**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

Renata de Lima Pereira de Gasperi

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE
GORDURA E AVALIAÇÃO DA FLOTAÇÃO COMO
ALTERNATIVA PARA O PRÉ-TRATAMENTO**

**SÃO CARLOS
2012**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE
GORDURA E AVALIAÇÃO DA FLOTAÇÃO COMO
ALTERNATIVA PARA O PRÉ-TRATAMENTO**

Renata de Lima Pereira de Gasperi

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Penalva Reali

VERSÃO CORRIGIDA
SÃO CARLOS
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

G249c Gasperi, Renata de Lima Pereira
Caracterização de resíduos de caixas de gordura e
avaliação da flotação como alternativa para o pré-
tratamento / Renata de Lima Pereira Gasperi ; orientador
Marco Antonio Penalva Reali. - São Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Resíduos de caixas de gordura. 2. Flotação de
resíduos com óleos e graxas. 3. Caracterização de resíduos
de caixas de gordura. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **RENATA DE LIMA PEREIRA DE GASPERI**.

Título da dissertação: "Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o pré-tratamento".

Data da defesa: 19/10/2012

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Marco Antonio Penalva Reali** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Titular **José Roberto Campos**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Associado **Roque Passos Piveli**
(Escola Politécnica/USP)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*Ao meu marido, José Adhemar,
e ao meu filho, Guilherme.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que torna tudo possível;

Ao meu pai, Luiz, que deve estar num lugar iluminado, sempre confiando em mim e me dando força;

A minha mãe, por seu amor incondicional;

Ao meu marido, José Adhemar, pelo amor e apoio, sempre ao meu lado, meu porto seguro;

Ao meu querido filho, Guilherme, que torna tudo mais alegre e simples;

Ao Renato Rossetto, Gerente de Operação de Esgoto da SANASA, idealizador deste projeto, pelo apoio, pelo crédito e principalmente por não me deixar desistir;

Ao Sérgio Grandin, por dividir sua experiência e por seu exemplo;

A SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A, por apoiar e contribuir com esta pesquisa;

A equipe do Laboratório de Águas Residuárias da SANASA, Adriana, Nelson, Wilma, Gil, Eduardo, Ednaldo, Paiva e Oséias, que participaram com a realização das análises;

Ao Rafael Gulla, ao André e ao João Paulo pelo auxílio nos ensaios e em especial ao Paulo por toda sua dedicação. Muito obrigada!

A equipe de manutenção da SANASA;

Aos meus amigos da Operação de Esgoto, Juliana, Natália, Sílvia, Uildson, Luis Gustavo, Gabriel,..., que fizeram parte deste trabalho de alguma forma.

A Sá, por sua ajuda em todos os assuntos administrativos durante o mestrado, mas também por sua amabilidade;

Aos professores Jurandyr Povinelli, Sílvia Povinelli, Eduardo Mário Menciondo, Marcelo Zaiat, Marco Antonio Penalva Reali, pelos ensinamentos nas disciplinas em que eu cursei;

A M^a Teresa do LATAR, pelo importante apoio nas análises finais;

Aos alunos do Departamento de Hidráulica e Saneamento com quem eu mantive contato;

Ao Prof^o José Roberto Campos e a PROMINAS, pelo empréstimo da planta piloto;

Novamente, ao meu orientador, Prof^o Marco Antônio Penalva Reali, que muito me ajudou com toda sua experiência e conhecimento durante todo desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
RESUMO	XI
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. A OCORRÊNCIA DE ÓLEOS E GRAXAS NO ESGOTO	5
3.1.1 <i>Definições</i>	5
3.1.2 <i>Características físicas e químicas</i>	5
3.2. PROBLEMAS OPERACIONAIS CAUSADOS POR ÓLEOS E GRAXAS NOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIOS - SES	6
3.3. CAIXAS DE GORDURA.....	11
3.3.1 <i>Definições e funções</i>	11
3.3.2 <i>Dimensionamento</i>	12
3.3.3 <i>Características dos resíduos acumulados em caixas de gordura</i>	14
3.3.4 <i>Manutenção das caixas de gordura</i>	14
3.4. PRÉ -TRATAMENTO DE EFLUENTES COM ALTOS TEORES DE ÓLEOS E GRAXAS.....	15
3.5. OPERAÇÕES PARA O PRÉ-TRATAMENTO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE CAIXAS DE GORDURAS	15
3.5.1 <i>Tratamento preliminar</i>	15
3.5.2 <i>Flotação</i>	16
3.6. REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO	20
3.7. DIGESTÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS GORDUROSOS COM LODO DE ESGOTO	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1. ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA.....	22
4.2. ETAPA 2 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA FLOTAÇÃO NO PRÉ-TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA	25
4.2.1 <i>Equipamentos utilizados na Etapa 2</i>	25
4.2.2 <i>Etapa 2 – Fase 1 - avaliação da velocidade de flotação (V_{fl})</i>	26
4.2.2.1. Parâmetros operacionais dos ensaios da Fase 1	26
4.2.3 <i>Etapa 2 – Fase 2 - variação de produtos químicos</i>	27
4.2.3.1. Parâmetros operacionais utilizados – Fase 2.....	27
4.2.3.2. Produtos químicos	27
4.2.4 <i>Etapa 2 – Fase 3 - ensaios com variação de pH e dosagens do agente coagulante</i>	28
4.2.4.1 Parâmetros operacionais dos ensaios da Fase 3	29
4.2.5 <i>Etapa 2 – Fase 4 - variação das taxas de A/S (relação ar/sólidos)</i>	29
4.2.5.1. Parâmetros operacionais utilizados nos ensaios da Fase 4	30
4.3. ETAPA 3 - OPERAÇÃO DA PLANTA PILOTO.....	30
4.3.1 <i>Sistema piloto para pré-tratamento de resíduos de caixas de gordura</i>	31
4.3.2 <i>Descrição do funcionamento da unidade piloto</i>	32
4.3.4 <i>Ensaio e determinações da Etapa3</i>	37
4.4. ETAPA 4 - INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL FLOTADO E DO ÓLEO INCORPORADO.	38

4.4.1. Procedimentos adotados na desmulsificação e extração do óleo contido no material flotado.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1. RESULTADOS DA ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA	39
5.1.1. Descrição das fontes geradoras	39
5.2. RESULTADOS DA ETAPA 2	47
5.2.1. Fase 1 – Velocidade de flotação.....	47
5.2.2. Fase 2 - Ensaios em bancada para verificação do desempenho da flotação associada a diferentes produtos químicos.....	47
5.2.3. Fase 3 – Verificação do desempenho do polímero catiônico em pó aplicado em amostra com três valores de pH distintos.....	54
5.2.4. Fase 4 – Verificação da flotação variando a relação ar- sólido (A/S).....	59
5.3. ETAPA 3 - OPERAÇÃO DA PLANTA PILOTO	61
5.4. ETAPA 4 – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO FLOTADO E VERIFICAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DO ÓLEO.....	64
6. CONCLUSÃO FINAL	66
7. RECOMENDAÇÕES.....	68
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Gordura acumulada no poço de sucção de uma Estação Elevatória de Esgoto	7
FIGURA 3.2 – Corte esquemático de reator com a visualização dos pontos de acúmulo de espuma	9
FIGURA 3.3 – Problemas com a espuma na ETE Piçarrão – Campinas – SP	10
FIGURA 3.4 – Caixas de gordura cilíndricas pré-moldadas produzidas segundo a NBR 8160/99.....	13
FIGURA 4.1 – Limpeza de uma caixa de gordura	23
FIGURA 4.2 – Caminhão utilizado na limpeza das caixas de gordura e no transporte do resíduo	24
FIGURA 4.3 – Aparelho de Jar Test utilizado nos ensaios de bancada na Etapa 2.....	25
FIGURA 4.4 – Equipamento Flotatest desenvolvido por REALI (1991) utilizado nos ensaios da Etapa 2	26
FIGURA 4.5 - Foto do sistema de flotação utilizado, construído por BORGES, 2009.....	31
FIGURA 4.6 - Foto do sistema piloto: Vista geral	32
FIGURA 4.7 - (a) tanque de equalização (b) Bombas de alimentação da unidade de flotação (c) Sistema de aplicação de produtos químicos, (d) peneira, (e) detalhe da malha da peneira com furos de 5 mm , (f) calha de coleta de material flotado, (g) sistema de saturação e recirculação, (h) sistema de injeção de efluente saturado, (i) material flotado.	35
FIGURA 4.8 – Fluxograma simplificado do sistema piloto de pré-tratamento	36
FIGURA 5.1 – Caixa de gordura da lanchonete fast-food antes da limpeza	39
FIGURA 5.2 – Caixa de gordura da lanchonete fast-food durante a limpeza.....	39
FIGURA 5.3 – Caixa de gordura da lanchonete fast food após a limpeza	39
FIGURA 5.4 – Gráficos estatísticos: características do resíduo bruto das caixas de gordura	44
FIGURA 5.5 – Concentrações de OG nas amostras brutas e após peneira	45
FIGURA 5.6 – Aspecto visual do resíduo bruto contendo grânulos de gordura solidificada	45
FIGURA 5.7 – Material retido na peneira nos ensaios em bancada.....	46
FIGURA 5.8 – Gráfico da dispersão dos resultados de análise de pH nas amostras brutas.....	46
FIGURA 5.9 – Separação do material durante os ensaios de flotação com polímero catiônico.....	48
FIGURA 5.10 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o cloreto férrico nos ensaios de flotação com a amostra 11.....	49

FIGURA 5.11 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o PAC nos ensaios de flotação com a amostra 11	49
FIGURA 5.12 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando polímero catiônico de alta taxa nos ensaios de flotação com a amostra 11	50
FIGURA 5.13 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando tanino nos ensaios de flotação com a amostra 11	50
FIGURA 5.14 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando cloreto férrico nos ensaios de flotação com a amostra 13	52
FIGURA 5.15 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando PAC nos ensaios de flotação com a amostra 13	52
FIGURA 5.16 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando polímero catiônico de alta taxa em pó nos ensaios de flotação com a amostra 13	53
FIGURA 5.17 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o tanino nos ensaios de flotação com a amostra 13	53
FIGURA 5.18 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de DQO-	57
DQO inicial = 88000 mg/L	57
FIGURA 5.19 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de OG	58
OG inicial = 16130mg/L	58
FIGURA 5.20 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de SST - SST inicial = 28720 mg/L ..	58
FIGURA 5.21 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de ST - ST inicial = 29908 mg/L	59
FIGURA 5.22 – Eficiências e concentrações residuais de OG, DQO, SST e ST, obtidas do ensaio com variação da relação A/S	60
FIGURA 5.23 – Gradeamento grosseiro do sistema piloto com resíduos acumulados no ensaio	63
FIGURA 5.24 – Peneira do sistema piloto com resíduos acumulados no ensaio	63
FIGURA 5.25 – Material flotado - sistema de flotação piloto	63
FIGURA 5.26 – Amostras de resíduo bruto e de material flotado no ensaio em planta piloto	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Formas dos óleos presentes no esgoto	6
TABELA 3.2 - Manutenções devidas ao lançamento de efluentes de indústrias alimentícias monitoradas de 2002 a 2004	7
TABELA 3.3 – Dimensões de caixas de gordura	12
TABELA 3.4 – Parâmetros de projeto para um sistema FAD para tratamento de água residuárias....	20
TABELA 4.1 - Relação de parâmetros analisados para caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura	24
TABELA 4.2 – Dimensões do Flotador	37
TABELA 4.3 – Parâmetros para caracterização das amostras submetidas aos ensaios da Etapa 3.....	37
TABELA 5.1 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 1 a 5.....	40
TABELA 5.2 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 6 a 10.....	41
TABELA 5.3 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 11 a 15.....	42
TABELA 5.4 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 16 a 18.....	43
TABELA 5.5 - Eficiência com variação da velocidade de flotação. $Psat = 6 \text{ kgf/cm}^2$, ; $Trec = 80\%$; amostra de uma restaurante industrial	47
TABELA 5.6 - Resultados referentes aos ensaios no Flotatest, com a amostra 11 – coletada em um lanchonete Fast-food. Características da amostra bruta após peneira: $pH = 4,4$; $DQO = 71300 \text{ mg/L}$; $OG = 19424 \text{ mg/L}$; $ST = 23762 \text{ mg/L}$; $SST = 18320 \text{ mg/L}$; $V_{flot} = 4 \text{ m/h}$, $Trec = 80\%$, $Psat = 6 \text{ kgf/cm}^2$ e $A/S = 11/1000 \text{ gar/g sólido}$	48
TABELA 5.7. Resultados referentes aos ensaios no Flotatest, da amostra 13, coletada em uma lanchonete Fast food . Características da amostra bruta após peneira: $pH = 4,4$; $DQO = 44000 \text{ mg/L}$; $OG = 4505 \text{ mg/L}$; $ST = 43840 \text{ mg/L}$; $SST = 29952 \text{ mg/L}$, $V_{flot} = 4 \text{ m/}$, $Trec = 80\%$, $Psat = 6 \text{ kgf/cm}^2$ e $A/S = 6/1000 \text{ gar/g sólido}$	51
TABELA 5.8 – Custos de aplicação de produtos químicos.....	54
TABELA 5.9 - Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete fast food - $V_{fl} = 4 \text{ cm/min}$, $Trec = 80\%$, $Psat = 6 \text{ kgf/cm}^2$ e $pH = 4,3$; $A/S = 10/1000 \text{ gar/g sólido}$	56
TABELA 5.10 – Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete fast food - $V_{fl} = 4 \text{ cm/min}$, $Trec = 80\%$, $Psat = 6 \text{ kgf/cm}^2$ e $pH = 6,0$; $A/S = 10/1000 \text{ gar/g sólido}$	56

TABELA 5.11 - Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete fast food - Vfl= 4cm/min, Trec=80%, Psat=6kgf/cm ² e pH=7,0; A/S=10/1000 gar/gsólido	56
TABELA 5.12 - Resultados e eficiências da Amostra 16 , coletada em uma lanchonete fast-food, submetida a ensaios de flotação com variação A/S Parâmetros fixados : Vfl= 4m/h, Dpoli=30mg/L, Psat=6kgf/cm ² e pH= 4,6	59
TABELA 5.13 - Taxas de recirculação utilizadas no ensaio de variação de A/S (gar/gSST)	60
TABELA 5.14 - Características do Material Flotado da amostra 16 - Vfl= 4cm/min, Dpoli=30mg/L, Psat=6kgf/cm ² e pH= 4,6	61
TABELA 5.15 – Eficiência do ensaio em sistema piloto	62
TABELA 5. 16 – Características dos materiais submetidos a procedimentos para extração do óleo ...	64
TABELA 5.17 – Resultados da extração do óleo	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OG – Óleos e graxas

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DQO – Demanda química de oxigênio

ST – Sólidos totais

STV – Sólidos totais voláteis

STF – Sólidos totais fixos

SST – Sólidos suspensos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

SSF – Sólidos suspensos fixos

SDT – Sólidos dissolvidos totais

pH – Potencial hidrogeniônico

PAC – Policloreto de alumínio

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas

NBR – Norma Brasileira

SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

MSH – Materiais solúveis em hexano

SES – Sistema de esgotamento sanitário

EPA – Environment Protection Agency

SPES – Sistema predial de esgoto sanitário

WEF – Water Environment Federation

FAD – Flotação por ar dissolvido

ANP – Agência Nacional do Petróleo

LISTA DE SÍMBOLOS

A/S – Relação ar/sólido

V = Volume

DN – Diâmetro nominal

Ø – Diâmetro

TAS – Taxa de aplicação superficial

TCS – Taxa de aplicação de sólidos

Td – Tempo de detenção hidráulico

Trec – Taxa de recirculação

Car – Concentração de ar na recirculação pressurizada

Qrec – Vazão de recirculação

Qafl – Vazão afluyente

Qar – Vazão efetiva de ar fornecida ao sistema

Dar – Densidade do ar

Vfl – Velocidade de flotação

Sa - Solubilidade do ar

F – Fração de ar dissolvido

Psat – Pressão de saturação

Dpoli – Dosagem de polímero

“ Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum- para si mesmo ou para os outros – abandoná-lo quando assim ordena seu coração. Olhe cada caminho com cuidado e atenção. Teste-o quantas vezes julgares necessário...Então faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta: Possui este caminho um coração? Em caso afirmativo, o caminho é bom. Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.”

Carlos Castañeda

RESUMO

Gasperi, R. L. P. (2012). **Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o pré-tratamento**. São Carlos, 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Caixas de gordura são dispositivos para retenção de material gorduroso, de origem animal e vegetal, proveniente de pias de cozinha. Sua instalação é exigida por muitos municípios para liberação de ligações de esgoto, visando reduzir as concentrações de óleos e graxas (OG) lançadas no sistema público de coleta e tratamento. Um fator primordial para que estas caixas cumpram suas funções é o estabelecimento de rotinas de manutenção envolvendo inspeção e limpeza periódica. A instalação de locais para recebimento e pré-tratamento dos resíduos retirados das caixas de gordura pode incentivar boas práticas de operação e manutenção destes dispositivos. Diante disso, os objetivos desta pesquisa contemplam a caracterização de resíduos acumulados em caixas de gordura e a avaliação da flotação como alternativa para o seu pré- tratamento, seguido de caracterização do óleo extraído da espuma produzida no flotador. Para tanto, materiais acumulados em caixas de gorduras de fontes distintas foram caracterizados, possibilitando observar grande variação em sua composição, e elevadas concentrações de DBO, DQO, SST e OG. Para verificar o desempenho da flotação visando à redução de OG no efluente pré-tratado, foram realizados ensaios em bancadas e testados quatro produtos químicos coagulantes, sendo eles o PAC, o cloreto férrico, o tanino e o polímero catiônico. Todos apresentaram eficiências elevadas na remoção de OG, porém o produto que apresentou mais vantagens na aplicação foi o polímero. Utilizando o polímero, foram realizados ensaios para verificação do desempenho de várias dosagens associadas a três pH de coagulação diferentes e o melhor desempenho se deu com a aplicação de 30 mg/L de polímero combinada ao pH 4,3, natural da amostra. Foram também realizados ensaios utilizando diferentes relações A/S (7,5/1000, 15/1000 e 22/1000 $\text{g}_{\text{ar}}/\text{g}_{\text{sólidos}}$), obtendo-se melhores remoções de OG com a utilização da relação 22/1000 $\text{g}_{\text{ar}}/\text{g}_{\text{sólidos}}$. Os materiais flotados obtidos nos ensaios de avaliação da relação A/S foram caracterizados e apresentaram concentrações de ST entre 9,7 e 10,6% e de OG entre 6,1 e 6,7%. Baseado nos resultados obtidos a flotação mostra-se como alternativa com bom desempenho para o pré- tratamento dos resíduos estudados. Para avaliar a dificuldade do manuseio dos resíduos provenientes de caixas de gordura, uma planta piloto foi operada, e entre as principais dificuldades observadas estão o odor intenso, a necessidade de remoção de sólidos grosseiros e de homogeneização do resíduo no tanque de equalização. Visando reaproveitamento do resíduo flotado, foi realizada a extração do óleo com solvente de uma amostra deste material (com teor de sólidos de 8,86%), obtendo a recuperação de 30 $\text{g}_{\text{óleo}}/\text{L}_{\text{resíduo}}$ com acidez de 13,76 mg KOH/L. A elevada acidez indica a necessidade de purificação, se o objetivo for a produção de biodiesel.

Palavras chave: resíduos de caixas de gordura, flotação de resíduos com óleos e graxas, caracterização de resíduos de caixas de gordura.

ABSTRACT

Gasperi, R. L. P. (2012). **Grease trap waste characterization and evaluation of flotation as an alternative for pre-treatment**. São Carlos, 2012. M. Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Grease traps are devices that retain animal and vegetal fatty material from kitchen sinks. Many municipalities demand its installation in order to connect house wastewater to the public network, aiming to reduce fat, oil and grease concentration in the collecting and treatment systems. The establishment of maintenance schedule involving inspection and periodic cleaning is a key factor to the right functioning of the device. The existence of appropriated sites to receive and pretreat grease trap wastes may stimulate good practices on maintenance and operation of these devices. In this direction, the objectives of this research are the characterization of grease trap wastes and the evaluation of flotation as an alternative for its pretreatment, followed by characterization of the oil extracted from the scum formed at flotator. Therefore, grease trap wastes from different sources were collected and characterized. It could be observed a wide variation on its composition and high concentrations of BOD, COD, TSS and FOG. Lab scale tests were performed to assess flotation performance to reduce pretreated effluent FOG using four chemical coagulants: PAC, ferric chloride, tannin and cationic polymer. All of them achieved high efficiency on FOG removal, however the product that presented more advantages on application was polymer. More tests were performed using several dosages of polymer associated to three pH coagulation conditions. The combination that resulted in the best efficiency was 30 mg/L of polymer combined to pH 4.3, sample's natural pH. Different A/S ratios were also tested (7.5/1000, 15/1000, 22/1000 $\text{g}_{\text{air}}/\text{g}_{\text{solids}}$), the ratio 22/1000 $\text{g}_{\text{air}}/\text{g}_{\text{solids}}$ presented the best FOG removal efficiencies. Floated material from A/S ratio tests were characterized and presented TS concentrations between 9.7% and 10.6% and FOG was from 6.1% to 6.7%. Based on the obtained results, flotation appears as a high performance alternative for the pretreatment of studied wastes. A pilot plant was operated to evaluate problems related to grease trap waste handling. The main problems were: bad odor, the need of screening and waste homogenization in equalization tank. Aiming to reuse the floated waste, oil was extracted from a sample (8.86% solid content) using solvent, achieving the recovery of 30 $\text{g}_{\text{oil}}/\text{L}_{\text{waste}}$ with 13.76 mgKOH/L acidity. The high acidity points to the need of purification if biodiesel production is intended.

Key words: grease trap waste, oils and greases waste flotation, grease trap waste characterization .

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Embora a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgoto ainda seja um desafio para muitos municípios, o controle das características dos efluentes que são lançados nestes sistemas não deve ser esquecido, pois muitas vezes podem ocasionar problemas físicos e operacionais, e ainda, inviabilizar o processo de tratamento em estações convencionais, dimensionadas para o recebimento de esgoto doméstico.

Compostos comumente encontrados em despejos, inclusive nos domésticos, como os óleos e graxas, causam problemas operacionais comuns em redes coletoras, tais como extravasamentos devidos à obstrução e à redução da seção das tubulações. Nas estações de tratamento de esgoto o recebimento de efluente com altas concentrações de óleos e graxas, além de obstruções, aderência em equipamentos e em paredes dos tanques de processo, e da geração de odores, quando não submetidos ao pré-tratamento, podem interferir na formação de escumas e até mesmo na inibição de processos biológicos. Em reatores anaeróbios, em especial os do tipo UASB, a formação de escumas interfere no caminhamento do biogás proporcionando escape para a zona de decantação, podendo alterar a qualidade do efluente tratado e também causar flotação da biomassa, de acordo com PONTES (2009) e SOUSA (2006).

O Decreto 8468/76 alterado pelo Decreto 15452/80, do estado de São Paulo, que regulamenta a Lei 997/76, estabelece, para o lançamento de óleos e graxas na rede coletora, a concentração limite de 150mg/L, fato que exige o pré-tratamento dos efluentes com concentrações maiores. De acordo com DELATORRE & MORITA (2007), efluentes com concentrações de óleos e graxas inferiores aos limites impostos pela legislação já causam sérios problemas no sistema de esgotamento, o que indica que estes valores devem ser revistos e reduzidos.

As caixas de gordura são dispositivos que permitem a separação de parte do material graxo presente no meio líquido, por meio de flotação natural, reduzindo a concentração de OG que atingem as redes coletoras, ou mesmo o sistema de tratamento individual, quando não há ligação com o sistema público de esgoto, conforme GNIPPER (2008). Diante disso, e para preservar o sistema de esgoto de problemas devidos aos resíduos gordurosos, muitas concessionárias, baseadas nas recomendações da norma técnica ABNT NBR 8160/99, para o dimensionamento, construção e limpeza das caixas de gordura, exigem de seus consumidores, para liberar uma interligação de esgoto, a

instalação de caixas de gordura. O esgoto exclusivamente de pias de cozinha e/ou de outras fontes de gordura, deve passar por estas antes do lançamento na rede coletora.

Apenas a exigência da instalação de tais dispositivos não garante a eficácia desta ação, pois como a limpeza e destinação final do material acumulado é de responsabilidade do gerador e como não há, na maioria dos municípios, programas estabelecidos pelas operadoras dos sistemas de saneamento, que monitorem estas operações, recebam estes materiais e proporcionem seu pré-tratamento, a manutenção destas caixas é quase sempre feita de forma precária e geralmente ocorre apenas quando há obstruções e vazamentos. Quando estas caixas funcionam saturadas transformam-se em caixas de passagem, perdendo sua função e consequentemente permitindo que o resíduo alcance a rede coletora de esgoto em concentrações mais elevadas.

Uma alternativa para destinação correta destes resíduos é a instalação de unidades de pré-tratamento, operadas e gerenciadas pelas empresas de saneamento. Oferecendo este serviço para a comunidade, podem incentivar a limpeza das caixas na frequência necessária por proporcionarem uma forma de tratamento e locais para o recebimento, evitando que estes resíduos alcancem as redes coletoras, que sejam lançados irregularmente em galerias ou corpos d'água, ou mesmo que sejam destinadas aos aterros sanitários sem qualquer tratamento.

Segundo WUST (2004), os resíduos provenientes de caixas de gordura, com altas concentrações de óleos e graxas, apresentam lenta degradação microbiológica e seu depósito em aterros sanitários constitui um problema ambiental.

No tratamento de efluentes gordurosos, para obter melhores resultados na separação de óleos e graxas, a adição de produtos químicos como sulfato de alumínio e o cloreto férrico, aliados ao processo de flotação, promovem a quebra das emulsões lipídicas, auxiliando na flotação da gordura (PONTES, 2009).

Baseado nestes fatos, com o objetivo de buscar subsídios para implantação de sistemas de pré-tratamento para estes resíduos, item importantíssimo na implantação de um programa de recebimento, nesta pesquisa os resíduos de caixas de gordura instaladas no município de Campinas - SP foram caracterizados e o processo de flotação associado a processos físico-químicos foi avaliado em escala de bancada, como alternativa para o pré-tratamento, verificando reduções das concentrações de óleo e graxas e do teor de sólidos no efluente tratado.

Nesta pesquisa também foram realizados ensaios em uma instalação piloto apenas para verificar as dificuldades operacionais no manuseio dos resíduos estudados, além de verificar de forma preliminar o rendimento da extração do óleo contido no resíduo flotado.

Esta pesquisa foi realizada em parceria com a SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A, empresa responsável pelos serviços de saneamento no município de Campinas – SP. Campinas conta com 24 Estações de Tratamento de Esgoto, que garantem capacidade instalada para o tratamento de aproximadamente 80% do esgoto gerado no município, possuindo ainda obras previstas para atingirem a capacidade instalada de 100%. O índice da SANASA para tratamento de esgoto está bem acima da média nacional, segundo levantamento do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2010), que é de 37,9% de tratamento dos esgotos coletados. Reatores tipo UASB com pós-tratamento fazem parte da concepção adotada para o tratamento da maior parte do esgoto coletado no município.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto é caracterizar o resíduo acumulado em caixas de gordura de cozinhas e restaurantes instalados no município de Campinas – SP, e avaliar o processo de flotação como alternativa para o pré-tratamento destes resíduos, visando à redução das concentrações de óleos e graxas nos efluentes destinados às Estações de Tratamento de Esgoto - ETE.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o resíduo de caixas de gordura, instaladas a jusante de pias de cozinha onde alimentos são manipulados;
- Verificar o desempenho da flotação associada a processos físico-químicos, em ensaios de bancada, no pré-tratamento de resíduos de caixas de gordura;
- Avaliar, de forma expedita, as dificuldades no manuseio dos resíduos de caixas de gordura através da operação de uma planta de flotação piloto, incluindo a caracterização do resíduo flotado e a verificação do rendimento da extração do óleo nele contido.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A OCORRÊNCIA DE ÓLEOS E GRAXAS NO ESGOTO

3.1.1 DEFINIÇÕES

De acordo com JORDÃO & PESSOA (2005), a gordura é um termo genérico que normalmente é usado para se referir à matéria graxa, aos óleos e às substâncias semelhantes encontradas no esgoto. Óleos e graxas estão sempre presentes no esgoto doméstico, provenientes da preparação e do uso de alimentos (óleos vegetais, manteiga, carne, etc). Podem estar presentes também sob a forma de óleos minerais derivados do petróleo (querosene, óleo lubrificante), e neste caso têm origem em postos de gasolina ou indústrias.

Óleos e graxas podem ser definidos, segundo PIVELI & KATO (2006), como o conjunto de substâncias que um determinado solvente consegue extrair da amostra e que não se volatiliza durante a evaporação do solvente a 100°C. São chamados de substâncias solúveis em n-hexano ou MSH - material solúvel em hexano, os ácidos graxos, gorduras animais, sabões, graxas, óleos vegetais, ceras, óleos minerais, etc.

3.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS.

O óleo e a gordura podem ser diferenciados num primeiro momento pela forma física, sendo o óleo líquido à temperatura ambiente enquanto que a gordura é uma substância sólida, de acordo com METCALF & EDDY (1979). Tais substâncias de origem vegetal, animal ou microbiana, são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos.

Segundo LAGO¹ et al., apud WUST 2004 os óleos e gorduras são, quimicamente, muito semelhantes, formados principalmente, por triglicerídeos ou triacilgliceróis, resultantes da combinação ácidos graxos e glicerol. Para ALLINGER² apud SOUZA (2003) as gorduras são sólidas e os óleos líquidos e podem ser definidos como ésteres de alto peso molecular, que são formados por ácidos graxos superiores e glicerol, os denominados glicerídeos.

A tabela 3.1 apresenta as formas em que estes compostos podem estar presentes no esgoto.

¹ LAGO, R. C. A. et al. (1997). *Técnicas Cromatográficas aplicadas à análise e identificação de óleos e gorduras*. Rio de Janeiro, Embrapa. Trabalho não publicado.

² ALLINGER, N. L. (1978). *Química Orgânica*, 2a edição, Rio de Janeiro, Editora Guanabara.

TABELA 3.1 - Formas dos óleos presentes no esgoto

Tipo	Definição
Óleo livre	Óleo presente na água com pouco ou nenhuma associação com água. Separação por gravidade.
Emulsões físicas	Óleo disperso na água na forma de gotículas com 5 a 2 μm . Formado na mistura através do bombeamento, tubulações e válvulas.
Emulsões químicas	Óleos dispersos na água na forma de gotículas < 5 μm . Formada por detergentes, fluidos alcalinos, agentes quelantes ou proteínas.
Óleo dissolvido	Óleos solubilizados no líquido.
Sólido molhado com óleo	Óleos que estão aderidos na superfície de sólidos dos esgotos

Fonte: Water Environment Federation (WEF,2008) adaptado de Arizona Department Environmental Quality, 1996

3.2. PROBLEMAS OPERACIONAIS CAUSADOS POR ÓLEOS E GRAXAS NOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIOS - SES

A presença de óleos e graxas no esgoto pode causar vários problemas operacionais nos sistema de coleta e tratamento de esgoto, como mostra a figura 3.1 e 3.2. Segundo WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF,2008), os principais problemas incluem:

- Bloqueio das redes de esgoto, causando extravasamentos;
- Flotação de sólidos nos poços de sucção de estações elevatórias de esgoto;
- Ocorrência de altas concentrações de escumas no decantador primário, que causam o arraste para outras etapas do processo de tratamento;
- Aderência em superfícies e equipamentos e instrumentos;
- Dificuldades no manuseio e desaguamento do lodo;

- Redução do desempenho dos processos biológicos de tratamentos, podendo inclusive ocasionar a violação dos limites autorizados para o lançamento do efluente final tratado.

FIGURA 3.1 - Gordura acumulada no poço de sucção de uma Estação Elevatória de Esgoto

Dados apresentados por DELATORRE & MORITA (2007), no monitoramento de 4 empresas do ramo de alimentos, são apresentados na Tabela 3.2 mostrando o número de intervenções causadas nas redes coletoras pelos efluentes lançados.

TABELA 3.2 - Manutenções devidas ao lançamento de efluentes de indústrias alimentícias monitoradas de 2002 a 2004

Empresa	Concentração de OG no efluente (mg/L)	Concentração de Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	Número de intervenções realizadas por semestre
1	543	4,5	1 a 5
2	3500	7	4 a 11
3	210	905	2 a 13
4	25	5	4 a 14

Adaptado de DELATORRE & MORITA (2007)

Segundo informações apresentadas por EPA (2004)³ apud EPA (2007) gorduras provenientes de restaurantes, residências e indústrias são as causas mais comuns de obstruções no sistema de coletas, sendo responsáveis por 47% dos extravasamentos de esgoto. Estes compostos se solidificam reduzindo a capacidade de transporte, bloqueando o fluxo.

MOEN (2003)⁴ apud SOUZA (2006) relatou que os óleos e graxas contidos no afluente aos reatores, sendo insolúveis, de difícil degradação e menos densos que a água, em situações de mistura inadequada, acumulam nas camadas superficiais das unidades de tratamento. Em sistemas de tratamento aeróbio a espuma interfere na transferência do oxigênio por criar uma camada sobre a biomassa, e em sistemas anaeróbios, em especial reatores de fluxo ascendente, tipo UASB, ocupa volume no reator, além de interferir no fluxo de biogás, proporcionando o seu escape para a zona de decantação gerando perturbações e arraste de sólidos pelo efluente.

Segundo SANTOS (2003)⁵ apud SOUZA (2006), nos reatores são acumulados 3,00cm/mês, de sua altura útil, com espuma, proveniente do esgoto doméstico. Na figura 3.2, pode ser observado o corte esquemático de um reator UASB, com detalhes dos pontos de retenção de espuma.

A espuma endurecida, que fica acumulada nos separadores trifásicos, aprisiona o biogás gerado no processo e ainda exerce uma grande pressão nas camadas inferiores, fato que já causou acidentes com o a torção e rompimento das campânulas de coleta, conforme relatado por MIKI (2010). Este acidente ocorreu na ETE Lajeado de Botucatu - SP e na ETE Piracicamirim em Piracicaba - SP. Problemas de mesmo tipo ocorreram na ETE Piçarrão, em Campinas – SP, como pode ser visto na figura 3.3.

Diante dos problemas operacionais expostos e na tentativa de reduzir o lançamento de óleos e graxas nas redes coletoras, assim como Campinas - SP, muitos municípios exigem a instalação de caixas para acúmulo de gorduras, nos ramais prediais à jusante de pias onde são manuseados alimentos.

³ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Report to congresso on combined sewer overflows (CSOs) and sanitary sewer overflows (SSOs)**, EPA – 833-R-04-001, August 2004.

⁴ MOEN, G. **Anaerobic digester foaming: causes and solutions**. Water Environ Technol, V.15, n. 8, p. 70-73, 2003.

⁵ SANTOS, S.E. (2003). **Avaliação do desempenho operacional de um sistema reator UASB – Lagoa de polimento, estudo de caso da ETE Juramento – MG**. Belo Horizonte. 133p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Nos postos de combustíveis, oficinas mecânicas, entre outras atividades, potenciais geradores de efluentes com concentrações de óleos minerais, são também exigidas implantação de dispositivos para retenção de tais óleos, derivados do petróleo.

FIGURA 3.2 – Corte esquemático de reator com a visualização dos pontos de acúmulo de espuma

Fonte: Adaptado Souza (2006)

(a) Escuma acumulada no separador trifásico

(b) Tubulação de escape de biogás do defletor obstruída pelo acúmulo de escuma

rompimento

(c) Detalhe do defletor do UASB rompido pelo acúmulo de escuma

(d) Limpeza da escuma acumulada no separador trifásico do UASB através da tampa de inspeção

(e) Separador trifásico torcido pela pressão causada pela retenção do biogás aprisionado pela camada de escuma

FIGURA 3.3 – Problemas com a escuma na ETE Piçarrão – Campinas – SP
Fonte: SANASA

3.3. CAIXAS DE GORDURA

3.3.1. DEFINIÇÕES E FUNÇÕES

A Norma 8160, ABNT (1999), traz a seguinte definição para caixas de gordura, “caixa destinada a reter, na sua parte superior as gorduras, graxas e óleos contidos no esgoto, formando camadas que devem ser removidas periodicamente, evitando que estes componentes escoem livremente pela rede, obstruindo a mesma”.

A caixa de gordura é um sistema para o pré-tratamento de resíduos provenientes de pias de cozinha fazendo parte da instalação predial de esgoto. São responsáveis pela remoção de parte do material graxo presente nos referidos despejos. São dispositivos simples e que acumulam resíduos com altíssimos teores de óleos e graxas.

A ABNT (1999), apenas recomenda a instalação de caixas de gordura, quando os efluentes forem gordurosos, porém Legislação do Estado de São Paulo, decreto 8468/76, que aprova o regulamento da Lei 997/76, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do meio Ambiente, estabelece em seu artigo 19A, como parte das limitações para o descarte de efluente de qualquer fonte poluidora em rede coletora provida de tratamento, os itens transcritos na sequência.

“ IV - ausência de óleos e graxas visíveis, e concentrações máximas de 150 mg/L de substâncias solúveis em hexano.”

“VI- ausência de despejos que causem ou possam causar obstruções das canalizações ou qualquer interferência na operação do sistema de esgoto”;

Para muitos estabelecimentos comerciais que manipulam alimentos como restaurantes, padarias, supermercados, açougues, e ainda indústrias alimentícias a caixa de gordura é necessária para garantir o atendimento à legislação. De acordo com dados apresentados por DELATORRE, (2007), empreendimento do ramo alimentício apresentam efluentes com concentrações de MSH, acima dos limites impostos pela legislação. Quanto aos efluentes domésticos mesmo com as faixa típica de concentração de óleos e graxas entre 50 e 100 mg/L, (PIVELI & KATO, 2006), muitos município entendem que é necessária a exigência de dispositivos para retenção e acúmulo de material graxo, e como exemplo Campinas – SP pode ser citada.

Ainda nos levantamentos de DELATORRE (2007), foi destacada a necessidade das prestadoras dos serviços de saneamento, antes de permitirem a ligação de esgoto,

verificarem as condições da rede coletora, principalmente declividade e diâmetro, visto que, efluentes mesmo que contendo concentrações de OG dentro dos limites da lei, podem causar obstruções nas tubulações receptoras.

Em muitos países constata-se a existência de caixas de gordura, como exemplo Estados Unidos, Austrália, China, Tailândia com o objetivo de reter o material graxo gerado em atividades alimentícias, objetivando a proteção do SES. Nestes países os resíduos são reaproveitados, principalmente para fins energéticos, PARNELL (2006), DELATORRE & MORITA, (2007), HAMKINS, (2006) e STOLL & GUPTA, (1995).

3.3.2 DIMENSIONAMENTO

A Norma 8160 (ABNT, 1999), prescreve um critério de dimensionamento de caixas retentoras de gordura para sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES) com base no número de cozinhas contribuintes para instalações até 12 cozinhas e, para instalações acima desse limite, na quantidade de pessoas servidas pelas cozinhas no turno de maior afluxo, figura 3.4. As dimensões e volume indicados pela normativa citada são citados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 – Dimensões de caixas de gordura

Tipo da caixa	Nº de cozinhas	Formato	Φ (m)	Dimensões		DN saída (mm)
				Comprimento submerso do septo (m)	V (L)	
Pequena	1	Cilíndrica	0,30	0,20	18	75
Simples	2	Cilíndrica	0,40	0,20	31	75
Dupla	Até 12	Cilíndrica	0,60	0,35	120	100
Especial	Acima de 12	Prismática	-	0,40	2N+20	100

Fonte: Adaptado NBR 8160 (1999)

O princípio do funcionamento da caixa de gordura é baseado na diferença de massa específica entre as gorduras e a água, ou seja, por serem mais leves que a água, a gordura tende a acumular na superfície. O efluente ao entrar na caixa não deve ter velocidade elevada em direção à saída, para que haja tempo necessário para que a gordura flutue sobre a água.

O volume em litros da caixa de gordura, para que seu correto funcionamento, é calculado conforme a Equação (1):

$$V=20+2N \quad (1)$$

Onde N é o número de pessoas da residência. No processo construtivo, a caixa de gordura passa a ter dupla função, porque ao mesmo tempo em que evita que a gordura vá para a rede coletora, veda o retorno dos gases. Ela é subdividida internamente em duas câmaras, a de entrada, com 2/3 do volume total da caixa, e a de saída, com 1/3 restante (SOUZA, 2003). Detalhes de caixas confeccionadas segundo a ABNT (1999) são mostrados na Figura 3.4.

FIGURA 3.4 – Caixas de gordura cilíndricas pré-moldadas produzidas segundo a NBR 8160/99

Fonte: GNIPPER (2008)

3.3.3. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS ACUMULADOS EM CAIXAS DE GORDURA

Os resíduos de caixas de gordura apresentam concentrações elevadas de óleos e graxas e quase sempre estão presentes em sua composição, restos de alimentos, plásticos, panos, utensílios domésticos, entre outros.

Os resíduos na caixa de gordura se encontram emulsificados devido ao uso de detergentes, que agem como tensoativos, formando uma película protetora na superfície das gotículas de óleo, e das próprias condições físicas e químicas existentes na caixa, tais como reações químicas e biológicas, temperatura, pH, que favorecem a emulsificação. A desemulsificação é alcançada por métodos físicos ou químicos. Os métodos físicos aumentam a frequência de contato das gotículas dispersas, enquanto que os químicos afetam as propriedades interfaciais das camadas adsorvidas nas superfícies das gotículas e aumentam a taxa de coalescência dos dispersados. O uso de calor ou campo elétrico é classificado como método físico, enquanto que a utilização de um desemulsificador ácido ou básico constitui um método químico SOUZA (2003).

De acordo com dados levantados por WIMMER et al. (2010), a concentração gordura nos resíduos de caixas de gordura é em torno de 1,3% dos sólidos totais. E ainda segundo Hesseische Landesanstalt für Umwelt (1992)⁶, apud STOLL & GUPTA (1995), a concentração de sólidos secos é de 16%, sendo que apenas 4% é gordura.

3.3.4. MANUTENÇÃO DAS CAIXAS DE GORDURA

Segundo DELATORRE & MORITA (2007) a capacidade insuficiente ou falhas nas limpezas, comprometem a eficiências dos dispositivos de retenção, implicando na passagem direta de óleos e graxas para rede coletora. A manutenção das caixas de gordura consiste principalmente na limpeza, removendo o seu conteúdo evitando que os materiais graxos atinjam as redes coletoras.

Segundo recomendações da Sydney Water Corporation (2004)⁷ apud DELATORRE & MORITA, (2007), a limpeza das caixas de gordura deve ocorrer antes que alguma das seguintes condições ocorra:

- A espessura da camada superficial, composta de óleos, graxas e material flutuantes, seja maior ou igual a 10% da profundidade total da caixa;

⁶ HESSEISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1982). **Konzept der Beseitigung von Fettabscheiderrückständen in Hessen**. Wiesbaden, December, 1982.

⁷ SYDNEY WATER CORPORATION. **Trade Waste Policy**. Sydney, 2004. Disponível em <http://www.sydneywater.com.au/Publications/> 2004.

- A espessura da camada de sólidos no fundo da caixa seja maior ou igual a 20% da profundidade total da caixa;
- O fundo da caixa apresente uma camada de sólidos maior que 400 mm;
- A somatória das espessuras das camadas superficiais e de fundo seja maior que 25% da profundidade da caixa.

Na Flórida, no município de Jacksonville, conforme PARNELL, (2006) a concessionária responsável pelo sistema de coleta de esgoto, exige limpeza caso o volume útil da unidade receptadora de gordura atinja 25% de sua capacidade ou a cada 90 dias, o que ocorrer primeiro. Ao menos uma vez ao ano o esgotamento completo da caixa deve ser realizado. As caixas de gordura são exigidas apenas para instalações que servem mais de 18 refeições por dia, dispensando as demais. A limpeza das caixas é feita através de caminhões tipo limpa fossa que são providos de tanque para acúmulo do resíduo e bomba para sucção.

3.4. PRÉ -TRATAMENTO DE EFLUENTES COM ALTOS TEORES DE ÓLEOS E GRAXAS

Os dispositivos para remoção de óleos e graxas devem ter condições favoráveis para reter e remover os resíduos, possuindo capacidade para acumulação suficiente para suportar a quantidade acumulada de resíduos entre as operações de limpeza, proporcionando condições de tranquilidade para permitir a flutuação do material, seus dispositivos de entrada e saída devem permitir o perfeito escoamento do fluxo hidráulico, além de reterem o material gorduroso evitando seu arraste.

Como exemplos de pré-tratamento de resíduos gordurosos, citados por JORDÃO & PESSOA (2005), PIVELI & KATO (2006) e PONTES (2009): caixas de gordura; tanques aerados por ar comprimido; separadores gravitacionais; eletrocoagulação; flotação; tratamentos enzimáticos e processos físico-químicos.

3.5. OPERAÇÕES PARA O PRÉ-TRATAMENTO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE CAIXAS DE GORDURAS

3.5.1. TRATAMENTO PRELIMINAR

O tratamento preliminar funciona como uma barreira, ele é constituído por equipamentos e unidades como peneiras, trituradores, desarenadores, medidores de vazão,

removedores de óleos e graxas, tanques de equalização e removedores de odor. Segundo a WEF- Water Environment Federation (1998), os equipamentos e unidades do tratamento preliminar devem atender a quesitos básicos tais como remover os sólidos grosseiros para proteção de equipamentos e tubulações contra entupimentos e obstruções e melhorar o desempenho das unidades subsequentes atenuando cargas, picos e de vazão ou ambos (PRADO⁸ apud BORGES 2009).

A remoção de sólidos grosseiros pode ser feita por meio de grades, peneiras rotativas, estáticas ou trituradores. O tamanho do material retido é função do espaço livre destinado à passagem do efluente e a limpeza dos resíduos pode ser manual ou mecanizada (Von Sperling, 2005).

Os resíduos de caixas de gorduras possuem características distintas do esgoto bruto, devido à sua origem, apresentam concentrações baixas de sólidos fixos, não necessitando de passagem por desarenadores.

3.5.2. FLOTAÇÃO

A flotação é um processo de separação de partículas suspensas (sólidas ou líquidas) em meio líquido, através da utilização de bolhas de gás, normalmente o ar. Quando estas bolhas aderem à superfície das partículas, aumentam seu empuxo, provocando seu direcionamento para a superfície da fase líquida, de onde, ao atingirem concentrações adequadas são devidamente coletadas (REALI, 1991).

Existem várias modalidades de flotação e o que as diferencia é o método em que as bolhas de gás são produzidas, (ZABEL⁹ apud BORGES, 2009), são elas:

- Flotação por ar disperso: as bolhas, geralmente grandes, são geradas por turbinas e rotores através da dispersão, aeração e agitação da suspensão (diâmetro superior a 1 mm);
- Flotação eletrolítica: através da passagem de corrente contínua entre dois eletrodos localizados na câmara de flotação provocando a eletrólise da água, bolhas de hidrogênio e

⁸ PRADO, M. (2006). **Concepção e Estudo de uma Unidade Compacta Para Tratamento Preliminar de Esgoto Sanitário Composta por Separador Hidrodinâmico por Vórtice e Grade Fina De Fluxo Tangencial**. 268p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

⁹ ZABEL, T. (1984). **Flotation in water treatment**. In: IVES, K.J. ED. THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION. Proceedings of the NATO Advanced Science Institute on the Scientific Basis of Flotation, Cambridge, England, Jul, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p.349-77.

oxigênio são geradas. As bolhas geradas possuem diâmetros menores do que os obtidos com a flotação por ar disperso ou por ar dissolvido;

- Flotação por ar dissolvido: as bolhas são geradas pela despressurização de um líquido supersaturado com ar. O ar é precipitado na forma de pequenas bolhas, geralmente com diâmetro menor que 100 μm , e com pouca agitação do líquido.

O tamanho das bolhas é essencial para o bom desempenho da flotação, sendo o tamanho do desejado entre 10 e 100 μm . Recentemente dispositivos especiais como bombas multifásicas estão sendo utilizadas para geração de microbolhas, caracterizando a flotação por microbolhas. Estes dispositivos estão sendo utilizados em substituição às câmaras de saturação apresentando muitas vantagens.

“As vantagens das bombas multifásicas em relação às bombas tradicionais associadas a compressores de ar e câmara de saturação são: (i) alta eficiência, fornecendo uma grande massa de ar por unidade de volume por recirculação; (ii) eliminação da necessidade do uso de câmaras de saturação; (iii) suprimento do ar pode ser mediante compressores de baixa pressão ou a partir do próprio ar atmosférico (não necessita de compressores). Em contrapartida, as desvantagens são: (i) podem resultar bolhas com dimensões maiores causado pelo possível excesso de ar fornecido; (ii) maior requerimento de potência devido às altas pressões de operação; (iii) pode reduzir a efetividade da bomba com o tempo, devido ao possível desgaste causado por partículas sólidas “(ROSS, SMITH e VALENTINE¹⁰ apud BORGES ,2009, p. 43)

Com o objetivo de avaliar o desempenho de uma bomba (DAF 40 Shin Shin Pump Inc. Korea) na geração de microbolhas de ar, LEE et al. (2007), realizaram estudo em uma unidade flotação por ar dissolvido - FAD com capacidade de 150 m^3h^{-1} , aplicada à clarificação de água para abastecimento. Utilizando pressão de 5,1 kgf/cm^2 , vazão de recirculação entre 20 e 40% e obtiveram eficiência de remoção de turbidez da ordem de 80%. Os autores ainda concluíram que: (i) em condições de operação otimizadas, a relação ar/água deve ser de 8% a 10%, a taxa de recirculação de 30% para uma pressão de 5,1 atm; (ii) a perda de gás na bomba, devido ao menor tempo de contato entre a água e ar, é menor que a câmara de saturação; (iii) 97% das bolhas medidas eram menores que 70 μm ; (iv) a bomba apresenta controles simplificados, dispensando o uso de compressor de ar e câmara de saturação.

¹⁰ ROSS, C. C.; SMITH, B. M.; VALENTINE, G. E. (2000). **Rethinking Dissolved Air Flotation (DAF) Design for Industrial Pretreatment**. In: WATER ENVIRONMENT FEDERATION AND PURDUE UNIVERSITY INDUSTRIAL WASTES TECHNICAL CONFERENCE, St. Louis, Missouri.

Utilizando uma bomba multifásica em um sistema de FAD, PIOLTINE (2009), obteve os melhores resultados na operação de uma unidade piloto tratando efluente de uma indústria têxtil, quando associou a taxa de recirculação de 30% ao fornecimento de ar de 13%. A relação A/S utilizada ficou em torno de 0,015 g_{ar}/g_{sólido}, e a taxa de aplicação superficial variou na faixa de (129 ± 10) m.d⁻¹.

Os principais parâmetros para projetos de sistemas de flotação são: TAS - taxa de aplicação superficial, TCS - taxa de aplicação de sólidos; A/S – relação entre a massa de ar fornecido para a flotação e fluxo de sólido suspensos totais, Td – Tempo de detenção hidráulica, Trec – taxa de recirculação, dentre outros.

A eficiência de um sistema de flotação por ar dissolvido, depende da razão entre a massa de ar e a massa de partículas em suspensão (relação A/S). Num sistema de flotação com microbolhas, a relação ar-sólidos (A/S) TOTAL fornecida ao sistema de flotação é diferente da relação ar-sólidos (A/S) TEÓRICO, calculada pela lei de Henry. Pois o “A” no sistema de microbolhas é a concentração mássica total efetivamente fornecida ao processo, envolvendo as frações de ar dissolvido e não dissolvido. Enquanto o “A”, pela Lei de Henry, é a concentração mássica teórica de ar capaz de ser dissolvido na água para uma determinada pressão e temperatura (PIOLTINI, 2009).

Assim:

$$\frac{A}{S} = C_{AR} \times \frac{Q_{REC}}{SST \times Q_{AFL}} \quad (2)$$

A/S: relação ar-sólidos (mg_{AR}/ mg_{sólidos})

C_{AR}: concentração de ar na recirculação pressurizada (mg_{AR}/L_{efl})

Q_{REC}: vazão de recirculação (m³/h)

Q_{AFL}: vazão afluente (m³/h)

SST: sólidos suspensos totais (mg/L)

Onde a concentração de ar na recirculação pressurizada, com a utilização da bomba multifásica foi calculada a partir da equação (2) utilizada por PIOLTINE, 2009.

$$C_{AR} = \frac{Q_{AR}}{Q_{REC}} \times d_{AR} \times 1000 \quad (3)$$

C_{AR} : concentração total (dissolvido ou não) de ar efetivamente presente na recirculação (mg_{AR}/L_{efl})

Q_{AR} : vazão efetiva de ar fornecida ao sistema (L/h), igual à diferença entre a vazão de ar injetada na sucção da bomba multifásica e a vazão de ar expulsa pela ventosa da câmara seletiva de bolhas.

Q_{REC} : vazão de recirculação (L/h)

d_{AR} : densidade do ar (igual a 1,17g/L para $T = 25^{\circ}C$)

No tratamento de efluentes gordurosos, para obter melhores resultados na separação de óleos e graxas, a adição de produtos químicos coagulantes, aliados ao processo de flotação, promove a quebra das emulsões lipídicas, auxiliando na flotação da gordura (PONTES, 2009).

BENSADOK et al, 2006, estudou a combinação de processos químicos com a flotação por ar dissolvido para o tratamento de efluentes emulsionados. O método consiste na desestabilização do estado coloidal da emulsão, reduzindo a resultante das forças existentes entre as partículas e o meio de dispersão. Ele concluiu que quando a flotação por ar dissolvido é associada, ocorre melhora na separação, e redução no tempo necessário para a separação. Através de ensaios em Jar-test, comparou o desempenho do $Al_2(SO_4)_3$ e $CaCl_2$ e verificou que para emulsões com concentrações de óleos e graxas em torno de 6% o primeiro produto apresentou melhores resultados enquanto que para concentrações entre 2 e 4% as reduções de OG mais significativas ocorreram com a utilização do segundo produto. Para a flotação o melhor desempenho ocorreu para taxas A/S de 37/1000 $g_{ar}/g_{emulsão}$. A Tabela 3.4 apresenta os valores usuais para projetos de sistemas de flotação por dissolvido.

TABELA 3.4 – Parâmetros de projeto para um sistema FAD para tratamento de água residuárias

Parâmetro	Faixa de variação
Pressão (kPa)	200 ^{1,2} a 480 ³
Razão de recirculação (%)	15 ⁴ a 300 ¹
Relação ar-sólido (kg _{ar} /kg _{ss})	0,005 ³ a 0,100 ¹
Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² .h)	0,48 ⁴ a 9,76 ¹
Carga de sólidos (kg/m ² .h)	2,0 ³ a 24,4 ¹
Tempo de detenção no flotador (min)	30 ^{1,2}
Eficiência na remoção de sólido (%)	70 ³ a 98,6 ¹

Fonte: ¹ DICK (1972)¹¹; ² RAMALHO (1977)¹²; ³ EPA (1975)¹³; ⁴ METCALF & EDDY (1991)¹⁴ APUD PROSAB (2001)

3.6. REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO

Estudos realizados por WUST(2008), mostraram a viabilidade da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos. Gonçalves (2009), propõe, baseado em estudos realizados por Araújo (2007)¹⁵, que o índice de acidez de óleos residuais, objetivando a produção de biodiesel, apresente valores máximos de 1mgKOH/g para atendimento aos limites da Agência Nacional do Petróleo – ANP, que é de 0,5 mgKOH/g, pois 90% da acidez é removida nos processos de transesterificação e purificação com ésteres, processo aos quais o óleo residual será submetido para a seu reaproveitamento como biodiesel.

3.7. DIGESTÃO CONJUNTA DE RESÍDUOS GORDUROSOS COM LODO DE ESGOTO

A digestão de resíduos provenientes de caixas gordura juntamente com lodo de esgoto em digestores anaeróbios foi realizada com sucesso tanto em ensaios em bancada como em testes em escala piloto por DAVIDSSON, et al, 2007. Eles observaram o aumento na produção do metano quando misturas do lodo contendo de 10-30% de resíduo de caixas de gordura, foram submetidas a digestão anaeróbia, sem que houvesse o aumento da produção de lodo. A produção de metano não foi estável quando foi estudada apenas a degradação simples do resíduo, sem a mistura com o lodo.

¹¹ DICK, R. I. **Sludge treatment In: WEBER, W.J. Physicochemical Process for Water Quality Control**, New York, John Wiley, 1972. Cap. 12, p. 533-596.

¹² RAMALHO, R. S. **Introduction to Wastewater Treatment Process**. New York, Academic Press, 1977. 409p.

¹³ EPA – ENVIRONMENTAL AGENCY PROTECTION – **Process Design Manual for Suspended Solids Removal**, USEPA Technology Transfer, 1975.

¹⁴ METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3. Ed. New York, Mc Graw Hill, 1991. 1334p.

¹⁵ ARAÚJO, J. M. A. (2008). **Química de alimentos: teoria e prática**. 4. ed. Viçosa, MG, Editora Viçosa.

Segundo BORGES, 2009, em estudos com lodo contendo altos teores de óleos e graxas a digestão aeróbia apresentou elevada degradação de óleos e graxas e remoção de DQO, alcançando bons resultados, desde que seja aplicado inóculo. Para período de aeração de 19 dias a remoção de DQO e óleos e graxas alcançou índices de 88,3% e 90%, respectivamente. Quando o inóculo não foi adicionado, os resultados não foram satisfatórios.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos consistem em caracterizar os resíduos provenientes de caixas de gorduras e através de ensaios de flotação, encontrar condições operacionais, produtos químicos e dosagens que proporcionem melhores eficiências, visando o pré-tratamento destes resíduos de forma que as concentrações de substâncias solúveis em hexano sejam reduzidas na fase líquida.

4.1. ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA

Com o objetivo de caracterizar os resíduos gerados em diferentes fontes geradoras, foram coletados materiais acumulados em caixas de gordura da cidade de Campinas – SP, com origens distintas, especificadas a seguir:

- 2 restaurantes industriais;
- 1 *fast food*, com refeições baseadas em sanduíches e batatas fritas;
- 1 hotel com restaurantes de várias especialidades
- 2 condomínios residenciais.

Todas as caixas de gordura, que foram limpas para a caracterização dos resíduos, tinham volumes de acúmulo superiores a 200L e estavam instaladas em locais que possibilitaram a limpeza através de caminhões tipo “limpa fossa”.

Os resíduos foram recolhidos sempre entre as 8:00 e 9:00h da manhã, durante a limpeza completa de caixas de gordura feitas através de caminhões tanque, tipo “limpa fossa”, providos de bomba de sucção conforme pode ser observado na figura 4.1. Após o procedimento de limpeza, o material de cada gerador, separadamente, foi transportado e descarregado em uma estação de tratamento de esgoto operada pela SANASA. As amostras em volume suficiente para as análises e para os ensaios foram coletadas durante a descarga do material em três alíquotas, a primeira coletada no início das descargas, a segunda aproximadamente no meio e a última no final do descarte, este procedimento foi adotado com o objetivo de obter uma amostra mais representativa de todo conteúdo do caminhão.

Os caminhões utilizados nas coletas tiveram seus tanques previamente limpos antes do recolhimento do material em estudo, para evitar a alteração das amostras. Um caminhão similar ao utilizado na limpeza das caixas pode ser visto na figura 4.2.

As amostras foram caracterizadas também, após passarem por peneira. Para os ensaios em bancada foi necessária uma peneira com malha de 2 mm de abertura, utilizada com o objetivo de preservar o flotatest de obstruções.

FIGURA 4.1 – Limpeza de uma caixa de gordura

FIGURA 4.2 – Caminhão utilizado na limpeza das caixas de gordura e no transporte do resíduo

Para caracterização das amostras, as análises foram realizadas pelo Laboratório de Águas Residuárias da SANASA, seguindo procedimentos e método de análise baseados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005. Os parâmetros analisados nos resíduos brutos, e após peneira constam na tabela 4.1.

TABELA 4.1 - Relação de parâmetros analisados para caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura

Variáveis	Unidade	Método	Número do Método	Referência
pH		Potenciométrico	4500 H ⁺	APHA, 2005
Temperatura	°C		2550 B	APHA, 2005
DBO	mg/L	Eletrométrico	5210 B	APHA, 2005
DQO	mg/L	Colorimétrico por refluxo fechado	5220 D.	APHA, 2005
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico	2540 B	APHA, 2005
Sólidos Suspensos	mg/L	Gravimétrico	2540 D.	APHA, 2005
Sólidos Fixos e Voláteis	mg/L	Gravimétrico	2540 E.	APHA, 2005
Óleos e Graxas	mg/L	Gravimétrico	5520 D.	APHA, 2005

4.2. ETAPA 2 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA FLOTAÇÃO NO PRÉ-TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA

Para avaliação da flotação como alternativa para o pré-tratamento dos resíduos estudados nesta etapa foram realizados ensaios em bancada, divididos em quatro fases, em que foram verificadas as eficiências da flotação sob as seguintes condições:

- Fase 1 – Flotação submetida a 2 velocidades de flotação;
- Fase 2 – Flotação associada a 4 diferentes produtos químicos utilizados como agentes de coagulação;
- Fase 3 – Flotação variando o pH da amostra bruta e a dosagem do agente coagulante que proporcionou melhor desempenho na fase 2;
- Fase 4 – Com a variação da relação A/S ($\text{g}_{\text{ar}}/\text{g}_{\text{sólidos}}$).

4.2.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ETAPA 2

Para a avaliação da flotação, como alternativa para o pré-tratamento dos resíduos, foram realizados ensaios em bancada utilizando equipamento de Jar-test, para mistura rápida, e um Flotatest, desenvolvido por REALI (1991), para os ensaios de flotação. Nas figuras 4.3 e 4.4 são mostrados os equipamentos utilizados nos ensaios desta etapa.

FIGURA 4.3 – Aparelho de Jar Test utilizado nos ensaios de bancada na Etapa 2

O aparelho de Jar Test utilizado, possuía 6 jarros e era equipado com hastes para mistura com controle digital de rotação x gradiente. Cada jarro possuía 2L de capacidade.

FIGURA 4.4 – Equipamento Flotatest desenvolvido por REALI (1991) utilizado nos ensaios da Etapa 2

O Flotatest era composto por 4 colunas com 2 litros de capacidade cada, providas de misturadores com hastes removíveis, controle de rotação e uma câmara de saturação de ar que atingia até 8 Bar. A alimentação desta câmara com ar foi feita a partir de um compressor.

O tempo e gradiente de floculação foram considerados em todos os ensaios desta fase, como a transferência do material do jarro do Jar-test para as colunas de flotação, simulando a pior situação, que seria a aplicação de produtos químicos em linha, à montante de um misturador estático, antes da entrada do sistema de flotação.

4.2.2. ETAPA 2 – FASE 1 - AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO (VFL)

Verificar o desempenho do ensaio da flotação para duas velocidades de flotação distintas.

4.2.2.1. Parâmetros operacionais dos ensaios da Fase 1

Velocidades de flotação avaliadas:

$V_{flot(1)} = 4 \text{ m/h}$

$V_{flot(2)} = 6 \text{ m/h}$

Parâmetros utilizados:

- Gradiente de mistura rápida: 1000s^{-1}
- Tempo de mistura rápida: 10s
- Pressão de saturação: 6 kgf/cm^2
- Taxa de recirculação: 80%
- Produto químico: não foi utilizado

A velocidade de flotação adotada para as próximas fases desta etapa, foi a que proporcionou efluente com maior redução das substâncias solúveis em hexano.

Parâmetros analíticos monitorados nesta fase: ST e OG.

4.2.3. ETAPA 2 – FASE 2 - VARIAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

Os ensaios desta etapa visam avaliar o desempenho de 4 produtos químicos com a variação das dosagens aplicadas.

4.2.3.1. Parâmetros operacionais utilizados – Fase 2

- Gradiente de mistura rápida: 1000s^{-1}
- Tempo de mistura rápida: 10s
- Pressão de saturação: 6 kgf/cm^2
- Taxa de recirculação: 80%
- Velocidade de flotação: 4m/h

4.2.3.2. Produtos químicos

Foram avaliados nesta fase o desempenho dos seguintes produtos químicos e dosagens:

- Cloreto Férrico Líquido – Teor de FeCl_3 - 38,5%
Fornecedor: Indústrias Químicas Cataguases Ltda.
Dosagem 1: 80 mg/L
Dosagem 2: 120 mg/L
Dosagem 3: 160 mg/L

- PAC- Cloreto do Polialumínio Líquido – Teor de Al_2O_3 10,24%

Fornecedor: Nheel Química Ltda.

Dosagem 1: 80 mg/L

Dosagem 2: 120 mg/L

Dosagem 3: 160 mg/L

- Polímero Catiônico em pó – Tipo: Superfloc® 8396

Marca: Kemira.

Dosagem 1: 8 mg/L

Dosagem 2: 12 mg/L

Dosagem 3: 16 mg/L

- Tanino Líquido – Tipo: Tanfloc SG

Fornecedor: Tanac S.A.

Dosagem 1: 80 mg/L

Dosagem 2: 120 mg/L

Dosagem 3: 160 mg/L

O melhor resultado foi considerado baseado nos seguintes critérios:

- menores residuais de substâncias solúveis em hexano;

- menores custos de aplicação, em função dos valores contratados pela SANASA em março de 2012.

De posse dos resultados desta etapa foi possível determinar o produto a ser utilizado nas demais fases desta etapa.

Parâmetros analíticos monitorados nesta fase: pH, DQO, ST, SST e OG.

4.2.4. ETAPA 2 – FASE 3 - ENSAIOS COM VARIAÇÃO DE PH E DOSAGENS DO AGENTE COAGULANTE

Para avaliar a eficiência na remoção de OG no processo de flotação, variando o pH de coagulação x dosagem do produto que foi considerado o mais vantajoso na fase 2 desta etapa, nesta fase foram realizados ensaios em bancada associando 3 valores de pH a 6 dosagens distintas do agente coagulante. A variação do pH foi proporcionada pela aplicação de Hidróxido de Sódio (solução comercial).

Nos ensaios desta fase foram testados:

pH : 4,3 (natural da amostra); 6,0 e 7,0;

Dosagens do agente coagulante - polímero catiônico e pó (mg/L): 0; 5; 10; 15; 20; 25 e 30.

Parâmetros analíticos monitorados na fase líquida desta fase: pH, DQO, ST, SST e OG.

4.2.4.1 Parâmetros operacionais dos ensaios da Fase 3

Parâmetros fixos utilizados nesta fase:

- Gradiente de mistura rápida: $1000s^{-1}$
- Tempo de mistura rápida: 10s
- Pressão de saturação: 6 kgf/cm^2
- Taxa de recirculação: 80%
- Produto químico: obtido na fase 2
- Velocidade de Flotação: obtida na fase 1

4.2.5. ETAPA 2 – FASE 4 - VARIAÇÃO DAS TAXAS DE A/S (RELAÇÃO AR/SÓLIDOS)

Utilizando o melhor par pH x dosagem obtido na etapa anterior, os ensaios foram realizados nesta etapa variando a taxa A/S, consequentemente a vazão de recirculação.

Foram testadas as seguintes relações:

$$A/S (1) = 7,5/1000 \text{ kg}_{ar}/\text{kg}_{SST}$$

$$A/S (2) = 15/1000 \text{ kg}_{ar}/\text{kg}_{SST}$$

$$A/S (3) = 22/1000 \text{ kg}_{ar}/\text{kg}_{SST}$$

A taxa de recirculação (R/Q) foi calculada através da fórmula:

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3 \cdot Sar \cdot (f \cdot P - 1) \cdot Q_{rec}}{Ss \cdot Q_{afl}} \quad (4)$$

Em que:

A/S: razão ar/sólidos ($\text{kg}_{\text{ar}} / \text{kg}_{\text{sólidos suspensos}}$);

Sa: solubilidade do ar na temperatura do efluente (igual a $18,7 \text{ mL}_{\text{ar}} / \text{L}_{\text{água}}$ para $T = 20^{\circ}\text{C}$)

f: fração de ar dissolvido à pressão P, fator de eficiência da câmara de saturação (igual a 1 para câmara do flotatest);

P: pressão de operação (absoluta) (atm);

SS: sólidos suspensos no afluente (mg.L^{-1});

Qrec: vazão de recirculação da água saturada ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

Qafl: vazão do líquido afluente ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

Parâmetros analíticos monitorados no efluente desta fase: pH, DQO, ST, SST e OG.

Parâmetros analíticos monitorados no material flotado: ST e OG

4.2.5.1. Parâmetros operacionais utilizados nos ensaios da Fase 4

Parâmetros fixos utilizados nesta etapa:

- Gradiente de mistura rápida: 1000s^{-1}
- Tempo de mistura rápida: 10s
- Pressão de saturação: 6 kgf/cm^2
- Produto químico: obtido na fase 2
- Velocidade de Flotação: obtida na etapa 1
- Dosagem x pH: obtido na etapa 3

4.3. ETAPA 3 - OPERAÇÃO DA PLANTA PILOTO

Com o objetivo avaliar a dificuldade no manuseio do material em estudo, uma unidade piloto de flotação, construída por BORGES (2009), foi utilizada, figura 4.5.

A dosagem e o produto utilizados nesta etapa foram os que obtiveram os melhores resultados na etapa 2. Os parâmetros operacionais foram definidos em função das características dos equipamentos existentes na planta piloto existente.

FIGURA 4.5 - Foto do sistema de flotação utilizado, construído por BORGES, 2009

4.3.1. SISTEMA PILOTO PARA PRÉ-TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA

A unidade de pré-tratamento piloto, mostrada nas figuras 4.6 e 4.7, foi instalada para promover a flotação de sólidos suspensos, óleos e graxas, e a remoção de materiais sedimentáveis. Assim ela foi concebida com uma zona para sedimentação e uma zona de flotação.

O sistema piloto foi montado contemplando as seguintes unidades:

Caixa de chegada com cesto para gradeamento preliminar, confeccionado com malha de 12 mm, tanque de equalização, bombas de alimentação providas de inversores de frequência, sistema de aplicação e dosagem de produtos químicos em linha, misturador estático, peneira fina com abertura de 5 mm, tanque de flotação composto por zona de sedimentação e zona de flotação, medidores de vazão, bomba multifásica para geração de microbolhas e recirculação da emulsão água/ ar e manômetros. Os detalhes da instalação completa podem ser vistos na figura 4.7.

FIGURA 4.6 - Foto do sistema piloto: Vista geral

4.3.2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA UNIDADE PILOTO

O material que chegou de caminhão foi descarregado em um cesto confeccionado em tela metálica, com malha 12 mm. O cesto foi instalado para reter material grosseiro, e sua limpeza foi feita manualmente.

Do cesto de resíduo o efluente seguiu para um tanque de equalização com capacidade para armazenamento de 15 m³. Na lateral deste tanque foram instalados pontos para coletas de amostras ao longo da altura. O controle do nível era feito através de uma mangueira transparente colocada na lateral do tanque.

Para transferência do material equalizado até a entrada do sistema de flotação foram instaladas duas bombas centrífugas providas de inversores de frequência permitindo a variação da vazão. As mesmas bombas, através de manobras de válvulas instaladas na linha de recalque, possibilitavam a retorno do resíduo para o tanque de equalização, proporcionando a homogeneização do material, antes do acionamento do sistema de flotação, que funcionou por batelada.

O retorno do resíduo ao tanque de equalização com objetivo de homogeneização foi acionado 1,0 hora antes do início do ensaio, sendo mantido até sua finalização com o mesmo propósito.

À montante do sistema de flotação havia uma peneira, confeccionada em chapa metálica tipo moeda com furos de 5 mm. Esta peneira foi instalada para reter material fino que pudesse obstruir os bicos de injeção de água+ar.

No sistema de flotação a despressurização do efluente recirculado foi feita através de válvulas agulha – $\Phi = \frac{3}{4}$ ". A jusante deste ponto, na zona de contato, se dava o encontro entre as microbolhas de ar geradas após a despressurização do recirculado e do efluente. A flotação propriamente dita se deu na zona de separação que estava na sequência. Nesta, a camada de lodo subia à superfície e era removida por raspadores. Uma parcela do efluente tratado era recirculada por uma bomba multifásica (sistema que substituí a câmara de saturação), onde ocorria a saturação do efluente com ar proveniente diretamente da atmosfera. Já a outra parcela do efluente pré-tratado, ou seja o clarificado, seguia para o tratamento biológico, na ETE onde a unidade foi montada.

A pressão na recirculação era controlada por válvulas agulha e monitorada por um manômetro no recalque da bomba multifásica.

O material sedimentado foi removido através de descargas de fundo instaladas na zona de sedimentação.

O sistema físico-químico composto por bomba dosadora e misturador, foi instalado para que a dosagem e a mistura ocorressem na linha de recalque, entre o tanque de equalização e a unidade de pré-tratamento. A regulação da dosagem aplicada era feita pelo estrangulamento das mangueiras das bombas dosadoras, do tipo peristálticas. A aferição das dosagens foi realizada através de provetas graduadas.

O fluxograma simplificado, de funcionamento da unidade piloto, pode ser verificado na figura 4.8.

O produto químico utilizado e a dosagem adotada na operação da planta piloto foram os que proporcionaram melhores vantagens comparando custos da aplicação e redução das substâncias solúveis em hexano, na etapa 2.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

FIGURA 4.7 - (a) tanque de equalização (b) Bombas de alimentação da unidade de flotação (c) Sistema de aplicação de produtos químicos, (d) peneira, (e) detalhe da malha da peneira com furos de 5 mm , (f) calha de coleta de material flotado, (g) sistema de saturação e recirculação, (h) sistema de injeção de efluente saturado, (i) material flotado.

FIGURA 4.8 – Fluxograma simplificado do sistema piloto de pré-tratamento

Na tabela 4.2 estão apresentadas as dimensões dos flotação construído por Borges (2009) e utilizado nos ensaios em escala piloto nesta pesquisa.

TABELA 4.2 – Dimensões do Flotador

Tanque de flotação	Dimensões
Largura (m)	0,70
Altura (m)	1,90
Área superficial total (m ²)	1,82
Área superficial útil (m ²)	1,33
Volume útil (m ³)	2,50

Fonte: Borges (2009).

4.3.4. ENSAIOS E DETERMINAÇÕES DA ETAPA3

Para verificação do desempenho da Etapa 3 foram realizadas as análises constantes na tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Parâmetros para caracterização das amostras submetidas aos ensaios da Etapa 3.

Amostra	Amostragem	Parâmetros analisados
Afluente	Instantânea	pH, DQO, OG, Série de Sólidos
Efluente	Instantânea	pH, DQO, OG, Série de Sólidos
Material flotado	Instantânea	pH, OG e ST

As análises foram realizadas pelo Laboratório de Águas Residuárias da SANASA baseadas em métodos constantes no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th (2005).

As amostras do efluente pré-tratado foram coletadas no vertedor de saída da planta piloto a cada 25 minutos. Foram coletadas com intervalo para avaliar o desempenho do ensaio ao longo do tempo.

O lodo foi coletado na calha de coleta de lodo após 50 minutos de ensaio.

4.4. ETAPA 4 - INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES QUANTO AS CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL FLOTADO E DO ÓLEO INCORPORADO

As amostras para realização desta etapa foram obtidas no ensaio realizado na planta piloto. E foram caracterizadas de acordo com os parâmetros contidos na tabela 4.4 antes de serem desemulsificadas.

TABELA 4.4 – Análises realizadas nas amostras do material bruto e flotado - ETAPA 3

Parâmetros analisados	Método
Porcentagem de Sólidos (%)	SMEWW 2540 B
Umidade (%)	SMEWW 2540 B
Peso específico (g/mL)	SMEWW 2710 F

4.4.1. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA DESEMULSIFICAÇÃO E EXTRAÇÃO DO ÓLEO CONTIDO NO MATERIAL FLOTADO

Para avaliar a eficiência desta etapa os procedimentos para a desemulsificação e extração de óleo, foram realizados em amostras do material bruto e no material flotado.

Para desemulsificação do óleo presente no resíduo flotado foi utilizada metodologia proposta por SHAW (1975), que consiste em adicionar 7,5 g de NaCl em 100mL de amostra, e na sequência, já com o eletrólito, mantê-la sob agitação à temperatura de aproximadamente 80°C por 60 minutos.

Após a amostra resfriar até temperatura ambiente, foi feita a extração do óleo adicionando 150 ml de n-hexano.

O óleo extraído foi quantificado e o seu índice de acidez determinado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. RESULTADOS DA ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS DE CAIXAS DE GORDURA

5.1.1. DESCRIÇÃO DAS FONTES GERADORAS

As amostras foram coletadas em caixas de gordura de condomínios residenciais, restaurantes industriais, uma lanchonete *fast-food* e em um hotel, estando as características do material coletado apresentadas nas tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4. As informações referentes à frequência das limpezas foram fornecidas pelo gerador.

As figuras 5.1, 5.2 e 5.3 correspondem a uma mesma caixa de gordura antes, durante e após a limpeza, onde é possível observar que o material gorduroso ficou acumulado na superfície da caixa, pois existia um septo impedindo sua saída para rede coletora de esgoto. Durante as limpezas foi possível observar que embaixo da camada de gordura existia sempre uma camada de água que era aspirada no esgotamento completo da caixa.

FIGURA 5.1 – Caixa de gordura da lanchonete fast-food antes da limpeza

FIGURA 5.2 – Caixa de gordura da lanchonete fast-food durante a limpeza

FIGURA 5.3 – Caixa de gordura da lanchonete fast food após a limpeza

TABELA 5.1 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 1 a 5

Parâmetros analisados	Identificação das amostras									
	1		2		3		4		5	
	br	pen	br	pen	br	Pen	br	pen	br	pen
DBO (mg/L - DBO)	3487		27561	14537	14439	8780	31198		13150	14380
DQO (mg/L - O ₂)	7150		56500	29800	29600	18000	64000		29000	26500
T (C°)	27		26	26	22,5	22,5	26		25	25
pH	5,4		5,8	5,9	6,2	6,1	5,7		4,0	4,2
Sólidos Totais (mg/L)	5480		27558	15670	23528	12986	35570		26160	22628
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	1896		6256	5484	4102	2134				
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	3584		21302	10186	19426	10852				
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	700		1718	690	9948	1558				
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	4780		25840	14980	13580	11428				
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	1670		6520	3960	2680	3640				
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	3110		19320	11020	10900	7788				
Solúveis em Hexano (mg/L)			8325	7538	12580	9556	3544		35364	24972
Fonte Geradora	Restaurante industrial		Condomínio residencial		Condomínio residencial		Restaurante industrial		Restaurante industrial	
Frequencia das limpezas	mensal		anual		semestral		mensal		mensal	

br = bruto

pen = após peneira

TABELA 5.2 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 6 a 10

Parâmetros analisados	Identificação das amostras									
	6		7		8		9		10	
	br	pen	br	pen	br	Pen	br	pen	br	pen
DBO (mg/L - DBO)	16108	13880			26850	16960	32500			
DQO (mg/L - O ₂)	32400	27450	28000		53900	34400	64000		48100	14850
T (C°)	27	27			24	24	26		23	23
pH	5	6			5	5	6,5		4,5	4,4
Sólidos Totais (mg/L)	8174	7424	21385		13745	14540	93852		36872	
Sólidos Totais Fixos (mg/L)							2904			
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)							90948			
Sólidos Dissolvidos (mg/L)			910				740			
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)			20475				93112			
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)							2890			
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)							90222			
Solúveis em Hexano (mg/L)	5040	1920	4952		3612	4092	2400			36872
Fonte Geradora	Restaurante industrial		Restaurante industrial		Restaurante industrial		Restaurante industrial		Fast food	
Frequencia das limpezas	mensal		mensal		mensal		mensal		bimestral	

br = bruto

pen = após peneira

TABELA 5.3 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 11 a 15

Parâmetros analisados	Identificação das amostras									
	11		12		13		14		15	
	br	pen	br	pen	br	Pen	br	pen	br	pen
DBO (mg/L - DBO)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
DQO (mg/L - O ₂)	73200	71300	34340	33720	33000	44000	136000	88000	150000	148500
T (C°)	25	25	26	26	26	26	26	26	25	25
pH	4,3	4,4	5,3	5,3	4,7	4,7	4,3	4,4	4,7	4,6
Sólidos Totais (mg/L)	24632	23762	11437	10912	53079	43840	45744	29908	66608	38048
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	1442	1470	—	—	2812	2931	3128	2800	2496	1928
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	23190	22292	—	—	50267	40909	42616	27108	64112	36120
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	1472	5442	1207	2442	10007	13888	1864	1188	9928	448
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	23160	18320	10230	8470	43072	29952	43880	28720	56680	37600
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	960	660	—	—	2310	2354	2080	2160	2040	1520
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	22200	17660	—	—	40762	27598	41800	26560	54640	36080
Solúveis em Hexano (mg/L)	14128	19424	6727	8482	4710	4505	35580	16130	65150	32230
Fonte Geradora	Fast food		Fast food		Fast food		Fast food		Fast food	
Frequencia das limpezas	bimestral		bimestral		bimestral		bimestral		mensal	

br = bruto

pen = após peneira

TABELA 5.4 Caracterização das amostras de resíduos de caixas de gordura - 16 a 18

Parâmetros analisados	Identificação das amostras					
	16		17		18	
	br	pen	br	pen	br	Pen
DBO (mg/L - DBO)	—	—	—	—	—	—
DQO (mg/L - O ₂)	62600	60400	40300	36500	66000	64000
T (C°)	26	26	25,5	25,5	25	25
pH	4,6	4,6	4,5	4,7	4,6	4,8
Sólidos Totais (mg/L)	51960	48840	35480	32480	44620	48980
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	—	—	—	—	2480	2600
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	—	—	—	—	42140	46380
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	2320	1570	3350	2110	2200	12900
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	49640	47270	32130	30370	42420	36080
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	—	—	—	—	880	1800
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	—	—	—	—	41540	34280
Solúveis em Hexano (mg/L)	21300	17820	10980	7630	22675	26720
Fonte Geradora	Fast food		Fast food		Hotel	
Frequencia das limpezas	mensal		mensal		bimestral	

br = bruto

pen = após peneira

Analisando os resultados obtidos, é possível verificar variações nas características entre as amostras, mesmo quando coletadas de uma fonte geradora similar ou ainda, da mesma fonte.

Na figura 5.4 estão apresentados os gráficos estatísticos dos resultados da caracterização dos resíduos brutos. Pode ser observado na figura 5.4 (c) que a mediana do OG é de 9652,5mg/L e que existem valores com concentrações superiores a 60000mg/L.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

FIGURA 5.4 – Gráficos estatísticos: características do resíduo bruto das caixas de gordura

A Figura 5.5 apresenta a variação nas concentrações de OG, obtidas nas amostras analisadas antes e após a peneira. Podendo ser observado que parte do material graxo esta incorporada nos sólidos que ficaram retidos na peneira. Em algumas amostras as concentrações de OG aumentaram após a passagem pela peneira, neste caso pode ter havido a quebra da gordura solidificada durante o peneiramento. A Figura 5.6 mostra o aspecto visual de uma das amostra e a 5.7 o material que ficou retido na peneira em um dos ensaios.

FIGURA 5.5 – Concentrações de OG nas amostras brutas e após peneira

FIGURA 5.6 – Aspecto visual do resíduo bruto contendo grânulos de gordura solidificada

FIGURA 5.7 – Material retido na peneira nos ensaios em bancada

Os valores de pH apresentaram-se na faixa ácida entre 6,5 e 4,0, sendo a mediana de 4,7, conforme pode ser observado na figura 5.8.

FIGURA 5.8 – Gráfico da dispersão dos resultados de análise de pH nas amostras brutas

5.2. RESULTADOS DA ETAPA 2

Todos os valores das concentrações residuais, apresentados nesta fase, foram corrigidos em função da recirculação ter sido feita nos ensaios com equipamento flotatest com água potável, fato que interfere nas concentrações finais do clarificado.

5.2.1. FASE 1 – VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO

Para a definição da velocidade de flotação que seria utilizada nas próximas fases, uma amostra foi submetida a duas velocidades de flotação. As eficiências estão apresentadas na tabela 5.5.

TABELA 5.5 - Eficiência com variação da velocidade de flotação. $P_{sat} = 6 \text{ kgf/cm}^2$; $T_{rec} = 80\%$; amostra de uma restaurante industrial

Nº da Amostra	Parâmetros	Bruto após peneira	Efluente	Efluente	E (%)	E (%)
			Vfl = 4 m/h	Vfl = 6 m/h	Vfl = 4 m/h	Vfl = 6 m/h
8	ST (mg/L)	14540	3960	5121	72,8	64,8
	OG (mg/L)	4092	112	457	97,3	88,8

Nesta etapa não foram utilizados agentes coagulantes.

Diante dos resultados apresentados na tabela 5.5, é possível verificar que a $V_{fl}=4\text{m/h}$ apresentou maiores eficiências na redução de OG e ST quando comparada a $V_{fl}=6\text{m/h}$. Assim os ensaios das fases futuras utilizaram $V_{fl}= 4 \text{ m/h}$.

5.2.2. FASE 2 - ENSAIOS EM BANCADA PARA VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DA FLOTAÇÃO ASSOCIADA A DIFERENTES PRODUTOS QUÍMICOS

A tabela 5.6 mostra os resultados obtidos nos ensaios de flotação em que a amostra 11, coletado em uma lanchonete *fast food*, foi testada, submetida à coagulação com quatro diferentes produtos químicos. Cada produto avaliado foi testado com três dosagens diferentes.

A figura 5.9 mostra fotos dos ensaios realizados.

FIGURA 5.9 – Separação do material durante os ensaios de flotação com polímero catiônico

TABELA 5.6 - Resultados referentes aos ensaios no Flotatest, com a amostra 11 – coletada em um lanchonete *Fast-food*. Características da amostra bruta após peneira: pH = 4,4; DQO = 71300mg/L; OG = 19424 mg/L; ST = 23762 mg/L; SST= 18320 mg/L; Vflot = 4m/h, Trec = 80%, Psat = 6 kgf/cm² e A/S=11/1000g_{ar}/g_{sólido}

Produto Químico (coagulante)	Dosagem (mg/L)	Características do clarificado					Eficiência (%)			
		pH	DQO (mg/L)	OG (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	DQO	OG	ST	SST
Branco	0	4.4	8460	972	4504	2916	88,1	95,0	81,0	84,1
Cloreto Férrico (FeCl ₃)	80	4.5	5310	36	2077	576	92,6	>99,0	91,3	96,9
	120	4.4	9540	41	4219	2394	86,6	>99,0	82,2	86,9
	160	4.5	9072	5	5965	3708	87,3	>99,0	74,9	79,8
	80	4.4	4320	76	2776	1044	93,9	99,6	88,3	94,3
PAC (Al ₂ O ₃)	120	4.3	5940	173	3211	2520	91,7	99,1	86,5	86,2
	160	4.3	5400	88	2714	2124	92,4	99,5	88,6	88,4
	80	4.4	4320	76	2776	1044	93,9	99,6	88,3	94,3
Polímero Catiônico de Alta Taxa em pó	8	4,5	6120	558	5148	1206	91,4	97,1	78,3	93,4
	12	4,4	6264	371	5940	1080	91,2	98,1	75,0	94,1
	16	4,5	5778	680	4687	792	91,9	96,5	80,3	95,7
Tanino	80	4,5	5220	209	2261	954	92,7	98,9	90,5	94,8
	120	4,5	4446	265	1937	576	93,8	98,6	91,8	96,9
	160	4,5	4572	131	1922	396	93,6	99,3	91,9	97,8

Analisando as eficiências apresentadas nas figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, é possível observar que todos os produtos apresentaram remoções de OG superiores a 96,5%, proporcionando o processo de flotação altas eficiências independente do tipo de produto.

Quanto ao ensaio sem a aplicação de produtos químicos, denominado com branco, embora tenha ocasionado boa redução de óleos e graxas, foi o que apresentou maior concentração residual, além disso pode ser observado que nos ensaios com a aplicação de produtos químicos, principalmente o polímero, houve a formação de um floco flotado firme, menos propenso a quebra.

FIGURA 5.10 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o cloreto férrico nos ensaios de flotação com a amostra 11

FIGURA 5.11 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o PAC nos ensaios de flotação com a amostra

FIGURA 5.12 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando polímero catiônico de alta taxa nos ensaios de flotação com a amostra 11

FIGURA 5.13 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando tanino nos ensaios de flotação com a amostra 11

A tabela 5.7 mostra os resultados obtidos nos ensaios de flotação realizados com a amostra 13, sendo que os valores encontram-se corrigidos, considerando a recirculação de 80% feita com água potável.

Analisando os gráficos apresentados nas figuras 5.14, 5.15, 5.16, e 5.17, nota-se que o cloreto férrico foi o produto que apresentou maiores concentrações residuais de OG, e o polímero as menores, e assim como no ensaio com a amostra 11 todos os produtos testados mostraram boas eficiências.

Verifica-se também que, exceto o cloreto férrico, todos os outros produtos apresentaram no ensaio com a amostra 13, concentrações residuais de OG inferiores aos limites impostos pela legislação do Estado de São Paulo, Decreto 8468/76, que em seu artigo 19A estabelece limites de 150 mg/L para lançamento de OG em redes coletoras providas de tratamento de esgoto.

TABELA 5.7. Resultados referentes aos ensaios no Flotatest, da amostra 13, coletada em uma lanchonete *Fast food*. Características da amostra bruta após peneira: pH = 4,4; DQO = 44000mg/L; OG = 4505 mg/L; ST = 43840 mg/L; SST = 29952 mg/L, Vflot = 4m/, Trec 80%, Psat = 6 kgf/cm² e A/S = 6/1000g_{ar}/g_{sólido}

Produto Químico (coagulante)	Dosagem (mg/L)	Características do clarificado					Eficiência (%)			
		pH	DQO (mg/L)	OG (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	DQO	OG	ST	SST
Cloreto Férrico (FeCl ₃)	80	4,6	3024	74	1638	540	93,1	98,4	96,3	98,2
	120	4,6	2916	178	1606	702	93,4	96,0	96,3	97,7
	160	4,6	2664	112	1519	594	93,9	97,5	96,5	98,0
PAC (Al ₂ O ₃)	80	4,5	3796	32	1820	328	91,4	99,3	95,8	98,9
	120	4,4	3697	29	1917	589	91,6	99,4	95,6	98,0
	160	4,3	3533	88	2081	392	92,0	98,0	95,3	98,7
Polímero Catiônico de Alta Taxa em pó	8	4,9	3672	9	1474	432	91,7	99,8	96,6	98,6
	12	4,9	2736	18	1766	632	93,8	99,6	96,0	97,9
	16	4,9	2376	34	1670	535	94,6	99,2	96,2	98,2
Tanino	80	4,9	6676	16	2680	785	84,8	99,6	93,9	97,4
	120	4,9	4973	32	3209	1148	88,7	99,3	92,7	96,2
	160	4,9	4320	63	3037	972	90,2	98,6	93,1	96,8

FIGURA 5.14 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando cloreto férrico nos ensaios de flotação com a amostra 13

FIGURA 5.15 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando PAC nos ensaios de flotação com a amostra 13

FIGURA 5.16 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando polímero catiônico de alta taxa em pó nos ensaios de flotação com a amostra 13

FIGURA 5.17 – Eficiência na remoção e concentração residual de OG utilizando o tanino nos ensaios de flotação com a amostra 13

Observa-se também que em todos os ensaios desta fase o pH do clarificado apresentou valores fora das faixas permitidas pela legislação do estado de São Paulo - Decreto 8468/76, artigo 19A, para lançamento em sistemas de esgotamento sanitário providas de tratamento.

Para auxiliar na escolha do produto que será utilizado nas fases 3 e 4 desta etapa dos estudos, foi realizada a análise de custos com a aplicação dos produtos testados.

Utilizando os valores pagos pela SANASA em março de 2012 para aquisição dos produtos testados, os custos de aplicação foram calculados e apresentados na tabela 5.8.

TABELA 5.8 – Custos de aplicação de produtos químicos.

Produto	Custo (R\$/kg)	Menor dosagem testada (mg/L)	Custo da menor dosagem testada (R\$/m ³)	Maior dosagem testada (mg/L)	Custo da maior dosagem testada (R\$/m ³)
Cloreto Férrico	R\$ 0,658	80	0,14	160	0,28
PAC	R\$ 0,60	80	0,47	160	0,94
Polímero catiônico de alta taxa em pó	R\$8,80	8	0,07	16	0,14
Tanino	R\$ 2,34	80	0,19	160	0,38

Obs. Para no cálculo das dosagens foram consideradas as concentrações de teor ativo das soluções comerciais.

O polímero foi escolhido para a realização dos ensaios das demais fases deste estudo por apresentar boa eficiência, custos reduzidos e por ser um produto que pode causar menores problemas na disposição ou reaproveitamento dos resíduos da flotação, seguindo o exemplo citado por Hamkins (2006).

5.2.3. FASE 3 – VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO POLÍMERO CATIÔNICO EM PÓ APLICADO EM AMOSTRA COM TRÊS VALORES DE PH DISTINTOS

Na tabela 5.9 são mostradas as eficiências na remoção e concentrações residuais de DQO, ST, SST e OG nos ensaios com a amostra 14, coletada em um *fast food*, após sua passagem por peneira, com pH natural de aproximadamente 4,3. Pode ser observado que a melhor eficiência deste ensaio ocorreu com a aplicação de 30 mg/L de polímero, e que concentrações residuais menores de 150mg/L de OG foram obtidas a partir a dosagem de 25mg/L.

Os resultados dos ensaios em que a amostra 14, gerada em uma lanchonete *fast-food*, teve o pH alterado através da aplicação de hidróxido de sódio para 6 e 7, estão apresentados nas tabelas 5.10 e 5.11, respectivamente, e mostram que melhores eficiências

foram obtidas com o pH natural da amostra, mostrando que o pH baixo é melhor para a quebra de emulsão e proporcionou maior eficiência.

TABELA 5.9 - Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete *fast food* - Vfl= 4cm/min, Trec=80%, Psat=6kgf/cm² e pH= 4,3; A/S= 10/1000 g_{ar}/g_{sólido}

Parâmetros	Bruto	Após peneira	E%	características do efluente pré-tratado e eficiências dosagens polímero catiônico em pó (mg/L)													
				0	E%	5	E%	10	E%	15	E%	20	E%	25	E%	30	E%
DQO (mg O ₂ /L)	136000	88000	35,29	4887	94,45	3620	95,89	3258	96,30	3765	95,72	3077	96,50	4272	95,15	2824	96,79
ST (mg/L)	45744	29908	34,62	2281	92,37	1998	93,32	1557	94,80	1643	94,50	1578	94,72	1803	93,97	1477	95,06
SST (mg/L)	43880	28720	34,55	1213	95,78	1086	96,22	1303	95,46	688	97,61	833	97,10	887	96,91	579	97,98
OG (mg/L)	35580	16130	54,67	206	98,72	281	98,26	154	99,05	183	98,87	163	98,99	129	99,20	109	99,33

TABELA 5.10 – Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete *fast food* - Vfl= 4cm/min, Trec=80%, Psat=6kgf/cm² e pH= 6,0; A/S=10/1000 g_{ar}/g_{sólido}

Parâmetros	Bruto	Após peneira	E%	características do efluente pré-tratado dosagens polímero catiônico em pó (mg/L)													
				0	E%	5	E%	10	E%	15	E%	20	E%	25	E%	30	E%
DQO (mgO ₂ /L)	136000	88000	35,29	7964	90,95	5973	93,21	5792	93,42	9774	88,89	13756	84,37	7059	91,98	7693	91,26
ST (mg/L)	45744	29908	34,62	4829	83,85	8391	71,94	7254	75,74	4098	86,30	3996	86,64	4670	84,39	4930	83,51
SST (mg/L)	43880	28720	34,55	2317	91,93	1376	95,21	1882	93,45	1665	94,20	1701	94,08	1882	93,45	1050	96,34
OG (mg/L)	35580	16130	54,67	990	93,86	994	93,84	333	97,94	472	97,07	710	95,60	910	94,36	957	94,06

TABELA 5.11 - Características das amostras e eficiências obtidas nos ensaios com a amostra 14, coletada em uma lanchonete *fast food* - Vfl= 4cm/min, Trec=80%, Psat=6kgf/cm² e pH=7,0; A/S=10/1000 g_{ar}/g_{sólido}

Parâmetros	Bruto	Após peneira	E%	características do efluente pré-tratado dosagens polímero catiônico em pó (mg/L)													
				0	E%	5	E%	10	E%	15	E%	20	E%	25	E%	30	E%
DQO (mg O ₂ /L)	136000	88000	35,29	11584	86,84	10136	88,48	8869	89,92	14480	83,55	14661	83,34	13032	85,19	8326	90,54
ST (mg/L)	45744	29908	34,62	5647	81,12	12105	59,52	10440	65,09	5039	83,15	4930	83,51	5495	81,63	4807	83,93
SST (mg/L)	43880	28720	34,55	1683	94,14	2679	90,67	1629	94,33	1195	95,84	536	98,13	1267	95,59	1376	95,21
OG (mg/L)	35580	16130	54,67	1881	88,34	2767	82,84	704	95,63	804	95,02	831	94,85	1137	92,95	948	94,12

Analisando as figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 pode ser observado que o pH que proporcionou melhor eficiência entre os estudados foi o natural do resíduo (pH=4,3). Fato que pode dispensar a necessidade de aplicação de produtos químicos para baixar o pH na entrada do processo de tratamento, se o resíduo estiver com pH próximo deste valor. Porém alcalinizantes podem ser necessários para a correção do pH antes de seu lançamento como objetivo de atingir a faixa estabelecida pela legislação que é de 6 a 10 (Decreto Estado de SP, 8469/76 – art. 19A). Diante da eficiência obtida com o pH natural da amostra não foram realizados ensaios com pH inferior.

Os ensaios sem a aplicação de produtos químicos também foram eficientes, mas como nos demais ensaios desta pesquisa sem a aplicação de agentes coagulantes, o floco flotado formado, visualmente, é menos estável e apresenta predisposição para quebra o que pode, numa aplicação real, comprometer a eficiência do processo.

FIGURA 5.18 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de DQO-
DQO inicial = 88000 mg/L

FIGURA 5.19 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de OG
OG inicial = 16130mg/L

FIGURA 5.20 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de SST - SST inicial = 28720 mg/L

FIGURA 5.21 – Concentrações residuais e eficiências na remoção de ST - ST inicial = 29908 mg/L

5.2.4. FASE 4 – VERIFICAÇÃO DA FLOTAÇÃO VARIANDO A RELAÇÃO AR- SÓLIDO (A/S)

Avaliando os resultados e eficiências apresentados na tabela 5.12, obtidos nos ensaios de flotação com variação da relação A/S, nota-se que todas as taxas proporcionaram boas reduções nas concentrações de DQO, ST, SST e OG, em relação à amostra após a peneira. As remoções de OG em todos os ensaios foram superiores a 97%. Os melhores resultados na remoção de OG, conforme pode ser verificado na figura 5.22, foram obtidos com $A/S = 22/1000 \text{ g}_{\text{ar}}/\text{g}_{\text{sólidos}}$.

TABELA 5.12 - Resultados e eficiências da Amostra 16 , coletada em uma lanchonete *fast-food*, submetida a ensaios de flotação com variação A/S Parâmetros fixados : $V_{\text{fl}} = 4 \text{ m/h}$, $D_{\text{poli}} = 30 \text{ mg/L}$, $P_{\text{sat}} = 6 \text{ kgf/cm}^2$ e $\text{pH} = 4,6$

Parâmetro	Bruto	Após peneira	E%	A/S ($\text{g}_{\text{ar}}/\text{g}_{\text{SST}}$)					
				7,5/1000	E%	15/1000	E%	22/1000	E%
DQO (mgO_2/L)	62600	60400	3,51	6552	89,15	6605	89,07	9476	84,31
ST (mg/L)	51960	48840	6,00	3567	92,70	3900	92,02	5543	88,65
SST (mg/L)	49640	47270	4,77	1340	97,17	1321	97,21	1609	96,60
OG (mg/L)	21300	17820	16,34	411	97,69	352	98,02	241	98,65

FIGURA 5.22 – Eficiências e concentrações residuais de OG, DQO, SST e ST, obtidas do ensaio com variação da relação A/S

Na tabela 5.13 estão apresentadas as taxas de recirculação necessárias para a obtenção das relações A/S utilizadas no ensaio desta fase.

TABELA 5.13 - Taxas de recirculação utilizadas no ensaio de variação de A/S (g_{ar}/g_{SST})

A/S (g_{ar}/g_{SST})	Taxa de recirculação (%)
7,5/1000	264
15/1000	529
22/1000	794

As razões de recirculação utilizadas ficaram fora da faixa de 15 a 300 %, normalmente de utilizada para projetos de flotação para tratamento de águas residuárias, de acordo com DICK (1972), EPA (1975), apud PROSAB (2001). Isto provavelmente ocorreu pelo fato de que os resíduos de caixas de gordura apresentam em sua composição concentrações elevadas de sólidos suspensos totais.

TABELA 5.14 - Características do Material Flotado da amostra 16 - $V_{fl}= 4\text{cm/min}$, $D_{poli}=30\text{mg/L}$, $P_{sat}=6\text{kgf/cm}^2$ e $\text{pH}= 4,6$

Parâmetro	Bruto	Após peneira	A/S		
			7,5/1000	15/1000	22/1000
ST (mg/L)	51960	48840	96888	106480	102810
OG (mg/L)	21300	17820	61530	66820	61360

Na tabela 5.14 são apresentadas as características do material flotado nos ensaios de variação da relação A/S, e podem ser observadas elevadas concentrações de sólidos neste material, mostrando que a utilização da flotação para o pré-tratamento dos resíduos de caixa de gordura pode proporcionar além de elevado desempenho na fase líquida, benefícios inerentes ao manejo de um resíduo final mais concentrado (flotado).

5.3. ETAPA 3 - OPERAÇÃO DA PLANTA PILOTO

Os resíduos utilizados na operação da planta piloto são provenientes da caixa de gordura de um hotel, que possui em sua área de alimentação, restaurantes de diferentes nacionalidades. As limpezas da caixa, segundo informações do gerador, são feitas com frequência bimestral.

A planta piloto foi operada com aplicação de polímero catiônico em pó na dosagem 30 mg/L , a taxa de recirculação foi de 100% e a pressão absoluta utilizada na saturação foi de 3kgf/cm^2 . Como a vazão de ar fornecida pela bomba multifásica não pode ser medida, o teste não permitiu associar uma relação A/S ($g_{ar}/g_{sólido}$) a eficiência obtida. Em função das condições operacionais da estação piloto, foi utilizada no ensaio, a taxa de aplicação superficial $TAS=3\text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Os resultados obtidos no ensaio na planta piloto estão apresentados na tabela 5.15, onde pode ser observada que nas amostras coletadas, com intervalos de 25 minutos, as eficiências na remoção de OG foram superiores a 99% .

TABELA 5.15 – Eficiência do ensaio em sistema piloto

Parâmetros	Bruto	Bruto após peneira	Características do Efluente Pré-tratado durante a operação					
			25min	E%	50min	E%	75min	E%
pH	4,6	4,8	4,9		4,8		4,8	
DQO (mg O ₂ /L)	66000	64000	4320	93,25	4020	93,72	5600	91,25
ST (mg/L)	44620	48980	1525	96,89	1725	96,48	1730	96,47
STF (mg/L)	2480	2600	430	83,46	445	82,88	540	79,23
STV (mg/L)	42140	46380	1095	97,64	1280	97,24	1190	97,43
SDT (mg/L)	2200	12900	1115	91,36	1305	89,88	1275	90,12
SST (mg/L)	42420	36080	410	98,86	420	98,84	455	98,74
SSF (mg/L)	880	1800	< 1	<99,9	< 1	<99,9	25	98,61
SSV (mg/L)	41540	34280	410	98,80	420	98,77	430	98,75
OG (mg/L)	22675	26720	180	99,33	180	99,33	196	99,27

As figuras 5.23 e 5.24 mostram os resíduos retidos no gradeamento grosseiro e na peneira durante o ensaio, já na figura 5.25 pode ser observado o aspecto visual do lodo flotado.

O ensaio realizado na planta piloto possibilitou uma noção maior quanto ao manuseio do material em estudo, e as seguintes observações foram feitas:

- Em unidades para o pré-tratamento de resíduo de caixas de gordura deve ser prevista a instalação de sistema para o tratamento de odores, pois o cheiro do material é intenso, e não se restringe apenas ao local;
- O gradeamento grosseiro e a peneira precisam ser confeccionados com malha de abertura que possibilite a retenção de sólidos que possam se depositar ou causar obstruções nos equipamentos do sistema de pré-tratamento, em especial nos dispositivos de despressurização da recirculação do sistema de flotação. Na planta piloto foi instalada um peneira com abertura de 2 mm e durante os ensaios houve a necessidade de desobstrução da tela, indicando ainda que sua limpeza deve feita automaticamente;
- Todas as unidades do sistema de pré-tratamento devem possuir descarga de fundo e inspeção;

- É muito importante a instalação de um misturador no tanque de equalização para homogeneizar o material antes e durante o tratamento, pois a gordura tende a se separar;
- No dimensionamento das tubulações e na escolha de bombas deve ser considerada a tendência que resíduos gordurosos têm para causar obstruções;

FIGURA 5.23 – Gradeamento grosseiro do sistema piloto com resíduos acumulados no ensaio

FIGURA 5.24 – Peneira do sistema piloto com resíduos acumulados no ensaio

FIGURA 5.25 – Material flotado - sistema de flotação piloto

5.4. ETAPA 4 – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO FLOTADO E VERIFICAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DO ÓLEO

Para realização desta etapa, amostras do resíduo bruto e do material flotado, apresentadas na figura 5.26, obtidas do ensaio na planta piloto, foram caracterizadas e submetidas a processos de desemulsificação com posterior extração do óleo à elas incorporado.

FIGURA 5.26 – Amostras de resíduo bruto e de material flotado no ensaio em planta piloto

Os resultados desta etapa são apresentados nas tabelas 5.16 e 5.17 onde pode ser verificado que a partir da amostra de 1,0 L de material flotado com ST = 88600mg/L foi possível recuperar 34374 mg de óleo. Na figura 5.27 pode ser observada a amostra de material flotado após a desemulsificação e extração do óleo com n-hexano.

TABELA 5. 16 – Características dos materiais submetidos a procedimentos para extração do óleo

Parâmetros	Resíduo Bruto	Material Flotado
ST (mg/L)	44620	88600
Umidade (%)	95,54	91,14
Peso específico (g/mL)	0,97	0,95

TABELA 5.17 – Resultados da extração do óleo

Parâmetros	Resíduo Bruto	Material Flotado
Rendimento da extração (mg óleo/L)	3.736,93	34.374,09

FIGURA 5.27 – Resíduo flotado após extração do óleo

O óleo obtido a partir do resíduo flotado foi analisado e apresentou o índice de acidez de 13,67 mg KOH/g óleo. Esta acidez indica, baseado em Gonçalves et al, 2009 que este óleo precisaria de purificação para sua utilização na produção de biodiesel.

6. CONCLUSÃO FINAL

- Resíduos de caixas de gorduras apresentam concentrações elevadas de óleos e graxas, sendo a mediana das concentrações nas amostras caracterizadas de 9652,5. Estes resíduos portando requerem pré-tratamento, pois não atendem aos limites impostos pelo Decreto Estadual Paulista 8468/76 que regulamenta a Lei 997/76, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente;

- As amostras brutas apresentam características muito variadas mesmo quando geradas numa mesma fonte, este fato pode indicar a necessidade de equalização do resíduo de caixas de gordura antes do sistema de pré-tratamento.

- Os resíduos de caixas de gordura coletados para os estudos, apresentaram valores de pH que variaram entre 4,0 e 6,5. Nos ensaios da etapa 2 – fase 3, onde foram avaliados o desempenho do pH associado a diferentes dosagens de polímero catiônico, o melhor desempenho foi obtido para a dosagem de 30mg/L de polímero em pH 4,3, natural da amostra. Este fato indica que pH na faixa ácida proporciona melhores eficiência na quebra da emulsão e que a correção do pH de amostras com pH em torno de 4,3 obtenção de bom desempenho na flotação pode não ser necessária.

- Considerando o elenco de ensaios realizados na etapa 2 - fase 2, 3 e 4, efetuados em flotatest ,o ensaio com adoção de $V_{fl}=4m/h$, associada a $A/S = 10/1000$, dosando 30mg/L de polímero catiônico em $pH = 4,3$, foi o que apresentou menores concentrações residuais de OG (109mg/L). Porém o processo de flotação para este tipo de resíduo apresentou eficiências de remoção excelentes, independente do tipo de produto químico utilizado.

- O ensaio com a operação da planta piloto apresentou bom desempenho, promovendo remoções de DQO, SST, OG superiores, respectivamente, a 91,25, 98,74 e 99,27%. Dentro das observações possíveis durante este ensaio, destaca-se a verificação da necessidade de instalação, numa planta em escala real, de peneira para evitar obstruções, misturadores para homogeneização do resíduo e de sistema para controle de odores.

- A implantação de unidades de flotação para o pré-tratamento de resíduos de caixas de gordura pode proporcionar reduções significativas nas concentrações de OG, DQO, ST e SST do efluente, minimizando o impacto de seu recebimento em sistemas de coleta de

esgoto e em estações de tratamento de esgoto com sistemas biológicos, que foram dimensionadas para o recebimento de efluentes com características domésticas. Para a SANASA que possui na maioria de suas ETES reatores anaeróbios tipo UASB, instalações de unidades de flotação para a redução de OG, podem possibilitar a diminuição do acúmulo de espuma no interior de tais unidades e consequentemente aumentar o intervalo entre as paradas para as limpezas;

- A flotação ocasionou o adensamento do resíduo, com o aumento das concentrações de sólidos e OG no material flotado, o que pode ser muito vantajoso para seu manejo;

- O material flotado (resíduo resultante do processo de flotação na planta piloto), apresentou rendimento na recuperação de $34,37 \text{ g}_{\text{óleo}}/\text{L}$, porém com acidez de $13,67 \text{ mg KOH/g}_{\text{óleo}}$ fato que indica a necessidade de purificação caso a produção de biodiesel seja desejada.

7. RECOMENDAÇÕES

- São necessários estudos de quantificação do resíduo de caixa de gordura que ficou retido na peneira;

- Estudo com a instalação de trituradores antes da peneira para redução do material de caixa de gordura retido, que poderia ser removido no flotador para posterior aproveitamento;

- É necessária a realização de estudos com amostras equalizadas, simulando condições operacionais mais próximas da realidade, pois mesmo que as amostras sejam transportadas separadamente, num sistema real, as amostras possivelmente serão misturadas à montante do pré tratamento.

- Um estudo mais aprofundado deve ser realizado visando alternativas viáveis para reaproveitamento energético do material flotado.

- Estudo da colimetria dos resíduos de caixas de gordura.

- Quantificar o volume de resíduo gerado nos municípios para auxiliar no dimensionamento de sistemas de pré-tratamento e subsidiar a implantação de programas de recebimento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1999). **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário** – Projeto e execução. Rio de Janeiro.
- BENSADOK, K.; BELKACEM, M.; NEZZAL, G. (2006). **Treatment of cutting oil/water by coupling coagulation and dissolved air flotation**. *Desalination*, n 206, p.440-448, feb.
- BORGES, N. B. (2009). **Caracterização e Pré-Tratamento de Lodo de Fossas e Tanques Sépticos**. 127p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- CHERNICHARO, C. A. L. (1997). **Reatores Anaeróbios**. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v.5, 246p.
- DAVIDSSON, A.; LOVSTEDT, C.; LA COUR JANSEN, J.; GRUVBERGER, C.; ASPEGREN, H. (2007). **Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge**. *Waste Management*, n 28, p. 986-992, may.
- DELATORRE Jr, I.; MORITA, D. M. (2007). **Avaliação da eficiência dos critérios de recebimento de efluentes não domésticos em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários em São Paulo**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n 1, p. 62-70, jan/mar.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). **Controlling Fats, Oils, and Grease Discharges from Food Service Establishments, 40 CFR 403**, Office of Water, EPA – 833-F-07-007, July 2007.
- GNIPPER, S. F. (2008). **Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR8160:1999 como tanques de flotação natural**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n 2, p. 119-132, abri/jun.
- GONÇALVES A.; SOARES J.; BRASIL A. N.; NUNES D. L. **Determinação do Índice de Acidez de Óleos e Gorduras Residuais para Produção de Biodiesel**. Anais. III Congresso Brasileiro de Tecnologia de Biodiesel, 2009
- HAMKINS, M. (2006). **Cutting – Treating fats, oils, and grease can yield both environmental and economic benefits**. *Water Environment & Technology*, p. 42-45, July.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A.(2005) **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4 ed.. Rio de Janeiro: SEGRAC, 932p.
- LEE, C. H. et al. (2007). **Full Scale Operation of Dissolved Air Flotation Process Using Microbubble Generating Pump**. In: THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOTATION IN WATER AND WASTEWATER SYSTEMS, Seul, Korea.
- METCALF & EDDY, (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3 ed. New York, McGraw-Hill, 1334 p.
- MIKI, M. K. (2010). **Dilema do UASB**. *Revista DAE*, Seção: Práticas operacionais e de empreendimento, nº 183,p. 25-37, maio.
- PARNELL, D. (2006). **Clearing the FOG – A Florida utility relies on haulers, rather than generators, to reduce the amount of fats, oil, and grease entering its collection system**. *Water Environment & Technology*, p. 105-109, Sept.

PIOLTINE, A. (2009). **Avaliação do Desempenho de Bomba Multifásica na Geração de Microbolhas de ar para o Processo de Flotação por Ar Dissolvido Aplicado ao pré-tratamento de Efluente de Indústria Têxtil**. 96p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. (2005). **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. 4 ed.. São Paulo: ABES, p. X - 285.

PONTES, A. F. (2009). **Avaliação de Desempenho de Reator Anaeróbio-Aeróbio com Recirculação da Fase Líquida no Tratamento de Água Residuária Proveniente de Abatedouro de Aves**. 127p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

Projeto PROSAB (2001). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios/CHERNICHARO, C. A. L. (coordenador)**. p.544. Belo Horizonte.

REALI, M. A. P. (1991). **Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante**. 373p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

SÃO PAULO (Estado). Regulamento da lei nº 997, (1976). Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976, dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente.

SHAW, D. J. (1975). **Introduction to colloid and surface chemistry**. London, Butterworth. 4. ed, 306 p.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> Acesso em 18 de agosto de 2012.

SOUZA, C. L. (2006). **Estudo Quantitativo e Qualitativo de Escuma Acumulada em Reatores UASB Tratando Esgotos Domésticos**. 105p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2006.

SOUZA, M. A. (2003). **Desemulsificação e Purificação de Resíduos Gordurosos Provenientes de Esgoto Doméstico**. 122p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau – FURB, Blumenau, 2003.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (WEF). Paginação irregular.

STOLL, U.; GUPTA H. (1995). **Management Strategies For Oil And Grease Residues**. Waste Management & Research, n 15, p. 23-32, dec.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (2008). **Industrial Wastewater Management, treatment, and disposal**. WEF Manual of Practice No. FD-3. 3. ed. Alexandria, USA, McGraw Hill, Cap.10, p. 312-332.

WIMMER, B.; SCANLAN, P.; DELEON, C. (2010). **Turning trash to treasure – A business analysis of fats, oils, and grease receiving programs reveals keys to success**. *Water Environment and Technology*, v. 22, n. 10, p.39-34, Oct.

WUST, E. (2004). **Estudo da Viabilidade Técnico-Científica da Produção de Biodiesel a partir de Resíduos Gordurosos**. 101p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau – FURB, Blumenau, 2004.