



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Química

HELOISE CRISTINE SCHATZMANN

TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTES DE
FRIGORÍFICO DE AVES E O REÚSO DA ÁGUA

Florianópolis - SC
2009

HELOISE CRISTINE SCHATZMANN

**TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTES DE
FRIGORÍFICO DE AVES E O REÚSO DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.

Orientador:

Prof. Dr. Humberto Gracher Riella

**Florianópolis – SC
2009**

S312t Schatzmann, Heloise Cristine.

Tratamento Avançado de Efluentes de Frigorífico de Aves e o Reúso da Água. Heloise Cristine Schatzmann – Florianópolis, 2009. xiii, 108f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química.

1. Tratamento avançado de efluentes industriais. 2. Reúso da água. 3. Tratamento físico-químico. 4. Abatedouro de frangos.

HELOISE CRISTINE SCHATZMANN

**TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTES DE
FRIGORÍFICO DE AVES E O REÚSO DA ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química.

Florianópolis, ____de _____ de 2009.

Prof. Dr. Humberto Gracher Riella
Orientador

Banca Examinadora:

AGRADECIMENTOS

A conquista de mais esta etapa teve o importante apoio científico, técnico e humano de muitas pessoas, às quais gostaria de agradecer:

Aos meus pais José Schatzmann Sobrinho e Marinice Schatzmann, meus irmãos Eduardo Schatzmann e Francine Schatzmann, e toda a minha família, pelas orações, incentivo e por compreenderem minha ausência;

Ao companheiro de todas as horas, Rodrigo Chumbinho de Andrade, pelo amor, compreensão e indispensável incentivo pelo aprender;

Ao professor Humberto Gracher Riella, pela orientação e confiança nesta empreitada;

Aos colegas Pedro Springmann, Jamur Gerloff, Eduardo Nunes Pereira e todos os demais colegas da Plano A, pelo tempo investido e grande apoio técnico e intelectual;

À equipe da empresa estudada: Iran Quint de Souza Junior, Reginaldo Martins, Giovani Amboni e Deovane Wagner, pelo imenso apoio e por acreditar na seriedade deste trabalho;

À Deus, por guiar-me sempre.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O agravamento da poluição ambiental nos dias atuais traz uma maior preocupação com a contaminação de rios e a conservação da água. Os órgãos ambientais têm se tornado cada vez mais exigentes quanto aos padrões de lançamento de efluentes. As indústrias de alimentos, em especial o setor frigorífico, são um dos ramos industriais de maior consumo de água e, conseqüentemente, grande gerador de efluentes líquidos de alta carga orgânica. A melhoria da qualidade dos efluentes gerados, a redução do consumo e o reaproveitamento da água, constituem grandes desafios para este setor. Neste contexto, o presente trabalho avaliou a aplicação de flotação como tratamento avançado do efluente de um abatedouro de frangos com o objetivo de enquadrá-lo aos padrões de lançamento de efluentes e de verificar a possibilidade de reúso da água. O trabalho dividiu-se em três etapas: a primeira em escala laboratorial para seleção do coagulante ideal, a segunda em escala real para verificação do enquadramento do efluente aos padrões de lançamento e a terceira em escala real para avaliação da possibilidade de reúso da água. Os coagulantes avaliados na primeira etapa foram o policloreto de alumínio (PAC), o sulfato férrico e o tanato quartenário de amônio (TANFLOC), sendo o PAC o coagulante que obteve o melhor desempenho e, portanto o produto aplicado na segunda e na terceira etapa do estudo. Os parâmetros estudados na segunda etapa foram os exigidos pelo órgão ambiental para lançamento de efluentes. O tratamento aplicado foi suficiente para enquadrar todos os parâmetros, com exceção de nitrogênio amoniacal e total, que pode ser atingido com melhorias no tratamento secundário. Para a terceira etapa de estudo, foram avaliados os padrões de qualidade da água para consumo nos frigoríficos exigidos pelo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). O estudo verificou que é possível realizar o reúso de 30% de toda a água consumida, considerando a água de reúso apenas nas etapas menos nobres, onde não há contato com a matéria prima, porém para atingir aos padrões do RIISPOA é preciso realizar melhorias no tratamento secundário e realizar um monitoramento mais eficiente do tratamento físico-químico proposto.

Palavras-chave: tratamento avançado de efluentes industriais, reúso da água, tratamento físico-químico, abatedouro de frangos.

ABSTRACT

Environmental pollution concern is increasing nowadays, and water conservation has been considered some of the most important issues. Governmental departments and regulatory agencies are demanding more sophisticated regulation for dismissing wastewater quality control and reuse. In food industries, a slaughterhouse has big water consumption and demands a great wastewater treatment because of high volume and high organic content. The quality improvement for generated wastewater, the reduction on consumption and the water reuse are important challenges for food industries. In this context, this dissertation will present flotation as advanced wastewater treatment. The experiments were realized in a poultry slaughterhouse with the objective to suit to Brazilian standards and to analyze water reuse possibilities. Divided in three major parts, this work firstly presents a laboratory test phase for coagulant choosing, the second part is a real field application to verify the adequacy to existing norms, and finally, the last part show the results and the possibilities for water reuse on a real situation. The coagulants studied were aluminum polychloride (PAC), ferric sulphate and tannin (TANFLOC). The best result was achieved by PAC, and it was the chosen product to be applied at the second and the third part of the study. The analyzed parameters at second and third parts are the ones requested by the governmental environmental agency. The applied treatment was enough to suit to all required parameters with exception to ammonia and total nitrogen, but it can be suited by enhancements at the secondary treatment. In the third part, the RIISPOA rules were considered for water reuse at poultry slaughterhouses. The results showed water reuse possibilities around 30% of all consumed water that can be reused for less noble ends which has no contact with raw material. The adequacy to RIISPOA rules can be easily achieved by some enhancements at secondary treatment and by accurate supervision on the proposed physico-chemical treatment.

Key-words: Advanced industrial wastewater treatment, water reuse, physico-chemical treatment, poultry slaughterhouse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tratamento Primário Linha Verde.....	44
Figura 2 - Tratamento Primário Linha Vermelha.....	45
Figura 3 - Sistema de Lodos Ativados.	46
Figura 4 - Esquema do processo de coagulação e floculação.	56
Figura 5 - Fluxograma do Sistema de Tratamento.	60
Figura 6 - Unidade de Flotação Estudada.	62
Figura 7 - Fluxograma do estudo proposto.	63
Figura 8 - Foto aérea do tratamento secundário e do ponto de coleta. .	65
Figura 9 - Primeiro dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato Férrico.....	72
Figura 10 - Segundo dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato Férrico.....	75
Figura 11 - Terceiro dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato.	78
Figura 12 - Eficiências médias obtidas na primeira etapa.	80
Figura 13 - Teores de nitrogênio amoniacal obtidos na segunda etapa do estudo.	83
Figura 14 - Teores de óleos e graxas obtidos na segunda etapa do estudo.	85
Figura 15 - Teores de DQO obtidos na segunda etapa do estudo.	86
Figura 16 - Teores de DBO obtidos na segunda etapa do estudo.....	88
Figura 17 - Teores de nitrogênio total obtidos na segunda etapa do estudo.	89
Figura 18 - Teores de fósforo total obtidos na segunda etapa do estudo.	90
Figura 19 - Consumo da água por etapa em abatedouro de aves.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os principais usos da água na indústria.....	24
Tabela 2 - Classes de água de reúso pela NBR-13.969 e padrões de qualidade.....	30
Tabela 3 - Características de Efluentes de Abatedouros Avícolas.	38
Tabela 4 - Parâmetros e Condições de Lançamento de Efluentes para Indústrias Catarinenses	39
Tabela 5 - Tipos de Sistemas de Lagoas de Estabilização.....	48
Tabela 6 - Processos de Tratamento Avançado para diferentes poluentes	50
Tabela 7 - Características dos produtos testados na 1ª Etapa.....	61
Tabela 8 - Produtos e dosagens testados na 1ª Etapa	66
Tabela 9 - Produtos e dosagens testados na 2ª Etapa.	67
Tabela 10 - Parâmetros analisados na primeira etapa e respectivas metodologias de análise.	68
Tabela 11 - Parâmetros analisados na segunda etapa e respectivas metodologias de análise.	69
Tabela 12 - Parâmetros analisados na segunda etapa e respectivas metodologias de análise.	70
Tabela 13 - Resultados obtidos nas análises das amostras do efluente bruto nos três dias de estudo da primeira etapa.	71
Tabela 14 - Resultados obtidos no primeiro dia de testes.	73
Tabela 15 - Resultados obtidos no segundo dia de testes.....	76
Tabela 16 - Resultados obtidos no terceiro dia de testes.	79
Tabela 17 - Resultados de nitrogênio amoniacal na entrada e saída do tratamento avançado.	83
Tabela 18 - Resultados de óleos e graxas na entrada e saída do tratamento avançado.	84
Tabela 19 - Resultados de DQO na entrada e saída do tratamento avançado.	86
Tabela 20 - Resultados de DBO na entrada e saída do tratamento avançado.	87
Tabela 21 - Resultados de nitrogênio total na entrada e saída do tratamento avançado.	89
Tabela 22 - Resultados de fósforo total na entrada e saída do tratamento avançado.	91
Tabela 23 - Consumo estimado e possibilidade de reúso.....	94
Tabela 24 - Avaliação da qualidade pelos parâmetros do RIISPOA....	96
Tabela 25 - Avaliação da qualidade pelos parâmetros da NBR 13.969/97.	97

NOMENCLATURA

μm – micrometros

$\mu\text{S/cm}$ – Micro Simens por centímetro

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – alumínio

$\text{Al}(\text{OH})_3$ – hidróxido de alumínio

$\text{Al}(\text{OH})_4$ – tetrahidroxialuminato

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – sulfato de alumínio

Al_2O_3 – óxido de alumínio

APHA – American Public Health Association

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – bicarbonato de cálcio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ – cal ou hidróxido de cálcio

CaSO_4 – sulfato de cálcio

CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo

cm – centímetro

CO_2 – gás carbônico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CV – cavalo vapor

DAF – dissolved air flotation

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIPOA – Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EPA – Environmental Protection Agency

FAD – flotação por ar dissolvido

FAO – Food and Agriculture Organization

FATMA – Fundação do meio ambiente de Santa Catarina

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ – hidróxido de ferro

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ – sulfato férrico

Fe_2O_3 – hematita

FeCl_3 – cloreto férrico

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

g – gramas

H_2 – gás hidrogênio

H_2O – água

H_2SO_4 – ácido sulfúrico

HCl – ácido clorídrico

L/ave – litros por ave

m/min – metros por minuto

m³/h – metros cúbicos por hora
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mg.L⁻¹ – miligramas por litro
mL ou ml – mililitro
mm – milímetro
Na₂CO₃ – carbonato de sódio
NBR – Norma Brasileira
NMP – número mais provável
O₂ – gás oxigênio
°C – graus Celsius
OD – oxigênio dissolvido
OMS – Organização Mundial de Saúde
PAC – Hidroxicloreto de Alumínio ou Policloreto de Alumínio
pH – potencial hidrogeniônico
RIISPOA – Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
RPM – rotações por minuto
SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIF – Serviço de Inspeção Federal
SVS/MS – Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde,
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
uT – Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS.....	22
2.1 Objetivo geral.....	22
2.2 Objetivos específicos.....	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 Gestão e reúso da água.....	23
3.2 Legislação pertinente.....	29
3.2.1 Legislação aplicada ao reúso da água.....	29
3.2.2 Legislação aplicada aos frigoríficos.....	31
3.3 Abatedouro de frangos.....	35
3.3.1 Processo produtivo.....	35
3.3.2 Efluentes líquidos em abatedouros de aves.....	37
3.3.3 Padrões de lançamento de efluentes.....	38
3.4 Processos de tratamento de efluentes de frigoríficos.....	41
3.4.1 Tratamento preliminar.....	42
3.4.2 Tratamento primário.....	43
3.4.3 Tratamento secundário.....	45
3.4.4 Tratamento avançado.....	49
3.5 Sistemas de coagulação – floculação – flotação.....	51
3.5.1 Princípios da coagulação.....	51
3.5.2 Princípios da floculação.....	55
3.5.3 Princípios da flotação.....	57
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
4.1 Descrição do local da pesquisa.....	59
4.2 Materiais.....	61
4.2.1 Agentes de coagulação e floculação.....	61
4.2.2 Testes de jarros.....	61
4.2.3 Unidade de flotação.....	62
4.3 Métodos.....	62
4.3.1 Fluxograma da pesquisa.....	62
4.3.2 Coleta de amostras.....	64
4.3.3 Teste de jarros (1a Etapa).....	65
4.3.4 Sistema de flotação em escala real (2a e 3a Etapas).....	67
4.3.5 Análises laboratoriais.....	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	71

5.1 Avaliação dos testes em bancada	71
5.1.1 Primeiro dia de testes	72
5.1.2 Segundo dia de testes	75
5.1.3 Terceiro dia de testes.....	77
5.1.4 Comparativo dos produtos estudados.....	79
5.2 Avaliação em escala real dos padrões de lançamento.....	82
5.2.1 Nitrogênio Amoniacal.....	82
5.2.2 Óleos e Graxas	84
5.2.3 Demanda Química de Oxigênio	86
5.2.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio	87
5.2.5 Nitrogênio Total.....	88
5.2.6 Fósforo Total.....	90
5.2.7 Considerações Gerais.....	91
5.3 Avaliação em escala real da possibilidade de reúso.....	92
5.3.1 Estimativa do volume passível de reúso	92
5.3.2 Avaliação da qualidade da água de reúso.....	94
5.3.3 Considerações Gerais.....	98
6 CONCLUSÕES.....	99
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	102
REFERÊNCIAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano, industrial e agrícola tem como um dos principais fatores limitantes a disponibilidade hídrica. A disputa pela água e a escassez hídrica gera conflitos de usos e impõem restrições no consumo, que trazem a mobilização dos diversos setores da sociedade na tentativa de garantir uma relação mais harmônica entre as suas atividades e os recursos hídricos.

Com o agravamento da contaminação dos rios, a sociedade tem se sensibilizado quanto à necessidade do uso consciente da água e tem buscado desenvolver e aplicar tecnologias que possibilitam o tratamento e reúso da água de forma planejada. As iniciativas de racionalização do uso e do reúso de água constituem elementos fundamentais para as iniciativas de conservação.

A conservação de água, segundo o Manual da FIESP/CIESP (2004), é o conjunto de práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, de forma a atuar de maneira sistêmica na demanda e na oferta de água.

Os efluentes industriais são, atualmente, os maiores e mais sérios causadores de poluição. Devido à grande variedade de atividades desenvolvidas pelas indústrias, a presença dos mais variados tipos de substâncias, das quais muitas são tóxicas, podem ter efeitos adversos sobre os seres vivos, caso atinjam qualquer recurso hídrico (MIERZWA, 2002).

A reciclagem da água, segundo a Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA), é o reúso de água servida tratada para aplicações como agricultura, irrigação, processos industriais, descarga de sanitários e mesmo em recarga de aquíferos. O reúso da água é classificado como planejado e não planejado. O reúso da água é mais comumente aplicado para fins não potáveis, como agricultura, parques públicos, como água de resfriamento em indústrias, construção civil, lagos artificiais, vasos sanitários e pode ser classificada, segundo a EPA, em reúso urbano, agrícola, recreacional, ambiental, recarga de aquíferos, diluição de água potável e industrial (EPA, 2004).

Há duas maneiras em que pode ocorrer o reúso de efluentes na indústria: o reúso macro externo e o macro interno. O primeiro é o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou de outras indústrias. O segundo é o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria (FIESP/CIESP, 2004 e FIRJAN/SEBRAE, 2007).

Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005) publicou a Resolução 54, que estabeleceu os critérios gerais para a prática

de reúso direto não potável de água para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na aquíicultura.

As condições higiênico-sanitárias dos abatedouros e dos frigoríficos de aves são fiscalizadas pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), vinculado à Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (GERLOFF, 2008), que através do Decreto nº 30.691/1952 estabeleceu os padrões de qualidade da água a ser utilizada em indústrias de alimentos de origem animal. Este decreto impede o retorno das águas servidas e permite a confluência da rede das águas servidas dos pré-resfriadores para a condução de outros resíduos não comestíveis desde que, comprovadamente, tais conexões não promovam nenhum inconveniente tecnológico e higiênico-sanitário.

A Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento complementa os requisitos apresentados no Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA e ressalta que para todo o processo produtivo deverá ser utilizada água com os padrões de potabilidade apresentados no Decreto 30.691/1952 – RIISPOA (MAPA, 1998).

A Portaria SVS/MS 326/1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, difere da Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento, permitindo o reúso da água desde que a mesma receba tratamento adequado para atender os padrões de potabilidade (MS, 1997). A portaria 210/1998 por sua vez, impede o retorno das águas servidas, porém nada aponta para o reúso das águas após tratamento adequado das mesmas.

Em contrapartida, a FAO (Food and Agriculture Organization) e a OMS (Organização Mundial de Saúde), defendem o reúso da água em indústrias de alimentos em todo o processo, mesmo de forma que a água de reúso possa entrar em contato direto com o produto ou ser incorporado a ele, desde que haja um controle rigoroso da qualidade da água de reúso, para evitar risco de contaminação (FAO/WHO, 2001).

O processo de abate de frangos em uma indústria avícola está dividido em: recepção, atordoamento, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração, lavagem final, resfriamento, gotejamento, embalagem, armazenamento e aproveitamento dos subprodutos.

Os efluentes líquidos de frigoríficos de aves são gerados em cinco linhas do processo produtivo (OLIVO, 2006): recepção, depenagem, evisceração, desossa, sangria. De maneira geral, estes efluentes são compostos de material protéico, gorduras, penas, areia, fezes e ossos. Do ponto de geração até a entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, a qualidade do efluente é determinada pela eficiência na segregação do sangue, vísceras, penas e ossos.

Dentre os padrões de lançamento de efluentes fixados pelos órgãos ambientais, os parâmetros mais importantes para as indústrias de abate de frangos são: a carga orgânica, o pH, a temperatura, os materiais sedimentáveis, os óleos e graxas, o nitrogênio total e o fósforo total. Dentre estes parâmetros, os mais difíceis de serem atingidos são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio e fósforo, devido à alta carga protéica e lipídica do efluente.

Os sistemas de tratamento mais empregados para remoção de nitrogênio baseiam-se nos processos biológicos de nitrificação-desnitrificação, onde ocorre a oxidação dos compostos orgânicos nitrogenados pela ação de bactérias quimiossintetizantes que convertem aeróbicamente a amônia à nitrito e à nitrato (nitrificação) e posterior redução do nitrato a nitrogênio em condições anóxicas (desnitrificação). Para remoção do nitrogênio na forma de amoníaco, é bastante empregado o processo de arraste com ar a um pH em torno de 11, sistema conhecido como torres “*Stripping*” (NUNES, 2004).

Os sistemas de coagulação/floculação pouco removem nitrogênio na forma amoniacal, porém são capazes de remover nitrogênio na forma principalmente de nitratos, que representam as proteínas presentes na forma de material coloidal (AGUILAR *et al.*, 2002, EDWARDS e AMIRTHARAJAH, 1985 *apud* SCHOENHALS, 2006).

A remoção de fósforo do efluente pode ser realizada através de processos biológicos e físico-químicos. Dentre os processos físico-químicos estão a eletrodialise, a osmose reversa e a precipitação química, sendo este último o processo mais utilizado (NUNES, 2004).

Para estudar a aplicação de flotação como tratamento avançado de efluente de abatedouro de frangos com o objetivo de enquadrá-lo aos padrões de lançamento de efluentes e de verificar a possibilidade de reúso da água, o presente trabalho inicialmente apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema, destacando as questões conceituais e legais relacionadas ao reúso da água na indústria, o processo produtivo e os efluentes gerados em abatedouros avícolas, em seguida destaca os sistemas de tratamento de efluentes com essa característica e os sistemas de tratamento terciário, ou avançado, aplicados para remoção da carga orgânica e nutrientes residuais. No item seguinte, são destacados os materiais utilizados e as atividades realizadas em laboratório e em campo, para, então, apresentar os resultados obtidos e discuti-los. Por fim, o presente trabalho encerra com as conclusões gerais e as recomendações para futuros trabalhos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a eficiência do sistema de flotação físico-química aplicado como tratamento avançado de efluentes de abatedouro de aves para enquadramento aos padrões de lançamento de efluentes, com vistas à reintrodução da água no processo produtivo.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Verificar as possibilidades de reúso da água com base na legislação brasileira no que tange os abatedouros de aves;
- Avaliar em laboratório o tratamento físico químico do efluente da Estação de Tratamento de Efluentes para seleção do coagulante a ser aplicado em escala real visando o enquadramento do efluente aos padrões de lançamento;
- Avaliar tecnologia de flotação em escala real para tratamento avançado do efluente da Estação de Tratamento de Efluentes para enquadramento aos padrões de lançamento de efluentes;
- Avaliar a possibilidade de reúso da água para fins não nobres, onde não há contado com o frango, após o tratamento avançado proposto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão e reúso da água

A água, além de ser um elemento essencial para o surgimento e a manutenção da vida, é indispensável para o desenvolvimento das atividades humanas. Muito embora o nosso Planeta tenha três quartos de sua superfície coberta pela água, deve-se levar em consideração que apenas uma pequena parcela, a água doce, pode ser utilizada para o desenvolvimento das atividades humanas sem a necessidade de se fazer grandes investimentos para a adequação das suas características, físicas, químicas e/ou biológicas, aos padrões de qualidade exigidos para cada tipo de aplicação. De toda a água do planeta, 97,3% está na forma salgada, restando apenas 2,7% de água doce, da qual 79% está na forma de neve e gelo, 20,6% são águas subterrâneas de difícil acesso e somente 0,33% são águas superficiais. Destas, 53%, encontram-se em rios e lagos, 38% na umidade do solo, 8% na forma de vapor atmosférico e 1% encontra-se nos organismos vivos (FRONZA, 2004).

Além disso, a heterogeneidade da distribuição dos recursos hídricos e das populações nas diversas regiões do planeta e mesmo no Brasil faz com que seja cada vez mais difícil o abastecimento de algumas regiões, principalmente as metropolitanas, tendo por consequência o aumento gradativo dos custos de fornecimento de água.

No Brasil, especialmente nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Novas fontes de recursos para complementar a escassez hídrica são continuamente estudadas pelos planejadores e pelas entidades gestoras de recursos hídricos (HESPANHOL, 2002).

A escassez hídrica não é preocupação exclusiva das regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões enfrentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo devido aos recursos hídricos que, apesar de abundantes, são insuficientes para satisfazer as demandas excessivamente elevadas, o que afeta o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

O aumento na demanda por água e a poluição dos mananciais têm despertado a preocupação de vários setores da sociedade, que se mobiliza para tentar garantir uma relação mais harmônica entre as suas atividades e os recursos hídricos (FIRJAN/SEBRAE, 2007). Assim, com o agravamento da contaminação dos rios, a conservação da água tem sido discutida e disseminada através do incentivo ao uso consciente e ao

desenvolvimento de práticas e de tecnologias que possibilitam o tratamento e reúso da água de forma planejada. As iniciativas de racionalização do uso e de reúso da água constituem elementos fundamentais para as iniciativas de conservação e já têm sido empregadas nas indústrias devido à grande demanda deste recurso em alguns setores industriais. A Tabela 1 a seguir apresenta os principais usos da água na indústria:

Tabela 1 - Os principais usos da água na indústria

Tipos de Usos	Aplicações
Consumo Humano	Ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança (lava-olhos, por exemplo) ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;
Matéria Prima	Incorporada ao produto final, por exemplo, nas indústrias de cervejas e refrigerantes, em produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, cosméticos, alimentos e conservas e fármacos; na obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por meio da eletrólise da água;
Fluido Auxiliar'	Preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem;
Geração de Energia	Transformação da energia cinética, potencial térmica, acumulada na água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
Fluido de aquecimento e/ou resfriamento	Como fluido de resfriamento/aquecimento de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem há geração de calor;
Outros Usos	Combate à incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

Fonte: Adaptado de FIESP/CIESP, 2004.

Atualmente, os problemas mais sérios de poluição da água são os causados por efluentes industriais, os quais, devido à grande variedade de atividades desenvolvidas pelas indústrias, podem apresentar em sua composição os mais variados tipos de substâncias, das quais muitas são tóxicas e podem ter efeitos adversos sobre todos os seres vivos, caso as mesmas atinjam qualquer recurso hídrico (MIERZWA, 2002).

O Manual da FIESP/CIESP (2004) conceitua a Conservação de Água como sendo o conjunto de práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, de forma a atuar de maneira sistêmica na demanda e na oferta de água. O uso mais eficiente da água significa uma maior disponibilidade para os demais usuários, permitindo o crescimento populacional, a implantação de novas indústrias, a preservação e a conservação do meio ambiente.

No Brasil, a prática de conservação e do reúso de água que vem sendo disseminada consiste basicamente na gestão da demanda através da utilização de fontes alternativas de água e da otimização do uso visando à redução dos volumes de água captados (FIRJAN/SEBRAE, 2007).

Segundo EPA (2004), a reciclagem da água é o reúso de água servida tratada para aplicações como agricultura, irrigação, processos industriais, descarga de sanitários e mesmo em recarga de aquíferos. Classifica o reúso da água como planejada e não planejada.

Um exemplo de reúso não planejado, como também classifica a FIESP/CIESP (2004), utilizado há muitos anos de forma indireta, é a captação por usuários de jusante, de águas que já foram utilizadas e devolvidas aos rios pelos usuários de montante. Atualmente, a qualidade das águas dos rios têm se tornado tão comprometida pelo agravamento da poluição que o reúso indireto da água já não ocorre de forma tão satisfatória.

Com relação principalmente ao reúso planejado, as possibilidades e potencialidades de reúso dependem de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais. O objeto específico do reúso e a qualidade da água requerida para tais usos, são características que estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados (HESPANHOL, 2002).

O reciclo da água é mais comumente aplicado para fins não potáveis, como agricultura, parques públicos, como água de resfriamento em indústrias, construção civil, lagos artificiais, vasos sanitários (EPA, 2004).

A FIESP/CIESP (2004), apresenta os seguintes conceitos relacionados ao reúso da água:

Reúso: uso de água residuária ou água de qualidade inferior tratados ou não;

Reúso indireto de água: uso de água residuária ou água de qualidade inferior, em sua forma diluída, após lançamento em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

Reúso direto de água: é o uso planejado de água de reúso, conduzido ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

Reúso em cascata: uso de efluente industrial originado em um determinado processo que é diretamente utilizado em um processo subsequente;

Reúso de efluentes tratados: é a utilização de efluentes que foram submetidos a tratamento;

Reúso de efluentes após tratamento adicional: alternativa de reúso direto de efluentes tratados que necessitam de sistemas complementares de tratamento para reduzir a concentração de algum contaminante específico;

Reúso de efluentes não tratados: utilização de efluentes não submetidos a tratamento, mas enquadrados qualitativamente para a finalidade ou processo a que se destina;

Reúso macro externo: reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou de outra indústria;

Reúso macro interno: uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria;

Reúso parcial de efluentes: uso de parte da vazão da água residuária ou água de qualidade inferior diluída com água de padrão superior, visando atender o balanço de massa do processo.

Segundo EPA (2004), os tipos de reúso de água podem ser classificados em:

- Urbano;
- Agrícola;
- Recreacional e ambiental;

- Recarga de aquíferos;
- Diluição em fontes de água potável (aumentação);
- Industrial.

O sistema de reúso urbano consiste em utilizar a água de reúso para demandas não potáveis como irrigação de parques públicos, rega jardins, lavagem de pisos; uso comercial como lavagem de veículos, lavanderias, limpeza de janelas, água para misturas em pesticidas, herbicidas e fertilizantes, produção de concreto; como água de combate a incêndios; lagos, fontes e cascatas ornamentais; para descargas em vasos sanitários de banheiros (EPA, 2004).

O reúso da água na agricultura está ligado aos sistemas de irrigação de plantas alimentícias, tais como: árvores frutíferas, cereais, etc., e plantas não alimentícias tais como: pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais. A recarga do lençol freático pode ser uma consequência desta modalidade de reúso (MEES, 2004 e FELIZATTO, 2001). Para aplicação em atividades agrícolas, um estudo das características do efluente é necessário para avaliar a toxicidade e patogenicidade do mesmo e o suprimento dos nutrientes necessários.

A aplicação de esgotos no solo é uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas. Os maiores benefícios dessa forma de reúso, são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública (HESPANHOL, 2002).

O reúso para fins recreacionais é referente à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais, etc. (MEES, 2004). EPA (2004) também destaca o reúso recreacional para casos em que possa haver contato acidental da pessoa com a água, como pesca e navegação, e casos em que há contato total do corpo com a água, como a natação.

O reúso para fins ambientais inclui a restauração e a criação de zonas alagadas para o estabelecimento ou a conservação de habitats e refúgio de animais, restauração de córregos e riachos. A aplicação de água de reúso para fins ambientais, segundo Mees (2004), considera ainda a finalidade de manutenção de vazões de cursos de água, que promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando a uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiação.

A aplicação de projetos envolvendo água de reúso para fins

recreacionais e ambientais é viável em função da demanda de água e do custo efetivo para seu suprimento na qualidade exigida em cada caso (EPA, 2004).

O reúso da água para recarga de aquíferos é o uso de águas residuárias recuperadas para suplementar o nível do aquífero ou para evitar a intrusão de cunha salina em cidades à beira-mar (FELIZATTO, 2001). Pode ser realizada de forma direta, pela injeção sob pressão, de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante (MEES, 2004), através de bacias de infiltração (FIRJAN/SEBRAE, 2007) ou através de infiltração rápida (FELIZATTO, 2001).

A recarga artificial dos aquíferos pode complementar a captação de águas subterrâneas realizada por grandes indústrias e pode ser efetuada com os efluentes domésticos ou industriais, após tratamento adequado. Devido às camadas insaturadas localizadas acima dos aquíferos possuem o potencial para remoção de poluentes e de organismos patogênicos, os custos dos sistemas de tratamentos necessários para recarga podem ser inferiores aos do tratamento necessário para reúso direto. Para realização desta prática é necessário realizar estudos e levantamentos hidrogeológicos, a fim de avaliar as características da camada insaturada e os parâmetros hidráulicos do próprio aquífero, tais como composição, porosidade, capacidade de infiltração e coeficientes de transmissividade, entre outros (FIRJAN/SEBRAE, 2007).

O reúso para fins industriais pode ser visualizado sob diversos aspectos, conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externo às indústrias (MEES, 2004). Indústrias de produção de energia são ideais para aplicação do sistema de reúso industrial, devido à grande demanda de água para resfriamento, transporte de cinzas, lavagem de gases, dentre outros. Em refinarias de petróleo e indústrias químicas e metalúrgicas, a água de reúso pode ser utilizada não apenas para resfriamento, mas no processo industrial propriamente dito (EPA, 2004).

Segundo FIESP/CIESP (2004) e FIRJAN/SEBRAE (2007), o reúso de efluentes na indústria pode ocorrer de duas maneiras: o reúso macro externo e o macro interno. A primeira é definida como o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou outras indústrias. A segunda é o reúso macro interno, definida como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria.

A prática de reúso macro interno pode ser implantada de duas maneiras distintas, segundo FIESP/CIESP (2004) e FIRJAN/SEBRAE (2007):

Reúso em Cascata – este sistema é possível quando as características do efluente de um processo é compatível com os padrões de qualidade da água a ser utilizada em processo subsequente e assim, o efluente originado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado em um processo subsequente.

Reúso de efluentes tratados – consiste na utilização de efluentes que foram submetidos a um processo de tratamento.

3.2 Legislação pertinente

3.2.1 Legislação aplicada ao reúso da água

No Brasil, o Código das Águas, instituído pelo Decreto Federal nº 24.643 de 1934, considerava a água como um bem inesgotável, passível de utilização farta e abundante (GERLOFF, 2008). Desta forma, previa a propriedade privada de corpos de água, assegurava o uso gratuito de qualquer corrente e nascente e tratava os conflitos sobre o uso das águas como questões de vizinhança (LEITE, 2003).

Com a Constituição Federal de 1988 ficou estabelecida que a água é um bem da União ou dos estados, ressaltando que o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades (FIRJAN/SEBRAE, 2007).

A partir da Constituição de 1988, foi instituída a Lei nº 9.433 de 1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos que define a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico. Dentre os instrumentos de gestão dos recursos hídricos desta lei, está a outorga e a cobrança pelo direito de uso da água. A Política Nacional de Recursos Hídricos, ao instituir os fundamentos da gestão dos recursos hídricos, abriu a possibilidade jurídica e econômica para o reúso da água, como uma maneira de utilização racional e de preservação ambiental (GERLOFF, 2008 e LEITE, 2003).

Para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, em julho de 2000 foi aprovada a Lei Federal no 9.984, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas, autarquia vinculada ao Ministério do Meio Ambiente.

Tabela 2 - Classes de água de reúso pela NBR-13.969 e padrões de qualidade.

Água de Reúso	Aplicações	Padrões de Qualidade
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário.	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidez < 5 uT; - Coliformes Termotolerantes < 200 NMP/100 mL; - Sólidos Dissolvidos Totais < 200 mg/L; - pH entre 6 e 8; - Cloro residual entre 0,5 mg/L a 1,5 mg/L.
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidez < 5 uT - Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL - Cloro residual superior a 0,5 mg/L
Classe 3	Descargas em vasos sanitários.	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidez < 10 uT - Coliformes Termotolerantes < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	<ul style="list-style-type: none"> - Coliformes Termotolerantes < 5000 NMP/100 mL - Oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L

Fonte: Adaptado de FIRJAN/SEBRAE (2007) e ABNT (1997).

Em junho de 1986, a Resolução CONAMA n° 20 estabeleceu a classificação das águas doces, salobras e salinas em nove classes e definiu seus usos preponderantes. Esta resolução foi revogada pela Resolução n° 357 de 2005 que nada acrescentou com relação ao reúso da água.

A primeira regulamentação brasileira que apresentou parâmetros para reúso de água foi a norma técnica NBR-13.696 de 1997. Esta norma tratou o reúso como uma alternativa para a destinação de esgotos de origem doméstica ou com características similares e definiu quatro classes de água de reúso e seus respectivos padrões de qualidade, apresentadas na Tabela 2 (FIRJAN/SEBRAE, 2007).

Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH),

publicou a Resolução 54, que estabelece os critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, classificada em cinco modalidades:

- Reúso para fins urbanos;
- Reúso para fins agrícolas e florestais;
- eúso para fins ambientais;
- Reúso para fins industriais;
- Reúso na aqüicultura.

3.2.2 Legislação aplicada aos frigoríficos

Atualmente, a fiscalização dos abatedouros e frigoríficos de aves no tocante às condições higiênico-sanitárias é realizada pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), vinculado à Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (GERLOFF, 2008).

As seguintes regulamentações brasileiras relativas à qualidade da água são aplicadas aos frigoríficos e abatedouros de aves:

- Decreto 30.691/1952 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento: aprova o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA;
- Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento: aprova o Regulamento Técnico de Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves;
- Portaria SVS/MS 326/1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde: aprova o Regulamento Técnico sobre "Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos";
- Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde: regulamenta a potabilidade da água para consumo humano.

O Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA, apresenta os seguintes padrões de qualidade da água a ser utilizada em indústrias de alimentos de origem animal (MAPA, 1952):

CAPÍTULO I – REGISTRO E RELACIONAMENTO

Artigo 62: Nos estabelecimentos de produtos de origem animal destinados à alimentação humana, é considerada básica, para efeito de registro ou

relacionamento, a apresentação prévia de boletim oficial de exame da água de abastecimentos, que deve se enquadrar nos padrões microbiológicos e químicos seguintes:

- a) não demonstrar, na contagem global mais de 500 (quinhentos) germes por mililitro;
- b) não demonstrar no teste presuntivo para pesquisa de coliformes maior número de germes do que os fixados pelos padrões para 5 (cinco) tubos positivos na série de 10 ml (dez mililitros) e 5 (cinco) tubos negativos nas séries de 1 ml (um mililitro) e 0,1 (um décimo de mililitro) da amostra;
- c) a água deve ser límpida, incolor, sem cheiro e de sabor próprio agradável;
- d) não conter mais de 500 (quinhentas) partes por milhão de sólidos totais;
- e) conter no máximo 0,005 g (cinco miligramas) por litro, de nitrogênio amoniacal;
- f) ausência de nitrogênio nitroso e de sulfídrico;
- g) no máximo 0,002 g (dois miligramas) de nitrogênio nítrico por litro;
- h) no máximo 0,002 g (dois miligramas) de matéria orgânica, por litro;
- i) grau de dureza inferior a 20 (vinte);
- j) chumbo, menos de 0,1 (um décimo) de parte por milhão;
- k) cobre, menos de 3 (três) partes por milhão;
- l) zinco, menos de 15 (quinze) partes por milhão;
- m) cloro livre, máximo de 1 (uma) parte por milhão, quando se tratar de águas cloradas e cloro residual mínimo de 0,05 (cinco centésimos) partes por milhão;
- n) arsênico, menos de 0,05 (cinco centésimos) partes por milhão.
- o) fluoretos, máximo de 1 (uma) parte por milhão;
- p) selênio, máximo de 0,05 (cinco centésimo) partes por milhão;
- q) magnésio, máximo de 0,03 (três centésimos) partes por milhão;
- r) sulfatos, no máximo 0,010 g (dez miligramas), por litro;
- s) componentes fenólicos, no máximo 0,001 (uma milésima) parte por milhão.

§ 1º - Quando as águas revelem mais de 500 (quinhentos) germes por mililitro, impõe-se novo exame de confirmação, antes de condená-la.

§ 2º - Mesmo que o resultado da análise seja favorável, o D.I.P.O.A. pode exigir de acordo com as circunstâncias locais o tratamento da água.

A Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento complementa os requisitos apresentados no RIISPOA com o seguinte texto, extraído do ANEXO II – *Instalações e equipamentos relacionados com a técnica de inspeção "ante mortem" e "post mortem"*:

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS QUANTO ÀS INSTALAÇÕES:

3.2.3. Não será permitido o retorno das águas servidas. Permitir-se-á a confluência da rede das águas servidas dos pré-resfriadores para condução de outros resíduos não comestíveis, desde que comprovadamente tais conexões não promovam nenhum inconveniente tecnológico e higiênico-sanitário. (...)

11. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES HIGIÊNICO-SANITÁRIAS:

11.1.4.2. A água consumida em todo o estabelecimento, qualquer que seja o seu emprego, deverá apresentar obrigatoriamente as características de potabilidade especificadas no artigo 62, do Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA. Será compulsoriamente clorada com garantia de sua inocuidade microbiológica, independente de sua procedência (água de superfície, represadas, nascentes, poços comuns ou tubulares profundos, rede pública de abastecimento). A cloração obrigatória, aqui referida, não exclui, obviamente, o prévio tratamento químico (floculação, sedimentação, filtração e neutralização), tecnicamente exigido para certas águas impuras, notadamente as de superfície e de cuja necessidade julgará a Inspeção Federal.

Esta portaria ressalta que para todo o processo produtivo deverá ser utilizada água com os padrões de potabilidade apresentados no

Decreto 30.691/1952 – RIISPOA.

A Portaria SVS/MS 326/1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde traz as seguintes considerações referentes à qualidade da água a ser utilizadas em indústrias de alimentos:

8 - REQUISITOS DE HIGIENE NA PRODUÇÃO

8.3 - Uso da água:

8.3.1 - Como princípio geral na manipulação de alimentos somente deve ser utilizada água potável.

8.3.2 - Pode ser utilizada água não potável para a produção de vapor, sistema de refrigeração, controle de incêndio e outros fins análogos não relacionados com alimentos, com a aprovação do órgão competente.

8.3.3 - A água recirculada para ser reutilizada novamente dentro de um estabelecimento deverá ser tratada e mantida em condições tais que seu uso não possa representar um risco para a saúde. O processo de tratamento deve ser mantido sob constante vigilância. Por outro lado, a água recirculada que não tenha recebido tratamento posterior pode ser utilizada nas condições em que o seu emprego não constitua um risco para saúde e nem contamine a matéria-prima nem o produto final. Deve haver um sistema separado de distribuição que possa ser identificado facilmente, para a utilização da água recirculada. Qualquer controle de tratamento para a utilização da água recirculada em qualquer processo de elaboração de alimentos deve ter sua eficácia comprovada e deve ter sido prevista nas boas práticas adotadas pelo estabelecimento e devidamente aprovadas pelo organismo oficialmente competente (...).

A Portaria SVS/MS 326/1997, diferente da Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento, permite o reúso da água desde que a mesma receba tratamento adequado para atender os padrões de potabilidade. A portaria 210/1998 por sua vez, impede o retorno das águas servidas, porém nada aponta para o reúso das águas após tratamento adequado das mesmas.

A legislação brasileira vigente sobre o abastecimento de água e o

sistema de esgotos em estabelecimentos de produtos de origem animal para consumo humano ressalta que o abastecimento de água deve ser potável (BRASIL, 1998 *apud* LUIZ, 2007).

A FAO (Food and Agriculture Organization) e a OMS (Organização Mundial de Saúde), através do Codex Alimentarius de 2001, fórum internacional de normalização de alimentos, defende o reúso da água em indústrias de alimentos em todo o processo, não apenas no sistema de lavagem do produto, transporte e limpeza de equipamentos, mas que possa entrar em contato direto com o produto ou mesmo ser incorporado a ele. Para tanto é necessário um controle rigoroso da qualidade da água de reúso, para evitar risco de contaminação (FAO/WHO, 2001).

A aplicação de sistemas de reúso potável industrial deve ser extremamente cuidadosa, regulamentada e fiscalizada. Esta prática, por questões de segurança, ainda não é recomendada no Brasil, devido à falta de regulamentação e ausência de estudos relativos a este tipo de reúso (MATSUMURA, 2007).

3.3 Abatedouro de frangos

3.3.1 Processo produtivo

O processo de abate de frangos está dividido em: recepção, atordoamento, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração, lavagem final, resfriamento, gotejamento, embalagem, armazenamento e aproveitamento dos subprodutos.

Na etapa de recepção, as aves chegam ao abatedouro dentro de gaiolas através de caminhões. Para aumentar o conforto das aves nesta etapa e reduzir a mortalidade enquanto aguardam para adentrar no abatedouro, a área de recepção é dotada de chuveiros e ventiladores. As aves doentes ou mortas são separadas para a produção de farinhas. Após a retirada das aves da etapa de recepção, toda a área e os caminhões são lavados (MATSUMURA, 2007). Os resíduos gerados nesta etapa são fezes, penas e água de limpeza. O consumo de água nesta etapa em um frigorífico médio (que abate de 100.000 a 250.000 aves/dia) é em torno de 12.700 litros por dia nesta etapa (FERNANDES, 2004).

Na etapa de atordoamento as aves, que provém da etapa de recepção presas pelos pés no transportador aéreo, recebem um choque elétrico de 70 V na região da cabeça. Este procedimento imobiliza as aves e auxilia no relaxamento dos músculos para melhor extração do

sangue (MATSUMURA, 2007).

Na etapa de sangria, as aves recebem um corte na veia jugular e seguem por um túnel onde o sangue escorre por canaletas seguindo para a fábrica de farinhas ou comercialização ou para a Estação de Tratamento (MATSUMURA, 2007). O sangue representa cerca de 6-8 % do peso dos animais e possui valor econômico. Uma melhor remoção de sangue nesta etapa do processo representa uma redução na quantidade de resíduos produzidos (FERNANDES, 2004). Após o abate toda a área de atordoamento e sangria é lavada e o efluente segue para a Estação de Tratamento.

Na etapa de escaldagem, as aves passam pela primeira etapa de lavagem através da imersão em tanques de aço inoxidável com água a cerca de 55° a 60° C por 90 a 120 segundos (MATSUMURA, 2007). Esta etapa tem como função lavar as aves, reduzir a carga microbiana e facilitar a depenagem. A geração de efluente na etapa de escaldagem é alta, cerca de 10 L/ave, com características de alta matéria orgânica devido à presença de sangue e gordura das penas (ANDRADE JUNIOR, 1993 *apud* DA SILVA, 2005).

A remoção das penas, na etapa da depenagem, ocorre de forma contínua em máquinas depenadeiras em série. Nesta etapa há injeção contínua de água fria através de chuveiros. As penas, que representam cerca de 3-5% do peso vivo dos frangos, são recolhidas por meio de canaletas no piso e transportadas com água para a fábrica de farinhas (MATSUMURA, 2007).

Após a remoção das penas e limpeza externa, as aves passam para a etapa de evisceração, onde receberão um corte no abdome, terão retiradas as vísceras abdominais e pulmões e separados os miúdos. As vísceras não comestíveis seguem para a fábrica de farinhas. Os miúdos comestíveis são selecionados e resfriados em tanque aberto com gelo. Após a retirada dos órgãos internos, as aves recebem aspersão de água para limpeza final (MATSUMURA, 2007). Os miúdos são normalmente transportados com água e, neste caso, corresponde à cerca de 1/3 da carga poluente gerada (FERNANDES, 2004).

Até a etapa de evisceração as aves são transportadas por ganchos. Após esta etapa, as aves caem em um tanque aberto para pré-resfriamento (sistema de resfriadores contínuos por imersão), chamado *Pré-Chiller*, seguindo para o tanque de resfriamento, *Chiller*, onde a água permanece a 4°C pela adição de gelo (MATSUMURA, 2007). Os *Chillers* devem ter renovação contínua de água na proporção de 1,5 L/ave no primeiro estágio e de 1,0 L/ave no segundo estágio (EBERT, 2007).

Após a etapa de resfriamento, as aves seguem para a etapa de gotejamento, para remoção da água em excesso e então para embalagem e armazenamento.

3.3.2 Efluentes líquidos em abatedouros de aves

Os frigoríficos de aves geram efluentes líquidos em cinco linhas do processo produtivo (OLIVO, 2006):

- I. LINHA RECEPÇÃO: efluente proveniente da lavagem dos caminhões, piso da recepção e gaiolas de frangos, juntamente com a água drenada dos boxes de espera com arraste de resíduos. Este efluente é constituído de partículas sólidas como areias, fezes e penas.
- II. LINHA DE PENAS: efluente contendo penas e cutículas, drenado da etapa de depenagem.
- III. LINHA DE VÍSCERAS: efluente de drenagem e arraste vísceras e gorduras.
- IV. LINHA DE OSSOS: efluente gerado no setor de pré-cozidos e empanados formado pela água gerada da drenagem e arraste de ossos.
- V. LINHA SANGUE: efluente gerado na higienização do setor de sangria.

Embora as agroindústrias de abate e industrialização da carne de frango instaladas no Brasil possuam uma grande similaridade no processo produtivo, pequenas variações nos tipos de cortes da carne e seus tipos diferenciados de produtos industrializados refletem em diferentes características físico-químicas do efluente bruto (OLIVO, 2006).

De maneira geral, os efluentes de abatedouros de aves são compostos de material protéico, gorduras, penas, areia, fezes e ossos. Do ponto de geração até a entrada da Estação de Tratamento de Efluentes, a qualidade do efluente é determinada pela eficiência na segregação do sangue, vísceras, penas e ossos.

Além do processo produtivo empregado e dos tipos de produtos industrializados produzidos, outro fator que influencia nas características do efluente gerado é o consumo de água. Segundo Ockerman *et al* (1994), o valor de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) aumenta de forma proporcional ao maior consumo da água no

abatedouro. Ao contrário do pensamento lógico no qual o maior consumo de água causaria um efeito de diluição na carga orgânica, os autores afirmam que o consumo de água está ligado à “consciência de aproveitamento da água”. Desta forma, a menor utilização de água por animal abatido significa uma maior atenção despendida ao reaproveitamento dos resíduos gerados na planta (sangue, restos de tecidos, conteúdo intestinal), o que torna os efluentes menos carregados (OCKERMAN, et al., 1994).

A Tabela 3 a seguir apresenta características de efluentes de abatedouros avícolas estudados por diferentes autores. A caracterização apresentada confirma a grande variação nos valores encontrados para os mesmos parâmetros em diferentes abatedouros avícolas.

Tabela 3 - Características de Efluentes de Abatedouros Avícolas.

Parâmetro	Valor referenciado
pH	6,0 a 7,0 ⁽¹⁾ ; 6,3 a 7,4 ⁽²⁾ ; 6,8 ⁽³⁾ ; 6,5 ⁽⁴⁾ ; 6,3 ⁽⁵⁾
Sólidos Totais (mg/L)	3.000 ⁽¹⁾ ; 650 ⁽²⁾ ; 1.440 ⁽⁴⁾
Sólidos Suspensos (mg/L)	2.300 ⁽¹⁾ ; 340 ⁽⁴⁾
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	700 ⁽¹⁾ ; 1.100 ⁽⁴⁾ ; 1530 ⁽⁵⁾
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	1 a 50 ⁽¹⁾ ; 150 a 200 ⁽²⁾ ; 1,4 ⁽³⁾ ; 202 ⁽⁵⁾
Óleos e Graxas (mg/L)	500 a 1.500 ⁽¹⁾ ; 170 a 230 ⁽²⁾ ; 784 ⁽³⁾ ; 969 ⁽⁵⁾
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	3.000 a 6.000 ⁽¹⁾ ; 460 ⁽³⁾ ; 1.058 ⁽⁴⁾ ; 9.115 ⁽⁵⁾
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	1.500 a 3.500 ⁽¹⁾ ; 370 a 610 ⁽²⁾ ; 810 ⁽³⁾ ; 4.593 ⁽⁵⁾
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	2 a 100 ⁽¹⁾
Nitrogênio Total (mg/L)	147 ⁽⁵⁾
Sulfetos (mg/L)	50 a 100 ⁽¹⁾ ; 0,480 ⁽⁵⁾
Fosfato Total (mg/L)	114 ⁽⁵⁾

Fontes: ⁽¹⁾ OLIVO (2006); ⁽²⁾ EPA (1976) *apud* SCHOENHALS (2006); ⁽³⁾ CRHEA (1976) *apud* SCHOENHALS (2006); ⁽⁴⁾ DA SILVA (2005); ⁽⁵⁾ MATSUMURA (2007)

3.3.3 Padrões de lançamento de efluentes

Os padrões de lançamento dos efluentes industriais em Santa Catarina obedecem aos limites estipulados, no âmbito federal, pela Resolução n° 357 de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos

de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. No âmbito estadual, as indústrias de Santa Catarina seguem os limites de lançamento de efluentes apresentados no Decreto Estadual Nº 14.250 de 1981, que regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental.

A Resolução do CONAMA nº 357 de 2005 autoriza o órgão ambiental competente a acrescentar outras condições e padrões aos apresentados nesta resolução, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais. Assim, os limites estipulados no Decreto Estadual Nº 14.250 de 1981 são mais restritivos que a legislação federal, e portanto, são objeto de trabalho de projetistas e operadores de Estações de Tratamento de Efluentes instaladas do Estado de Santa Catarina, salvo indústrias onde há exigências de padrões mais restritivos para fins de exportação, outorga e/ou reúso.

Em 03 de abril de 2008 o CONAMA apresentou a Resolução nº 397 que alterou alguns incisos da resolução CONAMA nº 357/2005. A Tabela 4 a seguir apresenta os padrões e condições de lançamento de efluentes segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, a Resolução CONAMA nº 397/2008 e o Decreto Estadual nº 14.250/1981.

Tabela 4 - Parâmetros e Condições de Lançamento de Efluentes para Indústrias Catarinenses

Parâmetro	Limite
pH	5 a 9 ⁽¹⁾ ; 6 a 9 ⁽³⁾
Temperatura	Inferior a 40°C ⁽¹⁾⁽³⁾
Materiais Sedimentáveis	Até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff ⁽¹⁾⁽³⁾
Óleos Minerais	Até 20 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Óleos Vegetais	Até 50 mg/L ⁽¹⁾ ; Até 30 mg/L ⁽³⁾
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅ dias)	Até 60 mg/L ou 80 % de remoção de carga no sistema de tratamento de efluentes ⁽³⁾
Arsênio	Até 0,5 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,1 mg/L ⁽³⁾
Bário Total	Até 5,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Boro Total	Até 5,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Cádmio Total	Até 0,2 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,1 mg/L ⁽³⁾
Chumbo Total	Até 0,5 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾

Continua...

Parâmetro	Limite
Continuação...	
Cianeto Total	Até 1,0 mg/L ⁽²⁾ ; 0,2 mg/L ⁽³⁾
Cianeto Livre (destilável por ácidos fracos)	Até 0,2 mg/L ⁽²⁾
Cobre Dissolvido	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾
Cobre Total	Até 0,5 mg/L ⁽³⁾
Cromo hexavalente	Até 0,1 mg/L ⁽²⁾⁽³⁾
Cromo trivalente	Até 1,0 mg/L ⁽²⁾
Cromo Total	Até 5,0 mg/L ⁽³⁾
Estanho Total	Até 4,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Ferro Dissolvido	Até 15,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Ferro Total	Até 15,0 mg/L ⁽³⁾
Fluoreto Total	Até 10,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Fósforo Total	Até 1,0 mg/L ⁽³⁾
Manganês Dissolvido	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Mercurio Total	Até 0,01 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,005 mg/L ⁽³⁾
Níquel Total	Até 2,0 mg/L ⁽¹⁾ ; 1,0 mg/L ⁽³⁾
Nitrogênio Amoniacal Total	Até 20,0 mg/L ⁽¹⁾
Nitrogênio Total	Até 10,0 mg/L ⁽³⁾
Prata Total	Até 0,1 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,02 mg/L ⁽³⁾
Selênio Total	Até 0,3 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,02 mg/L ⁽³⁾
Níquel Total	Até 2,0 mg/L ⁽¹⁾
Sulfeto	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾⁽³⁾
Zinco Total	Até 5,0 mg/L ⁽¹⁾ ; 1,0 mg/L ⁽³⁾
Clorofórmio	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾
Dicloroeteno	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4- aminoantipirina)	Até 0,5 mg/L ⁽¹⁾ ; 0,2 mg/L ⁽³⁾
Tetracloroeto de Carbono	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾
Tricloroeteno	Até 1,0 mg/L ⁽¹⁾
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	Até 2,0 mg/L ⁽³⁾
Compostos organofosforados e carbamatos	Até 0,1 mg/L ⁽³⁾
Sulfeto de carbono, tricloro etileno, clorofórmio, tetracloroeto de carbono, dicloro etileno	Até 1,0 mg/L ⁽³⁾
Outros compostos organoclorados	Até 0,05 mg/L ⁽³⁾

Fontes: ⁽¹⁾ RESOLUÇÃO CONAMA N° 357 (2005); ⁽²⁾ RESOLUÇÃO CONAMA N° 397 (2008); ⁽³⁾ DECRETO ESTADUAL N° 14.250 (1981)

Para as indústrias de abate de frangos, os parâmetros mais importantes são a carga orgânica (DBO), pH, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e graxas (apresentado na legislação como óleos minerais), nitrogênio total e fósforo total. Dentre estes, os parâmetros mais difíceis de serem atingidos são a DBO, nitrogênio e fósforo, devido à alta carga protéica e lipídica do efluente.

3.4 Processos de tratamento de efluentes de frigoríficos

Os sistemas de tratamento de efluentes de indústrias da carne incluem a maioria dos procedimentos de tratamento de resíduos existentes. Estes sistemas podem ir desde a simples sedimentação (eliminação dos sólidos por gravidade) a tratamentos mais complexos com sistemas físicos, químicos e biológicos operando de maneira combinada (OCKERMAN, et al., 1994).

Os efluentes gerados em frigoríficos de aves podem ser segregados em duas principais linhas, com características específicas (OLIVO, 2006):

- Efluentes originados no processo industrial propriamente dito, com conteúdo protéico e gorduroso – efluente usualmente denominado de LINHA VERMELHA;
- Demais efluentes contendo areia, excrementos, argila, maravalha, etc. – efluente usualmente denominado de LINHA VERDE.

Os efluentes da chamada linha vermelha incluem as linhas anteriormente denominadas de Penas, Vísceras, Ossos e Sangue e, conseqüentemente, é um efluente composto basicamente por compostos protéicos e lipídicos. Representam cerca de 80 a 85% da vazão total da fábrica e possuem baixo teor de contaminantes, haja vista a condição sanitária dos seus pontos de geração.

Os efluentes da linha verde referem-se à anteriormente chamada Linha Recepção, além do hidrossanitário, lavanderia, refeitório, purga de caldeiras, compressores e torres evaporativas. Possuem baixo valor nutritivo e alto grau de contaminação biológico.

Os resíduos da linha vermelha possuem alto valor nutritivo, e devem ser recuperados antes que haja contaminação com a linha verde. Os resíduos da linha vermelha seguem para a Fábrica de Subprodutos. A necessidade de recuperação das proteínas e lipídeos da linha vermelha e as diferentes características físicas, químicas e biológicas de ambas as

linhas justifica a implantação de sistemas primários de tratamento de efluentes independentes para cada linha de geração (OLIVO, 2006).

O processo de tratamento está dividido em tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário ou avançado. Alguns autores classificam o tratamento preliminar também como primário.

3.4.1 Tratamento preliminar

O primeiro estágio nos processos de tratamento de efluentes é o tratamento preliminar. O efluente que adentra a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é composto de muitos materiais grosseiros, além da matéria orgânica, nutrientes e demais poluentes dissolvidos. O tratamento preliminar tem a função de proteger os equipamentos da ETE de entupimentos, obstruções e desgaste e é realizado por meio de gradeamento, peneiramento, caixa de areia, dentre outros (SPELLMAN, 2003).

Nas operações de gradeamento, o efluente passa por um canal dotado de barras transversais ao fluxo onde ficam retidos os sólidos mais grosseiros. Este sistema é muito utilizado em tratamento de esgotos sanitários e objetiva principalmente proteger bombas, válvulas e tubulações de danos e obstruções (METCALF e EDDY, 2003). Em frigoríficos, o sistema de gradeamento e caixa de areia – canal para sedimentação dos sólidos grosseiros não retidos no gradeamento, é mais utilizado para tratamento preliminar dos efluentes provenientes da linha RECEPÇÃO, visto que este efluente é constituído principalmente de fezes, areia e penas (OLIVO, 2006).

Outro sistema, muito empregado para segregação de sólidos em frigoríficos, é o de peneiramento. Através de peneiras específicas, as penas, vísceras, ossos e demais sólidos são segregados para produção de farinhas na fábrica de subprodutos.

Os tipos de peneiras mais utilizados em sistemas de tratamento de efluentes são as estáticas e rotativas. Nas estáticas, também chamadas de hidrodinâmicas, o efluente escoar da parte superior da peneira descendo pela tela adentro. Os sólidos retidos deslizam na tela inclinada até a parte inferior da peneira (NUNES, 2004). As peneiras estáticas são geralmente aplicadas para separação das penas e ossos da água de drenagem e arraste dos mesmos (OLIVO, 2006).

As peneiras rotativas são classificadas em função do sentido do fluxo e podem ser tangenciais ou axiais (MERKEL, 1981 *apud*

CARVALHO *et al.*, 2001). As peneiras de fluxo tangencial possuem carregamento externo, ou seja, um defletor distribui o efluente na parte superior da peneira, que atravessa os crivos até a parte inferior. Os sólidos são retidos em um vaso coletor com auxílio de uma lâmina raspadora (NUNES, 2004; MERKEL, 1981 *apud* CARVALHO *et al.*, 2001). Em frigoríficos, são geralmente empregadas peneiras rotativas axiais, ou seja, com alimentação interna, aplicadas na segregação de vísceras e gorduras da água de drenagem (OLIVO, 2006).

Metcalf e Eddy (2003) apresenta sistemas de tratamento preliminar para eliminação de gorduras e escumas presentes no efluente, a serem aplicados antes da sedimentação primária, com o objetivo de melhorar a tratabilidade do efluente. Dentre os sistemas para eliminação de gorduras e escumas estão as caixas separadoras de gordura, os sistemas de pré-aeração e os sistemas de floculação.

As caixas separadoras de gordura são tanques retangulares ou circulares com a finalidade de separar as substâncias mais leves que a água, como gorduras, óleo, sabão, pedaços de madeira, etc. O tanque é dotado de defletores (chicanas) sob os quais a água passa geralmente de forma contínua. Na superfície se acumulam os sólidos e demais substâncias segregadas (METCALF e EDDY, 2003). Para funcionar como tanque detentor de óleo, um tanque qualquer deve ser capaz de reduzir a velocidade da água e de apresentar uma superfície tranqüila, que permita que as partículas mais leves se acomodem na superfície da água, retirando-as por meio de raspagem (IMHOFF, 1986).

Os tanques de pré-aeração anteriores à sedimentação primária têm por objetivo: melhorar a tratabilidade do efluente, proporcionar a separação de gorduras, controlar odores, eliminar sedimentos como areia, homogeneizar o efluente, manter os sólidos em suspensão uniformemente distribuídos e aumentar a remoção de carga orgânica.

3.4.2 Tratamento primário

O principal objetivo do tratamento primário é remover os sólidos suspensos do efluente, incluindo os sólidos flotáveis, decantáveis, óleos e graxas. Os sistemas mais utilizados para tratamento primário são os de decantação e flotação. Além da etapa de tratamento primário, estes equipamentos são utilizados nas etapas do tratamento secundário e ainda em sistemas de tratamento avançado ou terciário (SPELLMAN, 2003). Devido à finalidade do tratamento primário, muitos autores denominam esta etapa de sedimentação primária.

Os equipamentos tradicionalmente aplicados ao tratamento primário são os decantadores e os flotores. Atualmente, outros equipamentos têm agregado eficiência nesta etapa, como os hidrociclones e as prensas, especialmente no tratamento de efluentes de frigoríficos.

Nos sistemas de tratamento de efluentes de frigoríficos, é muito importante que o tratamento primário seja diferencial para cada linha verde e vermelha, evitando contaminação do material protéico e lipídico da linha vermelha, permitindo seu reaproveitamento.

A seqüência de equipamentos apresentada a seguir é um exemplo de sistema de tratamento primário ideal para linha verde (OLIVO, 2006):

1. Tanque de Recebimento, provido de agitador submerso que permite a homogeneização do meio e a manutenção dos sólidos em suspensão;
2. Prensa separadora (opcionalmente peneira hidrodinâmica), que é dotada de peneira cilíndrica de 0,2 mm de abertura de malha e opera por compressão, proporciona boa separação de fases;
3. Hidrocentrífuga (opcionalmente decantador), que realiza uma segunda separação de fases para separação dos sólidos muito finos.

A Figura 1 a seguir apresenta o fluxograma de um tratamento primário ideal para a linha verde.

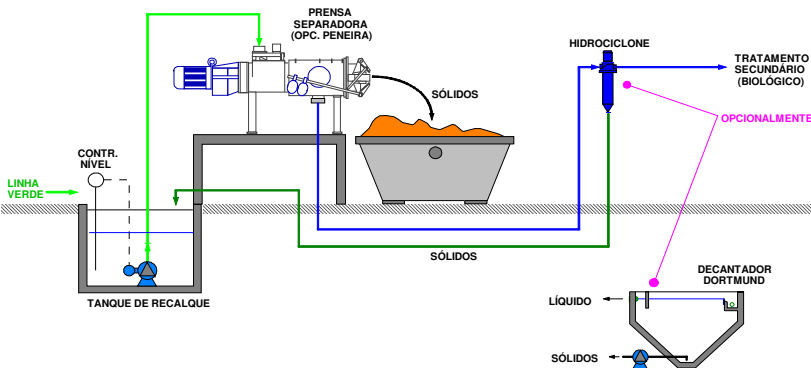


Figura 1 - Tratamento Primário Linha Verde.

Fonte: Figura cedida por Springmann (2009).

No caso da linha vermelha, composta principalmente por gorduras e material protéico, o sistema de tratamento primário indicado

é composto dos seguintes equipamentos (OLIVO, 2006):

4. Peneira hidrodinâmica com abertura de malha de no máximo 1 mm;
5. Hidrocentrífuga para separação dos sólidos finos;
6. Tanque de equalização dotado de agitador submerso e controle de nível, para armazenamento e homogeneização;
7. Tanque de recalque com ajuste automático de vazão;
8. Tanque de flotação com adição de coadjuvantes químicos (na ausência da hidrocentrífuga, este equipamento deverá ser um flotodcantador).

A Figura 2 a seguir apresenta o fluxograma de um tratamento primário ideal para a linha vermelha.

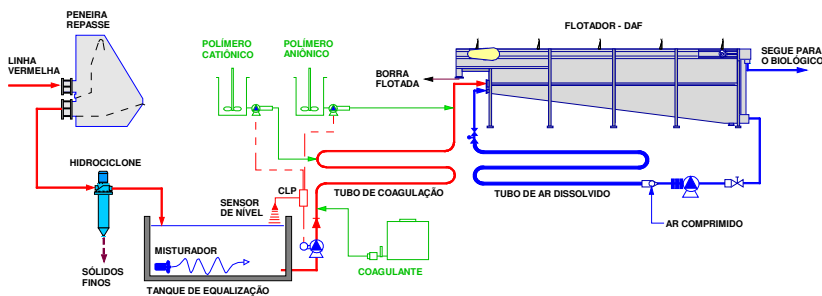


Figura 2 - Tratamento Primário Linha Vermelha.

Fonte: Figura cedida por Springmann (2009).

Os sólidos segregados na linha verde são normalmente depurados em sistemas de estabilização como a compostagem e então destinados ao uso agrícola. Os sólidos provenientes da linha vermelha são destinados à fábrica de subprodutos e utilizados como insumo para produção de ração e óleo (OLIVO, 2006).

3.4.3 Tratamento secundário

No tratamento secundário, onde predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente remover matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo (MEES, 2004).

Os processos biológicos são classificados conforme a dependência de oxigênio por parte dos microrganismos responsáveis pelo tratamento dos efluentes. Nos processos aeróbios, a estabilização

dos resíduos ocorre mediante microrganismos aeróbios e facultativos. Nos processos anaeróbios, a estabilização ocorre através dos microrganismos anaeróbios e facultativos. Quando os três tipos de microrganismos se encontram presentes, o processo é denominado aeróbio-anaeróbio ou facultativo.

Dentre os processos aeróbios temos o de lodos ativados, filtros percoladores e lagoas de estabilização aeróbias. O processo de lodos ativados é muito utilizado, principalmente para tratamento de esgotos de grandes cidades e para efluentes industriais com alta carga orgânica. Os filtros percoladores são utilizados em cidades menores e para efluentes industriais com alta carga e vazões menores. As lagoas de estabilização aeradas consistem na alternativa mais econômica, porém necessita de grande área para sua construção (METCALF e EDDY, 2003).

Nos sistemas aerados, pela atividade biológica, há formação de flocos ativos. Estes podem agregar-se na forma de película aderente a um suporte sólido, como no caso das pedras dos filtros biológicos, ou manter-se livres em suspensão no meio líquido, como no caso dos lodos ativados (IMHOFF, 1986).

O sistema de lodos ativados é muito utilizado tanto para tratamento de despejos domésticos como industriais em situações em que há necessidade de elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área. Em contrapartida, o sistema de lodos ativados necessita de um maior índice de mecanização que os demais processos, implicando em maior dificuldade de operação e maior consumo de energia elétrica (VON SPERLING, 1997).

O sistema de lodos ativados, esquematizado na Figura 3, é composto de tanque de aeração, tanque de decantação (chamado de decantador secundário) e sistema de recirculação de lodo.

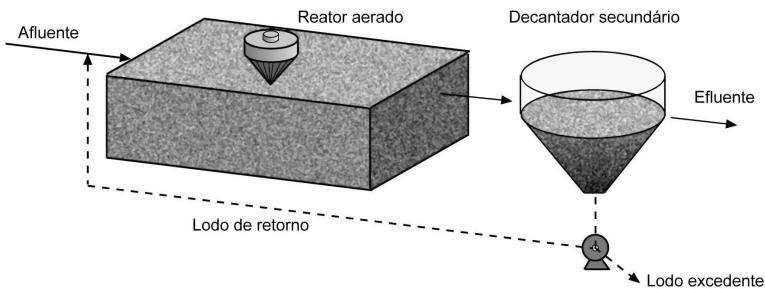


Figura 3 - Sistema de Lodos Ativados.

Fonte: Von Sperling, (1997).

O tanque de aeração é o reator onde ocorrem as reações bioquímicas de estabilização da matéria orgânica sobre condições de alta taxa de aeração, garantida por sistemas de aeração mecânico ou de injeção de ar por difusores. A biomassa formada, agrupada na forma de flocos ativos, é separada da fase líquida no decantador secundário. A fase líquida segue para a próxima etapa de tratamento, quando existente, ou para o lançamento no corpo receptor. A fase sólida, por conter microrganismos ainda ativos, é recirculada para o tanque de aeração. Este sistema permite um baixo tempo de detenção da fase líquida e um alto tempo de detenção dos sólidos ativos, permitindo alta eficiência de remoção de matéria orgânica. O tempo de permanência dos sólidos no sistema é chamado de idade do lodo. Este parâmetro deve ser diariamente controlado na operação do sistema para evitar o acúmulo excessivo de lodo. O controle da idade do lodo é realizado através do descarte de lodo excedente, que deve receber tratamento adicional até disposição final adequada (VON SPERLING, 1997).

Os filtros percoladores são tanques preenchidos com um leito permeável onde se aderem os microrganismos e através do qual se distribui o efluente a ser tratado. Geralmente o meio filtrante é constituído de pedras de cerca de 2,5 a 10 cm de diâmetro. Normalmente o tanque é circular e o efluente é distribuído na parte superior do leito através de um distribuidor giratório. Na parte inferior do filtro existe um sistema de deságüe para recolher o líquido tratado e os sólidos desprendidos do meio. O sistema de deságüe de fundo também deve permitir a circulação do ar no interior do filtro. A matéria orgânica é consumida através dos microrganismos aderidos no leito filtrante, que formam assim uma película biológica. Na parte externa desta película formada, ocorre ação dos microrganismos aeróbios. À medida que aumenta a espessura da película, se estabelece no interior da mesma um ambiente anaeróbio. Assim, os microrganismos presentes no filtro percolador são aeróbios, anaeróbios e facultativos. O filtro percolador também necessita de um decantador secundário que permita a separação dos sólidos desprendidos do leito filtrante, podendo ser realizada a recirculação ou não destes sólidos (METCALF e EDDY, 2003).

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples de tratamento de efluentes. São indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento devido aos altos requisitos de área, operação simplificada, necessidade de poucos ou nenhum equipamento e clima favorável, com temperatura e insolação elevadas. Os principais sistemas de lagoas e sua descrição são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Tipos de Sistemas de Lagoas de Estabilização.

Sistema	Descrição
Lagoa Facultativa	A DBO solúvel é estabilizada por bactérias aeróbias dispersas no meio líquido e a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo degradada por bactérias anaeróbias no fundo da lagoa. O oxigênio é fornecido pela fotossíntese das algas.
Lagoa Anaeróbia – Lagoa Facultativa	A lagoa anaeróbia, que possui maior profundidade e menor volume, remove cerca de 50 a 70 % da DBO. O restante é removido na lagoa facultativa. O sistema ocupa menor área que uma única lagoa facultativa.
Lagoa Aerada Facultativa	A remoção da carga orgânica ocorre de forma similar à lagoa facultativa, porém com fornecimento de oxigênio através de sistema de aeração. Também neste caso ocorre a degradação anaeróbia dos sólidos sedimentados no fundo.
Lagoa Aerada de Mistura Completa – Lagoa de Decantação	O sistema de aeração e mistura mantém os sólidos dispersos no meio líquido, em mistura completa, que resulta em maior concentração de bactérias no meio líquido e maior eficiência de remoção de DBO, reduzindo o volume de lagoa necessário em comparação à facultativa. Os sólidos em suspensão devem ser removidos antes do lançamento no corpo receptor, na lagoa de decantação.
Lagoa de Maturação	O principal objetivo deste sistema é a remoção de organismos patogênicos, através da radiação ultravioleta, alto pH e OD, temperatura inferior a do corpo humano, falta de nutrientes e sedimentação dos ovos e cistos. Constituem um pós-tratamento aos sistemas de remoção de carga orgânica, com alta eficiência de remoção de coliformes.

Fonte: VON SPERLING, 2002.

As principais características da decomposição anaeróbia são: a reduzida taxa de crescimento microbiano, o baixo consumo de energia, o baixo requisito de área e a geração de gás metano. Os sistemas anaeróbios podem ser classificados em convencionais e de alta taxa. Nos convencionais estão incluídos os digestores de lodo, tanques sépticos e lagoas anaeróbias. Nos de alta taxa estão os com crescimento aderido, como os reatores de leito fixo, de leito rotatório e de leito expandido ou fluidificado; e com crescimento disperso, como os reatores de dois estágios, de chicanas, de manta de lodo, de leito granular expandido e

com recirculação interna.

Os sistemas convencionais caracterizam-se por não possuírem mecanismos de retenção de sólidos no sistema, possuem elevados tempos de detenção e baixas cargas volumétricas. Os sistemas de alta taxa permitem que os reatores sejam operados com baixos tempos de detenção hidráulica e elevados tempos de retenção celular através de mecanismos de retenção de biomassa (CHERNICHARO, 1997).

O tratamento biológico dos efluentes da indústria de abate de frangos geralmente é constituído de uma etapa anaeróbia, para conversão dos compostos mais complexos em compostos mais simples para posterior assimilação em uma etapa aeróbia. A etapa anaeróbia geralmente é realizada em lagoas de estabilização e a aerada em lagoa aerada ou sistema de lodos ativados. Para o bom funcionamento do sistema, especialmente da etapa anaeróbia por se tratar de um sistema mais sensível, é imprescindível a remoção eficiente das gorduras no tratamento primário.

3.4.4 Tratamento avançado

A maioria das estações de tratamento de efluentes é composta de um sistema de tratamento primário, seguido de sistema de tratamento secundário, geralmente lodos ativados. Quando bem dimensionadas e conforme as características do efluente, se bastante biodegradável como os esgotos domésticos, estes sistemas são capazes de atender a legislação quanto aos parâmetros de lançamento de efluentes. No entanto, no caso especialmente de efluentes industriais, os sistemas de tratamento primário e secundário nem sempre são capazes de atingir todos os parâmetros de lançamento, especialmente quando se trata de corpos receptores mais restritivos, como rios classe 2.

Assim, existem casos em que as exigências quanto à qualidade da água do corpo receptor exigem sistemas de tratamento mais intensos. Estas exigências podem ser no tocante a uma maior remoção de matéria orgânica, de fósforo ou de nitrogênio (IMHOFF, 1986). Nestes casos, pode ser aplicado o tratamento avançado de efluentes, ou tratamento terciário, definido como sendo os métodos e processos para remoção de contaminantes (substâncias suspensas e dissolvidas) que não foram removidas de efluentes de processos biológicos convencionais, incluindo remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo (SPELLMAN, 2003). A Tabela 6 a seguir apresenta processos de tratamento avançado a serem empregados conforme o poluente a ser

removido, introduzidos por diferentes autores:

Tabela 6 - Processos de Tratamento Avançado para diferentes poluentes

Parâmetro	Processo
Carga Orgânica	Adsorção em carvão ativado ⁽¹⁾⁽⁴⁾ , Lagoas de Polimento ⁽²⁾ , Micropeneiras ⁽²⁾⁽³⁾ , Filtração ⁽²⁾⁽³⁾ , Aplicação no solo ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Osmose Inversa ⁽³⁾ , Precipitação química ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Oxidação com Cloro ⁽³⁾ , Troca Iônica ⁽³⁾
Sólidos Suspensos	Filtração ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Micropeneiras ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Destilação ⁽³⁾ , Flotação ⁽³⁾ , Aplicação no solo ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Osmose Inversa ⁽³⁾ , Precipitação química ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Adsorção em carvão ativado ⁽³⁾
Nitrogênio	Nitrificação-desnitrificação biológica ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ , Arraste do amoníaco com Ar ⁽¹⁾⁽³⁾ , Adsorção em carvão ativado ⁽¹⁾⁽³⁾ , Eletrodialise ⁽¹⁾⁽³⁾ , Filtração ⁽³⁾ , Destilação ⁽³⁾ , Aplicação no solo ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Osmose Inversa ⁽³⁾ , Lagoas de Algas ⁽³⁾ , Troca Iônica ⁽³⁾ , Precipitação química ⁽⁵⁾
Sulfetos	Precipitação ⁽¹⁾ , oxidação ⁽¹⁾
Fósforo	Precipitação química ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ , Osmose Reversa ⁽¹⁾⁽³⁾ , Eletrodialise ⁽¹⁾⁽³⁾ , Adsorção em carvão ativado ⁽¹⁾ , Assimilação Biológica ⁽²⁾⁽³⁾ , Lagoas de Algas ⁽²⁾⁽³⁾ , Destilação ⁽³⁾ , Aplicação no solo ⁽³⁾⁽⁴⁾ , Troca Iônica ⁽³⁾
Cianetos	Oxidação com Cloro ⁽¹⁾
Cromo Hexavalente	Redução com Metabissulfito ou Bissulfito de Sódio ⁽¹⁾
Metais Pesados	Precipitação com gás sulfídrico ⁽¹⁾ , Precipitação química ⁽⁴⁾ , Aplicação no solo ⁽⁴⁾
Fenóis	Tratamento Biológico ⁽¹⁾ , Oxidação com Ozônio, Cloro ou Ar ⁽¹⁾ , Extração por Solvente ⁽¹⁾ , Adsorção em Carvão Ativado ⁽¹⁾
Cor	Adsorção em carvão ativado ⁽¹⁾
Odor e Sabor	Adsorção em carvão ativado ⁽¹⁾
Sais e minerais	Eletrodialise ⁽¹⁾ , Osmose Reversa ⁽¹⁾

Fontes: ⁽¹⁾Nunes (2004); ⁽²⁾Imhoff (1986); ⁽³⁾ Metcalf e Eddy (2003); ⁽⁴⁾ Spellman (2003); ⁽⁵⁾Aguilar et al. (2002), e Edwards e Amirtharajah (1985) *apud* Schoenhals (2006).

Os efluentes tratados nos sistemas de tratamento normalmente aplicados nos frigoríficos apresentam dificuldade na manutenção dos parâmetros de nitrogênio e fósforo dentro dos padrões de lançamento previstos nas legislações ambientais, devido à alta carga protéica do efluente e dos detergentes empregados.

Os sistemas mais empregados para remoção de nitrogênio baseiam-se nos processos biológicos de nitrificação-desnitrificação, onde ocorre a oxidação dos compostos orgânicos nitrogenados e posterior redução do nitrato a nitrogênio. Para remoção do nitrogênio na forma de amoníaco, é bastante empregado o processo de arraste com ar a um pH em torno de 11, sistema conhecido como torres “*Stripping*” (NUNES, 2004). Os sistemas de coagulação/floculação pouco removem nitrogênio na forma amoniacal, porém são capazes de remover nitrogênio na forma principalmente de nitratos, que representam as proteínas presentes na forma de material coloidal (AGUILAR *et al.*, 2002; EDWARDS e AMIRTHARAJAH, 1985 *apud* SCHOENHALS, 2006).

A remoção de fósforo do efluente pode ser realizada através de processos biológicos e físico-químicos. Dentre os processos físico-químicos estão a eletrodialise, a osmose reversa e a precipitação química, sendo este último o processo mais utilizado (NUNES, 2004).

Segundo Aguilar *et al.* (2002) *apud* Schoenhals (2006), a remoção de fósforo através do processo de coagulação/floculação pode ser devido a:

- A remoção dos sólidos suspensos do efluente removem os fosfatos incorporados a eles;
- A aplicação de íons metálicos como coagulante geram produtos de hidrólise que causam a adsorção direta dos íons de fosfato;
- A utilização de sais metálicos como coagulantes causam a remoção através da formação de fosfatos precipitados.

3.5 Sistemas de coagulação – floculação – flotação

3.5.1 Princípios da coagulação

A “coagulação química” é um termo que engloba todas as reações e mecanismos que causam a desestabilização química de partículas coloidais formando partículas maiores através da floculação pericinetica (METCALF e EDDY, 2003).

Em tratamento de efluentes, este processo é utilizado quando o efluente a ser tratado apresenta partículas finas, na forma de suspensões coloidais, que apresentam grande estabilidade devido a sua pequena dimensão e a existência de cargas superficiais que promovem a sua repulsão, tornando os métodos físicos de separação insuficientes (SCHOENHALS, 2006).

As partículas coloidais presentes em meio aquoso possuem cargas superficiais eletronegativas, que se equilibram com as cargas da fase líquida em uma dupla camada elétrica. As cargas no entorno das partículas são dispersas por forças de atração eletrostáticas e de difusão, formando a camada difusa (REALI, 2005 *apud* FELIZATTO, 2001).

A medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta e o meio líquido no qual se desenvolve é chamada de Potencial Zeta e mede o potencial de uma partícula em movimento livre em um líquido (SCHOENHALS, 2006).

A coagulação química tem a função de reduzir a magnitude do Potencial Zeta de forma a tornar as forças repulsivas entre as partículas menores que as forças atrativas de Van der Waals. Quando o Potencial Zeta atinge valores próximos de zero, há um decréscimo da estabilidade da dispersão coloidal. Os íons de alta valência e carga oposta às partículas emulsionadas reduzem o Potencial Zeta, provocando a ruptura da emulsão (SAWAMURA, 1997 *apud* TEIXEIRA, 2003). As forças envolvidas na desestabilização das partículas coloidais são as de gravidade, Van der Waals e o ainda o movimento Browniano.

Os mecanismos envolvidos na desestabilização dos colóides pela adição de coagulantes são, segundo Mendes, (1989) *apud* Teixeira (2003) e Fabreti (2006):

- Compressão da Dupla Camada Elétrica: a adição de um polieletrólito em um sistema coloidal aumenta a densidade de cargas iônicas presentes na camada difusa da partícula, causando uma compressão da dupla camada, que reduz as forças repulsivas presentes entre as partículas;
- Adsorção – neutralização de cargas: ocorre com adsorção de espécies químicas na superfície das partículas coloidais que neutralizam as cargas opostas, permitindo a coagulação;
- Varredura: com a supersaturação do meio causada pela adição de coagulante, conforme o pH e a concentração dos íons presentes na solução, ocorre uma formação de precipitados, que aglomeram-se às partículas coloidais formando flocos;
- Adsorção e formação de pontes: mecanismo mais comum com a adição de compostos orgânicos sintéticos ou naturais (polieletrólitos), que desestabilizam as partículas devido aos sítios ionizáveis que possuem ao longo da cadeia.

A reação do coagulante é extremamente rápida, em torno de 1 segundo. A mistura é realizada por meio de misturadores mecânicos ou hidráulicos, que devem fornecer energia específica suficiente para

dispersão total do coagulante, dada pelo gradiente de velocidade (NUNES, 2004).

O processo de coagulação é influenciado por: concentração das partículas coloidais, verificada pela turbidez; a cor; o pH; a presença de cátions e ânions na solução; a dosagem do coagulante; o Potencial Zeta; a temperatura e o gradiente de velocidade aplicado na mistura (AMIRTHARAJAH E O'MELIA, 1990 *apud* FABRETI, 2006).

Os coagulantes podem ser classificados em polieletrólitos ou auxiliares de coagulação e coagulantes metálicos. Os mais utilizados são os coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro), como o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico. Também os coagulantes orgânicos são utilizados. Estes são geralmente com densidade de carga positiva e são também chamados de polímeros catiônicos, que podem ser sintéticos ou naturais, como a quitosana (SCHOENHALS, 2006).

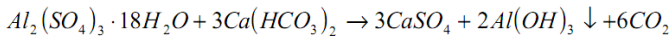
A adição de polieletrólitos, compostos naturais ou sintéticos dotados de grandes cadeias moleculares com sítios ionizáveis, possui ação coagulante e floculante devido aos mecanismos de adsorção e de formação de pontes. Ocorre a adsorção dos polieletrólitos à superfície das partículas, com a conseqüente redução de carga elétrica e das forças de repulsão entre as partículas que se “entrelaçam” pelas cadeias moleculares dos polieletrólitos. Podem ser aniônicos, catiônicos, anfóliticos e não iônicos, sendo normalmente empregados no tratamento de águas para abastecimento como auxiliares de floculação, com a finalidade de diminuir o tempo de sedimentação dos flocos, aumentar sua densidade e resistência, ampliar a faixa de dosagem de coagulante e pH, e, além disso, melhorar a qualidade do floco na separação física (HUANG et al., 1984 *apud* TEIXEIRA, 2003))

Os coagulantes mais utilizados são:

Sulfato de Alumínio – é um dos coagulantes mais utilizados. É um sólido cristalino de cor branca-acinzentada, contendo aproximadamente 17% de Al_2O_3 solúvel em água. É disponível em pedra, em pó ou em soluções concentradas. É gerado a partir da mistura da bauxita com ácido sulfúrico.

Na hidrólise do íon alumínio, em água pura com pH baixo predomina a forma Al^{+++} e em soluções alcalinas $Al(OH)_4$ e $Al(OH)_5$. Em soluções diluídas na neutralidade temos o $Al(OH)_3$.

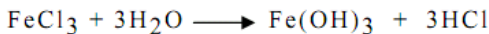
Na água, o $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ reage com a alcalinidade natural formando o $Al(OH)_3$ segundo a reação:



O $Al(OH)_3$ irá formar os flocos e o CO_2 é o responsável pelo aumento da acidez da água. Quando a alcalinidade natural é reduzida, geralmente adiciona-se cal ($(Ca(OH))_2$) ou carbonato de sódio Na_2CO_3 (UFPE, 2008).

Cloreto Férrico – produzido a partir da reação do ácido clorídrico concentrado com o minério de ferro (hematita – Fe_2O_3), que após filtração forma o cloreto férrico ($FeCl_3$) com alto grau de pureza. Como coagulante, a concentração de $FeCl_3$ é em torno de 40% em peso. Sua aplicação reduz em grande quantidade a cor, turbidez, sólidos suspensos, DBO e fosfatos (PAVANELLI, 2001 *apud* SCHOENHALS, 2006).

Em contato com a água, o cloreto férrico é hidrolisado formando o hidróxido de ferro, que possui ação coagulante sobre as partículas, conforme reação:



Sulfato Férrico – sua produção é análoga a do cloreto férrico, sendo produzido a partir da reação do minério de ferro com o ácido sulfúrico, porém com um custo cerca de 30% mais baixo e com menor geração de corrosão às instalações que o cloreto férrico. A reação a seguir apresenta a hidrólise do sulfato férrico (DE SENA, 2005):



O sulfato férrico também pode ser produzido a partir do sulfato ferroso hidratado produzido nas indústrias de aço (FABRETI, 2006).

Hidroxiclreto de Alumínio ou Policloreto de Alumínio (PAC) – é um sal de alumínio prepolimerizado. Devido a sua basicidade, o hidroxiclreto de alumínio, durante a sua hidrólise, confere uma menor acidez à água se comparado aos coagulantes tradicionais como cloreto de alumínio, sulfato de alumínio, cloreto férrico, o que provoca uma menor variação do pH do meio e, conseqüentemente, um menor consumo de neutralizante. Além disso, o hidroxiclreto de alumínio apresentou, na maioria dos casos, uma maior eficácia na remoção de substâncias coloidais (SCHOENHALS, 2006).

Tanato Quaternário de Amônio – polímero orgânico catiônico

de baixo peso molecular. É um coagulante orgânico derivado do tanino, matéria-prima extraída da casca da acácia negra. Possui origem essencialmente vegetal e não altera o pH do meio (SILVA, 2002).

Os taninos são moléculas fenólicas, encontradas nas formas de monômeros, oligômeros ou polímeros, que possuem a capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais. Estes compostos possuem várias aplicações, como o curtimento de peles animais e o tratamento de esgotos e de águas destinadas ao consumo humano (TANAC, 2003 *apud* CASTRO-SILVA *et al*, 2004).

3.5.2 Princípios da floculação

A floculação é um processo físico onde as partículas coloidais, já desestabilizadas, são colocadas em contato umas com as outras de modo a permitir sua agregação, aumentando o tamanho físico das mesmas e sua distribuição granulométrica. Esta etapa deve ocorrer em mistura lenta, permitindo a formação do floco e evitando a ruptura dos mesmos (FABRETI, 2006).

O nível de intensidade e o tempo de mistura influenciam as características físicas da formação dos flocos. A energia de mistura é comumente denominada *Gradiente de Velocidade*, expressa como G, e é o parâmetro mais importante na cinética de floculação (SCHOENHALS, 2006).

Segundo Fabreti (2006), a colisão entre as partículas ocorre devido a três mecanismos de transporte distintos:

Floculação Pericinéctica: igualmente denominado Movimento Browniano, refere-se ao choque das partículas devido à energia térmica da água que mantém as moléculas em constante movimento, permitindo a agitação entre as partículas e a então formação dos flocos.

Floculação Ortocinéctica: o fluido é mantido em movimento devido à presença de um gradiente de velocidade que favorece o contato entre as partículas.

Floculação por Sedimentação Diferencial: refere-se à colisão das partículas devido às suas diferentes características, como dimensão e peso, que, sob ação da gravidade, sedimentam em velocidades diferentes.

A Figura 4 a seguir apresenta um esquema dos processos de coagulação e floculação ocorridos na adição dos coagulantes e floculantes.

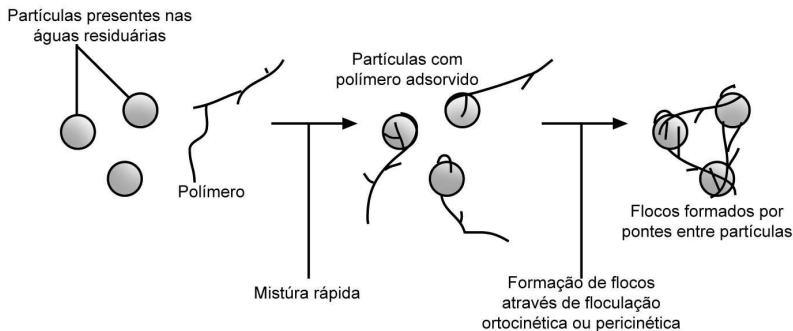


Figura 4 - Esquema do processo de coagulação e floculação.

Fonte: Metcalf e Eddy (2003).

Os polímeros, ou polieletrólitos, utilizados como flocculantes são constituídos de monômeros simples que são polimerizados às substâncias de alto peso molecular. A intensidade de carga depende do grau de ionização dos grupos funcionais, o grau de co-polimerização e/ou da quantidade de grupos substituídos na estrutura do polímero.

Os polímeros são classificados de acordo com suas características iônicas em: catiônicos, aniônicos e naniônicos (ou não-iônicos). Os polímeros catiônicos são aqueles que, quando dissolvidos em água, se ionizam e adquirem carga positiva, atuando como cátions. Os aniônicos, da mesma maneira, adquirem carga negativa e atuam como ânions. O naniônicos não se ionizam em água e não são polieletrólitos, mas são incluídos nessa categoria devido à semelhança de suas aplicações (SCHOENHALS, 2006 e REYNOLDS E RICHARDS, 1996 *apud* FABRETI, 2006).

Para que a aglutinação de partículas suspensas na água ocorra, é necessário que a molécula do polímero seja adsorvida nas superfícies das partículas. Para tanto, são fundamentais a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero. A carga do polímero neutraliza as cargas da matéria em suspensão na água. O grupo funcional, quanto mais atuante, mais facilitará a adsorção das partículas ao polímero (SANTOS FILHO, 1973 *apud* SCHOENHALS, 2006).

O excesso de polímero catiônico adicionado na água a ser tratada confere às partículas suspensas cargas positivas, mantendo-as dispersas. Este fenômeno é denominado “reversão de carga”. Na seqüência, adiciona-se polímero aniônico, neutralizando o excesso de cargas positivas, observando-se então a aglutinação das partículas (DI BERNARDO, 1993 *apud* SCHOENHALS, 2006).

3.5.3 Princípios da flotação

A flotação como tratamento primário é muito aplicado a efluentes com alta carga de óleos e graxas suspensos, como é o caso de efluentes de frigoríficos. Também é muito aplicado em efluentes com algo grau de material espumante, como as águas residuárias de lavanderias (METCALF e EDDY, 2003). No entanto, quando o objetivo é a remoção de óleos e graxas, a presença de detergentes prejudica a flotação, visto que resultam em gotículas de menor tamanho, as quais têm menor velocidade ascensional (IMHOFF, 1986)

Os sólidos com peso específico ligeiramente maiores que 1,0, que necessitam de longo tempo de sedimentação, podem se separar em menos tempo por meio da flotação (METCALF e EDDY, 2003). Para remoção de partículas mais densas que a água, pode-se utilizar a flotação com emprego de insuflação de ar comprimido, cujas bolhas atuam no arraste dos sólidos à superfície englobando-os na superfície (IMHOFF, 1986).

Os sistemas de flotação podem ser classificados em três grandes grupos (FABRETI, 2006):

Flotação Eletrolítica ou Eletroflotação – processo onde as bolhas de H_2 e O_2 são obtidas através da eletrólise da água, aplicado para tratamento de efluentes radioativos, despejos com tintas e emulsões de pintura.

Flotação por Ar Disperso ou por Ar Induzido – as bolhas de ar são introduzidas diretamente na fase líquida através da agitação do líquido à pressão atmosférica e possuem dimensões grandes, da ordem de 0,3 a 2,0 mm de diâmetro.

Flotação por Ar Dissolvido – as bolhas são produzidas pela supersaturação de ar no líquido em uma câmara pressurizada, que, quando submetido à pressão atmosférica, libera microbolhas que aderem à superfície do floco e arrastam para a superfície do líquido.

Há quatro processos envolvidos na flotação (TEIXEIRA, 2003):

- geração de bolhas de tamanho adequado,
- ligação das bolhas ao material a ser flotado,
- separação sólido/líquido ou líquido/líquido,
- remoção do sobrenadante.

Alguns mecanismos de contato entre a bolha e as partículas na flotação são (GOCHIN & SOLARI, 1983 *apud* TEIXEIRA, 2003):

- Colisão da bolha com a partícula: causada pela turbulência ou carga de atração (principal mecanismo de contato);

- Aprisionamento de bolhas pré-formadas na estrutura dos flocos: isto pode ocorrer na formação do floco, durante a quebra do floco e sua reconstituição no interior da câmara de floculação e na ocorrência do efeito de varredura das bolhas em ascensão pelos flocos em sedimentação;
- Crescimento de bolhas por nucleação: que pode ocorrer sobre a superfície dos sólidos no interior da estrutura dos flocos.

Desde a década de 90, a flotação por ar dissolvido (FAD) começou a se firmar como o processo mais eficiente na separação sólido-líquido, no âmbito dos processos de clarificação. A flotação por ar dissolvido, utilizada na separação sólido-líquido, aplica-se a partículas pequenas e leves, diferentemente das características exigidas para o sólido, no processo de sedimentação. Na flotação objetiva-se formar flocos bem menores e, por isto, o tempo de floculação é menor, necessitando de agitação mais intensa. Isto se deve a flotação por ar dissolvido ocorrer com bolhas minúsculas, com diâmetros médios de 70 μm (flotação convencional com bolhas de diâmetros da ordem de 1.000 μm), para poder carrear flocos e não partículas sólidas, como ocorre na convencional. A pressão do saturador é fundamental para a obtenção destas microbolhas (EDZWALD, 1995 *apud* FRANÇA *et al.*, 2004).

O tipo de flotação mais utilizado é a flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do efluente clarificado. A água floculada entra no flotador, passa por uma câmara de mistura com água saturada de ar fornecida pela câmara de saturação. As bolhas de ar são liberadas e se unem aos flocos que flutam e são removidos pelo rodo raspador de lodo e pelo dispositivo de descarga de lodo. Parte da água clarificada segue para fora do flotador enquanto que o restante desta é recirculada e bombeada para a câmara de saturação. Neste local, a água de recirculação é saturada por meio de um compressor de aeração e encaminhada novamente à câmara de mistura. Eventualmente alguns flocos podem sedimentar. Por esta razão o flotador contém uma zona de adensamento de sedimentos e descarga de fundo (LACERDA *et al.*, 1998 *apud* TEIXEIRA, 2003).

Hoje em dia, a FAD é reconhecida por ser um dos mais econômicos e efetivos métodos de recuperação e remoção de sólidos, íons, microrganismo, redução da DQO e DBO e espessamento de lodo no tratamento de efluentes domésticos e estações de tratamento de efluentes urbanos (RUBIO *et al.*, 2002 *apud* FRANÇA *et al.*, 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição do local da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em um frigorífico/abatedouro de aves de médio porte. A indústria possui uma produção de 62.000 frangos abatidos por dia e uma geração média de efluente de 160 m³/h em dois turnos de trabalho, totalizando cerca de 2.560 m³/dia de efluente.

O sistema de tratamento de efluentes do frigorífico é composto por tratamento primário que remove principalmente sólidos, gorduras, e óleos, e tratamento secundário que remove principalmente carga orgânica e nutrientes. O tratamento primário é composto de peneira estática para separação das penas, peneira rotativa e rosca percoladora para separação das vísceras, e flotador a ar dissolvido com adição de agentes químicos. O sistema de tratamento secundário é composto de três lagoas, duas anaeróbias que operam em paralelo e uma facultativa aerada operando em série. O efluente é lançado no Rio Imaruim, que também recebe despejos domésticos da região e é classificado provisoriamente como sendo um rio Classe II. Durante alguns anos o tratamento primário apresentou problemas, que permitiram o escape de gordura para o tratamento secundário, e ocasionaram o acúmulo de material rançoso nas lagoas de tratamento. Devido à alta carga do efluente e à redução da eficiência do sistema de lagoas devido ao material nelas acumulado, o sistema atualmente empregado não é suficiente para manter todos os parâmetros dentro da exigência legal para lançamento no corpo hídrico.

Para enquadramento do efluente dentro dos padrões estabelecidos, o presente estudo avaliou a aplicação de um tratamento avançado, composto de sistema de flotação por ar dissolvido com adição de agentes coagulantes e floculantes.

A Figura 5 apresenta o fluxograma do sistema de tratamento da indústria em estudo atual e proposto.

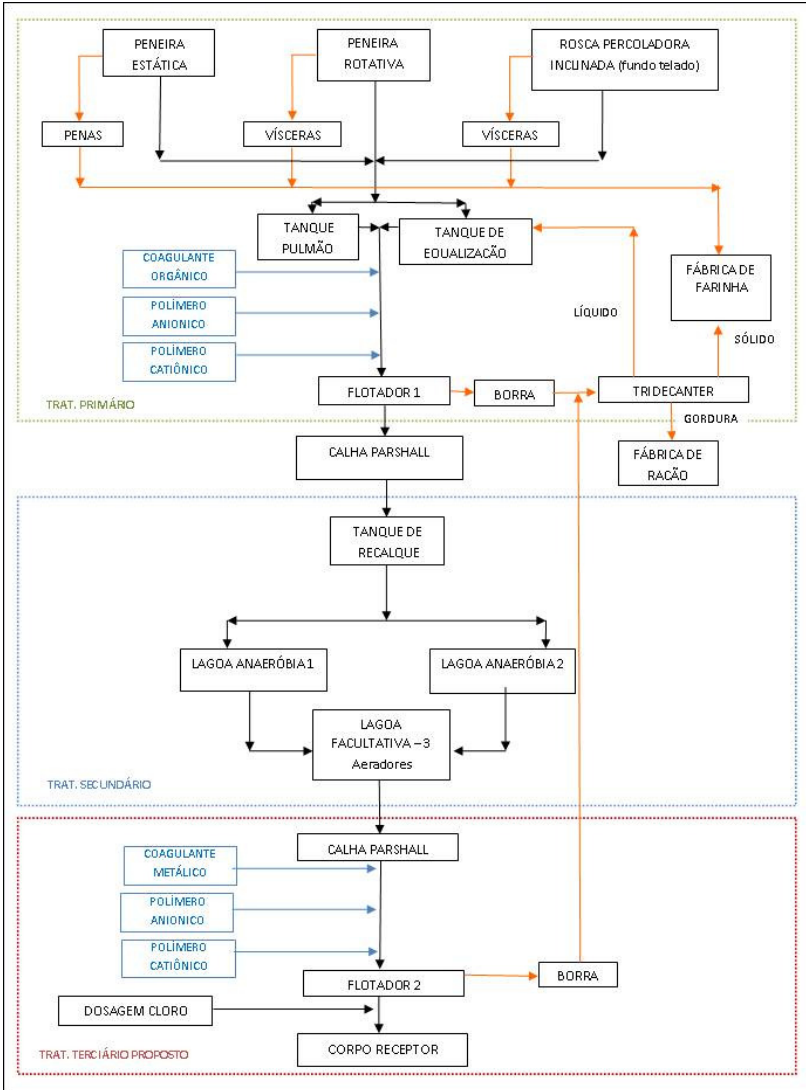


Figura 5 - Fluxograma do Sistema de Tratamento.

O estudo foi desenvolvido com o efluente da lagoa facultativa aerada com a finalidade de avaliar o tratamento avançado a ser implantado na Estação de Tratamento de Efluentes da indústria.

4.2 Materiais

4.2.1 Agentes de coagulação e floculação

Os produtos químicos coagulantes e floculantes foram selecionados com base em suas características físico-químicas, com a finalidade de estudar a capacidade de diferentes tipos de produtos oferecidos no mercado na remoção de poluentes. Os produtos estudados, bem como suas características, são apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Características dos produtos testados na 1ª Etapa

Produto	Nome	Tipo	Fabricante	Densidade (kg/m ³)	Aparência	Peso Molecular Relativo
A130	Poliacrilamida	Polímero Aniônico	CYTEC	850 +/- 50	pó	Alto
C496	Poliacrilamida	Polímero Catiônico	CYTEC	750 +/- 50	pó	Muito Alto
PAC 18	Policloreto de Alumínio	Coagulante Catiônico	FAXON	1350 - 1370	líquido	-
Sulfato Férrico	Sulfato férrico	Coagulante	FAXON	1590	líquido	-
Tanfloc SG	Tanato Quaternário de Amônio	Coagulante Catiônico	TANAC	1100	líquido	Baixo

A escolha dos produtos baseou-se na indicação da empresa de consultoria ambiental que atua no abatedouro, devido à vasta experiência em sistemas de tratamento físico químico.

4.2.2 Testes de jarros

Os Testes de Jarros foram realizados com equipamento portátil em bancada especialmente montada para este fim na própria indústria em estudo. O equipamento utilizado é da marca *AeF Machine Products CO.*

4.2.3 Unidade de flotação

O equipamento para testes em escala real foi instalado na empresa em junho/2008. O flotador a ar dissolvido utilizado, Marca GRATT, modelo CMT 150, é fabricado em aço inox AINSI 304. Possui 10 metros de comprimento útil, 2,5 de largura útil e altura variável devido ao fundo inclinado.

Possui dispositivo de descarga de lodo decantado (descarga de fundo) e conjunto raspador de borra flotada com moto-redutor de 2 CV e velocidade de 4 m/min.

O sistema de geração de ar dissolvido é composto por uma bomba da marca GRATT, modelo GMT 25, com motor elétrico de 25 CV, 2 pólos, 3500 rpm, e tubo saturador, que opera com pressão de operação de 3,5 kgf/m².



Figura 6 - Unidade de Flotação Estudada.

4.3 Métodos

4.3.1 Fluxograma da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: a primeira em escala laboratorial, através de ensaios de coagulação e floculação em Testes de

Jarros; a segunda e a terceira em escala real, com equipamento instalado no pátio da empresa. A Figura a seguir apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas nas três etapas do estudo:

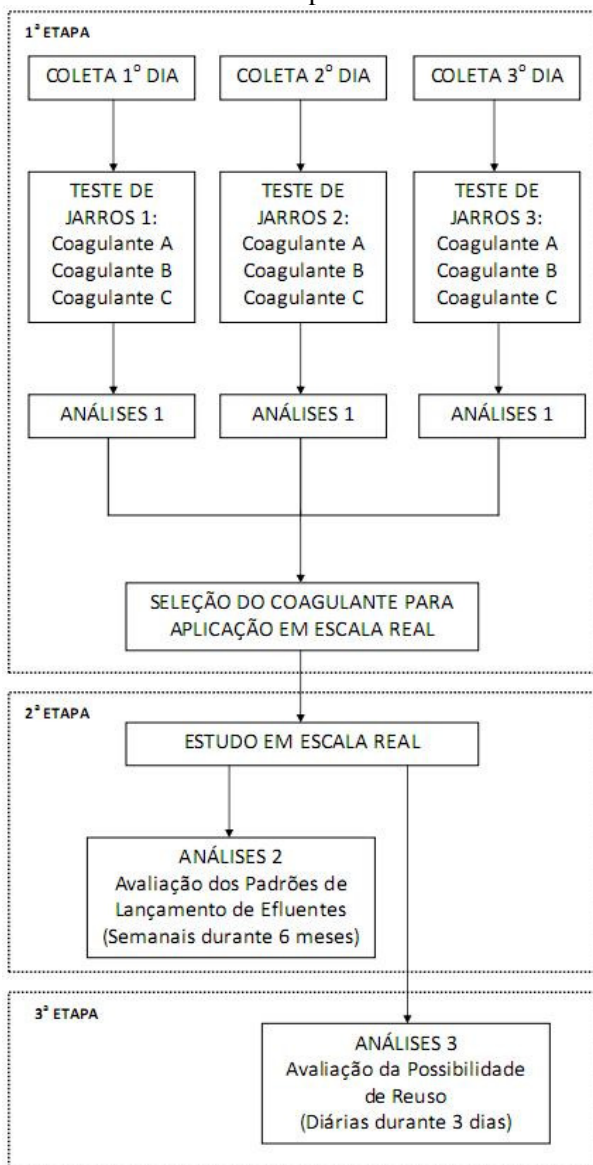


Figura 7 - Fluxograma do estudo proposto.

Na primeira etapa foram avaliados três diferentes coagulantes atuando com dois flocculantes em amostras de três dias consecutivos. Após a realização das análises laboratoriais das amostras de cada teste realizado, foi selecionado o coagulante de maior eficiência para aplicação nas etapas em escala real.

Na segunda etapa o efluente da lagoa facultativa teve parte da sua vazão desviada para o flotor terciário para avaliação do coagulante selecionado em escala real. Foram realizadas coletas semanais na entrada e saída do equipamento de flotação durante 6 meses e analisados os parâmetros exigidos como padrões de lançamento de efluentes no estado de Santa Catarina.

Na terceira etapa foram realizadas coletas na entrada e saída do equipamento de flotação durante três dias e analisados os parâmetros exigidos como padrões de qualidade da água para abatedouro de aves, definidos pelo RISPOA, a fim de avaliar a possibilidade de reúso.

4.3.2 Coleta de amostras

Para realização da primeira etapa do estudo, as amostras foram coletadas na saída da última lagoa de tratamento, na calha Parshall, antes da cloração. O ponto de coleta está indicado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Foi utilizado o método de amostragem simples (coleta pontual). As amostras foram tomadas no período da manhã, entre 8:00 e 8:30 horas com auxílio de uma bombona de 25 litros, em três diferentes dias da semana, com o objetivo de contemplar as variações da qualidade do efluente ao longo da semana. Devido ao processo parar durante os finais de semana, foram escolhidos os dias mais críticos para realização da coleta das amostras, sendo estes quarta, quinta e sexta-feira.



Figura 8 - Foto aérea do tratamento secundário e do ponto de coleta.

As amostras para avaliação do sistema de flotação em escala real, segunda e terceira etapas do estudo, foram coletadas no tanque de recalque de efluente para o flotador, após a lagoa facultativa aerada, e na calha Parshall após o flotador, antes do sistema de cloração. As coletas das amostras foram realizadas pelos técnicos do laboratório *QMC Saneamento Laboratório de Análises*.

Os frascos para armazenamento das amostras foram fornecidos pelo próprio laboratório, devidamente limpos e preparados para cada tipo de análise. O transporte e conservação das amostras seguiram recomendações do *Standard Methods of Examination for Water and Wastewater* (APHA, 1998).

4.3.3 Teste de jarros (1a Etapa)

Em cada jarro foi adicionado 500 mL do efluente. Em seguida, a cada um dos jarros foram dosadas as quantidades pré-determinadas de coagulante com agitação de 100 rpm para propiciar a mistura rápida durante 1 minuto. Em seguida foi adicionada certa quantidade do floculante auxiliar com agitação menos intensa, de 40 rpm, para provimento de um menor gradiente de velocidade para formação dos flocos.

Por solicitação da empresa, devido às práticas já empregadas no tratamento primário, onde a combinação de coagulante com polímeros aniônico e catiônico representam boa eficiência de remoção de poluentes, foram testados no tratamento proposto os mesmos polímeros de maneira combinada com cada coagulante estudado, com o objetivo

de avaliar os coagulantes aplicados. Desta forma, foram testadas as seguintes combinações:

- I. A130 + C496 + PAC
- II. A130 + C496 + Sulfato Férrico
- III. A130 + C496 + Tanfloc SG

Para definir as dosagens a serem aplicadas no estudo, foram realizados testes preliminares no primeiro dia dos ensaios. A escolha dos produtos e dosagens baseou-se na experiência previa da empresa que presta consultoria ambiental ao abatedouro e na avaliação visual da clarificação do efluente e formação de flocos. Inicialmente foram aplicadas dosagens entre 0,5 e 2 mg/L de cada polímero e entre 50 e 300 mg/L de cada coagulante. Para cada produto, foi escolhida a melhor dosagem, correspondente à melhor clarificação da fase líquida (transparência e ausência de sólidos suspensos no líquido) e à melhor formação de flocos (densidade e tamanho dos flocos). Determinados visualmente os melhores produtos e dosagens, foram escolhidos os três de melhor desempenho, com a dosagem determinada, e em seguida passou-se ao estudo de avaliação propriamente dita dos mesmos. Assim, foram testadas as dosagens de produtos químicos apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Produtos e dosagens testados na 1^a Etapa

Produto	Tipo	Dosagem
A130	Polímero Aniônico	1,7 mg.L ⁻¹
C496	Polímero Catiônico	0,75 mg.L ⁻¹
PAC 18	Coagulante	204 mg.L ⁻¹
Sulfato Férrico	Coagulante	238 mg.L ⁻¹
Tanfloc SG	Coagulante	165 mg.L ⁻¹

Todos os testes foram realizados mantendo-se ambos os polímeros e variando os coagulantes. Em todos os ensaios o pH foi controlado mantendo-o próximo da neutralidade.

Após o teste, cada amostra seguiu imediatamente para o laboratório de análises para avaliação do rendimento na redução de carga, sempre descartando o sobrenadante flotado e o floco sedimentado

através de filtração em pano do tipo Perflex, composto de 100% viscosa e resina.

4.3.4 Sistema de flotação em escala real (2ª e 3ª Etapas)

Durante o primeiro mês após a instalação do equipamento, foram realizados testes para ajustes operacionais do sistema de geração de ar dissolvido, sistema de coagulação e floculação e sistema de raspagem de borra flotada.

Durante os testes em escala real, o equipamento operou com vazão de 50 m³/h. A opção por não realizar os testes com 100% da vazão da empresa foi por motivos de precaução, visto que, em estudos em escala real, é importante garantir que eventuais desajustes não venham a comprometer a qualidade do efluente lançado e a qualidade do corpo receptor.

As dosagens foram inicialmente aplicadas conforme os estudos de teste de jarros, etapa 1 deste trabalho. A partir do início do processo, passou-se a ajustar as dosagens de coagulante e polímeros visualmente, observando a melhor formação de flocos e capacidade de remoção no flotador, com avaliações de sólidos suspensos em Cone Imhoff no efluente coletado na saída do flotador.

Tabela 9 - Produtos e dosagens testados na 2ª Etapa.

Produto	Tipo	Dosagem
A130	Polímero Aniônico	10 mg.L ⁻¹
C496	Polímero Catiônico	8 mg.L ⁻¹
PAC 18	Coagulante	204 mg.L ⁻¹

4.3.5 Análises laboratoriais

As análises foram realizadas pelo laboratório *QMC Saneamento Laboratório de Análises*. Os frascos para armazenamento das amostras foram fornecidos pelo laboratório devidamente limpos e preparados para cada tipo de análise. As amostras do efluente antes e depois dos ensaios foram encaminhadas imediatamente após a realização dos testes ao

laboratório, acondicionadas em caixas de isopor com gelo. O transporte e conservação das amostras seguiram recomendações do *Standard Methods of Examination for Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Na etapa de teste de jarros, os parâmetros foram analisados tanto no efluente bruto (saída das lagoas), quanto no efluente tratado (Jar Test). Nas etapas de avaliação do equipamento em escala real, os parâmetros foram analisados tanto no efluente bruto (saída das lagoas), quanto no efluente tratado (saída do flotor terciário).

Na 2ª etapa do estudo foram analisados os parâmetros de lançamento de efluentes, com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema como tratamento avançado. Na 3ª etapa do estudo foram analisados os parâmetros exigidos pelo RIISPOA como padrões de qualidade da água para abatedouros, com o objetivo de verificar a possibilidade de realização de reúso para fins menos nobres. As metodologias de análises foram baseadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WPCF*, 20ª edição (APHA, 1998). As Tabelas 10, 11 e 12 a seguir apresentam as análises realizadas na 1ª, 2ª e 3ª etapas, respectivamente, e as metodologias de análises aplicadas.

Tabela 10 - Parâmetros analisados na primeira etapa e respectivas metodologias de análise.

Parâmetro	Unidade	Metodologia
Óleos e Graxas	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5520-B Partition-gravimetric method
Sólidos Totais Dissolvidos	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2540 Total Solids Dried at 103-105°C
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2540-D Total suspended solids dried at 103-105°C
Coliformes Fecais	Unidades / 100 ml	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation
Coliformes totais	Unidades / 100 ml	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-P Stannous chloride method
Nitrogênio Amoniacal	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NH ₃ Phenate Method

Continua...

Parâmetro	Unidade	Metodologia
Continuação...		
Nitrato	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NO ₃ Cadmium Reduction Method
Nitrito	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NO ₂ Colorimetric Method
DQO	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5220 Closed reflux titrimetric method
Condutividade	mS.cm ⁻¹	Ref. n. 2520-B Electrical Conductivity Method
Turbidez	UT (Unidade de turbidez)	Ref. n. 2130-B Nephelometric Method
Sulfatos	g.L ⁻¹	Ref. n. 4500-SO ₄ Turbidimetric Method
Cor	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2120-B Visual Comparison Method
pH	-	Ref.n.4500-H Electrometric method

Tabela 11 - Parâmetros analisados na segunda etapa e respectivas metodologias de análise.

Parâmetro	Unidade	Metodologia
Óleos e Graxas	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5520-B Partition-gravimetric method
Coliformes Fecais	Unidades / 100 ml	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation technique
Coliformes totais	Unidades / 100 ml	Ref. n. 9221-A Multiple-tube fermentation technique
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-P Stannous chloride method
Nitrogênio Amoniacal	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NH ₃ Phenate Method
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-N Macro-kjeldahl method
DBO	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5210-B 5-day BOD test
DQO	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5220 Closed reflux titrimetric method
pH	-	Ref. n.4500-H Electrometric method
Sólidos Sedimentáveis	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2540-F Settleable solids

Tabela 12 - Parâmetros analisados na segunda etapa e respectivas metodologias de análise.

Parâmetro	Unidade	Metodologia
D.Q.O.	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5220 D Closed Reflux Colorimetric Method.
D.B.O	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5210-b 5-day BOD test
pH	-	Ref. n.4500-H Electrometric Method
Óleos e Graxas	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5520-B Partition-Gravimetric Method
Nitrito	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NO2 Colorimetric Method
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2540-D Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-NH3 Phenate Method
Sulfato	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-SO4 Turbidimetric Method
Arsênio	mg.L ⁻¹	Ref. n.3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.
Chumbo	mg.L ⁻¹	Ref. n.3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.
Cobre	mg.L ⁻¹	Ref. n.3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.
Fluoretos	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-F Ion Selective Electrode Method
Selênio	mg.L ⁻¹	Ref. n.3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.
Zinco	mg.L ⁻¹	Ref. n.3111 Metals By Flame Atomic Absorption Spectrometry Met.
Fenóis	mg.L ⁻¹	Ref. n. 5530 C Chloroform Extration Method
Turbidez	UT (Un. de turbidez)	Ref. n.2130-B Nephelometric Method
Magnésio	mg.L ⁻¹	Ref. n. 3500Mg Calculation Method
Dureza	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2340 EDTA Titrimetric Method
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	Ref. n. 9221-A Multiple-tube Fermentation Technique
Matéria orgânica	mg.L ⁻¹	Ref. 5220 C. Closed Reflux, Titrimetric Method
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Ref. n. 2540-A Solids
Cloro	mg.L ⁻¹	Ref. n. 4500-Cl G DPD Colorimetric Method

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação dos testes em bancada

A caracterização do efluente bruto, correspondente à saída da lagoa facultativa aerada, em cada dia de coleta revelou que alguns parâmetros variam bastante ao longo dos dias. Esta variação está ligada principalmente às condições climáticas, que muito influenciam os sistemas de lagoas de estabilização. A Tabela 13 a seguir apresenta os resultados obtidos nas análises do efluente bruto (saída da lagoa facultativa e entrada no tratamento avançado em estudo).

Tabela 13 - Resultados obtidos nas análises das amostras do efluente bruto nos três dias de estudo da primeira etapa.

Parâmetros Analisados	Bruto 1*	Bruto 2**	Bruto 3***	Média
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	106,80	97,90	102,50	102,40
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,14	1,14	1,28	1,19
Nitrito (mg.L ⁻¹)	inferior a 0,01	inferior a 0,01	1,55	0,52
pH	7,12	7,33	7,38	7,28
Sólido total dissolvido (mg.L ⁻¹)	899,00	485,00	515,00	633,00
Sólido suspenso total (mg.L ⁻¹)	74,00	27,00	15,00	38,67
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	340,00	85,50	160,00	195,17
DQO (mg.L ⁻¹)	932,00	745,80	302,40	660,07
Coliforme total (NMP/100ml)	400000,00	1700000,00	160000,00	753333,33
Coliforme fecal (NMP/100ml)	10000,00	260000,00	50000,00	106666,67
Condutividade a 250 C (mS.cm ⁻¹)	0,90	0,92	0,92	0,91
Turbidez (NTU)	483,62	543,50	89,81	372,31
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	24,00	inferior a 3,0	inferior a 3,0	9,93
Cor (mg.L ⁻¹)	80,00	250,00	115,00	148,33
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	13,76	4,03	2,56	6,78

*coletado no 1º dia; **coletado no 2º dia; ***coletado no 3º dia.

Os resultados mostram que o efluente bruto, considerando que o mesmo já passou pelo sistema de tratamento primário e secundário, contém muitos compostos nitrogenados, com alto teor de nitrogênio

amoniacoal, alto teor de sólidos dissolvidos, de óleos e graxas, DQO e turbidez. Isto revela a importância da instalação do tratamento avançado no sistema.

5.1.1 Primeiro dia de testes

No primeiro dia de testes, os produtos que apresentaram visualmente a maior clarificação do efluente, ou seja, maior transparência e ausência de sólidos suspensos no líquido, foram o PAC e o Sulfato Férrico, sendo que o sulfato férrico apresentou uma ótima aglomeração dos flocos, como pode ser visualizado na Figura 9.

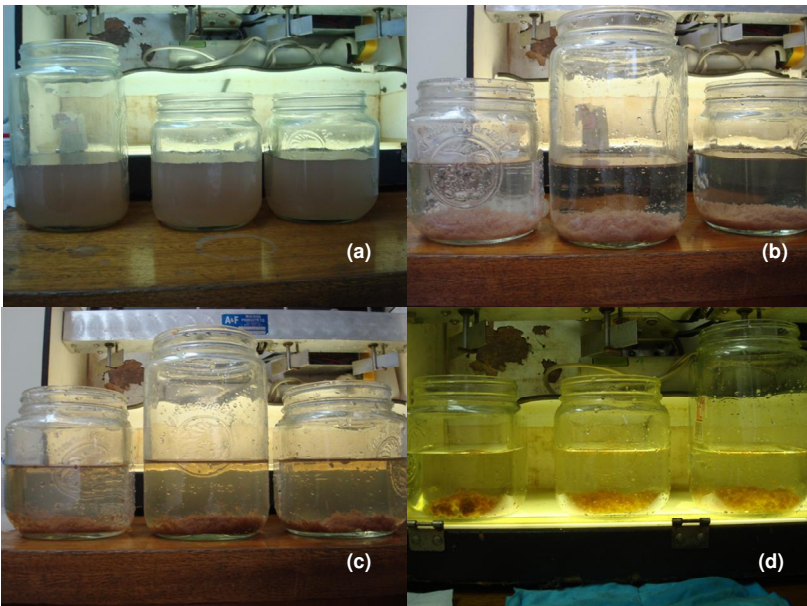


Figura 9 - Primeiro dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato Férrico.

Os resultados obtidos no primeiro dia de testes, apresentados na Tabela 14, mostram que, analiticamente, os produtos PAC e sulfato férrico foram os que apresentaram as melhores performances para os parâmetros nitrato, DQO, Coliformes totais e fecais, turbidez e fósforo total.

Tabela 14 - Resultados obtidos no primeiro dia de testes.

Parâmetros Analisados	Bruto 1	PAC	Tanfloc SG	Sulfato Férrico	Eficiência PAC	Eficiência Tanfloc	Eficiência Sulfato Férrico
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	106,80	97,90	106,80	538,45	8,3%	0,0%	Incrementou 5 vezes
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,14	0,28	0,57	0,29	75,4%	50,0%	74,56%
Nitrito (mg.L ⁻¹)	inferior a 0,01	0,05	0,20	0,06	Incrementou 5 vezes	Incrementou 20 vezes	Incrementou 6 vezes
pH	7,12	6,77	8,32	6,31	-	-	-
Sólido total dissolvido (mg.L ⁻¹)	899,00	622,00	846,00	860,00	30,8%	5,9%	4,34%
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	74,00	24,00	37,00	60,00	67,6%	50,0%	18,92%
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	340,00	42,50	35,00	30,00	87,5%	89,7%	91,18%
DQO (mg.L ⁻¹)	932,00	34,56	77,76	8,00	96,3%	91,7%	99,14%
Coliforme total (NMP/100ml)	400000,00	500,00	700,00	5000,00	99,9%	99,8%	98,75%
Coliforme fecal (NMP/100ml)	10000,00	210,00	500,00	170,00	97,9%	95,0%	98,30%
Condutividade a 25 ^o C (mS/cm)	0,90	0,98	1,01	1,01	Incrementou 1,09 vezes	Incrementou 1,12 vezes	Incrementou 1,13 vezes
Turbidez (NTU)	483,62	7,33	20,80	15,10	98,5%	95,7%	96,88%
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	24,00	inferior a 3,0	inferior a 3,0	171,00	87,9%	87,9%	Incrementou 7 vezes
Cor (mg.L ⁻¹)	80,00	inferior a 2,50	10,00	inferior a 2,50	96,9%	87,5%	96,89%
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	13,76	0,05	2,56	0,64	99,6%	81,4%	95,35%

As eficiências apresentadas foram calculadas a partir da diferença entre o valor encontrado na amostra do Efluente Bruto (Bruto 1) e o resultado obtido após o tratamento com cada coagulante. Desta forma, as porcentagens apresentadas representam a eficiência de remoção obtida nos testes com cada produto, para cada parâmetro estudado:

$$E(\%) = \frac{(E - S_n)}{E} \times 100$$

Onde:

E = Valor obtido no Bruto

Sn = Valor obtido após o teste, sendo n = (PAC, sulfato ou TANFLOC)

A partir dos dados analíticos verificou-se que o produto com maior remoção de turbidez foi o PAC, com 98,5% de remoção. O produto apresentou também maior percentual de remoção em quase todos os demais parâmetros, especialmente o Fósforo Total, que removeu quase 100%.

O sulfato férrico apresentou ótima remoção de óleos e graxas, com 91% de remoção, DQO, com 99%, coliformes totais e fecais com 98%, turbidez e cor com 97% e fósforo total com 95%. Em contrapartida, o sulfato férrico incrementou os teores de nitrogênio amoniacal, nitrito, condutividade e sulfatos. O incremento de nitrogênio amoniacal é provavelmente devido à transformação da matéria orgânica nitrogenada, proveniente do material protéico presente no efluente, em amônia antes da execução das análises laboratoriais. Da mesma maneira o incremento de nitrito pode ter sido proveniente das transformações do nitrogênio amoniacal antes da realização das análises. Os incrementos observados nos teores de sulfato e de condutividade são provavelmente devido ao próprio sulfato férrico.

No primeiro dia de testes, o produto tanfloc apresentou boas eficiências em remoção de sólidos suspensos totais, alcançando o valor percentual de 50%, óleos e graxas com 89,7% de remoção, DQO com 91,7% e fósforo total com 81,4%.

Morgan *et al* (2003), ao utilizar em estudos com testes de jarros o processo físico-químico para tratamento avançado de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, obteve, para uma dosagem de 80 mg/L de tanfloc eficiências de remoção de 92,7 % de turbidez, valor próximo ao encontrado neste trabalho e 45,9% de DQO, valor bastante inferior ao encontrado neste trabalho. Utilizando um produto semelhante ao PAC, com uma dosagem de 40 mg/L, a mesma autora obteve eficiências de remoção de 99,5% de turbidez, valor muito próximo ao encontrado neste estudo, 84,1% de sólidos suspensos totais, 51,2% de DQO e 74% de fósforo total, valores abaixo dos encontrados neste primeiro dia de testes.

5.1.2 Segundo dia de testes

No segundo dia de testes, visualmente o PAC e o sulfato férrico foram os produtos que apresentaram maior clarificação do efluente, com boa transparência do líquido. O Tanfloc, no entanto, apresentou melhor aglomeração dos flocos.

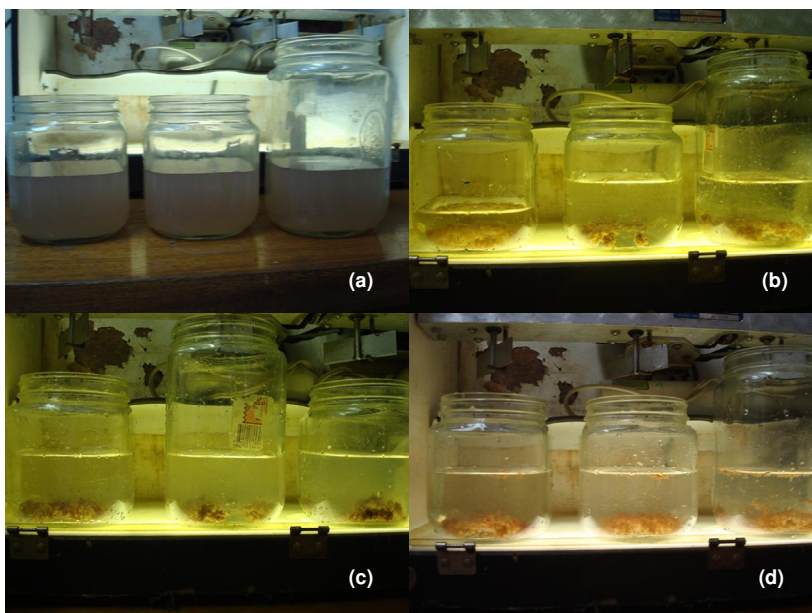


Figura 10 - Segundo dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato Férrico.

Na avaliação das análises laboratoriais, novamente o sulfato férrico e o PAC foram os que apresentaram maiores taxas de remoção, sendo o PAC o que apresentou melhor desempenho. A Tabela 15 a seguir apresenta os resultados analíticos do segundo dia de testes.

Tabela 15 - Resultados obtidos no segundo dia de testes.

Parâmetros Analisados	Bruto 2	PAC	Tanfloc SG	Sulfato Férrico	Eficiência PAC	Eficiência Tanfloc	Eficiência Sulfato Férrico
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	97,90	71,20	97,00	102,35	27,3%	0,92%	Incrementou 1,04 vezes
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,14	0,28	0,28	0,27	75,4%	75,44%	76,3%
Nitrito (mg.L ⁻¹)	inferior a 0,01	inferior a 0,01	inferior a 0,01	inferior a 0,01	-	-	-
pH	7,33	7,03	7,40	6,37	-	-	-
Sólido total dissolvido (mg.L ⁻¹)	485,00	343,00	319,00	501,00	29,3%	34,23%	Incrementou 1,03 vezes
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	27,00	8,00	16,00	5,00	70,4%	40,74%	81,5%
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	85,50	10,50	16,50	8,50	87,7%	80,70%	90,1%
DQO (mg.L ⁻¹)	745,80	214,50	540,90	216,40	71,2%	27,47%	71,0%
Coliforme total (NMP/100ml)	1700000,00	9000,00	1300,00	2400,00	99,5%	99,92%	99,9%
Coliforme fecal (NMP/100ml)	260000,00	1700,00	500,00	2400,00	99,3%	99,81%	99,1%
Condutividade a 25 ^o C (mS/cm)	0,92	0,99	0,95	1,04	Incrementou 1,07 vezes	Incrementou 1,03 vezes	Incrementou 1,12 vezes
Turbidez (NTU)	543,50	5,16	15,10	9,47	99,1%	97,22%	98,3%
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	inferior a 3,0	inferior a 3,0	inferior a 3,0	163,00	-	-	Incrementou 54 vezes
Cor (mg.L ⁻¹)	250,00	5,00	10,00	2,50	98,0%	96,00%	99,0%
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	4,03	0,05	2,82	0,05	98,8%	30,02%	98,8%

Da mesma maneira que na Tabela 12, as eficiências apresentadas foram calculadas a partir da diferença entre o valor encontrado na amostra do Efluente Bruto (Bruto 2) e o resultado obtido após o tratamento com cada coagulante, representando a eficiência de remoção obtida nos testes com cada produto, para cada parâmetro estudado.

Em termos de remoção de fósforo, tanto o PAC quanto o sulfato férrico apresentaram a eficiência de 98,8%. O Tanfloc não apresentou remoção suficiente para manter os teores de fósforo abaixo do padrão de lançamento, estabelecido em 1 mg/L. Embora o Tanfloc tenha sido o

produto que apresentou maior remoção de sólidos dissolvidos totais, o produto teve baixa eficiência de remoção de sólidos suspensos totais e DQO, com 40,7% e 27,5% respectivamente, valores bastante divergentes dos encontrados no primeiro dia de testes.

Os três produtos testados apresentaram praticamente a mesma eficiência em termos de remoção de nitrato, 75-76%, e coliformes, com 99%. Novamente o sulfato férrico incrementou ao efluente os teores de nitrogênio amoniacal, sulfatos e condutividade, provavelmente devido aos fatores já explicados anteriormente.

Com relação à remoção de sólidos, no segundo dia de testes o sulfato férrico apresentou o melhor desempenho em termos de remoção de sólidos dissolvidos, com 81,5%. Aguilar *et al.* (2003), *apud* De Sena (2005), realizaram um estudo com efluentes frigoríficos, onde, dentre vários produtos, a combinação entre o sulfato férrico e agentes de floculação foi a que apresentou os melhores resultados quanto à remoção de sólidos, alcançando 99%. Segundo o trabalho, a eficiência do sulfato férrico deve-se, principalmente, à presença dos ânions SO_4^{2-} , que favorecem o processo de coagulação por estender a amplitude de pH ótimo de formação dos flocos. As diferenças nas eficiências encontradas entre este trabalho e o de AGUILAR *et al.* (2003), podem ser devido à escolha dos agentes de floculação e pelas características de cada efluente.

5.1.3 Terceiro dia de testes

No terceiro dia de ensaios, o PAC foi claramente o que apresentou maior desempenho no teste visual. O sulfato férrico apresentou a maior turbidez no clarificado dentre os três produtos testados, como se pode visualizar na Figura 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

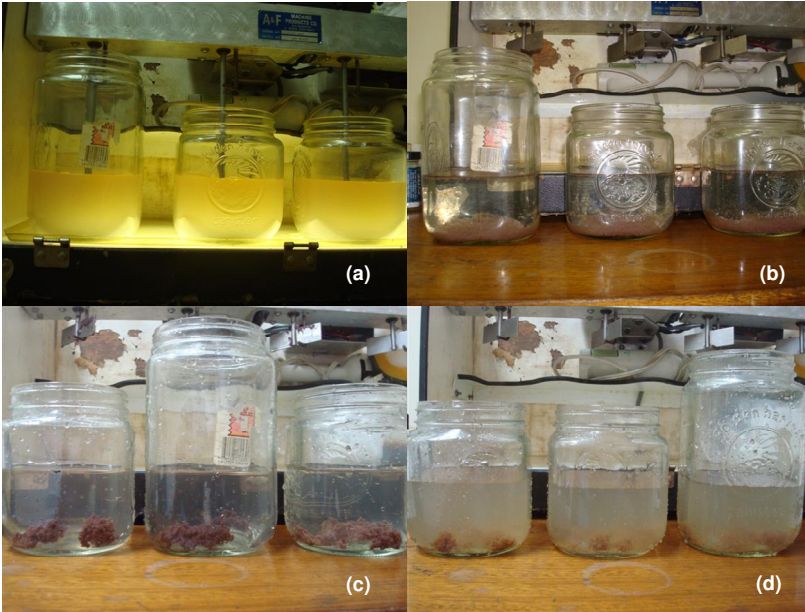


Figura 11 - Terceiro dia de testes. a) Bruto, b) PAC, c) Tanfloc, d) Sulfato.

As análises laboratoriais, apresentadas na Tabela 16, novamente indicaram que o PAC foi o produto de melhor desempenho. O Tanfloc foi o que apresentou uma maior remoção de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, o que apresentou menor condutividade no efluente final. Em contrapartida, foi o que apresentou menor remoção de sólidos suspensos. Os produtos PAC e Sulfato férrico apresentaram incremento de sulfatos no clarificado da amostra tratada.

Cruz *et al* (2005), ao utilizar tanfloc como coagulante no processo físico-químico para tratamento de efluente de lavanderia industrial, obteve, para uma dosagem de 166 mg.L^{-1} de tanfloc e 2 mg.L^{-1} de polímero aniônico, 83% de remoção de DQO, mesma eficiência obtida no terceiro dia de testes com este produto neste estudo, 96% de remoção de turbidez, eficiência semelhante à encontrada no primeiro e no segundo dias de teste e 54% de remoção de sólidos suspensos, semelhante ao encontrado no segundo dia de testes neste estudo.

Tabela 16 - Resultados obtidos no terceiro dia de testes.

Parâmetros Analisados	Bruto 3	PAC	Tanfloc SG	Sulfato Férrico	Eficiência PAC	Eficiência Tanfloc	Eficiência Sulfato Férrico
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	102,50	68,33	82,00	82,98	33,3%	20,00%	19,0%
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,28	0,27	0,42	0,71	78,9%	67,19%	44,5%
Nitrito (mg.L ⁻¹)	1,55	0,10	0,20	0,45	93,5%	87,1%	71,0%
pH	7,38	7,22	7,54	7,09	-	-	-
Sólido total dissolvido (mg.L ⁻¹)	515,00	346,00	174,00	419,00	32,8%	66,21%	18,6%
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	15,00	2,00	14,00	9,00	86,7%	6,67%	40,0%
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	160,00	24,50	24,00	30,00	84,7%	85,00%	81,3%
DQO (mg.L ⁻¹)	302,40	28,02	50,35	95,04	90,7%	83,35%	68,6%
Coliforme total (NMP/100ml)	160000,00	230,00	300,00	30000,00	99,9%	99,81%	81,3%
Coliforme fecal (NMP/100ml)	50000,00	80,00	130,00	7000,00	99,8%	99,74%	86,0%
Condutividade a 25 ^o C (mS/cm)	0,92	0,97	0,94	0,99	Incrementou 1,06 vezes	Incrementou 1,03 vezes	Incrementou 1,08 vezes
Turbidez (NTU)	89,81	6,32	17,88	58,07	93,0%	80,09%	35,3%
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	inferior a 3,0	10,80	inferior a 3,0	29,70	Incrementou 3,6 vezes	-	Incrementou 9,9 vezes
Cor (mg.L ⁻¹)	115,00	inferior a 2,50	7,50	35,00	97,8%	93,48%	69,6%
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	2,56	0,06	2,30	0,77	97,7%	10,16%	69,9%

5.1.4 Comparativo dos produtos estudados

O gráfico a seguir apresenta as eficiências de remoção dos parâmetros analisados com base nos valores médios dos três dias de testes:

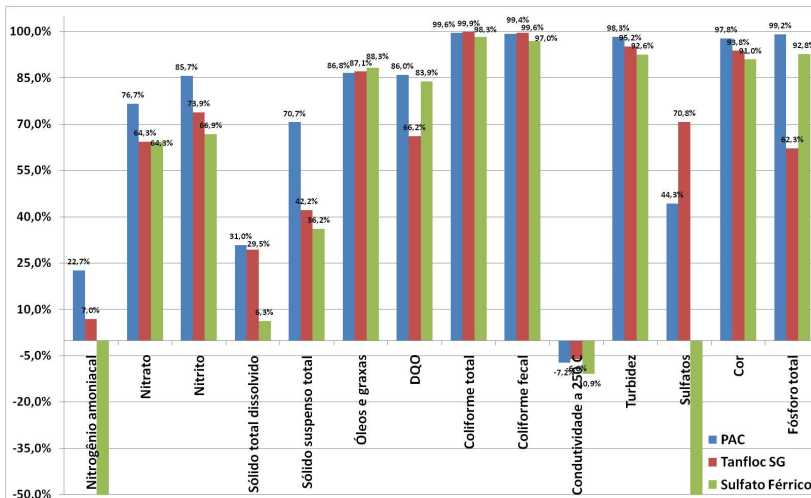


Figura 12 - Eficiências médias obtidas na primeira etapa.

Todos os coagulantes, conjuntamente com os floculantes utilizados elevaram o parâmetro condutividade, o que significa que os produtos aumentaram a quantidade de íons na água devido à desestabilização das partículas.

O coagulante PAC obteve maior eficiência na remoção de quase todos os parâmetros, com exceção de: coliformes, com uma diferença mínima para o Tanfloc, sulfatos, o qual o coagulante Tanfloc obteve a maior eficiência e óleos e graxas, com mínima diferença para o sulfato férrico.

O coagulante orgânico Tanfloc SG apresentou boas eficiências, porém para sua utilização como tratamento avançado o coagulante deixou a desejar nos parâmetros fósforo total e nitrogênio amoniacal. A adição de Tanfloc mostrou-se pouco eficiente na remoção de fósforo total por tratar-se de um produto natural e orgânico, extraído de vegetais, que possui fósforo em sua composição. O produto pode ser uma boa alternativa para os casos onde o destino final da borra segregada no flotor, ou mesmo no decantador, exige sua não contaminação com metais e demais constituintes dos coagulantes inorgânicos. Neste caso, é necessário agregar uma segunda tecnologia no tratamento avançado para enquadramento destes parâmetros nos padrões de lançamento de efluentes.

O sulfato férrico foi o produto que apresentou a maior remoção de óleos e graxas, com 88% de remoção. Em contrapartida, os valores

de remoção de nitrogênio amoniacal e sulfatos obtidos nos testes com sulfato férrico apresentaram mais de 50% de incremento de carga, o que torna o produto inviável para a aplicação neste caso. Para viabilizar sua utilização é necessário um estudo mais aprofundado da influência das dosagens de sulfato férrico com as características deste efluente e todas as interações envolvidas, como pH do efluente, agentes flocculantes envolvidos, dosagens, dentre outros.

A remoção de nitrogênio através de processo de coagulação/floculação é relacionada à remoção de material coloidal, sendo removidos neste caso principalmente nitritos e nitratos, conforme foi comprovado através dos resultados obtidos. Estas formas de nitrogênio representam o conteúdo de proteínas, que podem ser consideradas parcialmente hidrofóbicas e parcialmente hidrofílicas (ligações de peptídeos, grupos amino e carboxílicos). Assim, independente do produto químico aplicado, é necessário melhorias no tratamento secundário ou incremento de tecnologias ao tratamento avançado para remoção de nitrogênio amoniacal, parâmetro pouco removido no sistema físico-químico.

Shoenhals (2006), ao realizar estudos de coagulação e floculação em testes de jarros utilizando uma dosagem de 25 mg.L^{-1} de sulfato férrico, 25 mg.L^{-1} de cloreto férrico e 80 mg.L^{-1} de PAC, aplicando agentes flocculantes para tratamento de efluente bruto de abatedouro avícola, obteve redução de 95% de remoção de fósforo total com sulfato férrico, 92,5% com cloreto férrico e 92,5% com PAC. As eficiências de remoção deste parâmetro neste estudo foi praticamente a mesma para o sulfato férrico, com 92,8%, e superior para o PAC, com 99,2%.

Segundo Mittal (2005) e Nunez *et al.* (1999), *apud* Shoenhals (2006), as unidades de flotação podem alcançar faixas de redução de DQO de 32% a 90%, sendo que no processo de coagulação/floculação estudado por Shoenhals (2006), quando aplicado ao tratamento de águas residuárias de abatedouro utilizando cloreto férrico e policloreto de alumínio, as máximas eficiências de remoção de DQO atingidas permaneceram na faixa de 45 -75%, bastante inferiores ao encontrado neste trabalho, entre 66% e 86%.

Fabreti (2006), ao tratar efluente de lagoa facultativa com sulfato de alumínio, encontrou entre 70 e 90% de remoção de turbidez em testes de bancada, inferiores ao encontrado neste estudo com os três produtos avaliados. Em termos de remoção de DQO, Fabreti (2006) encontrou uma eficiência de 64 a 68%, muito semelhante ao encontrado neste trabalho e de 82 a 88% de remoção de fósforo total, inferior ao encontrado com PAC e Sulfato férrico neste estudo. O autor também

encontrou uma grande variação na eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal, que variou de -1,1 a 16,8%.

5.2 Avaliação em escala real dos padrões de lançamento

Os testes em escala real foram realizados com os produtos PAC e os polímeros A130, aniônico, e C496, catiônico, todos utilizados anteriormente na etapa de estudo em bancada. A escolha do coagulante PAC baseou-se no seu desempenho na primeira etapa do estudo, sendo este o coagulante que apresentou as melhores eficiências de remoção dos parâmetros estudados. Foi aplicada uma vazão de 50 m³/h para realizar os testes práticos sem prejuízo dos padrões do efluente lançado no corpo receptor. O estudo foi realizado nos meses de julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2008.

A coleta semanal de amostras iniciou-se após ajuste prático das dosagens dos produtos químicos, conforme descrito no Capítulo 4.

5.2.1 Nitrogênio Amoniacal

A Erro! Fonte de referência não encontrada. figura 13 a seguir apresenta os valores de nitrogênio amoniacal encontrados na entrada e na saída do sistema de flotação (tratamento avançado em estudo) para cada dia amostrado, juntamente com a eficiência encontrada para cada dia. A figura apresenta também o valor da concentração de nitrogênio amoniacal correspondente à meta a ser alcançada, referente ao limite para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Do total de amostras estudadas, os valores mínimos, máximos e médios encontrados para a saída da lagoa 3 e para a saída do flotador podem ser observados na Tabela 17. A tabela também apresenta as eficiências mínima, máxima e média encontradas dentre as eficiências calculadas para cada dia estudado (porcentagem de redução de carga obtida no flotador em relação à saída da lagoa 3 para cada amostra coletada). Os valores mínimos, máximos e médios apresentados para a saída da lagoa 3, saída do flotador e para as eficiências não correspondem à mesma amostra, visto que estes valores foram selecionados dentre todos os resultados obtidos para cada ponto de amostragem, ou seja, os valores mínimo, máximo e médio encontrados para a saída da lagoa não necessariamente correspondem aos valores mínimo, máximo e médio encontrados para a saída do flotador e para a

eficiência apresentada.

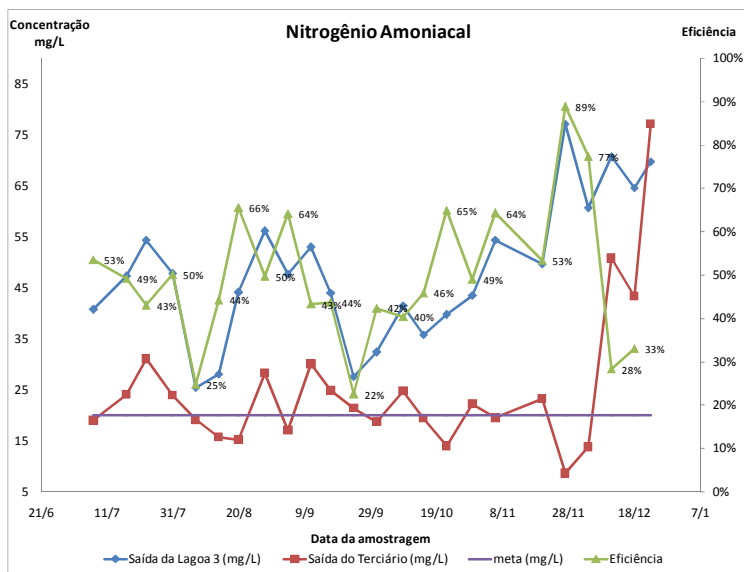


Figura 13 - Teores de nitrogênio amoniacal obtidos na segunda etapa do estudo.

Tabela 17 - Resultados de nitrogênio amoniacal na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L ⁻¹)	Saída do Flotador (mg.L ⁻¹)	Eficiência
Mínimo	25,4	8,58	22%
Máximo	77,11	77,11	89%
Médio	48,15	25,17	50%

Na média o sistema obteve uma boa remoção de amônia, com 50% (média das eficiências dos dias amostrados), valor acima da eficiência encontrada em escala laboratorial (em torno de 30% no segundo e no terceiro dia de estudo). A eficiência mínima encontrada foi de 22% e a máxima de 89%, resultados muito bons em se tratando de nitrogênio amoniacal. Percebe-se que os valores na saída do tratamento avançado ainda são altos, visto que o efluente bruto, na entrada da ETE contém grande concentração de nitrogênio amoniacal e os sistemas de

tratamento primário e secundário não são suficientes para remoção deste parâmetro, mantendo-o, na entrada do tratamento avançado entre 25 e 77 (mg.L^{-1}).

O padrão de nitrogênio amoniacal para lançamento de efluentes é fixado em 20 mg.L^{-1} pela resolução do CONAMA nº 357/2005. Do total de amostras analisadas, 46% apresentaram valores abaixo do limite máximo de lançamento, o que indica que pequenos ajustes no tratamento secundário permitirão o enquadramento deste parâmetro sem ser necessário instalar nova tecnologia anexa ao tratamento avançado. Para enquadramento deste parâmetro, sugere-se a ampliação da capacidade de aeração no tratamento secundário e a criação de zonas anóxicas intercaladas com zonas aeradas, para permitir a remoção de nitrogênio na forma amoniacal, de nitrito e de nitrato.

O limite máximo dos teores de nitrogênio amoniacal determinado pelo RIISPOA é de $0,005 \text{ g.L}^{-1}$, bastante abaixo dos valores encontrados neste estudo, o que inviabiliza o reúso direto caso não haja melhorias no tratamento secundário.

5.2.2 Óleos e Graxas

A Figura 14 a seguir apresenta os teores de óleos e graxas encontrados na entrada e saída do sistema de flotação, bem como a eficiência de remoção deste parâmetro em cada dia amostrado e a meta para o teor de lançamento deste parâmetro. Os valores mínimos, máximos e médios podem ser observados na Tabela 18 para a entrada e saída do sistema, além das eficiências mínima, máxima e média obtidas.

Tabela 18 - Resultados de óleos e graxas na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L^{-1})	Saída do Flotador (mg.L^{-1})	Eficiência
Mínimo	11,2	4	-45%
Máximo	46,58	37	85%
Médio	24,77	13,98	38%

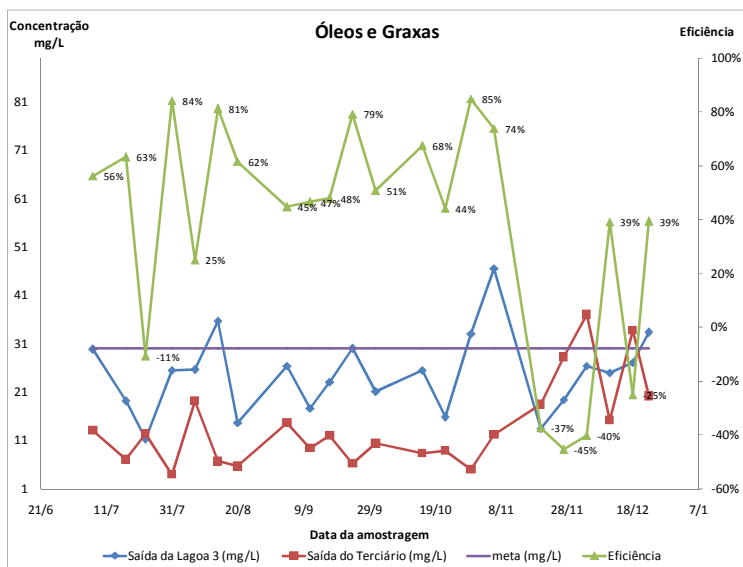


Figura 14 - Teores de óleos e graxas obtidos na segunda etapa do estudo.

A eficiência na remoção de óleos e graxas apresentou-se na maioria dos dias estudados muito boa, acima de 40%. A eficiência máxima encontrada, 85% de remoção, encontra-se dentro dos valores encontrados no estudo em escala laboratorial, entre 84 e 88%. Observou-se eventualmente incremento de óleos e graxas, provavelmente por ocorrência de algum desajuste e conseqüente arraste de flocos. Ainda assim, a eficiência média encontrada foi de 38%, muito boa considerando tratamento avançado, onde os níveis de óleos e graxas na entrada do sistema já se encontram bastante reduzidos.

Quase todas as amostras estudadas, 91%, apresentaram valores de saída do parâmetro óleos e graxas abaixo do padrão de lançamento, limitado em 30 mg.L^{-1} pelo decreto estadual nº 14.250 do Estado de Santa Catarina. Dentre o total de amostras, apenas duas ultrapassaram o padrão, com 37,0 e 33,8 mg.L^{-1} . Uma boa parte das amostras, 41%, apresentaram teor de óleos e graxas na saída do tratamento avançado abaixo de 10 mg.L^{-1} , sendo que o menor valor encontrado foi de 4 mg.L^{-1} , o que pode tornar viável o reúso da água nestes casos para fins menos nobres.

5.2.3 Demanda Química de Oxigênio

A Figura 15 a seguir apresenta os valores de DQO encontrados na entrada e saída do sistema de flotação para cada dia estudado, bem como, a eficiência de remoção correspondente. Este parâmetro não é cobrado na legislação ambiental que regulamenta os padrões de lançamento de efluentes em Santa Catarina. Os valores mínimos, máximos e médios podem ser observados na Tabela 19 para a entrada e saída do sistema, além das eficiências mínima, máxima e média obtidas.

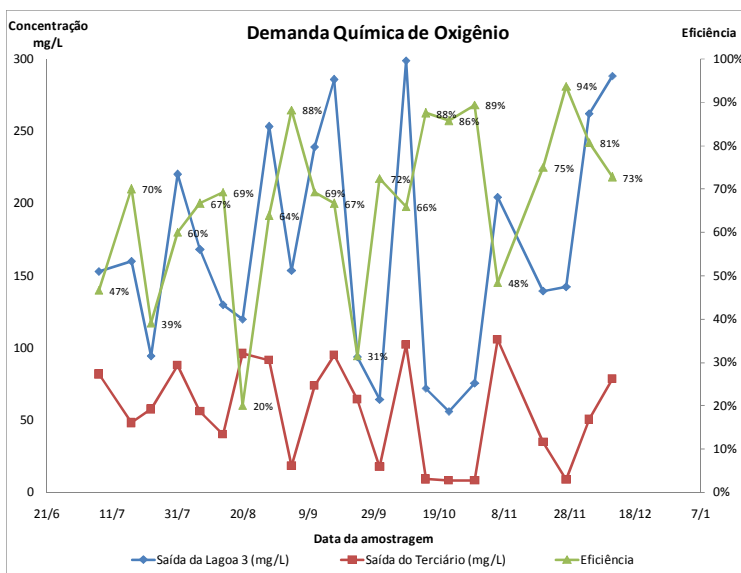


Figura 15 - Teores de DQO obtidos na segunda etapa do estudo.

Tabela 19 - Resultados de DQO na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L ⁻¹)	Saída do Flotador (mg.L ⁻¹)	Eficiência
Mínimo	56	8	20%
Máximo	299,27	105,48	94%
Médio	176,54	56,92	67%

A eficiência na remoção de DQO foi muito boa e manteve o teor de lançamento abaixo de 106 mg.L^{-1} em todas as amostras, sendo que 54% do total de amostras analisadas apresentou teor de DQO abaixo de 60 mg.L^{-1} , o que é muito bom no tocante à lançamento de efluentes.

Se realizarmos uma correlação direta do parâmetro DQO com o teor de matéria orgânica presente no efluente, todas as amostras se encontram acima do limite máximo previsto no RIISPOA, fixado em $0,002 \text{ g}$ de matéria orgânica por litro, o que inviabiliza o reúso direto. Em contrapartida, 17% das amostras estudadas apresentaram teores abaixo de 9 mg.L^{-1} , o que, no que diz respeito a este parâmetro, quando em um monitoramento apurado do tratamento avançado, possibilita o reúso da água para fins menos nobres após desinfecção e, conforme o destino dado, após tratamento simplificado em Estação de Tratamento de Água de Reúso.

5.2.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Figura 16 a seguir apresenta os teores de DBO encontrados na entrada e saída do sistema de flotação para cada dia de amostragem, a eficiência de remoção correspondente, bem como a meta para o teor de lançamento deste parâmetro segundo a legislação ambiental de Santa Catarina. Os valores mínimos, máximos e médios podem ser observados na Tabela 20 para a entrada e saída do sistema, além das eficiências mínima, máxima e média obtidas.

Tabela 20 - Resultados de DBO na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L^{-1})	Saída do Flotador (mg.L^{-1})	Eficiência
Mínimo	9,1	3,99	42%
Máximo	193,88	73,61	95%
Médio	98,79	17,34	82%

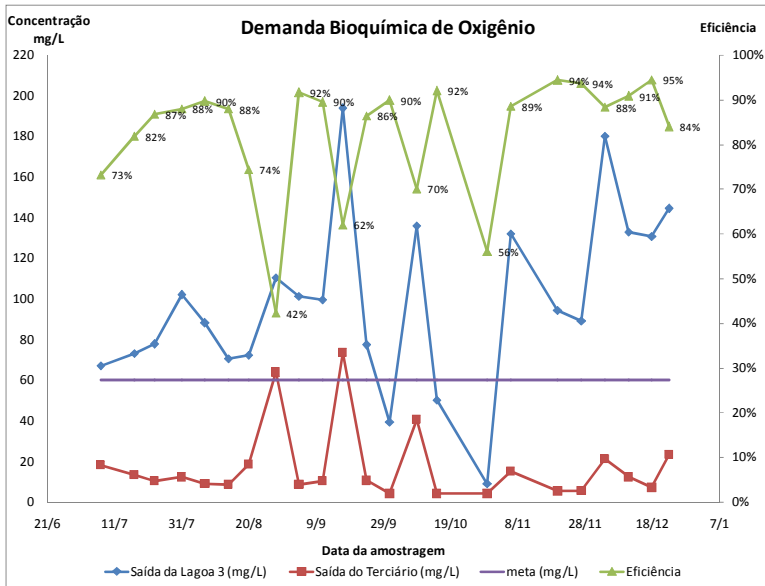


Figura 16 - Teores de DBO obtidos na segunda etapa do estudo.

O sistema apresentou uma boa remoção de DBO, com média das eficiências em 82%. Do total de amostras analisadas, 91% se encontram abaixo do limite de lançamento, fixado em 60 mg.L^{-1} pelo decreto estadual nº 14.250 do Estado de Santa Catarina, o que permite a aplicação do sistema de flotação físico/química para o enquadramento deste parâmetro. Ainda do total de amostras analisadas, 13% apresentaram teores de DBO abaixo de 4 mg.L^{-1} na saída do tratamento avançado, o que nestes casos, no tocante a este parâmetro, possibilita o reúso da água para fins menos nobres após desinfecção e, conforme o destino dado, após tratamento simplificado em Estação de Tratamento de Água de Reúso.

5.2.5 Nitrogênio Total

A Figura 17 a seguir apresenta os teores de nitrogênio total encontrados na entrada e saída do sistema de flotação, bem como a eficiência de remoção correspondente à cada dia amostrado e a meta para o teor de lançamento de efluentes deste parâmetro. Os valores

mínimos, máximos e médios podem ser observados na Tabela 21 para a entrada e saída do sistema, além das eficiências mínima, máxima e média obtidas.

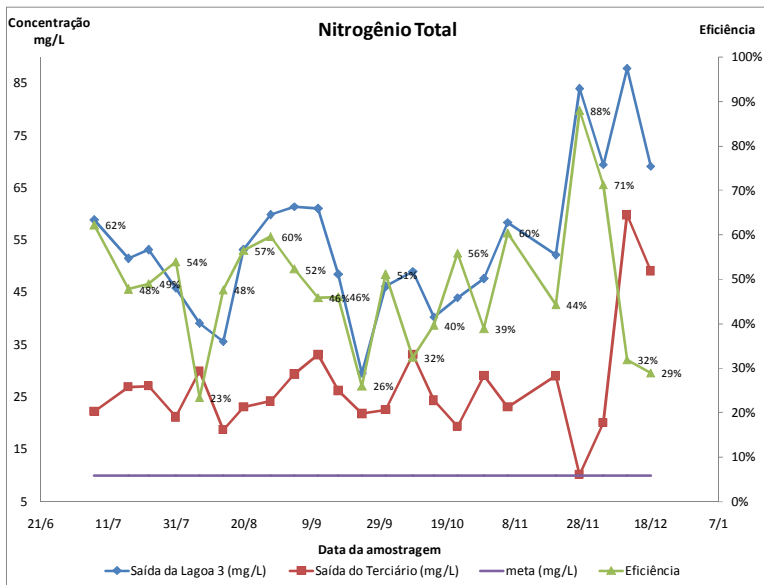


Figura 17 - Teores de nitrogênio total obtidos na segunda etapa do estudo.

Tabela 21 - Resultados de nitrogênio total na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L ⁻¹)	Saída do Flotador (mg.L ⁻¹)	Eficiência
Mínimo	29,47	10,11	23%
Máximo	87,83	59,8	88%
Médio	54,12	27,08	48%

A eficiência de remoção de nitrogênio total foi semelhante às eficiências de remoção de amônia, o que reflete que a fração amoniacal é a fração nitrogenada mais presente no efluente, embora seja a forma mais difícil de ser removida por tratamento físico-químico.

Os teores finais de nitrogênio observados nas amostras analisadas ainda estão bastante acima do padrão de lançamento, fixado em 10

mg.L⁻¹ pelo decreto estadual nº 14.250 do Estado de Santa Catarina. Como já sugerido anteriormente, ajustes no tratamento secundário, como a melhoria no sistema aerado da lagoa facultativa, permitirão o enquadramento deste parâmetro aos padrões de lançamento de efluentes.

5.2.6 Fósforo Total

A Figura 18 a seguir apresenta os teores de fósforo total encontrados na entrada e saída do sistema de flotação, bem como a eficiência de remoção encontrada em cada dia amostrado e a meta para o teor de lançamento deste parâmetro. Os valores mínimos, máximos e médios podem ser observados na Tabela 22 para a entrada e saída do sistema, além das eficiências mínima, máxima e média obtidas.

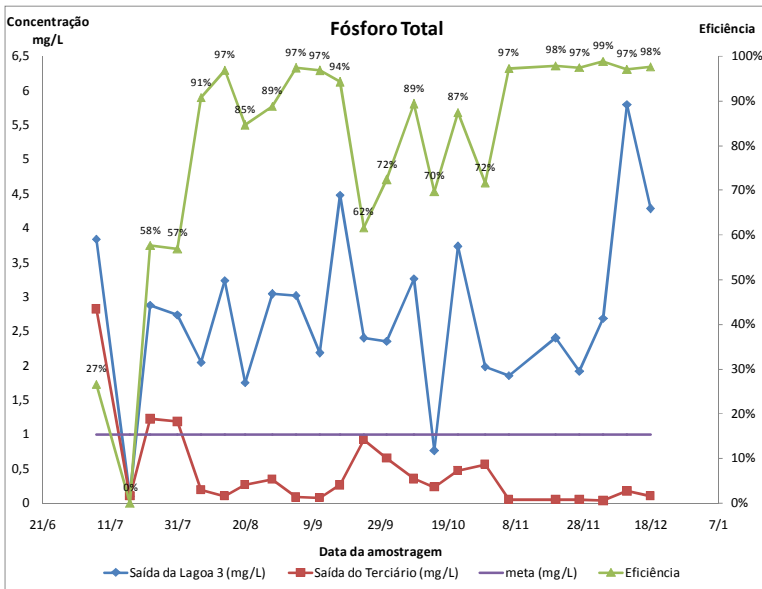


Figura 18 - Teores de fósforo total obtidos na segunda etapa do estudo.

Tabela 22 - Resultados de fósforo total na entrada e saída do tratamento avançado.

Valor	Saída da Lagoa 3 (mg.L ⁻¹)	Saída do Flotador (mg.L ⁻¹)	Eficiência
Mínimo	0,1	0,03	0%
Máximo	5,8	2,82	99%
Médio	2,73	0,45	80%

A remoção de fósforo apresentou bons resultados, 87% do total de amostras analisadas apresentaram teores de fósforo total no efluente do tratamento avançado abaixo do padrão de lançamento, fixado em 1 mg.L⁻¹ pelo decreto estadual nº 14.250 do Estado de Santa Catarina. Do total de amostras analisadas, 39% apresentaram redução dos teores de fósforo total acima de 97%, valores semelhantes aos encontrados nos estudos de jar test com o coagulante PAC, etapa 1 deste trabalho. A eficiência mínima encontrada, de 0%, refere-se à teores de fósforo abaixo do mínimo detectável pela análise, tanto nas amostras coletadas na entrada do flotador, quanto na saída.

5.2.7 Considerações Gerais

Os valores mínimos e máximos dos parâmetros estudados nas amostras coletadas na saída da lagoa facultativa aerada, revelam grande oscilação na qualidade do efluente a ser tratado na etapa de tratamento avançado. Isto revela que um monitoramento apurado, com pequeno nível de automação das dosagens, corrigidas conforme a qualidade do efluente de entrada no tratamento avançado para manutenção de um baixo padrão de saída é de grande importância, visto que este sistema é o último responsável pela remoção de carga orgânica e de nutrientes antes do lançamento no corpo receptor. Além disso, o controle instantâneo e automático do sistema pode viabilizar o reúso da água para fins menos nobres.

Os gráficos com os valores encontrados para a entrada e saída do sistema revelam que o tratamento avançado proposto apresenta certa estabilidade, pois as variações dos valores dos parâmetros estudados na saída do sistema acompanham as variações dos mesmos parâmetros na entrada, especialmente nos meses de julho, agosto, setembro e outubro. A partir do mês de novembro, observa-se através dos gráficos que

houveram ajustes operacionais no equipamento e no sistema de dosagens, pois a variação dos valores de saída encontrados não acompanharam a variação dos valores de entrada. Os ajustes operacionais e a eventual desestabilização do sistema são inerentes aos estudos em escala real, visto que existem inúmeras interferências que não podem ser controladas como nos sistemas em escala laboratorial. Dentre os fatores de interferência está o fato de que a entrada do sistema em estudo corresponde a um sistema de lagoas que apresenta bastante variação dos parâmetros de saída em função da temperatura, arraste de lodo, qualidade do efluente bruto, ocorrência de chuvas dentre outros. Como a saída do tratamento avançado em estudo corresponde ao lançamento de efluentes da empresa no corpo receptor, a equipe operacional da estação viu-se obrigada a ajustar o tratamento avançado (tanto no sistema de dosagem, quando no sistema de geração de microbolhas) na tentativa de evitar a contaminação do corpo receptor, ocasionando as oscilações observadas nos gráficos. Destaca-se que no mês de novembro de 2008 foram registradas ocorrências de chuvas muito acima da média esperada para o mês, justamente período correspondente às instabilidades dos parâmetros de entrada e saída observados nos gráficos.

5.3 Avaliação em escala real da possibilidade de reúso

5.3.1 Estimativa do volume passível de reúso

Para estimar o volume de efluente tratado possível de ser praticado reúso no processo produtivo global de um frigorífico de aves, foram consideradas as etapas do processo produtivo onde não há o contato direto da água com a matéria prima.

Devido à ausência de medidores de vazão em todo o frigorífico, foram estimados os consumos de água por etapa através de estudos realizados em outros abatedouros de frangos por outros autores. A Figura 19 a seguir apresenta o consumo de água estimado por etapa do sistema produtivo.

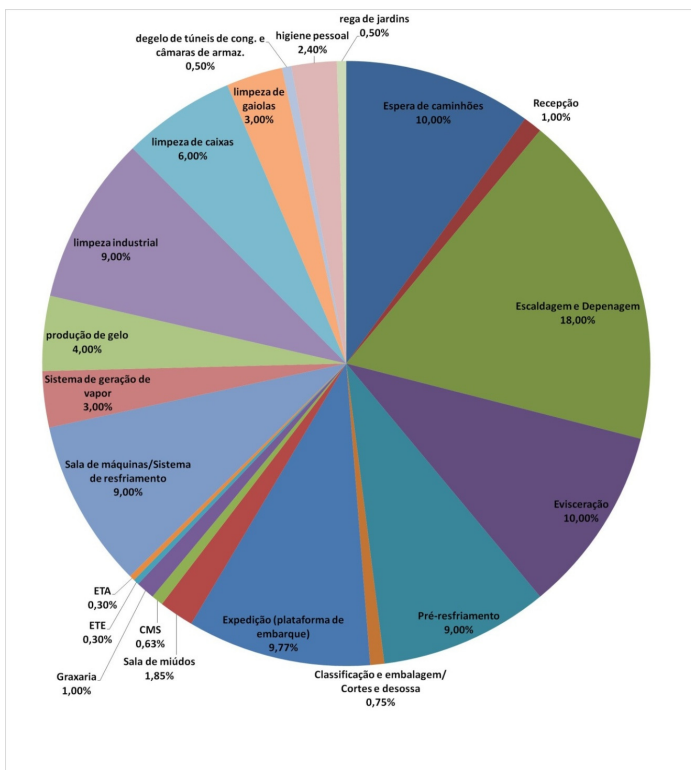


Figura 19 - Consumo da água por etapa em abatedouro de aves.

Fontes: Matsumura (2007), Amorim *et al* (2006) apud Luiz (2007), Brasmetano (2009).

O gráfico mostra que o maior consumo de água está na etapa de escaldagem e depenagem, com 18% do consumo total. Nestas etapas há o contato direto da água com o frango e, portanto, não constituíram parte das etapas de reúso consideradas neste trabalho. Em seguida os maiores consumos estão nas etapas de espera de caminhões, evisceração, pré-resfriamento, expedição, limpeza industrial e sistema de resfriamento, representando entre 9 e 10% cada etapa, do total estudado.

A tabela 23 a seguir apresenta as porcentagens do consumo de água por etapa com base nas fontes bibliográficas, a estimativa do volume de água com base na vazão tratada na ETE do frigorífico e a consideração quanto à possibilidade de reúso de cada etapa. A consideração foi baseada na existência ou não do contato direto da água com o frango ou com equipamentos e pessoas ligados ao processo produtivo diretamente.

Tabela 23 - Consumo estimado e possibilidade de reúso.

ETAPA	CONSUMO (%)	CONSUMO (m ³ .d ⁻¹)	ÁGUA DE REÚSO?
Espera de caminhões	10,0%	260	sim
Recepção	1,0%	26	não
Escaldagem e Depenagem	18,000%	468	não
Evisceração	10,000%	260	não
Pré-resfriamento	9,000%	234	não
Classificação e embalagem/ Cortes e desossa	0,750%	19,5	não
Expedição (plataforma de embarque)	9,770%	254,02	não
Sala de miúdos	1,850%	48,1	não
CMS	0,630%	16,38	não
Graxaria	1,0%	26	sim
ETE	0,3%	7,8	sim
ETA	0,3%	7,8	sim
Sistema de resfriamento	9,0%	234	sim
Sistema de geração de vapor	3,0%	78	não
produção de gelo	4,0%	104	não
limpeza industrial	9,0%	234	não
limpeza de caixas	6,0%	156	sim
limpeza de gaiolas	3,0%	78	sim
degelo de túneis de cong. e câmaras de armaz.	0,5%	13	não
higiene pessoal	2,4%	62,4	não
rega de jardins	0,5%	13	sim
TOTAL	100,0%	2.600,0	-
TOTAL PASSÍVEL DE REÚSO PARA FINS NÃO NOBRES:	30%	782,6	-

Através dos estudos foi possível estimar que cerca de 30% do consumo total de água de um abatedouro de frangos pode ser proveniente de água de reúso, desde que devidamente tratada e que tenha sua qualidade garantida. Os volumes estimados incluem limpeza de caminhões, limpeza de pátio do setor de graxaria, limpeza e diluição de produtos químicos da ETE e ETA, sistema de resfriamento, limpeza de caixas e gaiolas e rega de jardim. Conforme recomendações do SIF e do DIPOA, poderão ser necessárias limpezas finais com água proveniente da ETA, para garantir a assepsia dos equipamentos ou locais onde são aplicadas água de reúso.

5.3.2 Avaliação da qualidade da água de reúso

Para avaliação da qualidade da água para realização de reúso, foram analisados os parâmetros de potabilidade da água para

refrigeríficos, previstos no Artigo 62 do RIISPOA - Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. Apesar do reúso ter sido considerado apenas para fins menos nobres, a comparação com o RIISPOA permite avaliar o grau de potabilidade da água e, caso sejam atingidos os parâmetros previstos neste regulamento, permite uma maior segurança para o processo produtivo. Também foram avaliados os parâmetros sugeridos na norma brasileira NBR 13.969/1997 para reúso em lavagem de carros, calçadas, irrigação de jardins e outros usos com contato direto com o usuário.

A tabela 24 apresenta os valores médios obtidos na entrada e saída do sistema, a eficiência do mesmo e o desvio em relação aos limites estabelecidos no Artigo 62 do RIISPOA. A eficiência apresentada é referente à carga de cada parâmetro analisado na saída do sistema em relação à entrada, ou seja, removida no tratamento proposto, conforme cálculo apresentado no item 5.1.1. O desvio apresentado representa quanto, em porcentagem, o valor encontrado na saída do sistema se encontra acima do valor limite do RIISPOA.

As análises mostram que boa parte dos parâmetros não atendeu aos padrões de potabilidade da água exigidos pelo RIISPOA. Embora os parâmetros que atenderam aos padrões serem maioria, aqueles que não atenderam se apresentaram bastante acima do limite. Apesar disto, os parâmetros que não atingiram os padrões podem ser enquadrados com as seguintes melhorias:

- Ajustes no tratamento secundário: o aumento na capacidade de aeração no sistema biológico e a criação de zonas anóxicas na etapa aerada permitem a redução dos parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e matéria orgânica;
- A instalação de abrandadores permite a redução dos teores de dureza e de magnésio;
- A instalação de medidores automáticos e de bombas dosadoras de cloro permitirá atingir o teor mínimo de cloro residual previsto no RIISPOA;
- Para reduzir o teor de componentes fenólicos deverão ser avaliados os produtos químicos sanitizantes utilizados na indústria, como halofenóis, cloroxilenol, bisfenóis, o-fenilfenol, dentre outros, que podem deixar residuais no efluente (Eguchi, 2006).

Tabela 24 - Avaliação da qualidade pelos parâmetros do RIISPOA.

Parâmetro	Média de entrada	Média de saída	Eficiência	Restrição RIISPOA	Situação
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	2,23E+06	7,00E+02	100%	600	Não atende ao RIISPOA em 17%
DQO (mg.L ⁻¹)	486,03	178,95	63%	NR	-
DBO (mg.L ⁻¹)	206,43	76,41	63%	NR	-
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	22,13	10,80	51%	NR	-
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	516,00	446,67	13%	500,00	Atende ao RIISPOA
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	175,33	6,43	96%	NR	-
pH	6,75	6,34	6%	NR	-
Turbidez (NTU)	318,92	6,82	98%	NR	-
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	62,48	59,18	5%	5,00	Não atende ao RIISPOA em 1084%
Nitrogênio Nítrico (mg.L ⁻¹)	0,02	0,02	0%	2,00	Atende ao RIISPOA
Matéria Orgânica (mg.L ⁻¹)	337,80	93,67	72%	2,00	Não atende ao RIISPOA em 4584%
Grau de Dureza (mg.L ⁻¹)	142,67	135,33	5%	20,00	Não atende ao RIISPOA em 577%
Chumbo (mg.L ⁻¹)	0,02	0,02	0%	0,10	Atende ao RIISPOA
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,01	0,01	0%	3,00	Atende ao RIISPOA
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,05	0,05	0%	15,00	Atende ao RIISPOA
Cloro Residual (mg.L ⁻¹)	0,09	0,30	-233%	0,05	Não atende ao RIISPOA em 500%
Cloro livre (mg.L ⁻¹)	0,09	0,09	0%	1,00	Atende ao RIISPOA
Arsênio (mg.L ⁻¹)	0,05	0,05	0%	0,05	Atende ao RIISPOA
Fluoretos (mg.L ⁻¹)	0,01	0,01	0%	1,00	Atende ao RIISPOA
Selênio (mg.L ⁻¹)	0,02	0,02	0%	0,05	Atende ao RIISPOA
Magnésio (mg.L ⁻¹)	14,56	13,00	11%	0,03	Não atende ao RIISPOA em 43233%
Sulfato (mg.L ⁻¹)	30,05	9,80	67%	10,00	Atende ao RIISPOA
Componentes Fenólicos (mg.L ⁻¹)	0,083	0,090	-8%	0,001	Não atende ao RIISPOA em 8900%

Devido ao fato de o estudo propor o reúso da água para fins menos nobres, onde a água não terá contato direto com a matéria prima, foi realizado um comparativo dos valores encontrados com os parâmetros de qualidade da água para reúso previstos na norma brasileira NBR 13.969/1997 que restringe os parâmetros conforme o tipo de reúso aplicado. A tabela a seguir apresenta a avaliação da qualidade do efluente gerado com base na norma NBR 13.969/1997.

Tabela 25 - Avaliação da qualidade pelos parâmetros da NBR 13.969/97.

Parâmetro	Média de saída	Restrição quanto à norma NBR 13969/1997	Situação em relação à norma NBR 13969
Coliformes Termotolerantes	700	< 200 NMP/100 mL para Classe I* < 500 NMP/100 mL para Classe II**	Acima do limite para ambas as Classes – Não Atende
Sólidos dissolvidos totais****	440,23	< 200 mg/L para Classe I NR*** para Classe II	Acima do limite para reúso do tipo Classe I – Não Atende
pH	6,34	entre 6 e 8 para Classe I NR para Classe II	Ok para reúso do tipo Classe I e Classe II – Atende
Turbidez	6,82	< 5 uT para Classe I e Classe II	Acima do limite para reúso Classe I e Classe II – Não Atende
Cloro Residual	0,30	entre 0,5 mg/L a 1,5 mg/L para Classe I e > 0,5 mg/L para Classe II	Abaixo do limite para reúso do tipo Classe I e Classe II – Não Atende

*Classe I: Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário.

**Classe II: Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.

***NR: Não Referenciado.

****Sólidos Dissolvidos Totais: calculados a partir da diferença entre os sólidos totais e os sólidos suspensos totais.

Praticamente todos os parâmetros se encontraram fora dos limites mínimos e máximos estipulados na norma para reúso do tipo Classe I e Classe II. As melhorias anteriormente propostas no sistema secundário e no sistema de dosagem de cloro também deverão enquadrar os parâmetros preconizados na NBR 13.969 aos limites para o reúso proposto: coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais, turbidez e cloro residual.

5.3.3 Considerações Gerais

O estudo em escala real avaliado na etapa 2 deste trabalho apresentou situações em que a carga de saída do tratamento avançado, de maneira geral, se apresentou bastante baixa, fato observado principalmente através dos parâmetros DBO e DQO quando comparados aos valores encontrados no estudo em escala real avaliado na etapa 3. Isto significa que todos os demais parâmetros que não foram enquadrados dentro dos padrões de potabilidade previstos no RIISPOA e na NBR13.969 podem vir a ser enquadrados com o correto monitoramento e operação do sistema físico-químico do tratamento avançado, melhorias no tratamento secundário e com a correta dosagem de cloro no sistema de desinfecção.

Embora o estudo tenha avaliado os padrões previstos no RIISPOA e na NBR 13.969, o reúso da água deve ser autorizado pelo SIF e pelo DIPOA, e são estes órgãos que determinarão os padrões a serem atingidos.

6 CONCLUSÕES

Através da pesquisa bibliográfica na legislação e em regulamentos pertinentes à indústria de alimentos, bem como em outras pesquisas realizadas em reúso de água na indústria, verifica-se que a legislação brasileira não é clara quanto ao reúso de águas servidas após o devido tratamento da mesma. A Portaria 210/1998 do Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento impede o retorno de águas servidas, porém nada aponta para o reúso das águas após tratamento adequado das mesmas. Já a Portaria SVS/MS 326/1997 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde permite o reúso da água desde que a mesma receba tratamento que isente de risco à saúde. Os diferentes posicionamentos apresentados nas legislações tornam o tema confuso e desencorajam os empresários a adotar esta prática. É necessário ampliar as discussões quanto ao tema “reúso da água”, a fim de regulamentar esta prática e torná-la viável e segura.

A partir da primeira etapa do trabalho prático, correspondente aos estudos de teste de jarros, pode-se concluir:

- A combinação do coagulante PAC, junto aos polímeros, foi a mais eficaz na remoção das substâncias em geral, enquanto a combinação do sulfato férrico foi a que apresentou o segundo melhor desempenho. O coagulante Tanfloc SG, misturado com os polímeros aniônico e catiônico, apresentou a pior eficácia de remoção, sem atingir maior remoção dos parâmetros analisados.
- O sulfato férrico, por ser o produto de menor custo, se apresentou muito atraente, pois apresentou boas remoções de fósforo total, óleos e graxas, DQO, coliformes totais, coliformes fecais, cor e turbidez. No entanto, os incrementos nos teores de alguns parâmetros verificados na aplicação do sulfato férrico como coagulante, torna o produto inviável, ou de difícil aplicação, visto que o incremento dos teores não são sempre observados, necessitando de um controle rígido nos padrões de entrada e dosagem aplicada.
- O coagulante orgânico Tanfloc SG apresentou boas eficiências, porém para sua utilização como tratamento avançado o coagulante deixou a desejar nos parâmetros fósforo total e nitrogênio amoniacal. Neste caso, é necessário agregar uma segunda tecnologia no tratamento avançado para enquadramento destes parâmetros nos padrões de lançamento

de efluentes.

- Para fins de lançamento no rio, o teste apresenta grande viabilidade para o tratamento, visto que todos os parâmetros, com exceção do nitrogênio, após o ensaio de Jar Test, apresentaram-se abaixo dos padrões de lançamento. Para enquadrar o padrão de Nitrogênio Total, será necessário realizar melhorias no sistema biológico, antes do tratamento avançado.

Dos estudos em escala real, segunda etapa do trabalho, verificou-se:

- O sistema apresentou uma boa remoção de amônia, porém os teores deste parâmetro na saída do tratamento avançado ainda são altos, visto que o efluente bruto, na entrada da ETE é altamente carregado de nitrogênio amoniacal e os sistemas de tratamento primário e secundário não são suficientes para remoção deste parâmetro.
- A eficiência de remoção de DQO, DBO, Óleos e Graxas, Fósforo total, foi muito boa e mantiveram estes parâmetros abaixo do limite de lançamento em quase todas as amostras estudadas, em muitas delas dentro de padrões passíveis de reúso.
- A alta eficiência do tratamento avançado aponta para uma possibilidade de reúso da água para fins menos nobres após desinfecção e, conforme o destino dado, após tratamento simplificado em Estação de Tratamento de Água de Reúso.
- O sistema apresentou uma grande variação dos parâmetros de entrada do flotador, o que revela a necessidade de melhorias no tratamento secundário e, para o tratamento avançado, a importância de um monitoramento intenso e controle automático das dosagens que permita a correção instantânea das oscilações de carga na entrada do sistema avançado.

Da terceira etapa do trabalho prático, verificamos:

- Através dos estudos foi possível estimar que cerca de 30% do consumo total de água de um abatedouro de frangos pode ser proveniente de água de reúso, desde que devidamente tratada e que tenha sua qualidade garantida.
- Grande parte dos parâmetros estudados não atendeu aos padrões de potabilidade da água limitados pelo RIISPOA e aos padrões para reúso da água previstos na norma NBR 13.969.
- Os parâmetros que não se enquadraram aos padrões de

potabilidade e de reúso podem ter sua qualidade atingida através de melhorias no tratamento secundário, instalação de abrandadores, melhoria no sistema de dosagem de cloro e controle operacional criterioso e automático no sistema físico-químico avançado

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo desenvolvido, recomenda-se para os futuros trabalhos:

- Avaliar a influência de outros polímeros como agentes floculantes;
- Recomenda-se um melhor acompanhamento do pH durante o processo de coagulação e floculação;
- Realizar análises de toxicidade nos efluentes submetidos ao processo de coagulação/floculação com o intuito de avaliar os possíveis riscos e impactos gerados pelo seu descarte no meio ambiente;
- Avaliar a biodegradabilidade do lodo gerado no processo de flotação;
- Avaliar a qualidade do efluente gerado em cada etapa do sistema para avaliar a possibilidade de tratamento de forma segregada;
- Avaliar a possibilidade de reúso do efluente segregado nos pontos de geração, possibilitando o reúso em cascata e a redução na geração de efluente.
- Avaliar a possibilidade de lançamento de parte do efluente tratado nas lagoas de captação da ETA, de forma a enquadrar os padrões de potabilidade previstos no RIISPOA por diluição à água bruta e tratamento na ETA.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 13.969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1997.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998. 1195 p.

BRASIL. Lei Federal no 9.984 Dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas. 2000.

BRASMETANO. Programa de Gerenciamento da Água e Perdas Industriais, Comunicação pessoal. 2009.

CARVALHO, L. T., et al. Eficiência de uma peneira rotativa de fluxo axial na separação sólido/líquido de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro. Vitória : s.n., 2001. p. 9.

CASTRO-SILVA, M. A., et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quartenário de amônio) - I. microrganismos filamentosos. Revista Estudos de Biologia, Vol. 26, n.54, Jan./Mar. de 2004, pp. 21-27.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Vol 5. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte : UFMG, 1997. p. 245.

CNRH, Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n° 54: Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. s.l. : Ministério do Meio Ambiente, 28 de novembro de 2005.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 357. março 2005.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 397. 2008.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nr 20. 1986.

CRUZ, João Guilherme Heinz, et al. Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento por Coagulação/Floculação e Adsorção/Coagulação/ Floculação do Efluente de uma Lavanderia Industrial. Anais do 23o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, ABES, 2005.

DA SILVA, Herbert Lima Belo. Uso de Membranas Microporosas no Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Abate de Aves. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : UFSC, 2005. p. 81.

DE SENA, Rênio Felix. Avaliação da Biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia. Dissertação de mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : UFSC, 2005. p. 94.

EBERT, Douglas Cezar. Simulação da Dinâmica Operacional de um Processo Industrial de Abate de Aves. Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel : s.n., 2007. p. 64.

EPA, U. S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Washington, DC : s.n., EPA/625/R-04/108, 2004.

EGUCHI, Silvia Yuko. Ativos Antimicrobianos Utilizados na Indústria. Artigo Técnico, Revista SBCC, Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação, pg 35, Edição 22, 2006.

FABRETI, Aline Akabochi. Pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização através de processo físico-químico. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo : s.n., 2006. p. 159.

FAO/WHO, Codex Alimentarius Comission. Codex Committee on Food Hygiene - Proposed Draft Guidelines for de Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants. Thirty-fourth Session Bangkok, Thailand : s.n., 2001.

FATMA, Governo de Santa Catarina. Decreto Estadual 14.250. 5 de junho de 1981.

FELIZATTO, Mauro Roberto. ETE Cagif: Projeto Integrado de Tratamento Avançado e Reúso direto de Águas Residuárias. João Pessoa : ABES, 2001.

FERNANDES, Marcelo Antônio. Avaliação de desempenho de um frigorífico avícola quanto aos princípios da produção sustentável. Dissertação de Mestrado Departamento de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : s.n., 2004.

FIESP/CIESP. Conservação e Reúso de Água - Manual de Orientações para o Setor Industrial. São Paulo: s.n., 2004. Vol. 1.

FIESP/CIESP. Manual de Conservação e Reúso de Água - Manual de orientações para o setor industrial. São Paulo : s.n., 2004. Vol. 1.

FIRJAN/SEBRAE. Manual de Conservação e Reúso da Água na Indústria. Rio de Janeiro : ISBM, 2007. DIM, 006.

FRANÇA, Sílvia Cristina Alves, DE ANDRADE, Mônica Calixto and DA LUZ, Adão Benvindo. Flotação por ar dissolvido na recuperação de água de processo. Florianópolis : s.n., 2004. pp. 103-110.

FRONZA, Nei. Estudos das potencialidades do reúso de água em uma indústria frigorífica. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : s.n., 2004. p. 82.

GERLOFF, Jamur. Reutilização de água de resfriamento de carcaças de frango. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : s.n., 2008. p. 161.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. 2002. pp. 75-95. Vol. 7.

IMHOFF, Karl e Klaus R. Manual de Tratamento de Águas Residuárias . [trad.] Engenheiro Max Lothar Hess. 26^a. São Paulo : Edgard Blücher

Ltda., 1986. p. 301.

LEITE, Ana Maria Ferreira. 2003. Reúso de Água na Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Dissertação de mestrado. Brasília : UCB, 2003.

LUIZ, Danielle de Bem. Gerenciamento Hídrico em Frigoríficos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : s.n., 2007. p. 115.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Decreto nr 30691. Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA. 29 de março de 1952.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria n° 210. 10 de novembro de 1998.

MATSUMURA, Erika Myho. Perspectivas para conservação e reúso de água na indústria de alimentos - Estudo de uma unidade de processamento de frangos. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo : s.n., 2007.

MEES, Juliana Bortoli R. Tratamento de Resíduos Líquidos III. Apostila. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira - PR : s.n., 2004.

METCALF e EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th. New York : McGraw-Hill, 2003.

METCALF e EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. 3th. New York : C Graw Hill, 1991. p. 1334.

MIERZWA, José Carlos. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria - estudo de caso da Kodak Brasileira. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo : USP, 2002. p. 368.

MORGAN et al, Luciana Secolo. IV - 06 - Tratamento terciário do efluente de uma estação de tratamento de esgoto sanitário do tipo UASB + Biofiltros aerados submersos através de processo físico-químico. Ed.

ABES. Joinville - Santa Catarina : s.n., 2003.

MS, Ministério da Saúde. Portaria SVS/MS nº 326. Aprova o Regulamento Técnico: "Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos". 30 de julho de 1997.

MS, Ministério da Saúde. Portaria nº 518. 26 de março de 2004.

NUNES, José Alves. Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais. 4ª. Aracaju : J. Andrade, 2004. p. 298. CDU 628.54.

OCKERMAN, Herbert W. and HANSEN, Conly L. Industrialización de subproductos de origen animal. Zaragoza : ACRIBIA, 1994. p. 377.

OLIVO, Rubinson. O Mundo do Frango, Cadeia Produtiva da Carne do Frango. Criciúma : Editora do Autor, 2006. 680p.

SC, Governo do Estado de Santa Catarina. Lei Estadual nº 5.793 Dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental. 1980.

SCHOENHALS, Marlise. Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro Avícola. Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis : UFSC, 2006.

SILVA, Carlos A. Polímero Orgânico Natural Trata Água e Efluentes. *Revista Química e Derivados*. Edição 407, Agosto de 2002.
<<http://www.quimicaederivados.com.br>> Acessado em: 05 de Março de 2009.

SPELLMAN, Frank R. Handbook of Water and Wastewater treatment plant operations. London : Lewis Publishers, 2003. p. 669.

SPRINGMANN, Pedro. Comunicação Pessoal. 2009.

TEIXEIRA, Priscila da Cunha. Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP : s.n., 2003.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do Tratamento Biológico de águas Residuárias. V.3 - Lagoas de Estabilização. 2. Belo Horizonte : DESA-UFMG, 2002. p. 196. Vol. 3.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias V. 4 - Lodos ativados. Belo Horizonte : UFMG, 1997. Vol. 4. p. 414.