tanque para Final
ST	1069,87	918,87	547,87	14,11	40,37
STD	434,93	402,93	290,80	7,36	27,83
SS	213,60	202,87	55,07	5,02	72,85
OG	104,08	71,57	24,90	31,23	65,21

Fonte: Adaptado de Arquivos da Empresa, (2012).

Conforme tabela 01, pode-se observar que o sistema de tratamento de efluentes adotado pela empresa possui atualmente uma eficiência de 14,11 % na remoção de sólidos totais no tanque para remoção de gordura, e 40,37 % após a passagem do efluente pela zona de raízes. A eficiência para remoção de sólidos totais dissolvidos no tanque pra remoção de gordura é de 7,36 % e no final do processo de tratamento é de 27,83 %. A remoção de sólidos suspensos é de 5,02 % no tanque para remoção de gordura e no final é de 72,85 %, enquanto que a redução do teor de óleos e graxas no tanque para remoção de gordura é de 31, 23 % e no final do tratamento é de 65,21 %. Verifica-se uma baixa redução dos parâmetros na etapa tanque de gordura, principalmente no que se refere aos sólidos e óleos e graxas, importantes no processo posterior (tratamento biológico). Estes números mostram a importância de um tratamento primário eficiente como pré-requisito para a operação e projeto de uma planta biológica de abatedouro de aves.

#### 4.2. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA DETERMINAÇÃO DO COAGULANTE A SER UTILIZADO

Foram realizados testes de flotação por ar dissolvido com a utilização de três coagulantes, sendo eles: sulfato de alumínio (solução 4 %), sulfato férrico (solução 1 %) e cloreto férrico (solução 1 %), com um polímero aniônico (solução 1

%), como floculante. Foi utilizado o polímero aniônico baseado em trabalhos já realizados, a exemplo de Schoenhals (2006).

De acordo com Schoenhals (2006), os coagulantes metálicos são conhecidos por serem mais competentes na desestabilização das partículas finas suspensas, deste modo definiu-se pela pré-desestabilização através da coagulação, tornando mais eficiente a ação posterior do polímero.

A utilização de coagulantes de origem orgânica ou inorgânica tem por determinação transformar as impurezas que podem ser encontradas tanto em suspensões finas, em estado coloidal, como dissolvidas no efluente, em partículas que possam ser removidas por decantação ou flotação (SENA, 2005).

A geometria e o tamanho das partículas presentes no efluente do abatedouro variam consideravelmente, com a coagulação/floculação auxilia a formação dos flocos.

Foram realizados vários testes de flotação por ar dissolvido com a utilização dos coagulantes, e posteriormente também com o floculante, variando suas dosagens, verificando a eficiência de cada um na remoção de turbidez, para definir assim, qual coagulante seria utilizado, conforme mostram as tabelas 02 e 03.

Tabela 02 - Dosagens dos coagulantes utilizados nos ensaios.

Coagulante	Dosagem (mL/L)	pH	Turbidez (NTU)
Sulfato de Alumínio (solução 4 %)	4,0	6,03	75,40
Sulfato Férrico (solução 1 %)	4,0	6,35	145
Cloreto Férrico (solução 1 %)	4,0	6,97	173
Efluente <i>in Natura</i>	-	6,54	208

Fonte: o autor

Tabela 03 - Dosagens dos coagulantes e respectivo floculante utilizados nos ensaios.

Coagulante	Dosagem (mL/L)	Floculante (1%)	Dosagem (mL/L)	pH	Turbidez (NTU)
Sulfato de Alumínio (solução 4 %)	2,0	Polímero Aniônico	1,0	7,38	40,08
Sulfato Férrico (solução 1 %)	2,0	Polímero Aniônico	1,0	8,20	96,00
Cloreto Férrico (solução 1 %)	2,0	Polímero Aniônico	1,0	7,45	110,00
Efluente <i>in Natura</i>	-	-	-	6,80	208,00

Fonte: o autor

Pode-se observar que a utilização do sulfato de alumínio (solução 4 %) e posterior polímero aniônico (solução 1 %) foi o mais eficiente na redução da turbidez, chegando a 81 %, enquanto que o sulfato férrico (solução 1 %) com polímero aniônico (solução 1 %) teve redução de 54 % e o cloreto férrico (solução 1 %) com polímero aniônico (solução 1 %), reduziu 47 %.

Por este motivo, foram escolhidos o sulfato de alumínio (solução 4 %) e o polímero aniônico (solução 1 %) como coagulante e floculante, respectivamente, para a realização dos testes físico-químicos.

#### 4.3. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA A DETERMINAÇÃO DAS DOSAGENS DE COAGULANTE/FLOCULANTE

Conforme Nokes e Fenton (1997, apud SCHOENHALS 2006), há uma relação estequiométrica entre a carga negativa e a quantidade de coagulante essencial para a coagulação.

Por isso, foi realizado primeiramente testes para determinação da dosagem ótima do coagulante sulfato de alumínio (solução 4 %), e do polímero aniônico. Foram conduzidos testes de flotação por ar dissolvido aplicando diversas dosagens dos mesmos e monitorado através dos resultados de pH e turbidez.

A tabela 04 apresenta as dosagens testadas para o coagulante e respectivo floculante e os resultados de pH e turbidez obtidos.

Tabela 04 - Dosagem ótima do coagulante e respectivo floculante utilizados nos ensaios.

COAGULANTE	DOSAGEM mL/L	FLOCULANTE	DOSAGEM mL/L	pH	TURBIDEZ (NTU)
Sulfato de Alumínio (Solução 4 %)	2,0	Polímero Aniônico (Solução 1%)	2,0	6,99	33,01
Sulfato de Alumínio (Solução 4 %)	1,0	Polímero Aniônico (Solução 1%)	1,0	6,64	50,40
Sulfato de Alumínio (Solução 4 %)	1,0	Polímero Aniônico (Solução 1%)	2,0	7,41	50,90
Sulfato de Alumínio (Solução 4 %)	2,0	Polímero Aniônico (Solução 1%)	1,0	7,33	40,08
Sulfato de Alumínio (Solução 4 %)	2,5	Polímero Aniônico (Solução 1%)	2,5	6,88	10,30
Efluente <i>in Natura</i>	-	-	-	6,87	208

Fonte: o autor

Para a realização dos ensaios com o coagulante sulfato de alumínio (solução 4 %) e polímero aniônico (solução 1 %) como floculante, o pH foi corrigido para 8,8 devido à acidez do coagulante.

O teste limitou-se a concentração de 2,5 mL/L de sulfato de alumínio (solução 4 %) devido ao fato de que em quantidade maior, haveria a redução de pH podendo exceder os limites estabelecidos pelo artigo 16 da Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011, que determina a faixa de 5,0 a 9,0 e o artigo 177 da Lei 14.675 de 13 de abril de 2009, que determina a faixa de 6,0 a 9,0 para o parâmetro em questão.

É importante ressaltar que os órgãos fiscalizadores do estado tomam como referência a Lei Estadual nº 14.675 de 13 de abril de 2009.

Como verificado nos resultados da tabela 04, as dosagens ótimas para o coagulante foram de 2,5 mL/L e floculante 2,5 mL/L, obtendo uma redução de turbidez de 95 % e pH ficando em 6,88.

#### 4.4. TESTES DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS EFLUENTES AO PROCESSO

Para realização dos ensaios de flotação por ar dissolvido com o coagulante e posterior floculante, utilizou-se taxa de reciclo de 40 %, de acordo com referencias, tais como GALATTO (2003).

Segundo Sena (2005), a flotação é um processo que apresenta inúmeras vantagens em comparação à decantação, principalmente no que se trata da eficiência de remoção de matéria orgânica do sistema, bem como em relação às propriedades do lodo gerado, de menor umidade e de mais fácil remoção, embora um considerado incremento energético seja incorporado ao sistema.

Nas tabelas 05 e 06 são apresentados os dois testes realizados dos parâmetros avaliados nos efluentes ao processo de flotação por ar dissolvido.

Tabela 05 - Caracterização do Efluente in Natura e depois de passar pelo processo de flotação por ar dissolvido (teste 01).

PARÂMETROS	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE TRATADO	PADRÃO *
pH	6,86	6,81	6,0 a 9,0
Turbidez (NTU)	215	9,97	Não Possui
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	289,55	30,61	Não Possui
Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)	73,36	18,65	Não Possui
Sólidos em Suspensão Fixos (mg/L)	216,19	11,96	Não Possui
Óleos e Graxas (mg/L)	128,80	15,60	30,0

Fonte: o autor

\* Padrão conforme Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009.

Tabela 06 - Caracterização do Efluente in Natura e depois de passar pelo processo de flotação por ar dissolvido (teste 02).

PARÂMETROS	EFLUENTE BRUTO	EFLUENTE TRATADO	PADRÃO *
pH	6,92	7,03	6,0 a 9,0
Turbidez (NTU)	202	12,70	Não Possui
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	278,46	30,12	Não Possui
Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)	71,47	18,26	Não Possui
Sólidos em Suspensão Fixos (mg/L)	206,92	11,87	Não Possui
Óleos e Graxas (mg/L)	210,88	16,55	30,0

Fonte: o autor

\* Padrão conforme Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009.

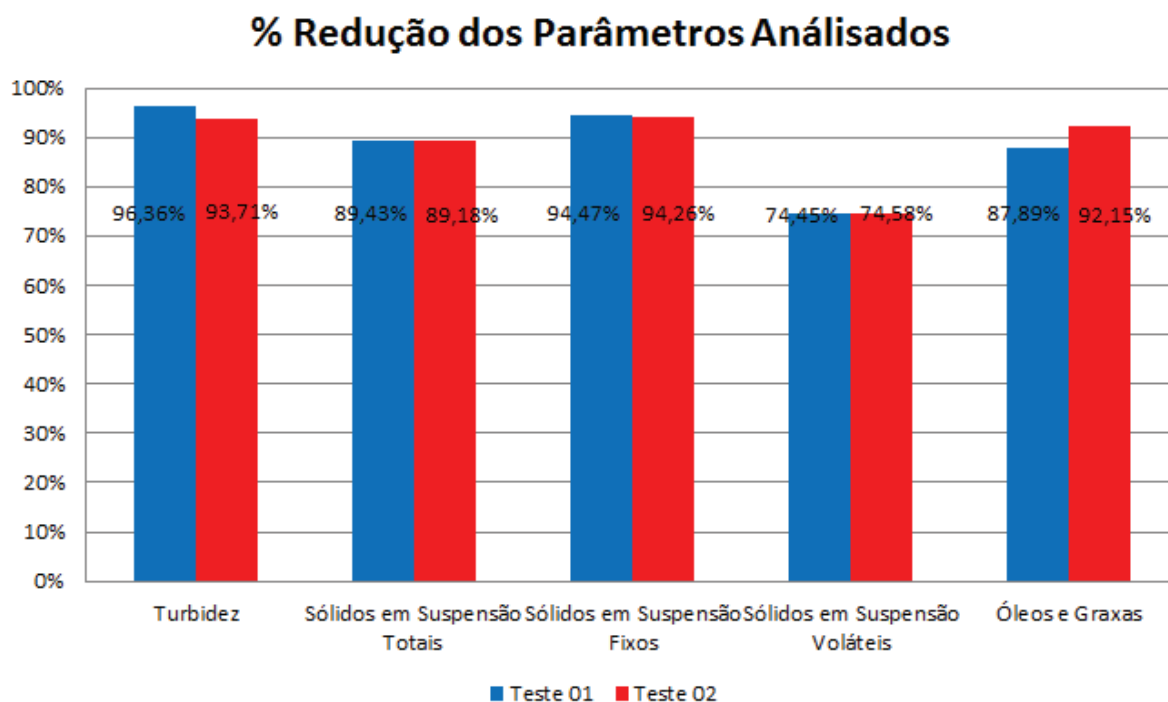
Pode-se observar pelos dados das tabelas 05 e 06 que o efluente do frigorífico apresenta-se com uma elevada carga de impurezas, com componentes de difícil remoção, com elevada quantidade de gordura, concentração de sólidos e turbidez.

A turbidez se caracteriza pela presença de materiais insolúveis no meio aquoso, sendo assim classificada de acordo com seus tamanhos. Partículas com diâmetros inferiores a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  são consideradas como sólidos dissolvidos e não colaboram para o aparecimento da turbidez. As partículas que contribuem para a turbidez são aquelas que possuem diâmetros variando entre  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e  $10^{-1}$   $\mu\text{m}$  (colóides) e de  $10^{-1}$   $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  (CRESPILO *et al.*, 2004).

Os microrganismos patogênicos podem se desenvolver na presença de partículas e, por este motivo, sua eliminação se torna indispensável.

A figura 11 apresenta a eficiência obtida para os parâmetros de turbidez, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos, sólidos em suspensão voláteis e óleos e graxas nos dois testes realizados.

Figura 11 - Representação da porcentagem de eficiência na remoção de turbidez, sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos, sólidos em suspensão voláteis e óleos e graxas pelo processo de Flotação por Ar Dissolvido.



Fonte: o autor

Os resultados mostram que o tratamento foi eficiente na remoção dos sólidos em suspensão totais, sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis.

A determinação de sólidos, conforme Kronimus et al (2003, apud SCHOENHALS 2006), é de extrema importância para a avaliação da qualidade das águas e do meio ambiente em geral. Fato justificado pela influência dos sólidos na formação de sedimentos nos corpos aquáticos, na adsorção de contaminantes, que muitas vezes são carregados por longas distâncias, na presença de micro-organismos, como bactérias, vírus e protozoários, adsorvidos aos sedimentos nas águas, além da geração de gases e odores resultantes da decomposição das matérias orgânicas adsorvidas aos sólidos.

A presença de sólidos nos corpos aquáticos causa interferências na utilização da água tanto para o abastecimento público como para a agricultura, para a produção de energia e para a recreação. Pode-se afirmar que a presença destes materiais promove a deterioração da qualidade das águas e os efeitos podem ser físicos, químicos e/ou biológicos (HEM, 1989).

As interferências físicas ocasionadas pela presença de sólidos nas águas estão relacionadas à redução da entrada e na dispersão dos raios luminosos nos corpos aquáticos, desta forma, propiciando turbidez e cor às águas (SENA, 2005).

Interfere ainda nas alterações nos processos de fotossíntese, devido à redução na concentração de oxigênio dissolvido nas águas, resultado da decomposição da matéria orgânica aderida aos sólidos (HEM, 1989).

Observou-se quantidade de material suspenso elevada no efluente bruto, e que o processo de flotação por ar dissolvido foi eficaz na sua redução. Pode-se chegar a essa conclusão pelo fato de que o decaimento do material suspenso com o emprego do sulfato de alumínio (solução 4 %) seguido da flotação foi de aproximadamente 89 % para os sólidos em suspensão totais, 94 % para os sólidos em suspensão fixos e 74 % para os sólidos em suspensão voláteis.

Sena (2005), afirma que a flotação por ar dissolvido é um método eficiente e rápido para separar material particulado de águas residuárias. Mais de 98% de sólidos suspensos podem ser removidos de águas residuárias industriais usando a flotação por ar dissolvido e coagulantes.

A remoção do material suspenso verificada nos experimentos, é bastante vantajosa quando a etapa posterior do tratamento é biológica, pois os microrganismos degradam mais facilmente o material dissolvido, já que algumas partículas suspensas são muito grandes, o que dificulta a ação biológica e torna o processo menos eficiente.

As eficiências de remoção de óleos e graxas obtidas foram de 87,89 % no primeiro teste e 92,15 % no segundo. A remoção primeiramente ocorreu como resultado da interação do coagulante com as moléculas (óleos e graxas), formando colóides com densidades bem menores que a da água. Esses colóides por si só iriam se deslocar para a superfície da câmara de separação. No entanto, com o auxílio das microbolhas geradas no processo, a flotação das partículas coloidais realizou-se de forma mais rápida e mais eficiente.

De acordo com Schoenhals (2006), as camadas de óleo podem ser facilmente separadas por gravidade, mas a separação no caso de dispersões de partículas muito finas (<10 $\mu$ m) é muito difícil.

As altas eficiências de remoção encontradas para óleos e graxas é um importante fator, visto que a sua presença em um tratamento biológico posterior causaria a inibição da atividade microbiana, pois esses componentes são formados

por compostos orgânicos de cadeia longa, o que dificulta a oxidação destes pelos microrganismos, levando a tempos de detenção bastante prolongados, o que gera custos adicionais (SCHOENHALS, 2006).

De acordo com Naturaltec (2012), flotadores operando sem coagulantes, podem remover 60 a 80 % de óleos e graxas e com o emprego de coagulantes podem retirar 85 % dos óleos e graxas, observados nos resultados obtidos.

Os sólidos suspensos e óleos e graxas no efluente frequentemente contribuem para 30 a 70 % da DBO total na água. Desta forma, sua remoção efetiva pode diminuir a DBO da água em porcentagem relativamente igual, reduzindo desta forma, o tamanho e os custos operacionais da planta de tratamento biológico secundário. Isto tem um impacto significativo nos custos, durante o ciclo total de vida da planta (SCHOENHALS, 2006).

A remoção dos óleos e graxas do efluente acarreta ainda na redução do odor no posterior processo de tratamento biológico, auxiliando a resolver assim, um dos grandes problemas da empresa hoje.

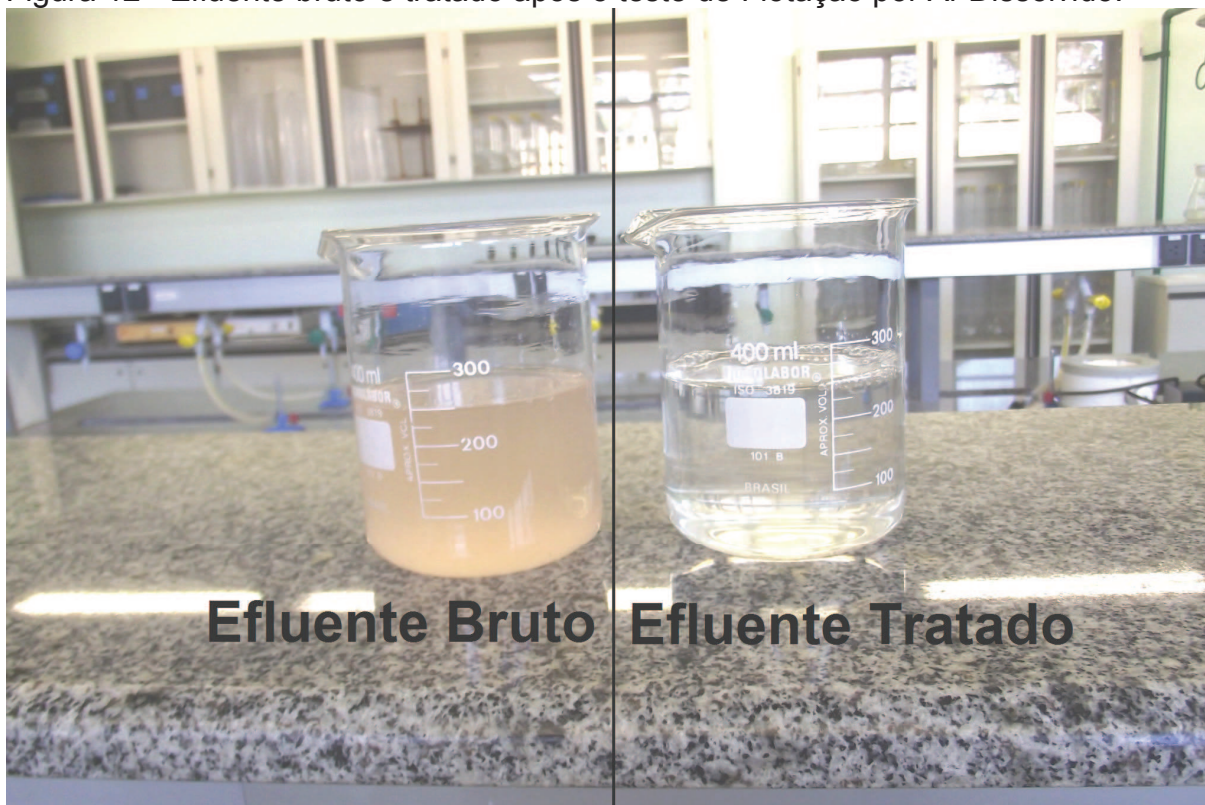
Pode-se observar ainda que com a remoção atingida nos dois testes para óleos e graxas, sua concentração ficou abaixo dos valores máximos permitidos pelos artigos 16 da Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011, que determina a concentração máxima de 50 mg/L para óleos vegetais e gorduras animais e o artigo 177 da Lei 14.675 de 13 de abril de 2009, que determina a concentração máxima de 30 mg/L para óleos vegetais e gorduras animais.

É importante ressaltar que os órgãos fiscalizadores do estado, tomam como referencia a Lei Estadual nº 14.675 de 13 de abril de 2009 e, que com o tratamento de efluentes utilizado hoje na empresa, os resultados obtidos ultrapassam o valor máximo permitido em alguns meses, fortalecendo ainda mais as vantagens obtidas com a aplicação do processo de flotação por ar dissolvido.

Além da significativa economia dos custos de capital, operação e da terra (espaço), devido ao fato de as plantas se tornarem menores, o tratamento primário também contribui para um processo biológico mais eficiente. As bactérias são mais efetivas na digestão da matéria dissolvida do que são na digestão de sólidos suspensos e óleos e graxas, que são simplesmente muito grandes para serem digeridas.

A figura 12 mostra a comparação entre a amostra do efluente bruto e efluente tratado no teste de bancada de flotação por ar dissolvido.

Figura 12 - Efluente bruto e tratado após o teste de Flotação por Ar Dissolvido.



Fonte: o autor

Através da figura 12, com a simples análise visual das amostras, pode-se perceber que o tratamento por flotação por ar dissolvido, com auxílio do coagulante sulfato de alumínio (solução 4 %) e do polímero aniônico (solução 1 %) como floculante, com taxa de reciclo de 40 %, foi muito efetivo na remoção da carga poluidora do efluente, tendo apresentado resultados positivos nos parâmetros avaliados.

Portanto, comprovou-se que a condução do processo realizando a dispersão rápida do coagulante com posterior fornecimento de baixas taxas de aeração, favoreceu o processo elevando as eficiências de remoção da carga poluidora do efluente.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Segundo Jonhs (1995), os efluentes frigoríficos são ricos em emulsões contendo óleos e graxas, sanitizantes, corantes, sangue, entre outros, substâncias estas que necessitam de eficientes percentuais de remoção pelo tratamento físico-químico, a fim de diminuir a carga orgânica a ser tratada no sistema biológico. Estes componentes, principalmente óleos e graxas, são formados por compostos orgânicos de cadeia longa, o que dificulta a oxidação destes pelos microrganismos, levando a tempos de detenção bastante prolongados, o que gera gastos operacionais e com mão-de-obra.

Pode-se avaliar que o tratamento primário de efluentes frigoríficos é essencial na remoção de parte da matéria orgânica destes efluentes, gerando maior eficiência aos sistemas biológicos subsequentes.

Na avaliação dos diferentes coagulantes testados em conjunto com o floculante, foram obtidos melhores resultados dos parâmetros analisados com o uso do coagulante sulfato de alumínio (solução 4 %) e floculante polímero aniônico (solução 1 %).

Entre os parâmetros analisados, as eficiências de remoção foram em média de 95 % para turbidez, 89 % para sólidos em suspensão totais, 94 % para sólidos em suspensão fixos, 74 % para sólidos em suspensão voláteis e 90 % para óleos e graxas.

Estas reduções são bastante significativas se comparadas com as obtidas hoje na etapa denominada de tanque para remoção de gordura do sistema de tratamento de efluentes adotado pelo abatedouro em estudo, onde a redução de sólidos suspensos é em média de 5 % e óleos e graxas é de 31 %.

Para o desenvolvimento de plantas de tratamento de efluentes de indústrias de processamento de carnes, diversos autores veem a importância da utilização de tratamentos primários de alta eficiência antes do tratamento biológico.

Com relação ao coagulante utilizado nos testes, Sena (2005) afirma que praticamente todo íon metálico oriundo do coagulante é agregado ao lodo. Os hidróxidos que são originados quando o coagulante é adicionado, bem como os íons sulfato e cloreto, podem ser encontrados tanto no lodo como na água clarificada.

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se:

- Realizar análises de toxicidade nos efluentes tratados após processo de coagulação/floculação seguido de flotação por ar dissolvido, com o objetivo de avaliar os possíveis impactos e riscos no tratamento biológico provocando mortandade das bactérias e pelo seu lançamento no meio;
- Caracterização do lodo gerado no processo FAD e estudos para destino ou uso final;
- Avaliar o custo benefício da implantação de um sistema de flotação por ar dissolvido como tratamento primário para a ETE do abatedouro em estudo.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR, M.I.; SÁEZ, J.; LLORÉNS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, J. F. **Nutrient Removal and Sludge Production in the Coagulation – Flocculation Process.** Water Research, 2002.

AZEVEDO NETTO, Jose Martiniano de. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água.** 2 v. 2 ed. Sao Paulo: CETESB; ASCETESB, 1976.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI. M. R. **Controle Ambiental da Água.** In: Curso de gestão ambiental. Editor: Arlindo Phillippi Jr. Barueri-SP: Manole, 2004.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões e lançamento de efluentes, contempla e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: D.O.U. – Diário Oficial da União; Brasília. Disponível na Internet no endereço: <[http://www.saude.mg.gov.br/publicacoes/estatistica-e-informacao-em-saude/residuos-de-servicos-de-saude/RE%20CONAMA%20403-2011\\_Lancamento%20de%20Efluentes.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/publicacoes/estatistica-e-informacao-em-saude/residuos-de-servicos-de-saude/RE%20CONAMA%20403-2011_Lancamento%20de%20Efluentes.pdf)>. Acessado em: 09 de junho de 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **PORTARIA Nº 210, DE 10 DE NOVEMBRO DE 1998.** Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitário de Carne de Aves, Anexo I. Brasília: D.O.U. – Diário Oficial da União; Secretaria da Defesa Agropecuária, 26 de Novembro de 1998. Disponível na Internet no endereço: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=3162>>. Acessado em: 02 de Março de 2012.

CECCHET, J. **Avaliação do Desempenho da flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente de Refinaria de Óleo de Soja.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007.

CETESB – **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.** 2012. Disponível na Internet no Endereço: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/variaveis.asp#coliformes>>. Acessado em 06 de maio de 2012.

COUTINHO, W. **Emprego da Flotação a Ar Dissolvido no Tratamento de Cursos D'água.** Dissertação de Pós Graduação. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007. 104p.

CRESPILHO, F. N; SANTANA, C. G; RESENDE, M. O. O. **Tratamento de Efluente da Indústria de Processamento de Coco Utilizando Eletroflotação.** Quim. Nova, Vol. 27, nº3, 2004.

DALSASSO, R. L. **Estudo de Diferentes Materiais para Floculação em Meio Granular, Precedendo a Filtração Rápida Descendente no Tratamento de Água para Abastecimento.** Ufsc, 2005. Disponível na Internet no endereço: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0232.pdf>>. Acessado em 29 de Fevereiro de 2012.

DEBERDT, A. J. **Qualidade de água**. 2012. Disponível na Internet no Endereço: <<http://www.educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>> Acessado em: 06 de maio de 2012.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Volume 1. Rio de Janeiro, ABES, 1993. 469 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos. RIMA, 2002.

DORNELLES, F. **Análise da Gestão dos Tratamentos dos Efluentes Gerados nos Abatedouros de Bovinos de São Luiz Gonzaga**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. 103 p.

FERNANDES, T. C. **Utilização do sistema de flotação por Ar Dissolvido para o Tratamento das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga e Avaliação deste Processo Através de Ensaio de Toxicidade em Organismos Bioindicadores *artemia* sp. E *allium cepa* I**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Curso de Ciências Biológicas. Criciúma: UNESC, 2010. 40 p.

GALATTO, S.L. **Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento da Drenagem Ácida de Mina**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Curso de Engenharia Ambiental. Criciúma: UNESC, 2003. 88p.

GHANDI, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. 2005.

GIORDANO, G. **Tratamento de Controle de Efluentes Industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Uerj, 2004. Disponível na Internet no endereço: <[www.ufmt.br/esa/Modulo\\_II\\_Efluentes\\_Industriais](http://www.ufmt.br/esa/Modulo_II_Efluentes_Industriais)>. Acessado em 29 de Fevereiro de 2012.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water**. S Geological Survey. Water-Supply, Paper 2254, 3 ed. 1989.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos; concepções clássicas de tratamento de esgotos**. São Paulo, CETESB, 1975.

JONHS, M.R. **Developments in Wastewater Treatment in the Meat Processing Industry: A review**. Bioresource Technology 54, 1995.

LIBÂNIO.M. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento de Água**. Editora Átomo. São Paulo, 2005.

MATIOLO, E. **Flotação Avançada para o Tratamento e Reaproveitamento de Águas Poluídas**. Demin, 2003. Disponível na Internet no endereço: <<http://www.aquafloc.com.br/artigos/FlotacaoAvancada%20.pdf>>. Acessado em 29 de Fevereiro de 2012.

MAGNAN, R. B. **Análise da Viabilidade Técnica e Financeira da Substituição do Coagulante Cloreto Férrico por Policloreto de Alumínio Durante o Processo Físico-Químico no Tratamento de Efluente de Abatedouro Avícola.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Curso de Engenharia Ambiental. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2010. 54 p. Disponível na Internet no Endereço: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2010-2/RAFAEL%20MAGNAN.pdf>>. Acessado em 26 de Março de 2012.

MENDES, G. G. N. **Estudo da Coagulação e Floculação de Águas Sintéticas e Naturais com Turbidez e Cor Variáveis.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1989.

NATURALTEC. **Flotação e Flotadores.** Disponível na Internet no endereço: <<http://www.naturaltec.com.br/Tratamento-Agua-Flotador.html>>. Acessado em 24 de Maio de 2012.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína Série P + L).** São Paulo: CETESB, 2006. Disponível na Internet no endereço: <<http://www.crq4.org.br/downloads/frigorificos.pdf>>. Acessado em 01 de Março de 2012

PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor e Turbidez Elevada.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

PEREIRA, E.B. **Tratamento Enzimático para Remoção de Gorduras dos Resíduos Gerados por Indústrias de Produtos Avícolas.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2004, 154 p.

RAVINDRA, S.; MEYLOR, D. **Cavitation air flotation.** Water Research, 2005. p. 437-446.

RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada,** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1991.

SALES R. de O.; PORTO E. **Disseminação Bacteriana. Principais Patógenos e Higienização no Abate de Frangos: Uma Revisão.** Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), São Paulo, 1999, 221-226p. Disponível na Internet no Endereço: <[http://www.higieneanimal.ufc.br/images/Modelo\\_Normas.pdf](http://www.higieneanimal.ufc.br/images/Modelo_Normas.pdf)>. Acessado em: 17 de Março de 2012.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009.** Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. D.O.U. – Diário Oficial da União; Brasília. Disponível na Internet no endereço: <[http://www.institutohorus.org.br/download/marcos\\_legais/codigo\\_ambiental\\_SC.pdf](http://www.institutohorus.org.br/download/marcos_legais/codigo_ambiental_SC.pdf)>. Acessado em 07 de junho de 2012.

SANTOS FILHO, F. **Tecnologia de Tratamento de Água para a Indústria.** Nobel. São Paulo, 1973.

SANTOS FILHO, Jesuíno D.; RITA, Edmundo S. S. **Gerenciamento do Resíduo Gerado na Clarificação de Água da RLAM**. Salvador, 2002.

SENA R. F. de; **Otimização da Flotação de Efluentes da Indústria de Carnes para Geração de Energia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2005, 83 p.

SILVA, T. S. S. **Estudo de Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e Esgoto**. Dissertação de Mestrado. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1999.

SILVEIRA, V. R. **Plano de Controle Ambiental – Tramonto Agroindustrial SA**. Amazon do Brasil, Criciúma, SC, 2009.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento de Efluentes de Abatedouro Avícola**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006, 81 p.

SROKA, A.; KAMINSKI, W.; BOHDZIEWICZ, J. **Biological Treatment of Meat Industry Wastewater**. Desalination 162, 2004.

TESSELE, F.; ROSA, J.J.; RUBIO, J. **Os Avanços da Flotação no Tratamento de Águas, Esgotos e Efluentes**. Saneamento Ambiental, n. 102, 2004, p. 30-42.

VIANNA, M. R. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 1v. 3. Ed. São Paulo. Imprimatur Artes LTDA, 1997.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Lagoas de Estabilização, v. 3. Minas Gerais: ABES, 1996.