



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA  
REMOÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL E CARBONO ORGÂNICO  
TOTAL COM FLOTADOR FÍSICO-QUÍMICO EM EFLUENTE DE  
FÁBRICA DE PRODUTOS PARA NUTRIÇÃO ANIMAL**

Grasiela Fabris Coimbra

Lajeado, novembro de 2012

Grasiela Fabris Coimbra

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA  
REMOÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL E CARBONO ORGÂNICO  
TOTAL COM FLOTADOR FÍSICO-QUÍMICO EM EFLUENTE DE  
FÁBRICA DE PRODUTOS PARA NUTRIÇÃO ANIMAL**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário UNIVATES, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Dra. Simone Stülp.

Lajeado, novembro de 2012

*Dedico este trabalho ao meu marido pela compreensão, apoio e  
auxílio nas dificuldades.*

## **AGRADECIMENTO**

A Deus pela vida.

Ao meu marido Wagner e ao nosso filho que está a caminho, pela compreensão, apoio e auxílio nas dificuldades.

Aos meus pais e minhas irmãs que são muito importantes na minha vida.

Gostaria de agradecer também ao Jaime e à Inês por ter me ajudado a tornar este sonho possível.

À Faros Indústria de Farinha de Ossos, pela oportunidade de aprendizagem e pela ajuda no desenvolvimento do trabalho e do curso.

Ao Francisco pelo coleguismo, apoio e pelo convite e oportunidade de trabalho nesta empresa.

À Emília e à Mônica pela ajuda, não só no trabalho, como no dia a dia.

Aos professores pela dedicação e pelo aprendizado proporcionado nesta etapa da minha vida, principalmente a Professora Dr<sup>a</sup> Simone Stülp minha orientadora, pelo comprometimento, sugestões propostas e disponibilidade de tempo.

Obrigada.

## RESUMO

Este trabalho propõe avaliar a eficiência na remoção de carbono orgânico total e nitrogênio total, utilizando diferentes tipos de coagulantes no tratamento físico-químico, com posterior definição da melhor etapa de aplicação do mesmo no processo de tratamento de efluentes de uma fábrica de produtos para nutrição animal. O efluente gerado neste tipo de indústria, além de apresentar altas concentrações de matéria orgânica, apresenta altos níveis de nitrogênio e altas vazões. Neste estudo foram utilizados dois tipos de coagulantes, o cloreto férrico e o policloreto de alumínio. As etapas para avaliar a eficiência foram na saída da fábrica (efluente bruto), após a lagoa facultativa e no efluente final. A vazão de tratamento foi de 10 m<sup>3</sup>/h e a dosagem testada dos coagulantes ficou entre 1.950 mg/L e 2.300 mg/L. Estes valores de dosagem foram utilizados para os dois tipos de coagulantes analisados e o polímero aniônico foi dosado em 0,5 mg/L. As faixas de temperatura do efluente foram entre 23° e 40°C. Efetuou-se análises de carbono orgânico total, nitrogênio total e turbidez para acompanhamento e avaliação do sistema. Na etapa de saída do efluente da fábrica obteve-se os melhores resultados, com redução do carbono orgânico total de 44,00% após adição do policloreto de alumínio e 43,24% após adição do cloreto férrico, redução de 8,44% e 8,62% para o nitrogênio e redução na turbidez de 98,62% após adição do policloreto de alumínio e 98,5% após adição do cloreto férrico.

**Palavras-chave:** Remoção de nitrogênio. Carbono Orgânico Total. Efluente de fábrica de produtos para nutrição animal. Tratamento físico-químico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de fábrica de produtos para nutrição animal. ....	17
Figura 2 - Reações no tratamento biológico.....	25
Figura 3 - Princípios da digestão anaeróbia.....	26
Figura 4 - Transformações bioquímicas em Lagoas Facultativas .....	28
Figura 5 - Fluxograma da ETE estudada. ....	36
Figura 6 - Equipamento flotador .....	38
Figura 7 - Coagulantes utilizados nos testes.....	39
Figura 8 - Flotadores utilizados para os testes.....	40
Figura 9 - Efluente bruto, saída da fábrica e após passar pelo tratamento .....	43
Figura 10 - Efluente saída lagoa facultativa e após passar pelo tratamento .....	43
Figura 11 - Efluente saída final e após passar pelo tratamento .....	43
Figura 12 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída da fábrica.....	46
Figura 13 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída da lagoa facultativa.....	47
Figura 14 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída final.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais parâmetros exigidos na legislação.....	30
Tabela 2 - Caracterização do efluente bruto nas etapas de tratamento .....	37
Tabela 3 - Resultados encontrados antes a após aplicação do tratamento. ....	45

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRA – Associação Brasileira de Reciclagem Animal  
BPF – Boas Práticas de Fabricação  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
COT – Carbono Orgânico Total  
DAF – Flotação por Ar Dissolvido  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DBO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias)  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS  
IC – Carbono Inorgânico  
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
NDIR – Infravermelho não Dispersivo  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – Nitrogênio Amoniaco (íon amônio)  
NH<sub>2</sub><sup>-</sup> – Nitrito  
NH<sub>3</sub><sup>-</sup> – Nitrato  
OC – Carbono Orgânico  
ROAs – Resíduos de Origem Animal  
SIM – Serviço de Inspeção Municipal  
SISPOA – Serviço de Inspeção de Produtos de Origem Animal  
SST – Sólidos Suspensos Totais  
TNT – Tri-Nitroglicerina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 Objetivos .....	12
1.2 Objetivo geral .....	12
1.3 Objetivos Específicos .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 História da reciclagem de resíduos animais .....	13
2.2 Fábrica de produtos para nutrição animal .....	14
2.2.1 Descrição dos processos de produção de nutrientes para animais .....	17
2.2.1.1 Recepção da Matéria-Prima/Fragmentação ou Moagem .....	17
2.2.1.2 Cocção ou cozimento .....	18
2.2.1.3 Processamento da gordura .....	18
2.2.1.4 Processamento da farinha .....	19
2.2.1.5 Processos de limpeza e higienização .....	19
2.2.2 Efluentes gerados por este tipo de indústria .....	20
2.3 Local realizado o trabalho .....	21
2.3.1 Empresa .....	21
2.3.2 Processo de farinha de carne e ossos .....	21
2.3.3 Gordura animal .....	22
2.3.4 Farinha de sangue .....	22
2.4 Técnicas de tratamento utilizadas .....	23
2.4.1 Tratamentos físicos e químicos .....	23
2.4.2 Gradeamento .....	23
2.4.2.1 Flotadores .....	24
2.4.3 Tratamentos biológico .....	25
2.4.3.1 Lagoa anaeróbia .....	26
2.4.3.2 Lagoa facultativa .....	27
2.4.3.3 Lodos ativados (reator biológico) .....	28
2.4.3.4 Decantador secundário .....	29
2.5 Principais parâmetros exigidos na legislação .....	29
2.6 Parâmetros estudados .....	31
2.6.1 Carbono orgânico total .....	31
2.6.2 Nitrogênio total .....	32

<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Caracterização do efluente estudado .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Sistema de tratamento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Análises de eficiência do tratamento proposto.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Amostragens .....</b>	<b>41</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O abate de animais, bovinos, suínos e aves para obtenção de carne e derivados origina vários subprodutos e resíduos que devem sofrer processamentos específicos: sangue, ossos, gorduras, aparas de carne, tripas, couros, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária, entre outros.

De qualquer forma, processamentos e destinações adequadas devem ser dadas a todos os subprodutos e resíduos do abate, em atendimento às leis e normas vigentes, sanitárias e ambientais (CETESB, 1990).

As fábricas de produtos para nutrição animal ou graxarias processam subprodutos e/ou resíduos de frigoríficos, abatedouros e açougues e os transformam em sebo ou gordura animal e farinhas. Estas operações geram grandes quantidades de efluentes, pois além das limpezas das áreas e equipamentos, muita água é proveniente da matéria-prima. Estes efluentes caracterizam-se por alta carga orgânica, altas concentrações de gordura, altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sais, além de outras substâncias, que se não forem tratados adequadamente antes de serem despejados nos corpos d'água, podem provocar grande impacto ambiental na fauna e flora desses locais, prejudicando assim o ambiente e a população (PACHECO, 2006b).

Fragmentos de carne, de gorduras e de vísceras normalmente podem ser encontrados nos efluentes. Portanto, juntamente com sangue, há material altamente putrescível nestes efluentes, que entra em decomposição poucas horas depois de

sua geração, e quanto maior for a temperatura ambiente maior será sua degradação.

Segundo Pacheco (2006a), o sangue tem a Demanda Química de Oxigênio (DQO) mais alta de todos os efluentes líquidos gerados no processamento dos resíduos. Sangue líquido bruto tem uma DQO em torno de 400 g/L, uma Demanda Biológica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) de aproximadamente 200 g/L e uma concentração de nitrogênio de cerca de 30 g/L.

A urina, por exemplo, contém nitrogênio, principalmente como ureia, que é rapidamente hidrolisada para carbonato de amônia. A matéria proteica dos organismos mortos é convertida para N-amoniaco por bactérias decompositoras, tanto sob condições aeróbias como anaeróbias (LANGE; AMARAL, 2009).

As proteínas, independentemente de serem de origem animal ou vegetal, contêm: carbono (51-55%), hidrogênio (6,5 a 7,3%), oxigênio (20 a 24%) e nitrogênio (15-18%) e algumas podem conter moléculas de S (0,0 a 2,5%), P (0,0 a 1,0%) e Fe (LANGE; AMARAL apud SAWYER, 1994).

O nitrogênio, em suas diversas formas, quando lançado nos cursos d'água de maneira inadequada, pode ser responsável por impactos ambientais tais como:

- causar a eutrofização dos recursos hídricos;
- afetar a vida aquática uma vez que é facilmente oxidado por organismos nitrificantes oxidantes de nitrogênio amoniacal e nitrito, que utilizam o oxigênio do meio como receptor de elétrons;
- ser tóxico aos peixes e a outros organismos aquáticos na forma de amônia livre;
- na forma de nitrato é um risco à saúde;
- o nitrogênio reage com o cloro, podendo formar as cloraminas.

Todo efluente para ser lançado deve atender os padrões da legislação vigente, porém as fábricas de produtos para nutrição animal, bem como várias outras indústrias, estão encontrando dificuldades para atender à legislação, assim como os padrões de lançamento, pois apresentam altas cargas orgânicas e altas concentrações de nitrogênio. Neste trabalho avaliou-se a eficiência do uso de dois

tipos de coagulantes num processo de flotação físico-químico aplicado em efluentes em três diferentes etapas do tratamento: saída da fábrica (bruto), após lagoa facultativa e no efluente final.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.2 Objetivo geral**

Estudar a remoção de nitrogênio total e carbono orgânico total através de tratamento em flotador físico-químico comparando a eficiência do uso de cloreto férrico e de policloreto de alumínio. E também avaliar a melhor etapa de aplicação deste tratamento.

#### **1.3 Objetivos Específicos**

Caracterizar o efluente de fábrica de produtos para nutrição animal e avaliar as concentrações de nitrogênio total e carbono orgânico total gerados no processo.

Avaliar o desempenho do sistema na remoção de carbono orgânico total e nitrogênio total usando o coagulante cloreto férrico.

Avaliar o desempenho do sistema na remoção de carbono orgânico total e nitrogênio total usando o coagulante policloreto de alumínio.

Comparar o desempenho dos dois tratamentos no sistema de flotador físico-químico.

Avaliar o melhor desempenho na remoção destes parâmetros aplicando este sistema de tratamento físico-químico com os diferentes coagulantes nas etapas do efluente bruto, lagoa facultativa e efluente final.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 História da reciclagem de resíduos animais**

A reciclagem de subprodutos animais em produtos úteis não é uma inovação. O povo das cavernas, os jordanianos antigos, os esquimós e os índios, se alimentavam muito mais de animais do que nós, mas eles também foram inovadores e utilizavam as partes não comestíveis para melhorar seu modo de vida. Os couros e peles lhes forneceram roupas e abrigo, os dentes e ossos forneceram armas e utensílios de costura, e queimavam a gordura dos resíduos para cozinhar a carne (MEEKER, 2006).

Este processo de reciclar partes de animais foi documentado por pelo menos 2.000 anos (GRUMMER; RABELO, 1998). O objetivo da produção era de obter sebo e outras gorduras animais fundidas para fazer sabão e velas.

A produção de sebo para velas e sabonetes ocorreu durante séculos, no entanto, foi apenas no início do século 20 a conversão de subprodutos de animais abatidos para a alimentação animal, ou seja, a partir desse período, além da gordura foram desenvolvidas aplicações para carne e ossos, pois eram grandes os volumes gerados. Surgiram então adesivos, aditivos para solo, fertilizantes e alimento para produção animal (AUVERMANN; KALBASI; AHMED, 2004).

Por exemplo no início da I e II Guerra Mundial viu-se uma demanda significativa para glicerina resultante de graxaria para a produção de explosivos, especificamente Tri-Nitroglicerina (TNT) (MEEKER, 2006).

Processos e aplicações de tecnologias neste tipo de indústria, têm sido aprimorado ao longo dos anos e continua melhorando, instalações de processamento estão cada vez mais modernas. Os produtos produzidos são utilizados como matéria-prima para outros fins, a aplicação e uso destes ampliaram-se muito, hoje eles têm sido tradicionalmente usados como uma fonte conversível de proteínas, nutrientes, energia, nas indústrias de alimentação animal, além do uso para produção do biodiesel, proteínas para plástico e proteínas para adesivos dentre outros (MEEKER, 2006).

Segundo Auvermann, Kalbasi e Ahmed (2004), a partir dos anos 1990, ocorreram novos desafios, mas também, novas oportunidades para a agropecuária e a indústria de processamento de resíduos. Também foi um período em que houve muita preocupação com a segurança alimentar. A epidemia de encefalopatia espongiforme bovina (doença da vaca louca) no Reino Unido, alimentou reações de medo, precauções passaram a ser tomadas, os processos de regulamentação da atividade evoluíram muito e o controle das atividades relacionadas a animais melhoraram significativamente. Várias forças têm sido pró-ativas na modernização dos processos, nas pesquisas para apoiar cada vez mais o crescimento deste setor.

Segundo a Associação Brasileira de Reciclagem Animal (ABRA), atualmente, é certo afirmar que a ausência do setor de reciclagem de resíduos de origem animal, inviabilizaria toda a cadeia de produção industrial de carnes. Abatedouros, frigoríficos e açougues geraram em 2010 aproximadamente 65 kg de Resíduos de Origem Animal (ROAs) não destinados ao consumo humano para cada brasileiro, que foram processados, tratados, estabilizados e reaproveitados tanto na própria cadeia de produção da carne como em outros setores, como o de higiene e energia (biocombustíveis) (ABRA, 2011).

## **2.2 Fábrica de produtos para nutrição animal**

A busca por sustentabilidade é hoje um conceito que rege toda a indústria. O segmento de subprodutos animais está inserido dentro deste conceito, reciclando resíduos e transformando-os em novos produtos (PEARL, 2010).

Os produtos produzidos a partir deste material não comestível, ou seja, não consumidos por seres humanos, são hoje uma matéria-prima importante, pois contribui economicamente para suas indústrias conexas e para a sociedade. Além disso, o processo de reciclagem e utilização destes subprodutos contribuem para a melhoria da qualidade ambiental, saúde animal e saúde pública (PACHECO, 2006b).

Aproximadamente, 49% do peso vivo de bovinos, 44% do peso vivo de suínos, 37% do peso vivo de frangos de corte e 57% do peso vivo da maioria das espécies de peixes, são materiais não consumidos por seres humanos.

Dados de 2010 sobre o abate nacional de animais de produção (ABIEC (2), ABIPECS (3), UBABEF (4), MPA, Souza (5), Sorio & Rasi (6)), mostram que o Brasil, em 2010:

- Abateu aproximadamente 43 milhões de cabeças de bovinos e bubalinos;
- Abateu aproximadamente 34,3 milhões de cabeças de suínos;
- Abateu aproximadamente 3,4 milhões de cabeças de ovinos e caprinos;
- Produziu 12,23 milhões toneladas de carne de frangos;
- Produziu 337 milhões de toneladas de carne de perus;
- Descartou aproximadamente 63 milhões de cabeças de galinhas de postura;
- Produziu 4,2 milhões de toneladas de carne de outros tipos de aves;
- Industrializou aproximadamente 274 mil toneladas de peixes e pescados.

As fábricas de produtos para nutrição animal processam subprodutos, caso estes subprodutos não fossem processados e dispostos no solo ou lançados em cursos d'água causariam sérios problemas ambientais. Estes resíduos através de fatores físicos e biológicos são decompostos em substâncias mais simples, através da ação de bactérias e enzimas ou ação de outros fatores como desidratação, oxidação, ataque de parasitas, ocasionando o apodrecimento, a decomposição com formação de peptonas e polipeptídios, amônia, gás sulfídrico, aminas e diaminas (BARROS; LICCO, 2008).

Atualmente, o principal objetivo é o de converter o máximo de resíduos do abate em subprodutos comercializáveis enviados à reciclagem, com a finalidade de diminuir o impacto ambiental da indústria da carne e melhorar o rendimento

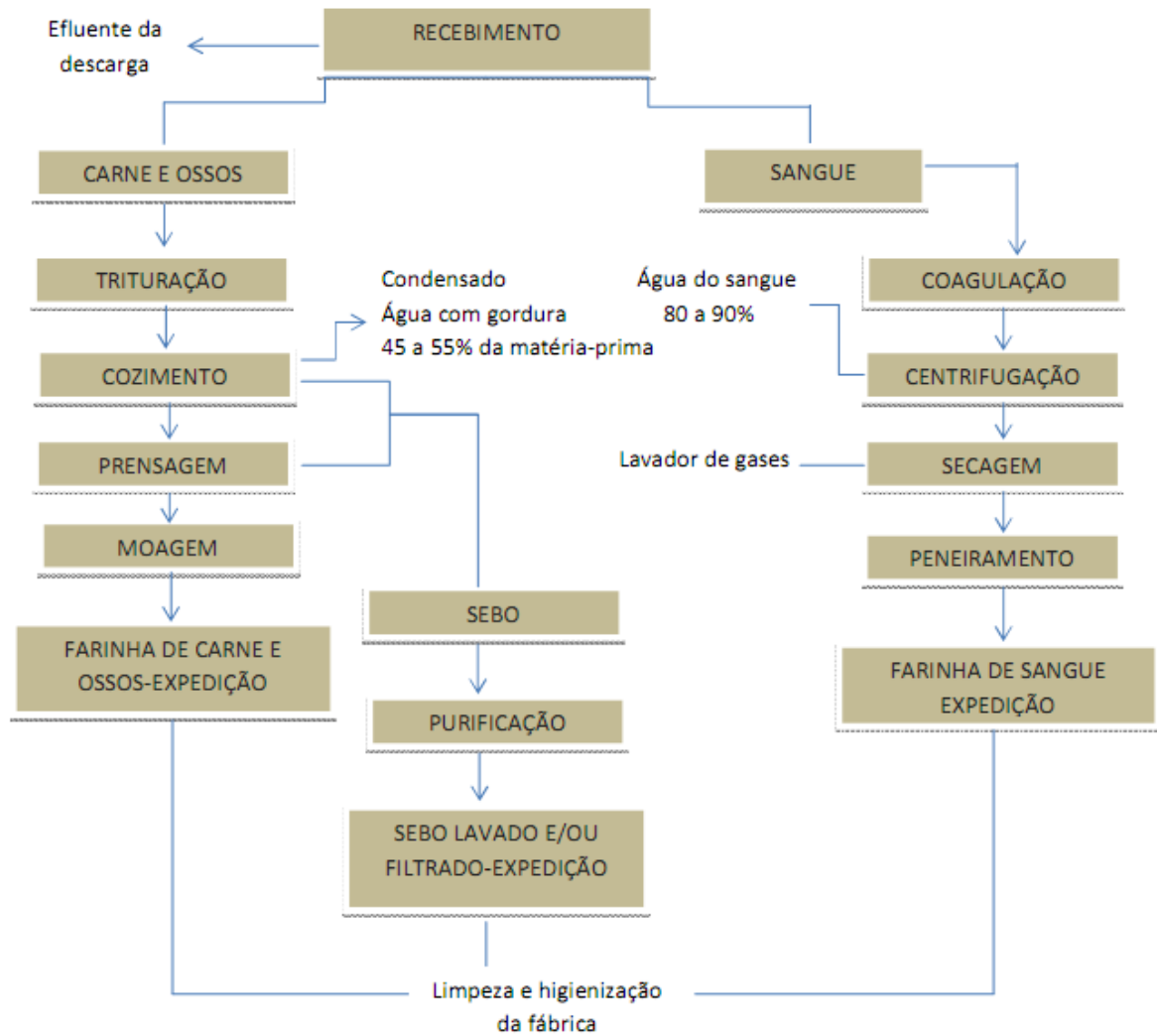
econômico ou, no mínimo, diminuir o custo de gestão dos resíduos (ROMAY apud BARROS; LICCO 2008).

Nestas unidades, a matéria animal sofre uma série de transformações físicas e químicas em processos que envolvem cocção, desidratação, prensagem, separação e moagem de ossos, carnes, gorduras e outros materiais. Como entradas, têm-se os resíduos animais (matéria-prima) e o calor. Como saídas, os óleos, gorduras e sólidos ricos em proteínas, além dos resíduos gerados na atividade (MEEKER, 2006).

Normalmente, a finalidade do processamento e da destinação dos resíduos ou dos subprodutos do abate é em função de características locais ou regionais, como a existência ou a situação de mercado para os vários produtos resultantes e de logística adequada entre as operações. Por exemplo, o sangue pode ser vendido para processamento, visando a separação e uso ou comercialização de seus componentes (plasma, albumina, fibrina), mas também pode ser enviado para fábricas de produtos para nutrição animal, para produção de farinha de sangue, usada normalmente na preparação de rações animais (PACHECO, 2006b).

Na Figura 1, têm-se fluxograma e descrições gerais das principais etapas de processo em fábricas de produtos para nutrição animal, nele podem ser observados as etapas dos processos de farinha de carne e ossos e farinha de sangue, além das etapas que geram efluentes e emissões de gases.

Figura 1 - Fluxograma de fábrica de produtos para nutrição animal.



Fonte: Adaptado (PACHECO, 2006b).

## 2.2.1 Descrição dos processos de produção de nutrientes para animais

### 2.2.1.1 Recepção da Matéria-Prima/Fragmentação ou Moagem

A matéria prima é proveniente de abatedouros, frigoríficos, supermercados e açougues. O material é transportado para a fábrica e este pode ser armazenado para processamento ou entrar rapidamente em processo. Procedese à moagem e trituração de uma mistura dos materiais, ossos e outras partes gerando-se uma massa que segue por rosca transportadora para os equipamentos de cozimento (HAALAND; MICHARD; MANTELATO, 2002).

### 2.2.1.2 Cocção ou cozimento

O cozimento é a principal operação no processamento para produção de farinhas de carne e de ossos, podendo ser por via úmida, a seco ou por secagem.

**Por via úmida:** o vapor é injetado diretamente sobre o material dentro do digestor (equipamento onde se dá o cozimento), onde após o cozimento ocorre a separação entre as fases sólida, água e gordura. A fase aquosa, após separação da gordura ou sebo e da fase sólida, contém de 6 a 7% de sólidos e suas proteínas solúveis podem ser recuperadas por evaporação e secagem.

**A seco:** os digestores carregados são aquecidos através de vapor injetado em serpentinas ou no eixo do equipamento, aquecimento indireto do material. Grande parte da umidade contida na matéria-prima é evaporada e esta operação pode ser efetuada de maneira contínua ou em bateladas;

**Por secagem:** ocorre um processo de evaporação da umidade do material, semelhante ao processo a seco, posteriormente é efetuada a secagem em atomizadores.

Este tipo de operação é recomendado para a produção de farinha de sangue e para obter concentrados de proteína solúvel, pois minimiza a desnaturação das proteínas.

Quanto aos equipamentos para o cozimento, pode-se ter digestores contínuos ou bateladas ou ainda em autoclaves, para cozimento há pressões mais elevadas. O cozimento normalmente é realizado sob pressão, em temperaturas de 120 a 150°C, com tempos que variam de 1 a 4 horas (PACHECO, 2006b).

### 2.2.1.3 Processamento da gordura

Após o cozimento, o material é descarregado, a gordura é separada através de peneiras percoladoras, pode ser separada por simples decantação em tanque, sendo a fase aquosa descartada como efluente líquido, ou ser processado de forma mais elaborada, visando maior purificação do sebo e a recuperação das proteínas

presentes na fase aquosa. Após purificação, a gordura fica estocada em tanques para posterior comercialização (HAALAND; MICHARD; MANTELATO, 2002).

#### **2.2.1.4 Processamento da farinha**

Após sair do percolador, a massa, ou seja, a parte sólida segue para as prensas, onde é prensada para a retirada da gordura restante que ainda poderá estar contida no produto. A massa com baixo teor de gordura é conduzida para esterilização (quando necessário), resfriamento, moagem, peneiramento e estocagem.

Quando a matéria-prima conter resíduos bovinos, estes devem passar por processo de esterilização para controle da Encefalopatia Espungiformes. A esterilização é um processo pelo qual a farinha é submetida a uma temperatura não inferior à 133°C, a pressão de 3 (três) bar (pressão relativa), por pelo menos 20 (vinte) minutos (PACHECO, 2006b).

#### **2.2.1.5 Processos de limpeza e higienização**

Os equipamentos e salas de processamentos necessitam ser limpos e higienizados adequadamente e em situações específicas, durante a produção e após o encerramento da mesma. Estas operações de limpeza e desinfecção são regulamentadas pelas autoridades sanitárias responsáveis pela fiscalização destas indústrias. A rotina de limpeza e higienização das fábricas de produtos para nutrição animal é similar à higienização aplicada para frigoríficos ou abatedouros (HAALAND; MICHARD; MANTELATO, 2002).

Neste tipo de indústria, é comum materiais do processo caírem no piso, e ao invés de serem recolhidos, os mesmos são arrastados com jatos de água para os drenos, pontos de coleta dos efluentes, e estes podem ou não possuir telas para retenção dos materiais. Caso estas telas não existam ou sejam removidas pelos funcionários, estes resíduos acabam indo para o tratamento de efluente. Nas estações de efluentes, estes materiais estão sujeitos a turbulências, bombeamentos, fricções, impactos mecânicos e aquecimentos, o que provoca sua fragmentação,

gerando maiores quantidades de substâncias em suspensão e em solução com alta carga orgânica, que não são mais retidas por gradeamentos e peneiramentos (PACHECO, 2006a).

A aplicação de produtos químicos para higienização e sanitização dos utensílios, equipamentos e setores é de extrema importância para o controle de qualidade, porém deve ser levado em conta as quantidades utilizadas, a forma de aplicação, além do tipo de produto para que não ocorra impactos no sistema de tratamento de efluentes (PACHECO, 2006a).

### **2.2.2 Efluentes gerados por este tipo de indústria**

A matéria-prima, carne, ossos, vísceras possui naturalmente em sua composição grande quantidade de água, porém o volume de efluente gerado no processamento destes resíduos se deve à prática comum de conduzir a água de limpeza do próprio frigorífico ou abatedouro ou ainda promover a condução destes resíduos até o caminhão usando água para facilitar o transporte nas roscas ou túneis. Esta água é transportada juntamente com a matéria-prima e conduzida para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), já no setor de recebimento onde é efetuada a descarga do material. A água agregada à matéria-prima é extraída nos digestores e condensada nos aerocondensadores (MEEKER, 2006).

Segundo IPPC (2005) apud Pacheco (2006b), o sangue contém de 10 a 18% de matéria seca. Porém, esta parte líquida, ao ser descartada, além de conter significativa quantidade de material dissolvido, gera grandes quantidades de efluente. O processo de produção dá um rendimento de 15 a 20% de farinha de sangue sobre o sangue bruto processado.

Os efluentes das fábricas de produtos para nutrição animal são gerados durante as operações de lavagem de caminhões, pisos e equipamentos, lançamento das águas dos condensadores, biofiltro e lavadores de gases, da decantação e limpeza da gordura e de drenagens de águas pluviais de pátios onde possa ocorrer derramamento de matéria prima (MEEKER, 2006).

Pode-se citar também outros pontos de geração de efluentes, embora sejam menores e esporádicos em relação aos efluentes industriais principais, como: água de descarga das caldeiras, contendo sais, fuligem e eventuais substâncias orgânicas da combustão; águas de lavagens dos setores de apoio, oficinas, salas de compressores, almoxarifados e áreas de armazenamento; além dos esgotos sanitários ou domésticos, provenientes das áreas administrativas, vestiários, ambulatório e restaurante (MEEKER, 2006).

## **2.3 Local de realização do trabalho**

### **2.3.1 Empresa**

A empresa na qual foi desenvolvido este trabalho, está localizada no Vale do Taquari e procura atuar nos seus processos de forma sustentável, fabrica farinhas a partir de resíduos de abate e frigoríficos. Seus produtos são comercializados em todo Brasil, Chile, Uruguai, Argentina, Angola, China, Honduras e Panamá.

Fundada em 1983 tinha como principal atividade fabricação de farinha de osso calcinado a partir de ossos secos recolhidos nos campos. Com as mudanças de mercado, exigências sanitárias e ambientais os abates deixaram de ser realizados no campo passando a serem realizados em frigoríficos e abatedouros. Assim a empresa passou a recolher os ossos e demais resíduos nestes estabelecimentos produzindo farinha de carne e ossos, farinha de sangue e gordura animal.

### **2.3.2 Processo de farinha de carne e ossos**

A matéria-prima é descarregada na “moega” (estrutura em forma de silo com uma rosca no fundo). Deste equipamento passa por um triturador e após o material vai para o digestor onde é realizada a cocção, processamento térmico que visa a eliminação dos patógenos bacterianos e a separação da umidade e da gordura da matéria-prima.

Os digestores utilizados são do tipo contínuo, ou seja, é alimentado em uma extremidade com matéria-prima e automaticamente na outra extremidade é obtido o resíduo cozido. O processo de cozimento dura aproximadamente 30 minutos a uma temperatura entre 80°C e 100°C na entrada do equipamento e entre 125°C e 140°C na saída do mesmo. Nesta etapa de cozimento separa-se o material sólido da gordura. A gordura extraída no cozimento segue para linha específica.

A parte sólida obtida após os digestores contínuos é levada para as prensas através de roscas, onde é prensada para extração da gordura ainda presente na massa.

Após a prensagem, a massa é conduzida através de uma rosca até o esterilizador. Após o esterilizador, a farinha é conduzida para um resfriador seguido de um moinho. Ao sair do moinho a farinha é peneirada e conduzida ao silo de estocagem ou ensaque.

### **2.3.3 Gordura animal**

A gordura obtida no cozimento, bem como no processo de prensagem, possui impurezas. Estas então são conduzidas a um tanque com agitação, onde ocorre a homogeneização do produto, fazendo com que as partículas fiquem suspensas, com o intuito de facilitar o processo de separação.

A separação é realizada pelo *decanter* que separa a impureza (parte sólida) da gordura (parte líquida), sendo o mesmo encaminhado para o filtro de placas para a purificação final. A gordura é estocada em tanques de armazenamento prontos para o carregamento.

### **2.3.4 Farinha de sangue**

O sangue *in natura* depois de descarregado passa por uma centrífuga com o objetivo de separar as impurezas que possam estar presentes no produto.

Em seguida o produto passa para o coagulador, onde é injetado vapor contracorrente, a uma temperatura entre 70°C a 75°C e pressão entre 4,5 a 5,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

Ao sair do coagulador, o sangue é conduzido para uma centrífuga *decanter*, que separa a água dos sólidos que darão origem à farinha. Os sólidos são encaminhados ao secador, onde os mesmos entram em contato com o calor seco, produzido por uma fornalha. A farinha de sangue é encaminhada para o moinho e após é ensacada.

## **2.4 Técnicas de tratamento utilizadas**

Para minimizar os impactos ambientais de seus efluentes líquidos industriais e atenderem às legislações ambientais locais, as fábricas de produtos para nutrição animal devem fazer o tratamento destes efluentes. Este tratamento pode variar dependendo do tipo de processo utilizado e da tecnologia empregada.

### **2.4.1 Tratamentos físicos e químicos**

O tratamento físico-químico do efluente envolve as etapas de remoção de óleos e graxas e sólidos grosseiros, suspensos, sedimentáveis e flotáveis, após segue para as próximas etapas do tratamento. O pré-tratamento normalmente inclui as operações de análises, separação por gravidade e equalização. Geralmente, empregam-se os seguintes equipamentos: grades e peneiras, caixas de gordura e/ou flutuadores e sedimentadores (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

### **2.4.2 Gradeamento**

O gradeamento é um dispositivo constituído por barras paralelas igualmente espaçadas que tem por objetivo retenção de sólidos que apresentam tamanho maior do que o espaçamento entre as barras da grade. Deve-se levar em conta o tipo de contaminante presente no efluente para definir qual é o melhor tipo para ser usada (METCALF, 2003; SPERLING, 2002; CLASS, 2007).

### 2.4.2.1 Flotadores

Os flotadores utilizados no pré-tratamento podem ser físicos ou físico-químicos. Os sistemas físicos consistem na remoção física através da injeção de micro bolhas de ar que, quando introduzidas no efluente, se fixam às partículas promovendo a sua ascensão, possibilitando que as mesmas sejam removidas mecanicamente por pás raspadoras. Promovem ainda uma separação acelerada nas partículas de menor densidade (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

O processo de coagulação/floculação/sedimentação se inicia na câmara de mistura rápida, ou na própria tubulação de alimentação do decantador. A finalidade desta câmara é criar condições para que em poucos segundos, o coagulante seja uniformemente distribuído por toda a massa d'água. Nesta câmara tem-se uma agitação muito intensa, promovida por agitadores, ou devido à própria hidrodinâmica que ocorre na tubulação (VIANNA, 2002).

Os sais de alumínio são os coagulantes químicos mais comumente utilizados no processo de tratamento de águas, apresentando maior eficiência quando o pH da suspensão estiver entre 5,0 e 8,0 (VIANNA, 2002).

Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH. Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular desse elemento, comparado ao do alumínio; por conseguinte, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente (PAVANELLI, 2001).

Os sólidos desestabilizados a partir do pré-tratamento químico são normalmente removidos com Flotação por Ar Dissolvido (DAF). DAF convencional envolve introdução da água que está saturada com ar a alta pressão, juntamente com o efluente pré-tratado. Como a pressão é reduzida, o ar sai da solução em forma de micro-bolhas fazendo com que as partículas flutuem para a superfície do

tanque. Os sólidos são raspados através de pontes raspadoras na superfície e removidos (VIANNA, 2002).

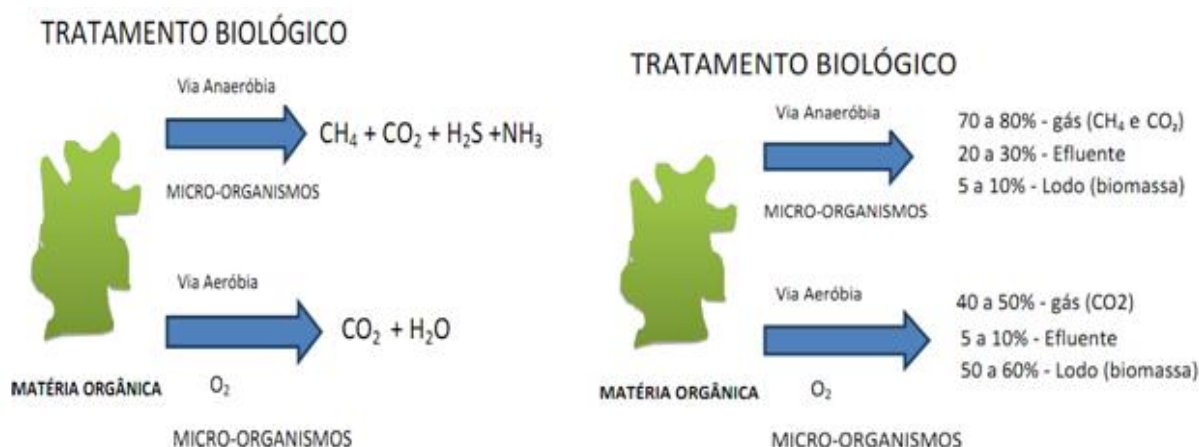
### 2.4.3 Tratamentos biológico

O tratamento biológico refere-se à remoção de contaminantes orgânicos utilizando processos de tratamento biológico. Estes envolvem a mesma biodegradação natural básica da matéria orgânica que ocorre em rios e lagos. A Figura 2 ilustra as principais reações que ocorrem neste tratamento.

A biodegradação ocorre em tanques ou lagoas com concentrações muito elevadas de micro-organismos de modo que a matéria orgânica pode ser removida do efluente num período de tempo muito mais curto do que no ambiente aquático natural (BERNARDES; SOARES, 2005).

Sistemas de lagoas de estabilização são muito usados no Brasil, pois apresentam certas vantagens como disponibilidade de área, clima favorável, custo competitivo de implantação e operação e por ser um sistema simples de operar. Contudo, apresentam algumas desvantagens, como a presença de concentrações elevadas de algas no efluente final, baixa eficiência na remoção de nutrientes e liberação de odores, comuns nas lagoas anaeróbias (MEDEIROS, 2011).

Figura 2 - Reações no tratamento biológico



Fonte: Jordão e Pessoa (2009)

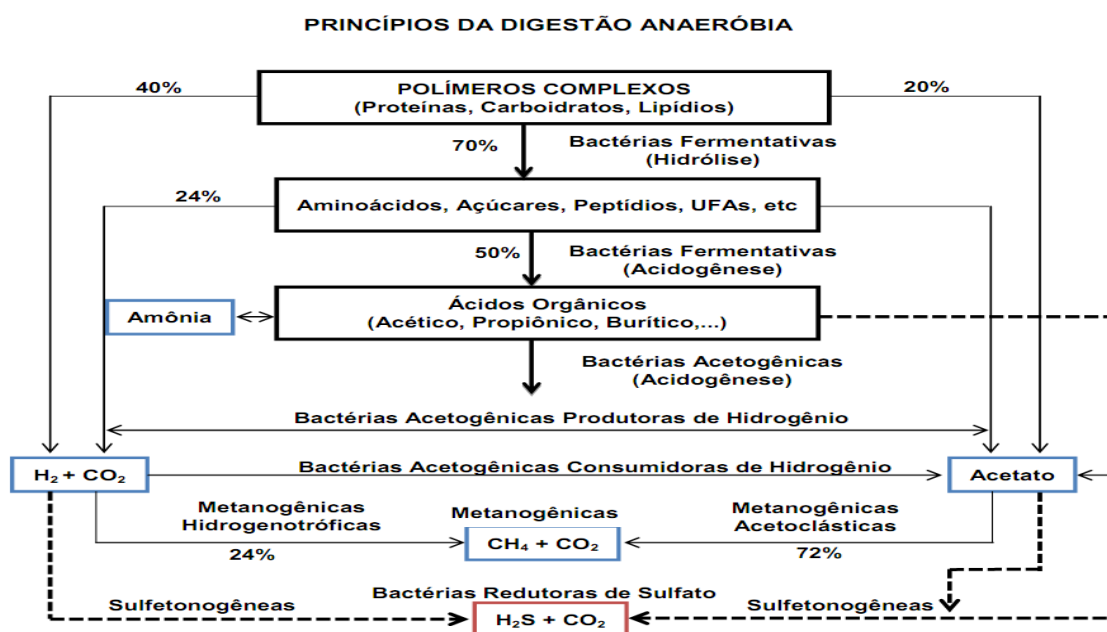
### 2.4.3.1 Lagoa anaeróbia

Lagoas anaeróbias geralmente apresentam profundidades entre 3 a 5 metros e tempo de detenção hidráulica de 3 a 6 dias. Nestas lagoas é comum a formação de uma camada espessa, ou seja, uma capa que cobre toda superfície da lagoa, esta condição garante a anaerobiose, uma vez que a penetração da luz e a sobrevivência de algas não são possíveis. O lançamento de altas cargas de demanda biológica de oxigênio em 5 dias ( $DBO_5$ ), por unidade de volume da lagoa provoca um rápido esgotamento do oxigênio que possa estar presente no efluente (MEDEIROS, 2011).

Segundo Sperling (2002), lagoas anaeróbias normalmente apresentam redução de DBO entre 50% e 70%, porém a concentração de DBO ainda continua elevada necessitando de outros tratamentos posteriores.

Neste sistema, a maior parte da matéria orgânica é convertido por bactérias em metano e dióxido de carbono gasoso referido como biogás. O nitrogênio orgânico é convertido em amoníaco. Estas reações podem ser vistas na Figura 3.

Figura 3 - Princípios da digestão anaeróbia



Fonte: Jordão e Pêsoa (2009)

### 2.4.3.2 Lagoa facultativa

Segundo Sperling (2002), a profundidade tem influência em aspectos físicos, biológicos e hidrodinâmicos. Para o cálculo do volume da lagoa deve-se levar em condição a taxa de aplicação superficial, porém na maioria dos projetos são utilizados valores de profundidades entre 1,5 a 3 metros e tempo de detenção entre 15 e 45 dias.

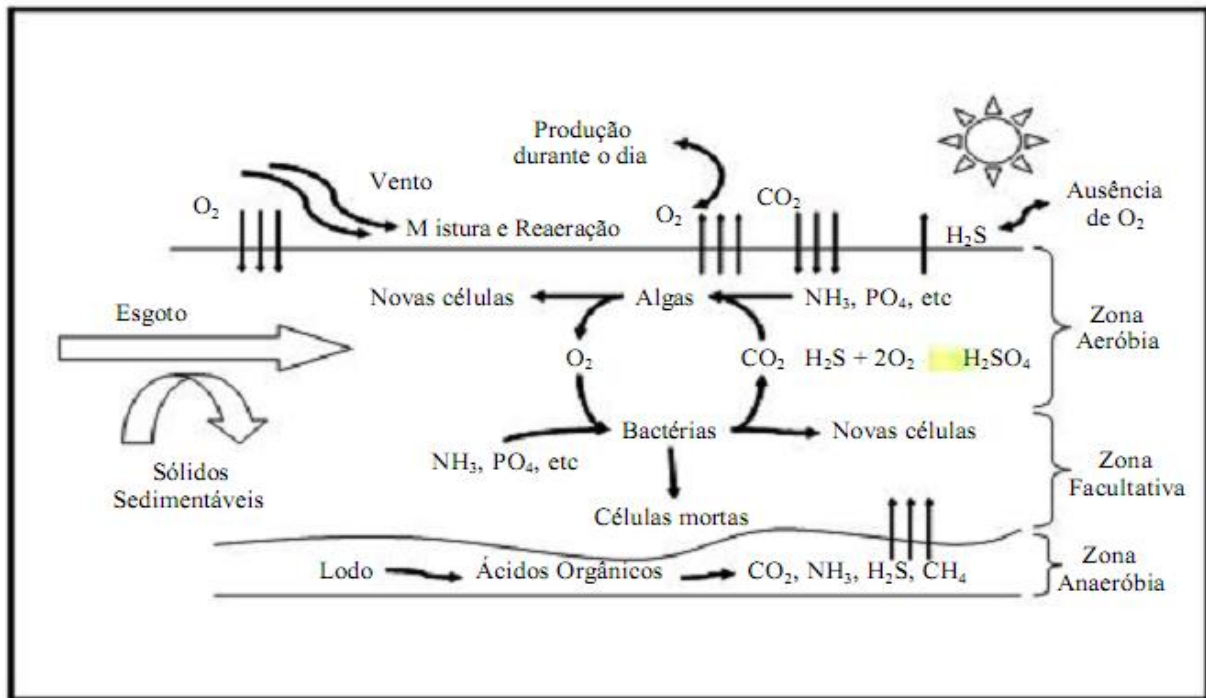
O tratamento do efluente ocorre na lagoa facultativa passando por três faixas, denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa conforme ilustrado na Figura 4.

Nestas faixas ocorrem, simultaneamente, processo de fermentação anaeróbio, oxidação aeróbia e redução fotossintética; uma zona anaeróbia de atividade bêntica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica próxima à superfície. A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor (MEDEIROS, 2011).

A matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo, enquanto que a matéria orgânica dissolvida, conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões não sedimenta, permanecendo dispersa na parte líquida (SPERLING, 2002).

Para a ocorrência da fotossíntese é necessário uma fonte de energia luminosa, neste caso representada pelo sol. Por esta razão, locais com elevada radiação solar e baixa nebulosidade são bastante propícios à instalação de lagoas facultativas (SPERLING, 2002; MOTA, 2003).

Figura 4 - Transformações bioquímicas em Lagoas Facultativas



Fonte: Adaptado (SPERLING, 2002).

### 2.4.3.3 Lodos ativados (reator biológico)

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), processo biológico de tratamento é aquele em que os micro-organismos são responsáveis pela conversão de matéria orgânica e outros constituintes dos efluentes em gases e crescimento celular, sendo mantidos em suspensão na massa líquida.

Os sistemas de lodos ativados ocupam um espaço menor, se comparados com outros tipos de sistemas biológicos normalmente utilizados no tratamento de resíduos (CLAAS, 2007; SPERLING, 2002).

O sistema de lodo ativado pode ser definido como um sistema de depuração biológica por via exclusivamente aeróbia, onde a matéria orgânica presente nos efluentes é degradada por colônias de micro-organismos heterogêneos. Estas colônias de micro-organismos formam uma massa denominada de lodo ativado (CLAAS, 2007).

No tanque de aeração, devido à entrada contínua de alimento, na forma de DBO dos efluentes, as bactérias crescem e se reproduzem continuamente. Caso fosse permitido que a população de bactérias crescesse indefinidamente, elas tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio de todas as células. Além disso, o decantador secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a sair com o efluente final, deteriorando a sua qualidade. Para manter o equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Este é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação, sendo enviado para leitos de secagem (CLAAS, 2007; SPERLING, 2002).

A massa de lodo ativado a ser mantida no reator deve permitir a degradação da matéria orgânica até os níveis desejados e é determinada através de análises que forneçam parâmetros cinéticos específicos para o efluente a ser tratado (CLAAS, 2007).

#### **2.4.3.4 Decantador secundário**

A sedimentação tem por objetivo separar o lodo ativado do efluente tratado, clarificando o efluente e possibilitando o reciclo do lodo ao reator ou seu descarte do sistema (CLAAS, 2007; SPERLING, 2002).

O reciclo do lodo ao reator biológico deve, de preferência, ser realizado de forma contínua (por bombeamento), evitando-se a permanência dos micro-organismos em condições anóxicas (CLAAS, 2007).

### **2.5 Principais parâmetros exigidos na legislação**

Os efluentes líquidos industriais a serem gerados, após o tratamento, devem atender aos seguintes padrões de emissão conforme Resolução CONSEMA Nº 128 de 24 de novembro de 2006, para o lançamento em corpos hídricos. Os principais parâmetros estão relacionados (TABELA 1).

Tabela 1 - Principais parâmetros exigidos na legislação

<b>PARÂMETROS</b>	<b>PADRÃO DE EMISSÃO A SER ATENDIDO</b>
Temperatura	Inferior a 40° C sendo a variação de temperatura do corpo receptor inferior a 3 °C na zona de mistura
Sólidos sedimentáveis	Até 1ml/L, em Cone Imhoff uma hora
pH	Entre 6,0 e 9,0
Espumas	Virtualmente ausentes
Materiais flutuantes	Ausentes
Odor	Livre de odor desagradável
Cor	Não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
DBO <sub>5</sub> (20°C)	Até 80 mg/L
DQO	Até 300 mg/L
Sólidos Suspensos	Até 100 mg/L
Óleos e Graxas animais	Até 30 mg/L
Fósforo Total	Até 3 mg P/L ou 75% de remoção
Nitrogênio Total Kjeldhal	Até 20 mg NTK/L ou 75% de remoção
Nitrogênio amoniacal	Até 20 mg Nam./L
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	Até 2,0 mg MBAS/L

Fonte: Licença de Operação, Resolução CONSEMA 128.

Além desta legislação mencionada tem-se a Resolução CONSEMA Nº 129/2006, de 24 de novembro de 2006 que dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2012).

E a Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA (BRASIL, 2011).

Todos os parâmetros exigidos pela legislação são importantes e devem ser atendidos na íntegra, porém destaca-se neste trabalho a matéria orgânica através do parâmetro carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT). Estes se apresentam hoje como umas das maiores dificuldades de atendimento aos padrões para o tipo de efluente estudado.

## 2.6 Parâmetros estudados

### 2.6.1 Carbono orgânico total

Em geral, o carbono se apresenta na forma de Carbono Inorgânico (IC) e Carbono Orgânico (OC). O carbono inorgânico é composto de dióxido de carbono, ácido carbônico e suas formas dissociadas quando analisado em água potável. Já o carbono orgânico é em grande parte originado pela matéria orgânica presente na água, bem como, resultante da sua reação com produtos desinfetantes. O nível de exposição da população aos subprodutos dessas reações apresenta grande potencial carcinogênico além e de outros efeitos danosos à saúde da população (BISUTTI; HILKE; RAESSLER, 2004).

A medição de Carbono Orgânico Total (TOC) é obtida de forma direta e indireta. A ideia é converter todas as diferentes formas de carbono na forma simples de dióxido de carbono detectando e quantificando o gás resultante dessa conversão. No método direto, o carbono orgânico presente na amostra é medido de duas formas; na primeira o IC é removido por meio de um tratamento ácido, assumindo-se que todo IC está na forma de carbonatos e que esses reagem rápida e completamente com o meio ácido produzindo  $\text{CO}_2$  (BISUTTI; HILKE; RAESSLER, 2004).

Após a acidificação e remoção do IC, o OC não volatilizado (purgado) remanescente na amostra é submetido a um método de oxidação que pode ser térmica ou química ou ainda por raios ultravioletas, sendo o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), produzido nesta oxidação, é efetuada então a leitura e através de uma curva de calibração, obtido o resultado dos níveis TOC (BISUTTI; HILKE; RAESSLER, 2004).

No método indireto intitulado de OC é obtido por meio da subtração do IC do conteúdo total de carbono presente na amostra, determinados isoladamente. O carbono inorgânico é obtido pela acidificação da amostra a exemplo do método anterior, sendo o IC quantificado. Em outra amostra, o carbono total é obtido pela oxidação química com persulfatos conjuntamente com raios ultravioleta ou persulfatos sob aquecimento, seguindo-se com o arraste, com um gás inerte do  $\text{CO}_2$

resultante da reação. Outra técnica de oxidação para o carbono total é a via termocatalítica onde a amostra é submetida a temperaturas da ordem de 680 °C ou superior (BISUTTI; HILKE; RAESSLER, 2004).

A forma de detecção do CO<sub>2</sub> produzido das etapas de oxidação também difere de equipamento para equipamento. Os mais comumente utilizados são os detectores de condutividade para os processos de oxidação a baixas temperaturas, Detectores Infravermelho não Dispersível (NDIR) e os detectores de condutividade térmica para os processos de oxidação com temperaturas elevadas (BISUTTI; HILKE; RAESSLER, 2004).

Já existem trabalhos que utilizam a análise de carbono orgânico total para determinação da matéria orgânica (Queiroz *et al*, 2011), também há estudos comparativos relacionando COT e DQO (Aquino, 2006), porém os resultados demonstram que não se pode usar esta relação por não ser estável, há grandes variações dependendo dos compostos presentes no efluente como: íons amônio, glicose, cloretos, sulfetos, ferro entre outros (AQUINO, 2006; BORDONALLI, 2009).

### **2.6.2 Nitrogênio total**

O nitrogênio é um elemento essencial nos processos vitais de todas as plantas e animais por ser o principal componente de proteínas, ácidos nucleicos e de outras bio-moléculas. As principais fontes de nitrogênio no meio ambiente são de origem vegetal e animal, visto que compostos desse elemento são liberados como subprodutos das funções orgânicas vitais (fezes e urina) e da decomposição de organismos mortos (LANGE; AMARAL, 2009).

O nitrogênio aparece como constituinte de proteínas e de vários outros compostos biológicos, nitrogênio atmosférico, sais inorgânicos como nitrato de sódio, nitrito de sódio e sais de amônio (SPERLING, 2002).

Em recursos hídricos, a presença de elevadas concentrações de nitrogênio pode conduzir a um crescimento exagerado de algas e outros micro-organismos ocasionando um efeito denominado, eutrofização. Nos processos bioquímicos de conversão de amônia a nitrito e posteriormente a nitrato, o nitrogênio implica no

consumo de oxigênio dissolvido, fato este que interfere na vida aquática do recurso hídrico. Na forma de amônia livre, torna-se diretamente tóxico aos peixes (SPERLING, 2005).

A alta quantidade de nitrogênio em efluentes de fábrica de produtos para nutrição animal está diretamente associada à composição da matéria-prima utilizada, a carne e o sangue são compostos essencialmente por proteínas (MEEKER, 2006).

Os processos biológicos para serem eficientes na remoção de nitrogênio devem ser bem projetados e operados. No processo biológico a remoção do nitrogênio está ligada a dois fenômenos associados: a nitrificação e a posterior desnitrificação (CLASS, 2007).

O fornecimento de oxigênio (ar) não tem apenas finalidade de remover matéria orgânica (processo metabólico), podendo ser a principal, mas, também de remover compostos nitrogenados. Alguns grupos de bactérias, capazes de converter Nitrogênio Amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) em Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por meio da oxidação biológica (nitrificação), são chamados bactérias nitrificantes. A nitrificação acontece em meio necessariamente aeróbio, em duas etapas. Na primeira, bactérias de espécie *Nitrossomonas* reduzem a amônia a nitrito. Na segunda, são as *Nitrobacter* as responsáveis pela conversão do nitrito a nitrato. No caso da nitrificação, por ser um processo que consome oxigênio, interessa quantificar a demanda por esse acceptor de elétrons nas reações (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Observa-se, pela equação apresentada a), que no processo de transformação de um mol de nitrogênio amoniacal para nitrito, são consumidos 1,5 moles de oxigênio, resultando em 3,43 g de  $\text{O}_2/\text{g}$  de N oxidado, enquanto a redução do nitrito, equação b), requer 1,14 g de  $\text{O}_2/\text{g}$  de N, de forma que, no processo total de nitrificação, são necessários 4,57 g de  $\text{O}_2/\text{g.N}$  (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

- $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2$  (*Nitrossomonas sp*)  $\rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 4 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Energia}$  (a)
- $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2$  (*Nitrobacter sp*)  $\rightarrow 2 \text{NO}_3^- + \text{Energia}$  (b)

A remoção do nitrogênio só se completa com a desnitrificação, processo que necessita de meio anóxico, ou seja, sem a presença de oxigênio livre.

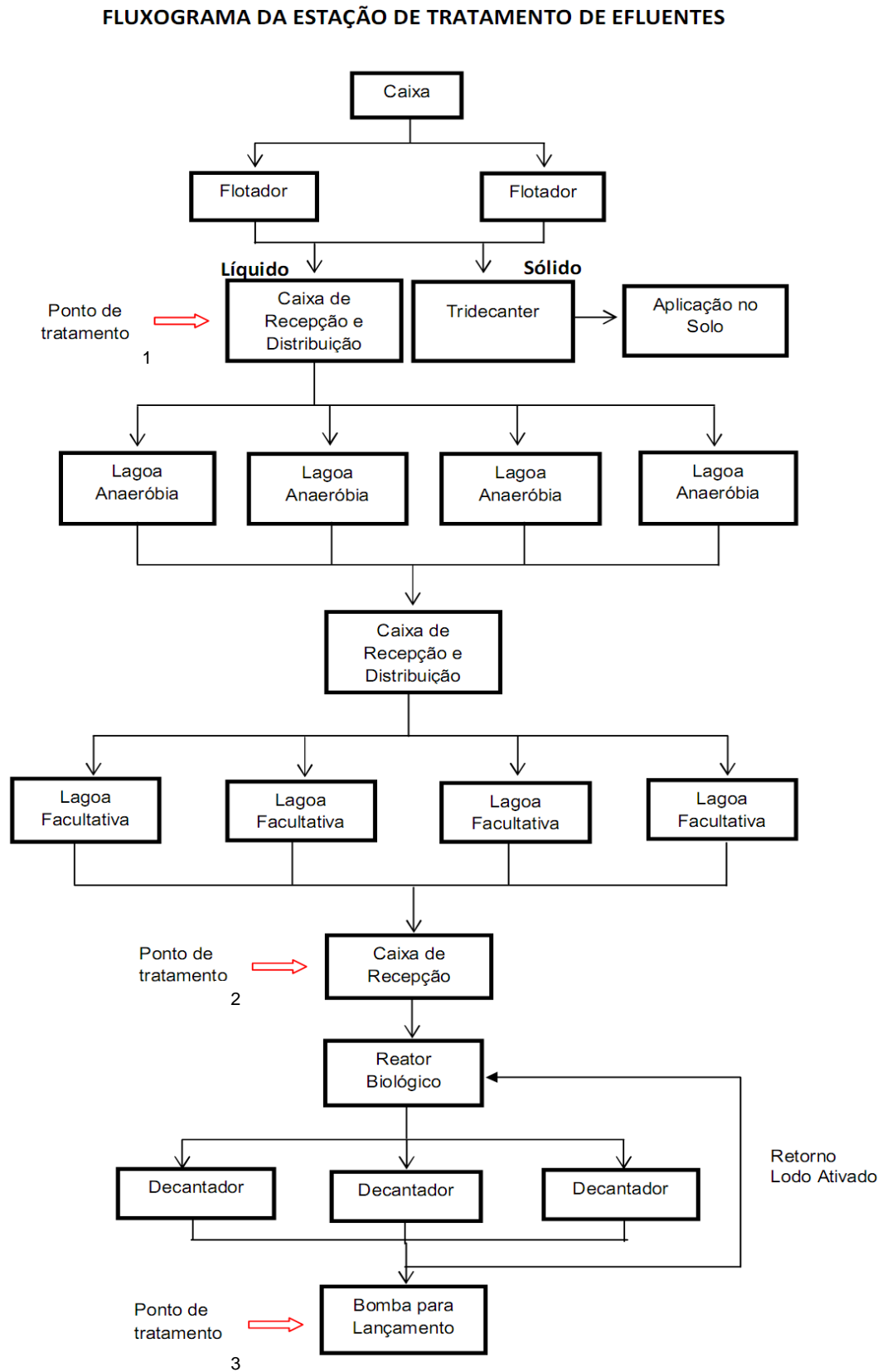
Os parâmetros de COT e NT são muito importantes serem analisados em efluentes de fábricas de produtos para nutrição animal, pois são parâmetros que normalmente apresentam concentrações elevadas.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Caracterização do efluente estudado**

Nesta etapa foi caracterizado o efluente gerado em fábrica de produtos para nutrição animal, descrevendo-se as etapas de tratamento hoje utilizadas pela empresa. Na Figura 05 está detalhado o tratamento do efluente através de fluxograma da ETE e no Anexo 01 detalhamento do sistema indicando os pontos onde será aplicado o tratamento físico-químico.

Figura 5 - Fluxograma da ETE estudada.



Fonte: Do autor.

Como teste preliminar, além dos coagulantes descritos no trabalho testou-se outros tipos como: sulfato de alumínio, polímero orgânico à base de tanino e sulfato ferroso. Sendo que estes não apresentaram bons resultados, pois os mesmos não promoveram a coagulação da matéria orgânica, deixando o efluente completamente turvo e com a gordura emulsionada, ou seja, não houve a separação de fases. O sulfato ferroso, além disso, agregou cor ao efluente.

Para realização deste trabalho caracterizou-se o efluente gerado em três pontos: efluente na saída da fábrica (efluente bruto), efluente na saída da lagoa facultativa e efluente final, onde estes foram considerados em cada etapa como efluente bruto para posterior avaliação da flotação. Para caracterização deste efluente calculou-se a média dos resultados do primeiro semestre deste ano de operação da ETE para os três pontos avaliados.

Na Tabela 2, há a caracterização do efluente nas etapas onde será efetuado o tratamento.

Tabela 2 - Caracterização do efluente bruto nas etapas de tratamento

Parâmetros	Unidade de medida	Efluente saída da fábrica	Saída lagoa facultativa	Efluente final
Temperatura	° C	54	26	25
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	1.000	1,7	0,1
pH	-	6,1	7,2	6,9
DBO <sub>5</sub> (20° C)	mg DBO <sub>5</sub> /L	13.800	3.000	72
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	32.216	11.900	270
Sólidos Suspensos	mg Sol. Susp. Totais /L	4.600	475	87
Óleos e Graxas Animais	mg OG/ L	6.200	78	18
Fósforo Total	mg P/L	176	96	14
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg N/L	1.430	408	66
Nitrogênio Amoniacal	mg NH <sub>3</sub> -N/L	1.127	370	59

Fonte: Do autor.

### 3.2 Sistema de tratamento

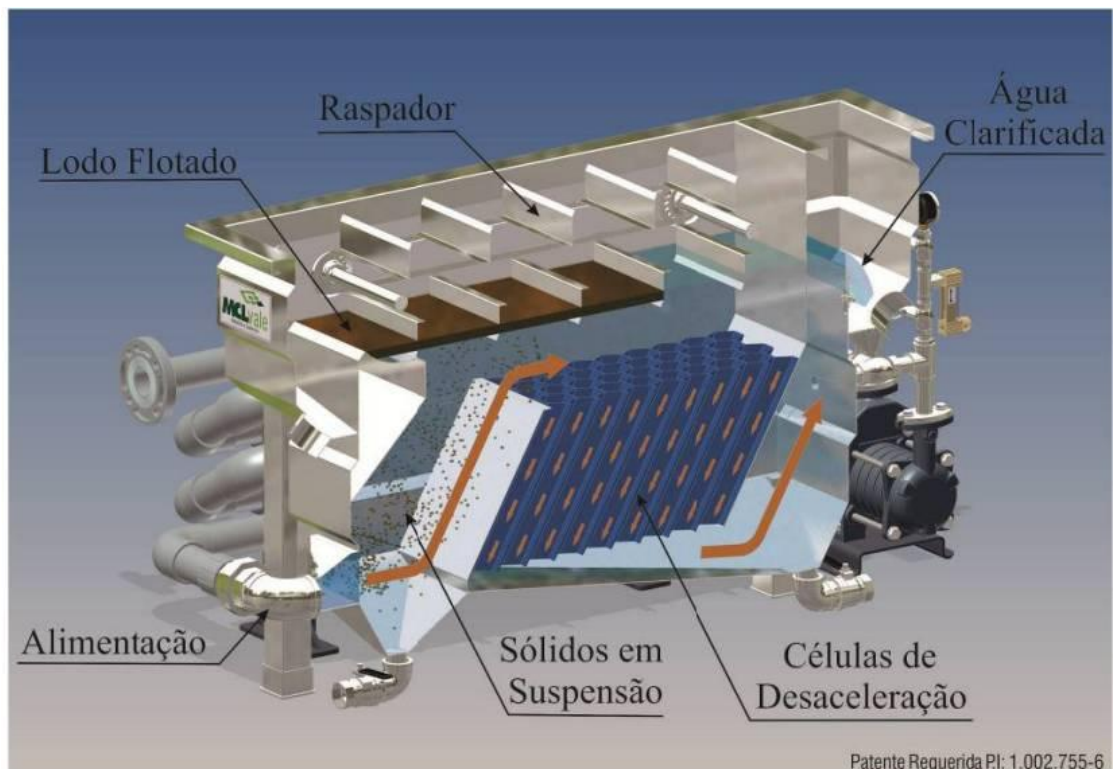
Para efetuar o tratamento utilizou-se um flotador físico-químico da marca MCL Vale com câmaras de desaceleração, conjunto capaz de reduzir a velocidade do

efluente, possibilitando dessa forma que até os flocos mais finos flutuem até a superfície, garantindo um melhor desempenho.

O processo de flotação ocorre da seguinte maneira: o efluente bruto entra na tubulação de floculação do flotador, onde é feita a leitura de seus parâmetros físicos e químicos, e logo após, suas devidas correções. Em seguida, o efluente recebe a dosagem das micro bolhas oriundas da bomba geradora; estas micro bolhas, com dimensões entre 20 e 25 micrômetros, capturam os flocos que foram formados pelo processo químico. Ao entrar no flotador (Figura 06), o efluente tende a manter sua linha de corrente, no entanto, quando em contato com as células de desaceleração, ele diminui drasticamente sua velocidade, possibilitando dessa forma uma melhor flotação dos flocos até a superfície, onde são removidos para um tanque de depósito com saída pelo vertedouro.

A alimentação do equipamento foi por bombeamento e a dosagem do coagulante e do polímero efetuada na própria tubulação de alimentação do flotador.

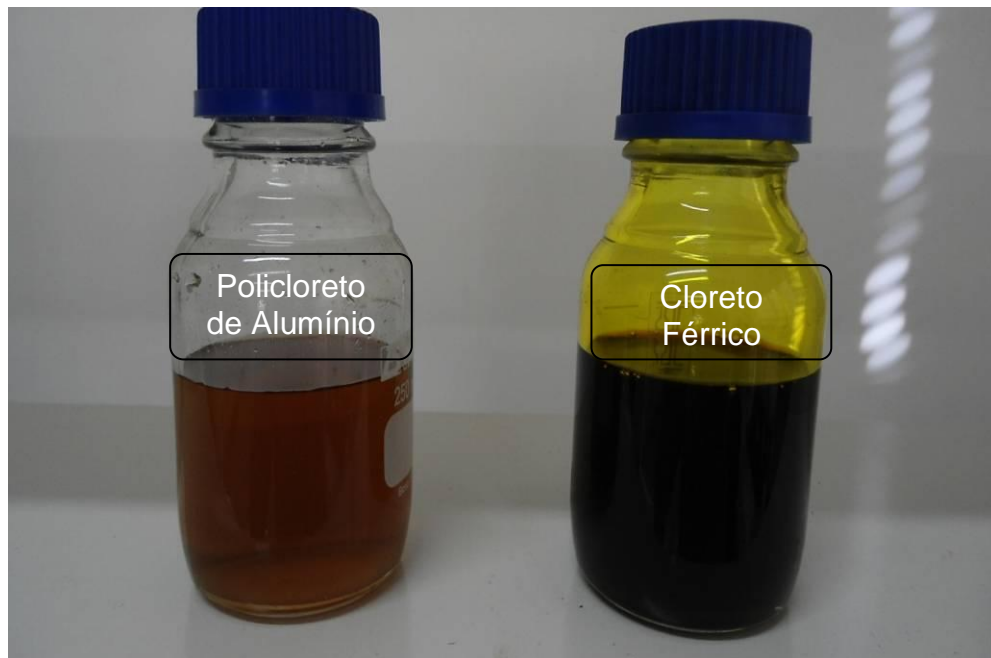
Figura 6 - Equipamento flotador



Fonte: MCL Vale

Neste sistema foi avaliada, a eficiência de dois tipos de coagulantes, o cloreto férrico e o policloreto de alumínio com polímero aniônico. O polímero utilizado foi o mesmo para todos os testes.

Figura 7 - Coagulantes utilizados nos testes



Fonte: Do autor

A vazão de tratamento foi 10 m<sup>3</sup>/h, ou seja, a capacidade máxima do flotador. Foram testados o cloreto férrico e o policloreto de alumínio (Figura 07) com dosagem entre 1.950 mg/L, e 2.300 mg/L. Estes valores de dosagem foram definidos através de indicação do fornecedor e confirmados em testes de bancada no laboratório. Estas quantidades foram utilizadas para os dois tipos de coagulantes e o polímero aniônico também conforme indicação do fornecedor, este foi dosado na concentração de 0,5 mg/L. O pH não foi alterado pois situa-se próximo a neutralidade em todas as etapas e nos testes realizados inicialmente, com a variação de pH os resultados não apresentaram diferença considerável.

Os flotadores (Figura 08) foram instalados em um ponto estratégico da ETE onde estes podiam receber o efluente de todas as etapas testadas. O efluente da saída da fábrica foi transportado no tanque de um trator proporcionando o resfriamento necessário para não degradar o coagulante. O efluente bruto foi tratado

na temperatura entre 38° C e 40° C. Esta faixa de temperatura foi definida por ser uma temperatura que não ocorre à degradação dos coagulantes e não agregou custo para o resfriamento.

Nas etapas após a saída das lagoas facultativas e no final o efluente foi bombeado diretamente ao flotador e as temperaturas dos testes foram às mesmas que o efluente apresentava, entre 23° C e 28° C.

Figura 8 - Flotadores utilizados para os testes



Fonte: Do autor.

Segundo a legislação estadual, CONSEMA 128 e legislação federal CONAMA 430 a temperatura de lançamento do efluente deve ser inferior a 40°C, a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

Foram utilizados métodos com diferentes condições operacionais como variação de temperatura, entre 20°C e 55°C, misturas controladas do efluente de cada setor, separando o efluente de cada setor, dosagens mínimas e máximas de coagulante onde testou-se concentrações entre 1.950 mg/L até 2.300 mg/L a fim de ajustar o processo de tratamento para serem obtidos os melhores resultados tanto na remoção dos contaminantes como no custo operacional.

### 3.3 Análises de eficiência do tratamento proposto

#### 3.4 Amostragens

O período de teste para cada etapa foi considerado de um mês, quinze dias aplicado um coagulante e quinze dias o outro. Seis amostras foram coletadas para cada coagulante e cada etapa, nestas foram analisadas os parâmetros de carbono orgânico total, nitrogênio total e turbidez. Dos seis resultados fez-se uma média aritmética simples.

As coletas foram efetuadas de forma simples, pois ocorreram após a equalização na tubulação. A conservação das amostras foi através do resfriamento das mesmas. Logo após a coleta as amostras foram analisadas no laboratório da Univates ou no laboratório Green Lab.

As análises de carbono orgânico total e nitrogênio total do efluente bruto e do efluente após o tratamento, quando necessário, foram diluídas de 1:5 utilizando-se uma pipeta volumétrica de 50 mL e um balão volumétrico de 250 mL. A amostra foi analisada através do aparelho analisador de carbono orgânico total, TOC –  $V_{CPH}$ , e analisador de nitrogênio total, TNM – 1, com detecção por quimioluminescência, marca Shimadzu. Os resultados serão expressos em mg/L. Para análise de turbidez utilizou-se o turbidímetro DM - TU – Digimed. Os resultados serão expressos em NTU.

Após os resultados obtidos os mesmos foram encaminhados para análise da direção e possível aquisição de um flotador físico-químico para ser instalado na ETE.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma dificuldade encontrada foi a questão da temperatura de trabalho, pois no efluente bruto, que apresenta temperaturas em torno de 54°C os coagulantes não promoveram a separação na flotação, ou seja, a matéria sólida ficou emulsionada passando pelo sistema sem ocorrer separação das fases. A solução encontrada foi enviar o efluente proveniente da etapa de cozimento da matéria-prima, gerado no aerocondensador, diretamente para as lagoas, pois o mesmo não apresenta materiais sólidos passíveis de remoção no flotor, além disso, apresenta a temperatura mais elevada de todos os pontos coletados na fábrica.

Com esta ação a temperatura média do efluente passou a ser em torno de 45 °C. Efetuando o transporte até o flotor com o tanque do trator promoveu-se o resfriamento do efluente a temperaturas entre 38 °C e 40 °C.

Na etapa inicial os testes foram feitos utilizando-se o efluente gerado em cada etapa e direcionando-o diretamente no flotor, apenas o efluente da saída da fábrica foi resfriado. Na sequência dos testes outras ações como, separação de parte do efluente gerado na fábrica, resfriamento, homogeneização e velocidade do efluente na passagem no flotor foram adaptadas a fim de se obter melhores resultados.

Nas figuras 9, 10 e 11 podem ser observados os aspectos visuais do efluente bruto e após passar pelo tratamento. No lado esquerdo das figuras tem-se o efluente bruto, na parte central o efluente após receber o policloreto de alumínio e no lado direito efluente após receber o cloreto férrico.

Figura 9 - Efluente bruto, saída da fábrica e após passar pelo tratamento



Fonte: Do autor.

Figura 10 - Efluente saída lagoa facultativa e após passar pelo tratamento



Fonte: Do autor.

Figura 11 - Efluente saída final e após passar pelo tratamento



Fonte: Do autor.

Após efetuar os tratamentos verificou-se uma eficiente redução na cor e na turbidez do efluente, alcançando valores superiores a 85% de redução de turbidez nas três etapas. O tratamento físico-químico pelo processo de coagulação-floculação, utilizando sais de ferro e alumínio apresentou resultados satisfatórios para remoção dos compostos recalcitrantes, que não são biodegradados pelos organismos presentes em sistemas biológicos, (avaliada em termos de cor aparente) presentes no efluente de um sistema de lagoa e lodo ativado. Foram necessárias dosagens maiores dos coagulantes, se comparado com dosagens aplicadas em outros tipos de efluentes como em pré e pós-tratamento de lixiviados (Queiroz *et al*, 2011) e indústria de reciclagem de plástico (Bordonalli, 2009), isso se deve pela característica do efluente gerado por este tipo de indústria.

Estes parâmetros físicos influenciam no padrão de lançamento, pois quando apresentam níveis elevados podem alterar a condição natural no ponto de lançamento, não atendendo o exigido pela legislação. Além disso, menores valores de turbidez melhoram a eficiência do tratamento nas etapas subsequentes.

Na Tabela 03 estão descritos os resultados encontrados.

Tabela 3 - Resultados encontrados antes a após aplicação do tratamento.

<b>Etapas</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Bruto</b>	<b>Após adição de Policloreto de Alumínio</b>	<b>Após adição de Cloreto Férrico</b>
Saída da fábrica	Carbono Orgânico Total (mg/L)	10.430 ( $\pm$ 940)	5.840 ( $\pm$ 367)	5.920 ( $\pm$ 392)
	Nitrogênio Total (mg/L)	1.090 ( $\pm$ 210)	998 ( $\pm$ 180)	996 ( $\pm$ 174)
	Turbidez (NTU)	1.940 ( $\pm$ 83)	27 ( $\pm$ 5)	29 ( $\pm$ 5)
Saída Lagoa Facultativa	Carbono Orgânico Total (mg/L)	1.840 ( $\pm$ 610)	1.610 ( $\pm$ 16)	1.616 ( $\pm$ 18)
	Nitrogênio Total (mg/L)	366 ( $\pm$ 34)	339 ( $\pm$ 22)	342 ( $\pm$ 21)
	Turbidez (NTU)	913 ( $\pm$ 40)	124 ( $\pm$ 25)	131 ( $\pm$ 24)
Efluente final	Carbono Orgânico Total (mg/L)	91 ( $\pm$ 18)	82 ( $\pm$ 8)	83 ( $\pm$ 9)
	Nitrogênio Total (mg/L)	48 ( $\pm$ 5)	46 ( $\pm$ 2)	46 ( $\pm$ 2)
	Turbidez (NTU)	208 ( $\pm$ 8)	18 ( $\pm$ 3)	21 ( $\pm$ 4)

(desvio padrão)

Fonte: Do autor.

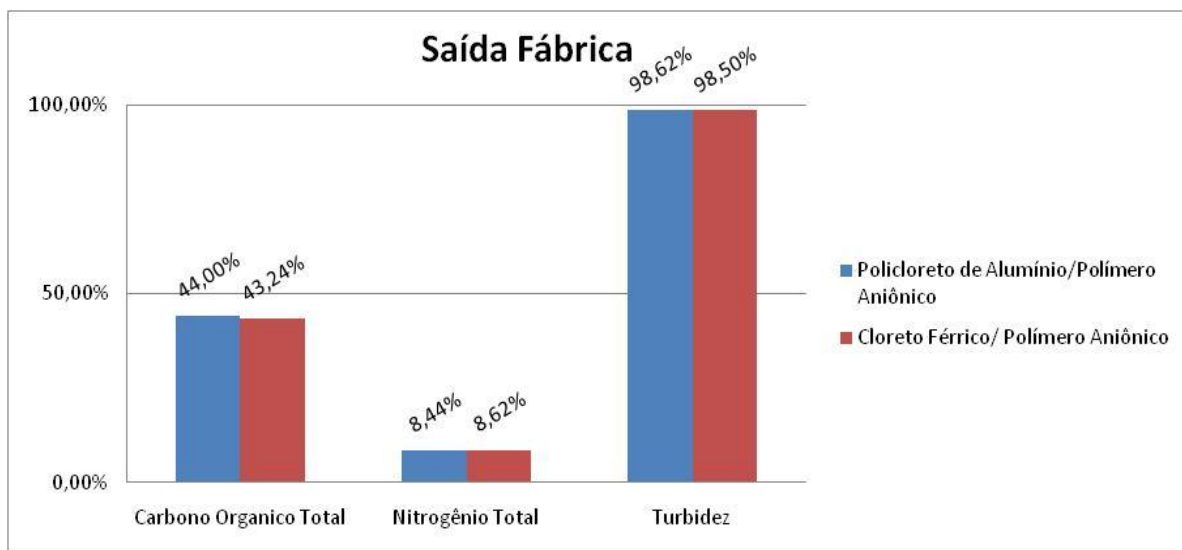
Na avaliação dos resultados percebeu-se que no efluente bruto, coletado na saída da fábrica, o tratamento foi eficiente para o parâmetro carbono orgânico total, onde obteve-se uma redução de 44,00% após adição do policloreto de alumínio e 43,24% após adição do cloreto férrico, porém não foi eficiente a redução no parâmetro nitrogênio total, pois obteve-se redução de 8,44% e 8,62% respectivamente. Para o parâmetro turbidez o tratamento mostrou-se bem eficiente, obteve-se uma redução de 98,62% após adição do policloreto de alumínio e 98,5% após adição do cloreto férrico.

Na etapa: saída da lagoa facultativa, os percentuais de redução de carbono orgânico total foram 12,50% e 12,17%, para o nitrogênio 7,37% e 6,55% e para

turbidez 86,42% e 85,65% usando-se o policloreto de alumínio e cloreto férrico respectivamente.

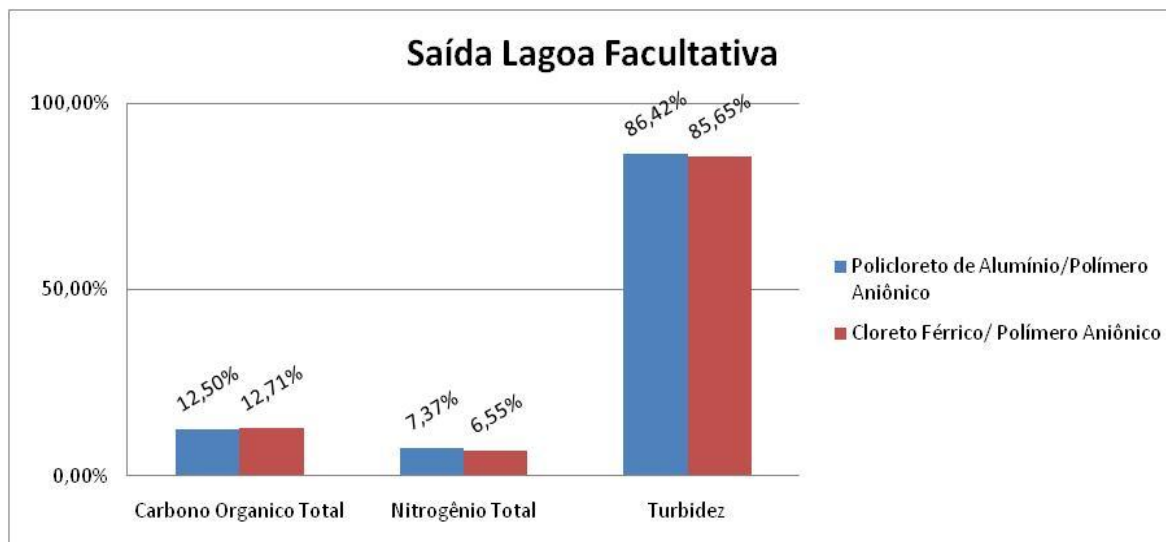
No efluente final obteve-se redução no carbono orgânico total de 9,67% e 8,79%, para nitrogênio total 4,79% e 5,21% e para turbidez 91,15% e 90,09%. Nas amostras coletadas na saída da lagoa facultativa e final a redução dos valores para carbono orgânico total e nitrogênio total não apresentaram resultados satisfatórios, quando se leva em conta o custo de tratamento e o resultado final que se deseja alcançar. Apenas obteve-se redução importante para o parâmetro turbidez onde o tratamento mostrou-se eficiente. Para melhor visualização nas figuras 12, 13 e 14 os resultados são apresentados em forma de gráfico.

Figura 12 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída da fábrica.



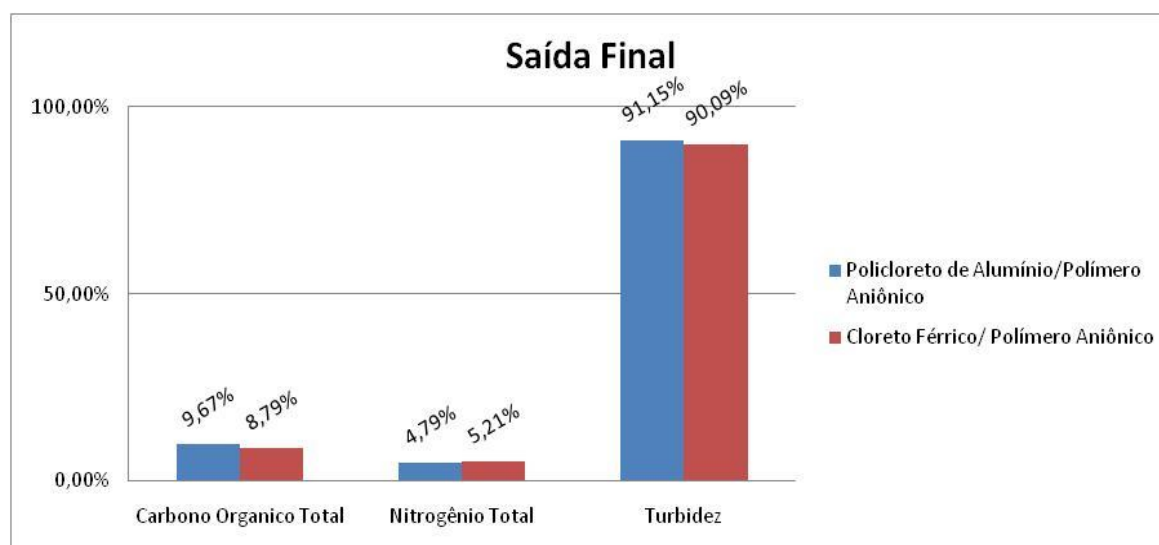
Fonte: Do autor.

Figura 13 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída da lagoa facultativa.



Fonte: Do autor.

Figura 14 - Eficiência na remoção dos parâmetros na saída final



Fonte: Do autor.

Na comparação entre os dois tipos de coagulantes, estes apresentaram resultados muito parecidos, o policloreto de alumínio se mostrou um pouco mais eficiente que o cloreto férrico. Levando-se em consideração que o custo de cada

coagulante e as quantidades dosadas são as mesmas, ambos os coagulantes podem ser escolhidos para se aplicar na ETE.

Com base em estudos prévios realizados em 2004 (BORDONALLI; MENDES, 2005), considerando a utilização de tratamentos por processo biológico (lodos ativados por batelada), os resultados demonstraram eficiência muito aquém das obtidas por processo físico-químico (coagulação, floculação, decantação ou flotação). Além disso, os autores fazem referência à eficiência dos coagulantes policloreto de alumínio e cloreto férrico. Nestes testes realizados foram obtidas reduções no parâmetro turbidez de 99%.

Segundo estudos de Pavanelli (2001) os coagulantes policloreto de alumínio e o cloreto férrico apresentam boa eficiência na remoção de cor e turbidez e se comparado a custo benefício o cloreto férrico se torna melhor.

No estudo de Queiroz *et al* (2011) também foi utilizado o coagulante cloreto férrico, sendo que foi analisada a eficiência do mesmo através da análise de carbono orgânico total, porém neste estudo o tratamento foi aplicado em lixiviado de aterro sanitário.

Não foram encontrados estudos específicos utilizando-se sistema de tratamento físico-químico em efluentes de fábrica de produtos para nutrição animal.

## 5 CONCLUSÃO

Com base no exposto no capítulo de resultados e discussões pode-se concluir que o sistema de tratamento físico-químico é eficiente na remoção de matéria orgânica, medida através da análise carbono orgânico total e na remoção da cor e turbidez. Entretanto, para o parâmetro nitrogênio total este sistema não se mostrou eficiente. Nas etapas da saída das lagoas facultativas e no final a redução nos parâmetros foi menor, devido à matéria orgânica estar dissolvida, não sendo removida através do tratamento físico-químico.

A melhor etapa de aplicação do tratamento é no efluente bruto, saída da fábrica, nesta etapa os resultados alcançados foram melhores e tornam viáveis o tratamento em relação a questões relativas a custo benefício.

Os dois tipos de coagulantes testados apresentaram desempenhos muito semelhantes, podendo ser utilizados para o tratamento de efluente de fábrica de produtos destinados a alimentação animal.

Na sequência espera-se como resultado que a redução da carga orgânica do efluente de saída da fábrica possa refletir em bons resultados nas etapas subsequentes do sistema de tratamento hoje existente na empresa, inclusive para o parâmetro nitrogênio, uma vez que esta matéria orgânica removida não irá degradar as proteínas presentes, reduzindo assim o nitrogênio.

## REFERÊNCIAS

ABRA - Associação Brasileira de Reciclagem Animal - **I diagnóstico da indústria brasileira de reciclagem animal**. Brasília, 2011.

Aquino, S. F.; Silva, S. Q.; Chernicharo, C. A. L. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (dco) aplicado a análise de efluentes anaeróbios** - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP Vol.11 - Nº 4 - out/dez 2006.

AUVERMANN , Brent; KALBASI, Ahmad; AHMED, Anindita. **Rendering Kansas State University**, 2004. Chapter 4.

BARROS, Fernando Duque; LICCO, Eduardo Antonio. **A reciclagem de resíduos de origem animal: uma questão ambiental**. São Paulo, 2008. Disponível: <[www.maua.br/arquivos/.../h/17ea024842213f75d112b2aae3c4bd39](http://www.maua.br/arquivos/.../h/17ea024842213f75d112b2aae3c4bd39)>. Acesso em: 02 abr. 2012.

BERNARDES, Ricardo Silveira; SOARES, Sérgio R. Ayrimoraes. **Fundamentos da Respirometria no Controle da Poluição da Água e do Solo**. Brasília: Ed. UnB, 2005.

BISUTTI, I.; HILKE, I.; RAESSLER, M. **Determination of Total Organic Carbon – An Overview of Current Methods, Trends in Analytical Chemistry**. Vol.23, No.10-11, 2004.

BORDONALLI, Angela Cristina Orsi; MENDES, Carlos Gomes da Nave. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, jun. 2009 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522009000200011&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000200011&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 20 nov. 2012.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Oliveira, M. J. N. de. **Nota técnica sobre tecnologia de controle**. Graxaria - recuperação de resíduos animais. NT-20. São Paulo: CETESB, dez. 1990.

CLAAS, Isabel Cristina. **Lodos Ativados: Princípios Teóricos Fundamentais, Operação e Controle**. Porto Alegre: Evangraf, 2007. p.131.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. FEPAM - Portal do Meio Ambiente. **Busca legislação**. Disponível em:  
<[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=216](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=216)> Acesso em: 08 Mai 2012.

GRUMMER, R.; RABELO, E. **Factors affecting digestibility of fat supplements**. Proc. Southeast Dairy Herd Mgmt. Conference, November 9-10, Macon, GA, 1998. pp 69-79.

HAALAND, Marcos; MICHARD, Philippe; MANTELATO, Marcos. **Manual de boas práticas de fabricação para estabelecimentos de produtos para alimentação animal**. São Paulo, 2002.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgoto doméstico**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p.940.

LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. do. Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L. P. (Coord). **Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 204 – 243. (Projeto Prosab).

MEDEIROS, Mônica. **Pós-tratamento de efluente de lagoa facultativa fotossintética em filtros biológicos percoladores visando remoção de nitrogênio amoniacal**. Dissertação de mestrado para obtenção de título de Mestre em Engenharia. Escola Politécnica da universidade de São Paulo. p. 132. São Paulo, 2011.

MEEKER, David L. **Essential Rendering**. Kirby Lithographic Company. Virgínia 2006. 302p.

METCALF; EDDY Inc. **Wastewater engineering treatment end reuse**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistemas de Informação Gerenciais do Serviço de Inspeção Federal**. Brasília, [200-] Disponível em:  
<[http://sigsif.agricultura.gov.br/primeira\\_pagina/extranet/SIGSIF.html](http://sigsif.agricultura.gov.br/primeira_pagina/extranet/SIGSIF.html)>. Acesso em: 27 Abr 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Legislação Federal. Resolução CONAMA nº 430/2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 16 Mai. 2012.

MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

PACHECO, José Wagner. **Guia Técnico Ambiental de Frigoríficos**. São Paulo: CETESB 2006a. 85p – (Série P + L).

PACHECO, José Wagner. **Guia Técnico Ambiental de Graxarias**. São Paulo: CETESB 2006b. 76p – (Série P + L).

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação**. Dissertação Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2001

PEARL, G.G. 2001. Proc. Midwest Swine Nutrition Conf. Sept. 5. Indianapolis, In: Revista Graxaria. **Indústria de Farinha e Gordura Animal**. Ano 3, Edição 17/ Set – Out 2010.

QUEIROZ, Luciano Matos et al . Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, dez. 2011 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522011000400012&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522011000400012&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 20 nov. 2012.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. V. 1, 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p.452.

SPERLING, Marcos Von. **Lagoas de estabilização**. V. 3, 2.ed. Ampl. e atual. Belo Horizonte: UFMG, 2002. p.196.

SPERLING, Marcos von. **Lodos ativados**. V. 4, 2.ed. Ampl. Belo Horizonte: UFMG, 2002. p.428.

VIANNA, Marcos Rocha. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 4. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002.