



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

NATALI BARBOSA MONTEIRO

**CARACTERÍSTICAS DE LODOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DESIDRATADOS POR
SISTEMA GEOTÊXTIL: ESTUDO DE CASO**

RECIFE, 2014

NATALI BARBOSA MONTEIRO

**CARACTERÍSTICAS DE LODOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DESIDRATADOS POR
SISTEMA GEOTÊXTIL: ESTUDO DE CASO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Linha de pesquisa: Geotecnia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho

Co-orientadora: Dr^a. EtieneElayne Meireles da Rocha

RECIFE, 2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

M775c Monteiro, Natali Barbosa.
Características de lodos de estações de tratamento de água desidratados por sistema geotêxtil: um estudo de caso / Natali Barbosa Monteiro. – Recife: O Autor, 2014.
84f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho
Coorientadora: Profa. Dra. Etiene Elayne Meireles da Rocha.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2014.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2.Lodo. 3. Tratamento de água. 4. Coagulação.
5. Geomembrana. 6. Metais. I. Motta Sobrinho, Maurício Alves da (Orientador). II. Rocha, Etiene Elayne Meireles da (Coorientadora). III.Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2015/ 050



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

CARACTERÍSTICAS DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA
DESIDRATADOS POR SISTEMA GEOTÊXTIL: ESTUDO DE CASO

Defendida por

Natali Barbosa Monteiro

Considera a candidato Aprovado

29 de Agosto de 2014

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Fernando Fernandes – UEL
(examinador externo)

Prof. Dr. Valmir Cristiano Marques de Arruda – UFRPE
(examinador externo)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita graça, amor incondicional e todas as bênçãos que Ele tem me concedido.

Aos meus pais, Rinaldo e Lúcia por terem me criado em ambiente saudável onde tive acesso a educação e pude desfrutar do carinho e amor deles por mim.

A minha linda irmã Karina, pelas palavras de motivação e suas orações por mim.

Ao meu amigo Rafael Roney pela colaboração na etapa final deste trabalho.

Ao meu orientador Maurício Motta, por desempenhar com êxito sua função de orientador, o qual eu tenho bastante respeito e admiração.

A minha co-orientadora Etiene Rocha, pelo apoio, incentivo e ajuda na conclusão do trabalho.

A professora e amiga Rosangela Tavares, pela ajuda e apoio no desenvolvimento deste trabalho, por ela tenho grande admiração.

Aos alunos de iniciação científica Erick, Cinthia, Laiana e Nicole, pelo apoio.

A Andrea, Claudiana e Cleide secretárias da Pós-graduação, pelo seu profissionalismo.

Aos amigos, Crisleide, Derovil, Edécio, Hugo, Laís, Leila, Rafaela e Tatiane pelas palavras de apoio e momentos compartilhados.

Ao Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA) pelo apoio.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por ter permitido a coleta das amostras.

Aos meus colegas de trabalho, Evandro e Saulo pelo incentivo.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

*“O temor do Senhor é o princípio do
conhecimento; mas os insensatos
desprezam a sabedoria e a instrução.”*

Provérbios 1.7

RESUMO

MONTEIRO, N. B. (2014) **Características de lodos de estações de tratamento de água desidratados por sistema geotêxtil: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco. Recife, Brasil.84p.

Segundo a legislação brasileira (ABNT-NBR 10.004, 2004) define-se como resíduos sólidos os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que em função de sua periculosidade podem ser classificados em duas classes principais: Resíduos Classe I – Perigosos, Resíduos Classe II - Não Perigosos, esse subdividido em duas classes: Resíduos Classe II A - Não Inertes e Resíduos Classe II B - Inertes. Nesse contexto, inserimos o lodo gerado em Estação de Tratamento de Água - ETA, em problema comum da indústria do saneamento no Brasil, onde grande parte desse lodo, ainda se encontra sem o adequado tratamento e destino final, agravado pelo o estado semi-sólido, fator complicador para o transporte e disposição final. Para reduzir o volume de água do lodo existem tecnologias com o uso de adensador, filtro-prensa, centrífuga, secagem térmica e os tubos (bag) de geotêxtil, confeccionados em tecido de polipropileno de alta densidade e resistência, que podem promover uma redução superior à 90% da umidade do lodo. Neste estudo foi avaliado o lodo gerado na ETA Botafogo, localizada na região metropolitana de Recife – PE e gerenciada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). O lodo coletado no decantador foi acondicionado em bags, com e sem condicionamento de polímero, por um período de 3 meses. Foram realizadas análises de caracterização antes, durante e depois dos lodos presentes nos bags, além do líquido drenado. Após o completo preenchimento dos bags, realizou-se a metodologia de quarteamento para retirada de amostras de lodo que foram submetidas às análises para avaliação do teor de umidade (%) e dos metais Fe, Cu, Pb, Zn, Mn e Al. Dentre os metais presentes, o alumínio foi escolhido como objeto de estudo, devido o Sulfato de alumínio ser utilizado como coagulante na ETA em questão. Neste sentido, o uso do bag de geotêxtil para concentrar poluentes, que são lançados no solo ou nos recursos hídricos, se mostrou bastante eficiente, visto que o monitoramento da concentração de metais no lodo afluente, do lodo concentrado e do líquido drenado do bag mostrou que 99% do Fe, 98% do Cu, 99% do Pb, 47% do Mn, 100% do Zn e 100% do Al, ficaram retidos no lodo que recebeu a adição do polímero. Quando o lodo não recebeu o condicionamento com polímero, a retenção foi de 98%, 98%, 95%, 55%, 100% e 98% dos respectivos metais. Assim é possível desidratar e concentrar poluentes do lodo com o uso do geotêxtil, condicionado ou não com polímero, para posterior tratamento, reuso ou disposição final no meio ambiente de forma planejada e adequada. Em relação à DQO do permeado, foi observado que para o sistema sem polímero se comportou como o sistema com polímero a partir da segunda coleta.

Palavras-chave: Lodo. Tratamento de água. Coagulação Geomembrana. Metais.

ABSTRACT

MONTEIRO, N. B. (2014) **Characteristics of dehydrated sludge treatment system by geotextile stations: a case study**. Master in Civil Engineering, Federal University of Pernambuco. Recife, Brazil. 84p.

According to Brazilian legislation (ABNT-NBR 10004, 2004) is defined as solid waste residues in solid and semi-solid states, which due to its danger can be classified into two main classes: Class I Waste - Hazardous, Waste Class II - Non Hazardous, this subdivided into two classes: Class II Waste - Waste Not Aggregates and Class IIB - Aggregates. In this context, we entered the sludge generated at the Water Treatment Plant - WTA, a common problem of sanitation industry in Brazil, where much of this type of sludge is still without proper treatment and disposal, aggravated by the state semi-solid complicating factor for transport and final disposal. To reduce the water volume of the sludge technologies exist with the use of filler, filter press, centrifuge, drying and heat pipes (bag) of geotextile made of polypropylene and high-density tissue strength, which can promote a greater reduction to 90% moisture sludge. In this study we evaluated the sludge generated at the WTP Botafogo, located in the metropolitan region of Recife - PE and managed by Pernambuco Sanitation Company (COMPESA). The sludge collected in the decanter was packed in bags with and without conditioning polymer, for a period of 3 months. Characterization analyzes were conducted before, during and after the sludge present in the bags in addition to the drained liquid. After complete filling of the bags, there was the quartering methodology for removal of sludge samples that were subjected to analyze for assessing the moisture content (%) and metals Fe, Cu, Pb, Zn, Mn and Al. Among the metal content, aluminum was chosen as the object of study because aluminum sulfate is used as the coagulant WTA studied. In this sense, the use of geotextile bag to concentrate pollutants that are released into the soil or water resources, was very efficient, since the monitoring of the concentration of metals in the influent sludge, the concentrated sludge and liquid drained from the bag showed 99% Fe, 98% Cu, 99% Pb, 47% of Mn, and Zn 100% 100% Al, were retained in the sludge which received the addition of the polymer. And when it has received sludge conditioning polymer, retention was 98%, 98%, 95%, 55%, 100% and 98% of the respective metals. Thus it is possible to dehydrate and concentrate pollutants from sludge using geotextile, conditioning or not polymer, for further treatment, reuse or disposal into the environment in a planned and appropriate.

Keywords: Sludge. Water treatment. Coagulation. Geomembrane. Metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Unidades do Sistema de Abastecimento de água. Fonte: FUNASA, 2006	20
Figura 2.2 ETA de ciclo completo. Fonte: Ramos (2008) apud Tattonet <i>al</i> (2007)	24
Figura 2.3 Ilustração de uma ETA convencional e local de geração dos resíduos. Fonte: Barroso (2009)	25
Figura 2.4 Manta geotêxtil na ETA Botafogo	27
Figura 2.5 Frações de água constituintes de lodo de ETA. Fonte: Barroso (2007)	29
Figura 2.6 Sistema de tratamento de água que utiliza centrifuga para desidratação do lodo. Fonte: Reali <i>et al</i> , 1999	32
Figura 2.7 Corte longitudinal Leito de Secagem. Fonte: Franci, (1999)	33
Figura 2.8 Bag horizontal. Fonte: Silveira, (2011)	33
Figura 2.9 Bag vertical. Fonte: Silveira, (2011)	34
Figura 3.1 Foto da ETA Botafogo. Fonte: googlemaps (2014)	39
Figura 3.2 Fluxograma do Processo de Tratamento na ETA Bota Fogo	40
Figura 3.3 Foto do Tanque de Decantação da ETA Botafogo	41
Figura 3.4 Foto do Ponto de Descarga de Lodo do Decantador	41
Figura 3.5 Foto dos filtros descendentes da ETA Botafogo	42
Figura 3.6 Fotos do procedimento de coleta de lodo da ETA Botafogo	43
Figura 3.7 Utilização do Jar-Test para definição da dosagem do polímero	44
Figura 3.8 Montagem do ensaio	45
Figura 3.9 Fluxograma do ensaio realizado	46
Figura 3.10 Fotos ilustrando o procedimento do ensaio	46
Figura 3.11 Bags abertos para retirada das amostras	47
Figura 3.12 Amostras de Lodo do bag	47
Figura 4.1 Comparativo da concentração dos metais dos bags	52
Figura 4.2 Representação gráfica dos autovalores	54
Figura 4.3 Gráfico dos <i>Loadings</i> (CP1 x CP2)	55
Figura 4.4 Projeção dos pontos amostrais no plano CP1 x CP2	56
Figura 4.5.a Valores da concentração de DQO para a água bruta (-) e tratada (-)	57
Figura 4.5.b Valores da concentração de DQO para o lodo (-), percolado do bag sem coagulante (-) e com coagulante (-)	57
Figura 4.6.a Variação da DQO e dos STV do lodo para as 10 primeiras semanas	58
Figura 4.6.b Correlação entre a DQO e o inverso dos STV do lodo	58
Figura 4.7 Variação da Turbidez do líquido drenado para as 15 semanas	59
Figura 4.8 Variação dos ST do líquido drenado para as 15 semanas	60
Figura 4.8.a Variação dos STV do líquido drenado para as 15 semanas	60
Figura 4.8.b Variação dos STF do líquido drenado para as 15 semanas	61
Figura 4.9.a Valores da concentração de alumínio (Al) na água bruta (-) e tratada (-)	61
Figura 4.9.b Valores da concentração de alumínio (Al) para o lodo (-), percolado	62

do bag sem polímero (-) e com polímero (-)

- Figura 4.10** Valores da concentração de ferro (Fe) na água bruta (-) e tratada (-) (a) e para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-) (b) 62
- Figura 4.11.a** Valores da concentração de manganês (Mn) na água bruta (-) e tratada (-) 63
- Figura 4.11.b** Valores da concentração de manganês (Mn) para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-) 63
- Figura 4.12** Diagrama de pareto das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana 65
- Figura 4.13** Superfície de resposta das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana 66
- Figura 4.14** Diagrama de pareto das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana com coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana 66
- Figura 4.15** Superfície de resposta das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana com coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana 67
- Figura 4.16** Diagrama de Pareto e superfície de resposta para a cor das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9^a semana 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características de lodos provenientes de tratamento com adição de Sulfato de Alumínio	30
Tabela 3.1	Período de coleta das amostras	42
Tabela 3.2	Sistemática de identificação das amostras	43
Tabela 3.3	Sistemática de identificação do drenado	47
Tabela 3.4	Ponto de coleta das amostras no Bag	48
Tabela 3.5	Parâmetros analisados e seus respectivos métodos	48
Tabela 3.6	Planejamento fatorial 2 ²	49
Tabela 3.7	Metodologias utilizadas no estudo da adsorção	50
Tabela 4.1	Estatística descritiva das seis variáveis	52
Tabela 4.2	Média das amostras com polímero	53
Tabela 4.3	Média das amostras sem polímero	53
Tabela 4.4	Matriz de correlação dos parâmetros analisados	53
Tabela 4.5	Autovalores e variância explicada	54
Tabela 4.6	<i>Loadings</i> das Componentes Principais	55
Tabela 4.7	Modelo linear empírico	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CENAPESQ	Centro de Apoio à Pesquisa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEQ	Departamento de Engenharia Química
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GPTA	Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais
GRS	Grupo de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
STF	Sólidos Totais Fixos
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	18
2.2	PARÂMETROS DE QUALIDADE ANALISADOS NA CARACTERIZAÇÃO.....	20
2.2.1	Potencial Hidrogênionico (pH)	20
2.2.2	Cor.....	21
2.2.3	Condutividade.....	21
2.2.4	Turbidez.....	21
2.2.5	DQO.....	21
2.2.6	Série de Sólidos.....	22
2.2.7	Ferro e Manganês.....	22
2.2.8	Alumínio.....	23
2.3	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	23
2.4	GERAÇÃO DE LODO NA ETA	25
2.4.1	Características do lodo de ETA.....	27
2.4.2	Concentração de Sólido no Lodo da ETA.....	28
2.4.3	Alternativas de desaguamento de Lodo de ETA.....	30
2.4.3.1	Centrífugas.....	31
2.4.3.2	Lagoas de lodo.....	32
2.4.3.3	Leito de secagem/ drenagem.....	32
2.4.3.4	Manta geotêxtil	33
2.5	ASPECTOS LEGAIS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL SOBRE RESÍDUOS DE ETA	34
2.6	ADSORÇÃO.....	35
2.6.1	Material utilizado como Adsorvente.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DA COLETA	39
3.2	COLETA DAS AMOSTRAS E ENSAIO DE DESAGUE DO LODO	42
3.3	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	44
3.4	DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	45
3.5	ANÁLISES REALIZADAS	48
3.6	ANÁLISE DE DADOS	49
3.6.1	Seleção dos dados.....	49
3.6.2	Base de dados.....	49
3.6.3	Processamento de dados.....	49
3.7	TRATAMENTO DO PERCOLADO DA GEOMEMBRANA POR ADSORÇÃO	49
3.7.1	Material Adsorvente.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS METAIS PRESENTES NO LODO DO BAG	52
4.1.1	Estatística descritiva das amostras de lodo.....	53
4.2	MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS	53

4.3	COMPONENTES PRINCIPAIS	54
4.3.1	Autovalores e Variância Total Explicada.....	54
4.3.2	Loadings (pesos / carregamentos).....	55
4.3.3	Distribuição das amostras no Plano CP1 x CP2.....	56
4.4	MONITORAMENTO DO PERCOLADO	56
4.4.1	DQO.....	56
4.4.2	Turbidez.....	59
4.4.3	Sólidos.....	59
4.4.4	Metais.....	61
4.5	ADSORÇÃO	63
4.5.1	Eficiência de remoção da DQO.....	63
4.5.2	Eficiência de remoção da Cor.....	64
4.5.3	Avaliação do planejamento experimental	65
5	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXO A – Procedimento da digestão dos metais nas amostras	76
	ANEXO B – Combinações para os drenados da 9ª semana.....	77
	ANEXO C – Combinações para os drenados da 15ª semana	79
	ANEXO D – Combinações para os drenados da 9ª semana.....	81
	ANEXO E – Combinações para os drenados da 15ª semana	83

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um conjunto de ações que visa melhorar e proteger as condições de vida da população. Uma dessas ações é permitir que a população tenha acesso ao abastecimento de água potável.

O sistema de abastecimento de água é um processo que transforma a água bruta vinda de um manancial em água potável própria para consumo, assim existe um conjunto de instrumentos legais (resoluções e portarias), que definem padrões de qualidade da água para diversos usos. Os parâmetros de qualidade da água são importantes na identificação dos impactos que atividades poluidoras podem gerar sobre a água.

Esse processo de transformação da água bruta em água potável, atendendo os padrões de potabilidade, na maioria das vezes é feito pelo tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação e filtros), com a aplicação de produtos químicos, gerando resíduos retidos principalmente nos decantadores e filtros (PIEPER, 2008).

Esses resíduos gerados nos decantadores são denominados Lodo, que pela NBR 10.004 é classificado como “resíduo sólido”, assim devem ser tratados e dispostos conforme exigência dos instrumentos legais.

O destino dos resíduos provenientes de estações de tratamento de água em algumas situações são os cursos d'água próximos das estações. A crescente preocupação e a regulamentação têm restringido ou proibido essa disposição. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente (PORTELLA *et al*, 2003).

Na busca de alternativas que visem à sustentabilidade do sistema de abastecimento de água, várias tecnologias têm sido usadas para melhorar as condições desses resíduos gerados nas ETAs. São elas: deságue natural em lagoas, deságue natural em leito de secagem, adensamento mecânico em centrifugas e uso de filtros prensa (PIEPER, 2008).

Destaca-se a utilização de manta geotêxtil como uma nova alternativa, tendo-se em vista o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção. (RIBEIRO, 2007).

A manta geotêxtil de polipropileno de alta resistência, disposta na própria ETA, recebe e armazena o lodo gerado realizando a retenção da massa sólida e a drenagem da parte líquida presente no lodo.

O lodo de ETA precisa ser submetido ao processo de deságue ou desidratação, para que seja possível o seu reuso ou disposição final em aterros (PIEPER, 2008).

O presente trabalho teve como objetivo coletar lodo de uma ETA, caracteriza-lo, realizar ensaio de deságue de lodo e estimar o percolado resultante do ensaio.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a retenção de metais no sistema de desaguamento de lodo por geomembranas, com e sem a aplicação do polímero e otimizar o processo de tratamento do percolado por adsorção através de um planejamento experimental.

Os objetivos específicos a ser atingidos são:

- Caracterização do percolado obtido após cada alimentação;
- Comparação da retenção de metais para os sistemas com e sem uso do polímero;
- Analisar, através de método estatístico, correlações e semelhanças de comportamento existente entre os parâmetros físico-químicos analisados;
- Otimizar o processo de tratamento do lixiviado por adsorção utilizando conchas de marisco.
- Comparar as variáveis que influenciam no processo adsorativo na redução da DQO e da Turbidez.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos.

O Capítulo 1 a pesquisa é abordada através da introdução e os principais objetivos a serem alcançados neste trabalho.

O Capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica. Onde serão abordados os seguintes temas: Sistema de Abastecimento de Água para Consumo Humano, parâmetros de qualidade analisados na caracterização, estações de Tratamento de Água,

a geração de resíduos numa ETA, os aspectos legais da Legislação Ambiental sobre resíduos de ETA e por fim falamos sobre tipos de adsorção.

O Capítulo 3 descreve a Estação de Tratamento de Água – ETA BOTAFOGO onde foram realizadas todas as coletas para o ensaio, descreve também a montagem do ensaio para deságue e armazenamento do lodo realizado no laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA – DEQ/ UFPE), e por fim as metodologias empregadas nos ensaios.

O Capítulo 4 apresenta inicialmente o resultado da caracterização do lodo antes e após o deságue, seguida da caracterização do percolado e por fim o estudo do processo adsorptivo no tratamento do percolado.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se a fundamentação teórica, explicando-se sobre o Sistema de Abastecimento de Água para Consumo Humano, o funcionamento das Estações de Tratamento de Água (ETAs) do tipo convencional, através de suas etapas. São também descritos os parâmetros de qualidade utilizados nas análises de caracterização. Logo após, disserta-se sobre a geração e o descarte do resíduo sólido conhecido como lodo de uma Estação de Tratamento de Água. Por último abordam-se aspectos legais e impactos ambientais relacionados ao descarte de lodo de decantadores de ETAs.

2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Uma cidade precisa oferecer aos seus habitantes uma boa qualidade de vida. Um dos fatores que garantem essa boa qualidade de vida, é a garantia de que os serviços de saneamento ambiental sejam suficientes. Segundo a definição da Organização Mundial da Saúde (OMS), o conceito de saneamento refere-se “ao controle de todos os fatores do meio-físico, onde o homem está inserido, que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem-estar físico, mental ou social”.

Saneamento Ambiental é um conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar a Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (BRASIL, 2006).

O modelo do Saneamento é composto de ações Intersetoriais que visam dotar o ambiente urbano das condições adequadas para uma vida saudável. Deste modo, integram essas ações, intervenções em diversos setores, inclusive o Sistema de Abastecimento de Água para Consumo Humano.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2010, divulgou os resultados obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada no ano de 2008. A PNSB encontrou 33 municípios brasileiros sem serviço de

abastecimento de água por rede geral de distribuição, esta situação é mais acentuada nos Estados da Paraíba, Piauí e Rondônia.

Segundo Ramos (2008), um sistema de abastecimento de água para consumo humano é, geralmente, composto de manancial, captação, adução, tratamento, reservação e rede de distribuição, onde dependendo da topografia local, é necessária a adição de estações elevatórias. Estas são instalações debombeamento destinadas a transportar a água de pontos de cotas menores para os de cotas maiores, tendo como exemplo mais comum a adução de água bruta para a ETA ou da água tratada para o reservatório de distribuição.

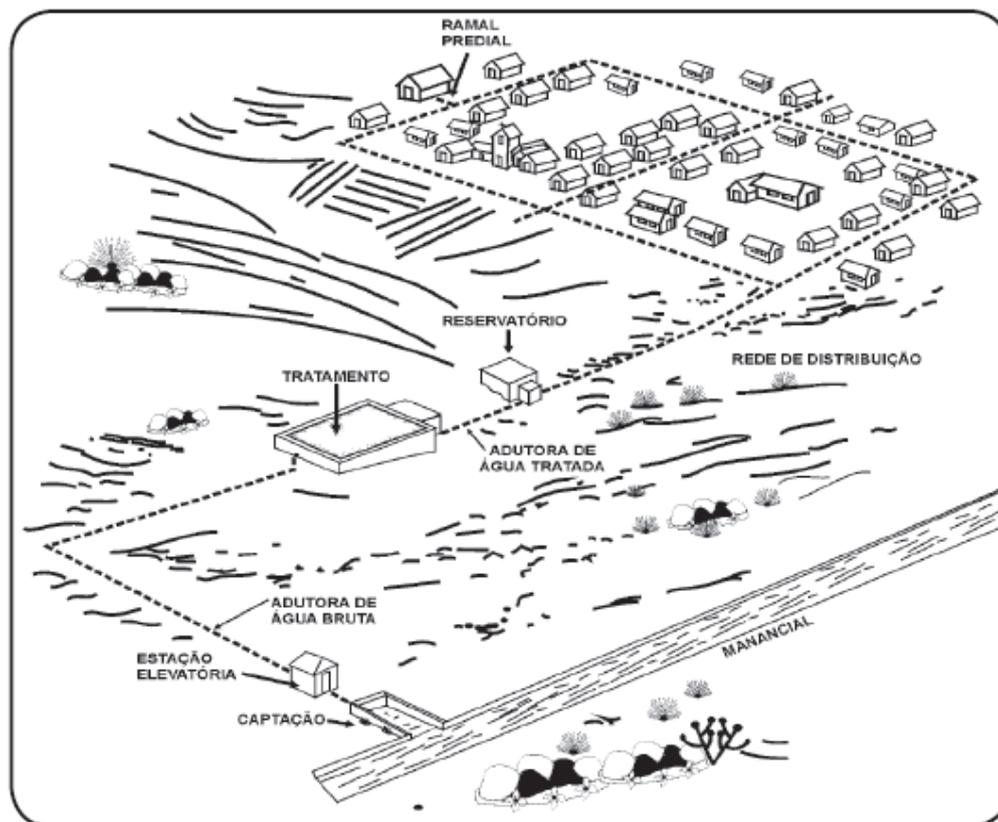
De acordo com Di Bernardo; Dantas (2005) apud Ramos (2008) sistemas de abastecimentos de água para consumo humano são instalações compostas por conjuntos de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água potável para população, sob responsabilidade do Poder Público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.

Um sistema de abastecimento de água é composto das seguintes unidades, Figura 2.1 (FUNASA, 2006):

- Manancial - fonte onde se retira a água com condições sanitárias adequadas e vazão suficiente para atender à demanda;
- Captação - equipamentos e instalações utilizados para a tomada de água do manancial, com a finalidade de lançá-la no sistema de abastecimento;
- Adução - transporte da água entre duas unidades do sistema de abastecimento, através de adutoras (tubulações ou canais);
- Tratamento (ETA) - consiste em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano, necessário para atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde;
- Reservação - acumulação de água em reservatórios com os seguintes propósitos, atender às variações de consumo ao longo do dia, promover a continuidade no abastecimento no caso de paralisação da produção de água, proporcionar a pressão mínima necessária na rede de distribuição e garantir uma reserva estratégica em casos de incêndio.

- Rede de distribuição - tubulações dispostos nas vias públicas para efetuar o fornecimento da água às edificações;
- Estações elevatórias - instalações destinadas a transportar e elevar a água; e,
- Ramal predial - ligação das redes públicas de distribuição com a instalação domiciliar de água.

Figura 2.1. Unidades do Sistema de Abastecimento de água



Fonte: FUNASA (2006)

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE ANALISADOS NA CARACTERIZAÇÃO

2.2.1 Potencial Hidrogênionico (pH)

O potencial Hidrogênionico (pH) representa a concentração de íons de Hidrogênio H^+ em escala logarítmica, dando indicação sobre a condição de neutralidade ou alcalinidade (VON SPERLING, 2005).

O pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental e nas estações de tratamento de água. São várias as etapas cujo controle envolve as determinações de pH. Nas etapas iniciais a coagulação e a floculação que a

água sofre é um processo unitário dependente do pH, existe uma condição denominada “pH ótimo” de coagulação que corresponde à situação em que as partículas coloidais apresentam menor quantidade de carga eletrostática superficial, também interfere no processo de desinfecção pelo cloro, o pH é padrão de potabilidade, devendo as águas para abastecimento público apresentar valores entre 6,0 a 9,5, de acordo com a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (CETESB, 2008).

2.2.2 Cor

Tem sua origem na decomposição da matéria orgânica, a presença de ferro e manganês, o lançamento dos resíduos industriais e despejos domésticos (VON SPERLING, 2005).

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico (CETESB, 2008).

2.2.3 Condutividade

A condutividade expressa capacidade de uma amostra de água conduzir a corrente elétrica, também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, a condutividade da água aumenta na medida em que mais sólidos dissolvidos são adicionados (CETESB, 2008).

2.2.4 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral, etc. (CETESB, 2008).

A unidade Turbidez é uT (unidade de turbidez – unidade de Jackson ou nefelométrica), é usada para caracterizar águas de abastecimento público, cujos limites são impostos pela portaria 2914/2011 MS para águas brutas e tratada.

2.2.5 DQO

Representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor, o aumento da

concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial, sendo a DQO um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais (CETESB, 2008).

2.2.6 Série de Sólidos

Os sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado, no geral, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis) (CETESB, 2008).

2.2.7 Ferro e Manganês

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, conforme a Equação 1.



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. No tratamento de águas para abastecimento público, deve-se destacar a influência da presença de ferro na etapa de coagulação e floculação. As águas que contêm ferro caracterizam-se por apresentar cor elevada e turbidez baixa. Os flocos formados geralmente são pequenos, ditos “pontuais”, com velocidades de sedimentação muito baixa. Em muitas estações de tratamento de água, este problema só é resolvido mediante a aplicação de cloro, denominada de pré-cloração. Através da oxidação do ferro pelo cloro, os flocos tornam-se maiores e a estação passa a apresentar um funcionamento aceitável (CETESB, 2008).

O manganês e seus compostos são usados na indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outros usos. Ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação da água (CETESB, 2008).

O ferro e o manganês tem pouco significado sanitário nas concentrações encontradas nas águas naturais, em pequenas concentrações causam problemas de cor

na água, em certas concentrações podem causar problemas de sabor e odor na água, sendo assim rejeitada pelo consumidor (VON SPERLING, 2005).

2.2.8 Alumínio

O alumínio e seus sais são usados no tratamento da água, como aditivo alimentar, na fabricação de latas, telhas, papel alumínio, na indústria farmacêutica, etc. Também podem causar depósitos em tubulações, reduzindo assim seu diâmetro. Na água, o metal pode ocorrer em diferentes formas de acordo com o pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes, na água potável, os níveis do metal variam de acordo com a fonte de água e com os coagulantes à base de alumínio que são usados no tratamento da água (CETESB, 2008).

2.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As estações de tratamento de água (ETAs) para consumo humano realizam a purificação da água captada, a fim de torná-la própria, ou seja, potável ao consumo humano. As ETAs devem tornar a água própria ao consumo que se destinam, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/ 11 do Ministério da Saúde.

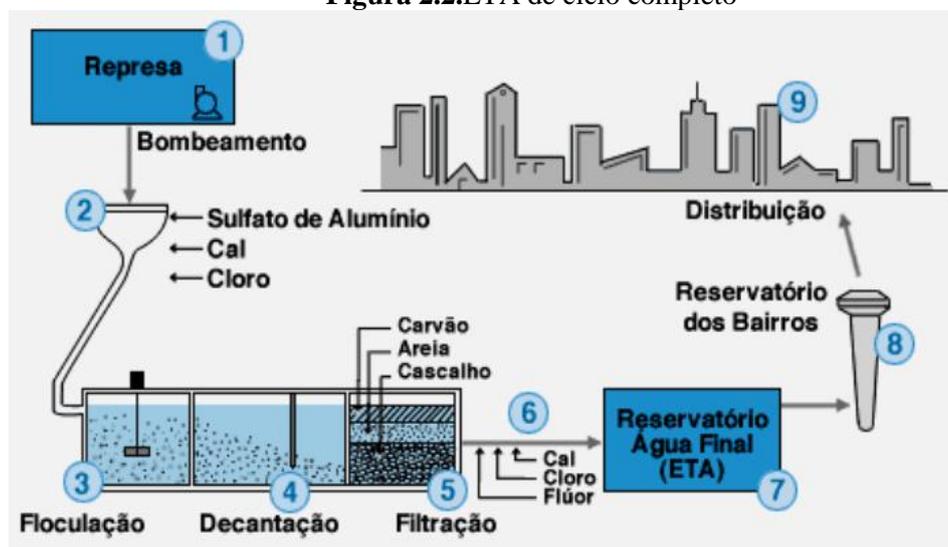
No Estado de Pernambuco existem mais de 200 Estações de Tratamento de Água (ETAs), e apenas cerca de dez tratam de alguma forma seus resíduos. Entretanto, fazendo apenas a separação sólido-líquido, onde a parte líquida é recirculada, visto que 98% da composição desse resíduo é água, e o lodo sedimentado é lançado em terrenos próximos às estações ou em corpos d'água, o que pode provocar o assoreamento e deterioração da qualidade dos mesmos (TAVARES, 2003).

Segundo Ramos (2008), uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é composta de vários processos e também pode produzir impactos ambientais negativos em suas atividades, sendo a produção de resíduos (lodo dos decantadores, águas provenientes das lavagens dos filtros e os resíduos da casa de química), o principal problema para os gerentes deste tipo de unidade, uma vez que a água bruta, matéria prima do processo, ao ser tratada, recebe produtos químicos como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, polieletrólito, cal, cloro ou seus derivados, flúor entre outros que depende da

qualidade da água gerando produtos complexos sob a forma sólida, semi-sólida ou líquida que necessitam ser encaminhadas ao meio ambiente sem gerarem impactos.

Na Estação de Tratamento de Água, a água coletada dos mananciais é transformada em um produto potável, pronto para ser consumido sem risco à saúde. No processo são utilizados equipamentos especiais e reagentes químicos próprios para remover as impurezas. Basicamente, o tratamento consta das seguintes fases: coagulação/floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação (NUNES, 1999). Na Figura 2.2 tem-se o diagrama de uma ETA de ciclo completo.

Figura 2.2.ETA de ciclo completo



Fonte: Ramos (2008) apud Tattonetal (2007)

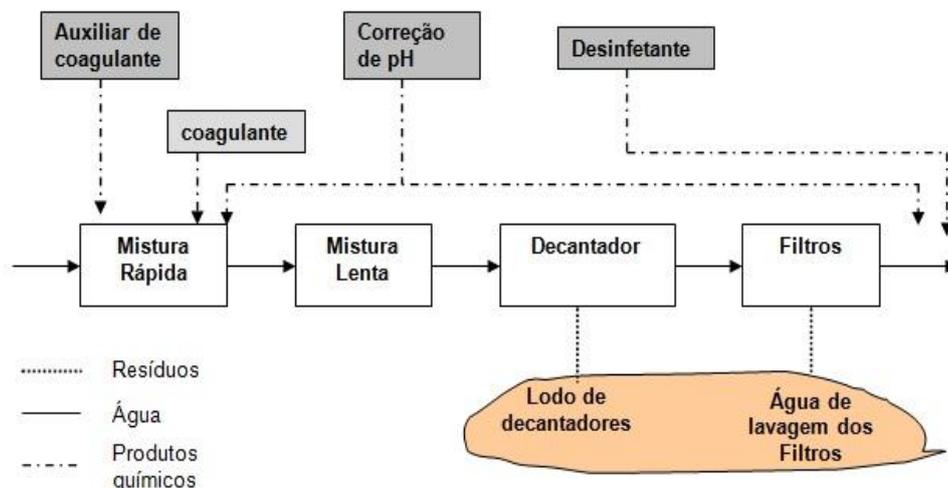
O sistema tradicional ou completo de tratamento realiza a remoção de partículas finas em suspensão e em solução presentes na água. Aplicam-se produtos químicos que possam desestabilizar as partículas coloidais, formando flocos (hidróxidos metálicos) com tamanho suficiente para sua posterior remoção nos decantadores convencionais ou de alta taxa. Parcela dos flocos que não sedimentam passam aos filtros para clarificação final. Assim, a estação de tratamento de água produz água para abastecimento e gera resíduos na forma de lodos acumulados nos decantadores e água de lavagem dos filtros, via de regra lançados diretamente aos cursos de água. Contudo, somente nos últimos anos os problemas relativos à geração desses resíduos têm recebido a devida atenção (BARROSO; CORDEIRO 2001).

2.4 GERAÇÃO DE LODO NA ETA

Tradicionalmente, o tratamento convencional de águas de abastecimento tem empregado sais de alumínio e ferro como coagulantes, sendo que os mais comumente disponíveis no mercado são o sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico. Uma das maiores preocupações existentes com respeito à operação de estações de tratamento de água (ETAs) tem sido a necessidade de compatibilização da melhoria do processo de coagulação e a minimização da formação de resíduos oriundos da precipitação de sais metálicos na forma de hidróxidos de alumínio ou ferro (FERREIRA FILHO E WAELKENS, 2009).

Assim, a estação de tratamento de água produz água para abastecimento e gera resíduos na forma de lodos acumulados nos decantadores e água de lavagem dos filtros, Figura 2.3, via de regra lançados diretamente aos cursos de água (BARROSO, M.M. E CORDEIRO, J.S. 2001).

Figura 2.3. Ilustração de uma ETA convencional e local de geração dos resíduos



Fonte: Barroso (2009)

De acordo com Di Bernardo e Dantas(2005) em termos volumétricos, a maior quantidade de lodo é proveniente da lavagem dos filtros, já em termos mássicos, a maior quantidade produzida é gerada nos decantadores, por ser a sedimentação o primeiro processo físico de separação sólido-líquido.

Segundo Tavares (2003), o lodo formado nos decantadores das ETAs tem a mesma composição química dos sedimentos carregados pelas águas dos mananciais de captação acrescido dos cátions utilizados no processo de floculação. No caso das

estações do Estado de Pernambuco encontramos o alumínio, em grandes quantidades devido ao uso do sulfato de alumínio como coagulante.

Outros produtos também são utilizados no tratamento da água como os alcalinizantes e os polímeros naturais e sintéticos.

Os polímeros tem tido grande utilização na etapa de desidratação do lodo gerado em ETA, os sintéticos são classificados em três categorias: polímeros aniônicos (cargas negativas), polímeros catiônicos (cargas positivas) e polímeros não iônicos (sem caráter marcante aniônico ou catiônico) (REALI, 1999).

De acordo com Januário e Ferreira Filho (2007), os custos de transporte e disposição final de lodos de ETAs em regiões metropolitanas tem se situado em torno de R\$ 100,00 a 150,00 por tonelada, o que tem justificado conduções de pesquisas e estudos experimentais que permitam a redução dos custos de tratamento com produtos químicos, bem como com a geração de lodo.

O lançamento irregular do lodo de estação de tratamento de água em corpos d'água pode provocar diversas alterações prejudiciais ao meio ambiente, entre elas a redução do oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor pela decomposição da matéria orgânica contida no resíduo, o aumento da concentração de metais, como o alumínio, o ferro e o manganês, e a consequente destruição da fauna e flora (BARBOSA, 2000).

Quando o lodo gerado não é lançado diretamente no curso d'água, são destinados a um local seguro, para posteriormente serem reaproveitados ou dispostos corretamente.

Segundo Richter (2001), vários locais podem ser usados para a disposição adequado do lodo, dentre eles: lagoas de detenção, lançamento na rede coletora, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos.

Ribeiro (2007) destaca a utilização de manta geotêxtil como uma nova alternativa que se destaca tendo-se em vista o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção.

A manta geotêxtil de polipropileno de alta resistência, Figura 2.4, disposta na própria ETA, recebe e armazena o lodo gerado realizando a retenção da massa sólida e a drenagem da parte líquida presente no lodo.

Figura 2.4.Manta geotêxtil na ETA Bota Fogo



Fonte: Do Autor (2014)

Devido à drenagem da parte líquida ocorre uma redução de volume, o que permite o enchimento sucessivo da manta, até o volume disponível ser ocupado quase inteiramente pela fração sólida existente no rejeito, o efluente drenado pelas unidades retorna ao início do tratamento, ao final do ciclo de enchimento e desidratação, o material sólido retido continua a sofrer um processo de consolidação, por desidratação e evaporação da água residual, através do geotêxtil, que constitui as paredes da unidade de tratamento (FRANCO, 2009).

2.4.1 Características do lodo de ETA

A necessidade de conhecer as características do lodo de ETA, nada mais é do que a preocupação de propor alternativas sustentáveis para reciclagem e/ ou destinação final deste resíduo que segundo a NBR 10.004/04 são classificados como “resíduos sólidos” e, portanto, deveriam ser tratados e dispostos dentro dos critérios estabelecidos pela norma da ABNT (REALI, 1999).

De acordo com Silveira (2012) apud Cordeiro (2002) a caracterização dos resíduos de ETA pode ser realizada de acordo com os aspectos ambientais associados a sua disposição, neste caso em função do pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, entre outros; ou de acordo com os aspectos geotécnicos relacionados com a remoção de água e posterior utilização dos resíduos, em função do tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e liquidez, resistência e sedimentabilidade.

Para Di Bernardo, *et al* (2011) as características qualitativas e quantitativas dos lodos de ETA podem variar conforme o gerenciamento do processo de tratamento e depende de vários fatores, tais como:

- Qualidade da água bruta;
- Tecnologia do tratamento;
- Características da coagulação (tipo e dosagem do coagulante, alcalizante ou acidificante);
- Características da floculação e filtração;
- Uso, característica e dosagem de polieletrólito;
- Uso de oxidante;
- Uso de carvão ativado pulverizado;
- Método de limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros, entre outros.

Deve-se considerar que um manancial pode apresentar variações sazonais significativas na qualidade da água, como por exemplo, mudança na turbidez, as quais influenciam significadamente na qualidade e quantidade do lodo gerado (REALI, 1999).

Por se tratar de resíduo sólido o lodo não pode ser disposto ao meio ambiente, porém sabe-se que algumas ETAs lançam esse resíduo nos corpos d'água, após realizarem a lavagem ou descargas nos decantadores, agredindo assim o meio ambiente.

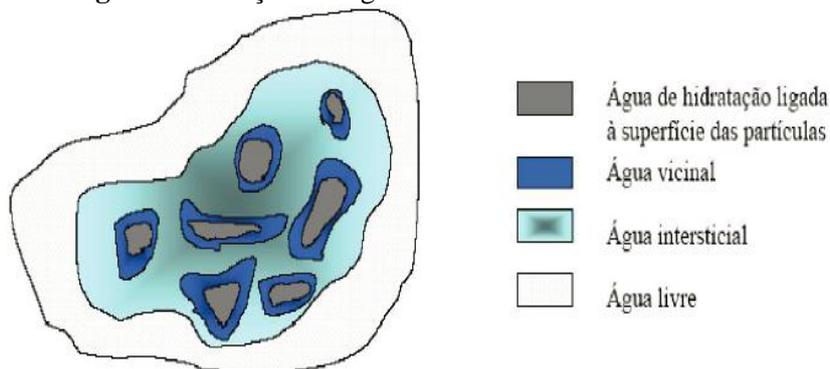
O lodo de ETA, segundo Gradin, *et al*(1993) contém resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, silte, cálcio, magnésio, ferro, manganês, entre outros.

2.4.2 Concentração de Sólido no Lodo da ETA

A composição do lodo está diretamente ligada à qualidade da água bruta e o produto químico utilizado no tratamento. Por apresentar grande parcela de água se faz necessário a remoção desta água antes da destinação final do lodo. O lodo de ETA é constituído basicamente por água, sólido suspensos removidos durante a floculação e derivados dos compostos químicos necessários ao tratamento (Richter, 2001).

Barroso (2007) apresenta modelo geral, onde definem os diferentes estágios físicos da água, conforme Figura 2.5:

Figura 2.5. Frações de água constituintes de lodo de ETA



Fonte: Barroso (2007)

- Água livre – não associada aos sólidos, que pode ser facilmente separada por sedimentação gravitacional simples;
- Água intersticial ou capilar – presente no interior ou intimamente ligado aos flocos, podendo ser liberada quando há quebra dos flocos;
- Água Vicinal – associada às partículas solidadas por virtude da estrutura molecular da água, pontes de hidrogênio;
- Água de hidratação – quimicamente ligada às partículas sólidas e pode ser liberada somente por destruição termoquímica das partículas.

Na caracterização de lodo de ETAs, Reali (1999) cita os principais parâmetros físico-químicos analisados são eles: sólidos totais (ST), sólidos voláteis (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), concentração de fósforo e nitrogênio total, além de índices bacteriológicos e biológicos de interesse sanitário.

No processo de tratamento de água são utilizados coagulantes, usualmente sais de ferro e alumínio que desestabilizam as partículas, formando flocos em tamanho suficientes para serem removidos.

O lodo resultante do tratamento com adição de sulfato de alumínio apresenta coloração marrom com viscosidade e possuem uma difícil sedimentação ou flotação em seu estado natural, (REALI, 1999).

Richter (2001), a aparência do lodo de sulfato de alumínio varia em função da sua concentração de sólidos, para concentrações de: 0 – 5%: aparência líquida; 8 – 12%: esponjoso ou semi-sólido; e 18 – 25%: argila ou barro suave. Este lodo apresenta uma pequena proporção de biodegradabilidade e suas principais características são apresentadas na Tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1. Características de lodos provenientes de tratamento com adição de Sulfato de Alumínio.

Sólidos Totais(%)	Al ₂ O ₃ .5 ₂ O (%)	Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
0,1 - 4	15 - 40	35 - 70	15 - 25	6 - 8	30 - 300	30 - 5000

Fonte: RICHTER (2001)

O teor de sólidos totais varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%), sendo deste, de 75 a 90% sólidos suspensos e 20 a 35% compostos voláteis, apresentando, portanto uma pequena porção biodegradável, mas o qual pode ser prontamente oxidável. A massa específica do lodo de ETA varia de acordo com as concentrações de sólidos presentes neste, ela pode variar de 1,002 kg/m³ para lodos com teor de sólidos de 1%, até 1,5 kg/m³ após processo de desidratação, (RICHTER, 2001).

Outro parâmetro importante na caracterização do lodo é a determinação dos metais de interesse. Os metais predominam de forma sensível na fase sólida do lodo e quanto maior o intervalo de tempo de limpeza dos decantadores, maior é a concentração de metal, CORDEIRO (2002). Analisamos nesta pesquisa a concentração dos íons metálicos de alumínio, ferro, manganês, cobre, chumbo e zinco.

2.4.3 Alternativas de desaguamento de lodo de ETA

Por causar efeito negativo ao meio ambiente, cresce a preocupação no descarte, tratamento e disposição desses resíduos.

Segundo Di Bernardo e Centurione Filho (2002), quando se adota um sistema de tratamento e disposição dos resíduos, algumas considerações são importantes como: condição financeira, localização, disponibilidade de área, existência de mão de obra qualificada para manutenção e operação, quantidade de lodo produzida e qualidade da água bruta.

De acordo com Sabogal-Paz e Di Bernardo (2005) na escolha da melhor alternativa de tratamento desses resíduos, alguns fatores devem ser considerados, como:

- Estudos preliminares dos processos e das operações da ETA, analisando o funcionamento hidráulico, a operação e a manutenção das unidades de filtração e decantação, a dosagem de produtos químicos, o mecanismo de coagulação e a vazão de operação do sistema;

- Análise do resíduo gerado, considerando suas características qualitativas e quantitativas;

- Características da água bruta a ser tratada e da tecnologia de tratamento empregada;

- Tipo de tecnologia de tratamento do lodo, considerando as condições climáticas da região, o condicionamento, a área necessária para a implantação e vazão de operação;

- Método escolhido para aproveitamento e/ou disposição do lodo, considerando distância da ETA até o destino final;

- Experiência da tecnologia no país;

- Custo de investimento inicial, futuro e de reposição, além de despesas de operação, manutenção e administração do sistema;

- disponibilidade de pessoal capacitado para a operação e manutenção e;

- Condições socioeconômicas, culturais, institucionais e normativas da região.

Antes da disposição final o lodo removido do decantador deverá ser desaguado em sistema de desidratação.

A desidratação ou remoção da parcela de água do lodo tem como objetivo reduzir o volume de água no lodo, com esse objetivo alguns meios utilizados para reduzir esse volume de água no lodo, esses meios podem ser mecânicos (filtro – prensa, filtro a vácuo e centrifugas), ou ainda meios naturais (leito de secagem e lagoas de lodo)(REALI, 1999).

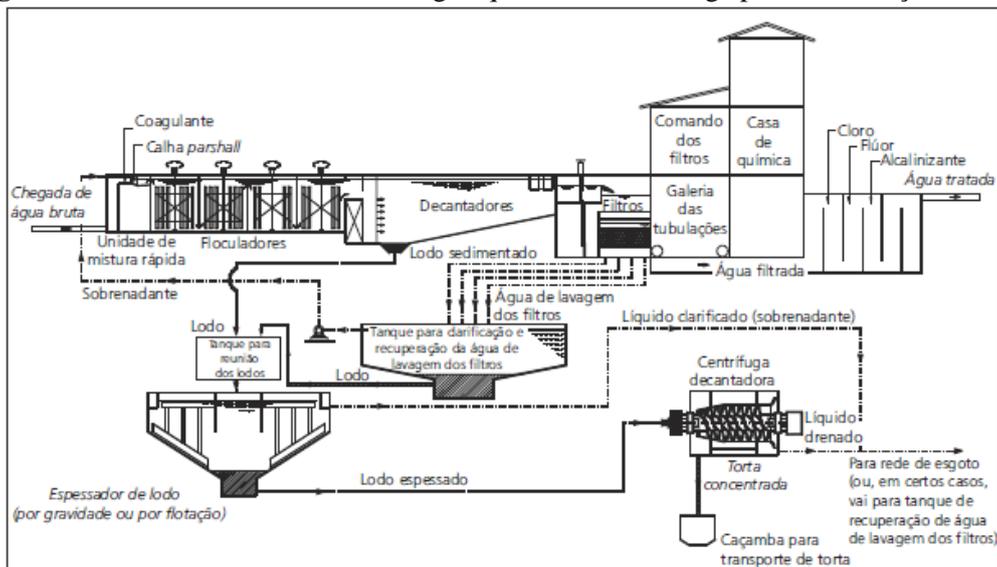
Silveira (2012) cita ainda como sistema natural o bag de geotêxtil. Cada técnica de desidratação possui vantagens e desvantagens, os sistemas mecânicos envolvem alto custo de aquisição e manutenção, consumo de energia e consumo de produto químico, já os sistemas naturais necessitam de grandes áreas e dependem das condições climáticas (DI BERNARDO *et al*,2011).

2.4.3.1 Centrifugas

Separam os sólidos presentes no lodo que fica retido pelas paredes e é encaminhada por raspadores a extremidade do tambor até a tubulação de saída, um parafuso espiral fazendo com que a água seja drenada.

A Figura 2.6, esquematiza sistema de tratamento de água que utiliza centrifuga para desidratação do lodo.

Figura 2.6. Sistema de tratamento de água que utiliza centrifuga para desidratação do lodo



Fonte: Reali *et al*, 1999

2.4.3.2 Lagoas de Lodo

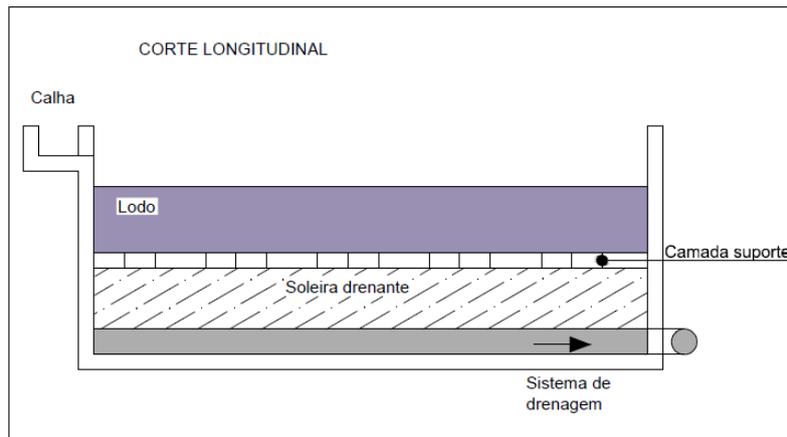
Utilizados em locais com áreas de baixo custo e próximas às ETA, com condições topográficas e geofísicas adequadas. Vários são os fatores que devem ser avaliados nos critérios de projeto, podendo ser citados: clima, permeabilidade do subsolo, características do lodo, profundidade da lagoa e área superficial (CORDEIRO, 1993).

De acordo com Nunes (1993) esse sistema de lagoas de lodo exala maus odores e proliferação de mosquitos, inviabilizando sua adoção próxima de aglomerados urbanos.

2.4.3.3 Leito de Secagem/ Drenagem

Apresenta vantagem no seu custo inicial, pequena necessidade de operação, baixo consumo de energia, pouca ou nenhuma necessidade de condicionamento químico, alta concentração de sólidos na torta, como desvantagem necessidade de grande área e desconhecimentos sobre dados climatológicos e trabalho intensivo para remoção do lodo (CORDEIRO, 1993).

São de fácil execução, construídos de paredes de alvenaria ou concreto, fundo de concreto, na maioria das vezes tem forma retangulares, e dispositivos (soleiras drenantes, camada suporte e sistema de drenagem) que favorecem a drenagem da água presente no lodo, como mostra a figura 2.7 (FRANCI, 1999).

Figura 2.7. Corte longitudinal Leito de Secagem

Fonte: Franci, (1999)

2.4.3.4 Manta geotêxtil

Alternativa esta bastante satisfatória e eficiente em curto prazo devido a crescente exigência dos órgãos ambientais acerca da disposição dos resíduos das ETA, o excesso de água decorrente do processo é drenado através dos poros da manta geotêxtil, resultando numa desidratação efetiva e uma redução do volume de água, redução esta que permite que cada unidade do tratamento do lodo possa ser preenchida por enchimentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela fração sólida existente no rejeito (FRANCO, 2009).

Silveira (2012) diz que esses Bags podem ser lavados e reutilizados 20 a 30 vezes, eles podem ser horizontais (Figura 2.8), usados em locais de maior área e verticais (Figura 2.9), para menores áreas.

Figura 2.8. Bag horizontal

Fonte: Silveira, (2012)

Figura 2.9.Bag vertical

Fonte: Silveira, (2012)

Nos Bags de geotêxtil, é necessária a utilização de polímeros, que vão ajudar na desidratação do lodo (DI BERNARDO *et al*, 2011).

Pieper (2008) apresenta duas vantagens na utilização do polímero, são elas, reduções na quantidade de lodo e maior amenidade da desidratação, o lodo formado pelo uso de polímeros torna-se mais denso e de fácil desidratação, facilitando seu manuseio de disposição final.

2.5 ASPECTOS LEGAIS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL SOBRE RESÍDUOS DE ETA

A atividade humana de forma inadequada e mal planejada tem causado alguns danos ao meio ambiente e ao próprio homem, no sistema de abastecimento a contaminação de mananciais superficiais e a disposição inadequada dos resíduos gerados por sistemas de tratamento de água, são exemplos claros de prejuízos causados ao meio ambiente pelo homem.

Vários são os impactos que o deságue de lodo de ETA pode causar no ambiente aquático, *et al* (2005) citam alguns:

- Redução na concentração de oxigênio dissolvido;
- Alteração da biota aquática;
- Mortalidade de peixes;
- Redução do volume útil dos rios;
- Aumento da turbidez;

- Aumento na concentração de sólidos;
- Aumento de pH;
- Deficiências renais no ser humano;

Ainda segundo Achon, *et al* (2005), o lançamento *in natura* de lodos de ETAs causa grande impacto devido a grande concentração de metais, em especial Ferro e Alumínio, que ao serem lançados em rios de baixa velocidade podem afetar a camada bentônica dos rios formando bancos de lodo, assoreamento do curso d'água, alterações na cor e alterações na composição química e biológicas sobre o biota aquáticos.

Alguns metais como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo e manganês, como também o alumínio, presentes no lodo de ETA, possuem ação tóxica, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização desses resíduos (BARROSO; CORDEIRO, 2001).

Os lodos de ETAs ainda podem apresentar toxicidade para as plantas, seres humanos e organismos aquáticos, como diz Cordeiro(1999), devido a fatores como:

- Produtos químicos utilizados no tratamento e possíveis contaminantes presentes nesses produtos;
- Característica da água bruta;
- Possíveis reações químicas ocorridas no processo;
- Forma de remoção e tempo de retenção do lodo nos decantadores.

O lodo das Estações de Tratamento de Água são um dos principais problemas operacionais da indústria da água, daí a importância de se conhecer as características desses resíduos, conhecidos como lodo, e classificados segundo a NBR 10.004/04 como **RESÍDUOS SÓLIDOS** pertencentes à classe II- não perigosos, devendo ser tratados e dispostos segundo normas exigidas, pois geram riscos potenciais ao meio ambiente e saúde pública.

2.6 ADSORÇÃO

Adsorção é um fenômeno físico onde existe uma grande concentração de moléculas de soluto na superfície de um sólido poroso em relação à concentração no fluido circundante, envolvendo processos de natureza química ou física.

Segundo Atkins e Paula (2004), a adsorção física se caracteriza por interações do tipo dipolo ou de Van de Waals, nela a intensidade média da força de interação entre o

adsorvente e adsorvato são de longo alcance, porém fracas, e a energia liberada quando uma partícula é adsorvida fisicamente é da mesma ordem de grandeza que a entalpia de condensação. As forças envolvidas no processo adsorptivo podem ser de natureza química ou física.

A adsorção química ocorre quando há uma interação química entre a molécula do meio e a do sólido, as forças de ligação são de natureza covalente ou até iônica. Ocorre uma ligação química entre a molécula do meio e a do sólido, o que altera a estrutura eletrônica da molécula, tornando-a extremamente reativa (FOGLER, 1999).

Para Assis Filho (2014), a adsorção pode ser vantajosa na remoção de cor, porém é importante o entendimento do processo através de estudos de equilíbrio por meio de isotermas de adsorção, e o estudo de modelos cinéticos com objetivo de se definir as melhores condições de remoção.

A compreensão do efeito do tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato e a velocidade em que ocorre o fenômeno adsorptivo, pode ser alcançada através da escolha de um modelo adequado que represente bem os dados experimentais (CARONI, 2009).

Segundo Rudzinski e Plazinski (2007), para se descrever um processo cinético de adsorção, quatro passos consecutivos são importantes, são eles: transporte molecular no meio do líquido, difusão da molécula através da película ao redor do adsorvente; difusão nos poros do adsorvente e adsorção na superfície sólida.

O processo de adsorção depende de vários fatores, como a natureza do adsorvente e do adsorvato e as condições de adsorção. A área superficial, a distribuição do tamanho dos poros e o tipo de grupos funcionais presentes na superfície são algumas características dos adsorventes (FERNANDES, 2005).

Segundo Fogler (2002) os principais fatores que influenciam no processo adsorptivo são temperatura, velocidade de agitação, relação sólido-líquido, o tamanho das partículas e a presença de outras espécies competindo pelos sítios de adsorção.

A capacidade adsorptiva também depende do tamanho da molécula a ser adsorvida porque isso define seu acesso aos poros do adsorvente (microporos, mesoporos ou macroporos) e a solubilidade determina as interações hidrofóbicas (ZUIM, 2010). Zuim (2010) também afirma que os grupos funcionais presentes no adsorvente ou na fase a ser adsorvida também afetam as interações. Assim, é importante analisar as características químicas da substância que se deseja adsorver e do adsorvente para determinar a escolha do melhor adsorvente.

Com relação ao efeito da temperatura, Moreno Castilla (2004) confirma que a quantidade do componente de interesse adsorvido diminui com o aumento da temperatura, uma vez que a adsorção é um processo espontâneo (ZUIM, 2010). No entanto, isso pode não acontecer em alguns casos.

2.6.1 Material utilizado como Adsorvente

Nos processos adsorptivos industriais os adsorventes mais usuais encontrados no comércio é o carvão ativado, zeólitas, sílica gel e alumina ativada (BRUNNO *et al.*, 2005; HUMPHREY e KELLER, 1997).

No Brasil, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego é um país com grande potencial de crescimento na área de aquicultura marinha (STEFANI *et al.*, 2011). Entre os setores que constituem a maricultura, encontra-se a malacocultura que se refere à criação de moluscos em geral: mexilhão, ostra, vieira, vôngole e berbigão (MERINO, 2010).

Vários são os destinos para as conchas de moluscos bivalves como: materiais de construção, matéria-prima na produção de ração para aves, reconstituição do solo e, também, remoção de fosfato de águas residuais (PETRIELLI, 2008). Peña *et al.* (2010) estudaram conchas de mexilhões calcinadas para remoção de mercúrio em águas contaminadas. Asaoka *et al.* (2009) investigaram ostras trituradas na adsorção de sulfeto de hidrogênio dissolvidos em águas. Ostras também foram avaliadas para o emprego na construção civil por Yang *et al.* (2010). Petrielli (2008) estudou a viabilidade técnica da utilização comercial das conchas de ostras (construção civil e artesanato); os resultados demonstraram que tecnicamente, é possível transformar as conchas em produtos comercializáveis.

No litoral norte do estado de Pernambuco onde o marisco é abundantemente encontrado, a atividade pesqueira local é tradicional e sempre foi realizada de forma artesanal (LAVANDER *et al.*, 2011). Sendo a espécie *Anomalocardia brasiliiana* a mais importante em termos de produção, com destaque para os municípios de Goiana, Itapissuma e Igarassu (CEPENE, 2008).

O exoesqueleto do marisco marinho é constituído principalmente por carbonato de cálcio sob a forma morfológica de calcita e aragonita, sendo esta última a principal

estrutura mineral constituinte da sua casca. (BESSLER e RODRIGUES, 2008; LÉCUYER *et al.*, 2012). Quando aragonita é aquecida a 400°C se converte em calcita. A reação de decomposição da calcita inicia a aproximadamente 600°C, sendo 898°C a temperatura crítica de decomposição do composto a 1atm (SOARES, 2007).

O óxido de cálcio resultante da reação de calcinação das cascas das conchas apresenta porosidade maior que o carbonato cálcio da estrutura original. Este fato é previsto devido a liberação do dióxido de carbono do CaCO_3 . Durante o processo, ocorre formação de poros e aglomeração de novos retículos cristalinos. Observa-se que a temperaturas superiores a 1000°C as partículas cristalinas se aglomeram de forma mais compacta podendo tornar-se totalmente densa. Este processo é conhecido como sinterização (ÁVILA *et al.*, 2010; BRUNO, 2008).

A utilização do resíduo da malacocultura utilizado como adsorvente para remoção de corantes sintéticos foi estudado por Paiva (2011), visa contribuir com o desenvolvimento tecnológico e industrial da região promovendo o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos do setor produtivo da maricultura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo está dividido em quatro partes. A primeira consiste na descrição do local onde foram realizadas as coletas das amostras. A segunda descreve a metodologia empregada na coleta das amostras os cuidados no transporte ao laboratório e preservação, e a metodologia utilizada no ensaio de deságue do lodo. A terceira escreve-se as metodologias e equipamentos adotados para se obter os resultados da pesquisa. Por fim apresenta-se a análise estatística dos dados analisados.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DA COLETA

A ETA Botafogo faz parte do sistema produtor de mesmo nome, responsável pela geração de aproximadamente 17% do volume de água distribuído na Região Metropolitana do Recife, abrangendo parte de Igarassu e os municípios de Abreu e Lima, Paulista, Olinda e as praias da Zona Norte (COMPESA, 2013). A Figura 3.1, mostra uma foto aérea da ETA Botafogo, a qual está localizada no município de Igarassu-PE, com georreferenciamento $7^{\circ}51'44''S$ e $34^{\circ}55'4''W$.

Figura 3.1. Foto da ETA Bota Fogo



Fonte: googlemaps (2014)

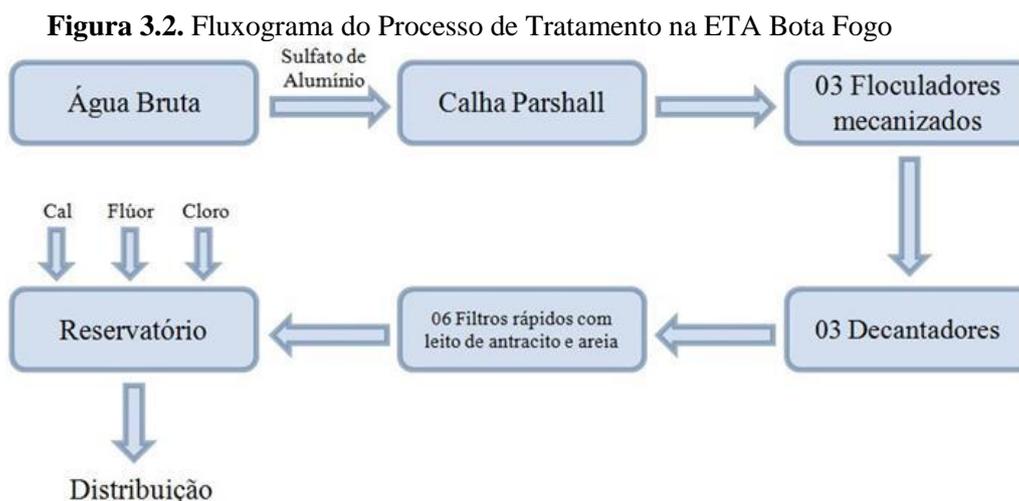
A bacia do sistema Botafogo possui um espelho máximo de água de 1,79 km² e uma capacidade de acumulação de 288 m³ (COMPESA, 2013).

O rio Botafogo abrange o município de Araçoiaba, e partes dos municípios de Tracunhaém, Igarassu, Itaquitinga e Goiana. Recebe como principais afluentes pela margem esquerda, o Riacho Pilão (classe 2), Rio Cumbe (classe 1), Rio Guandú, Riacho

Jardim, Rio Itapirema, Rio Arataca (classe 2) e pela margem direita, o Rio Itapicuru (classe 2) e o Rio Catucá. Possui a Mata da Usina São José e Mata de Miritiba como áreas de proteção. Seu solo é usado para ocupação urbana e industrial, áreas de cultivo com cana-de-açúcar, áreas de Mata Atlântica e mangue e policultura, aquicultura e silvicultura. A água é destinada para abastecimento público, recepção de efluentes domésticos e recepção de efluente industrial, devido a indústrias química e sucroalcooleiras desenvolverem atividades em torno da bacia (CPRH, 2000).

A classificação das águas é dada segundo seus usos preponderantes, a classe 1 são águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário tais como natação e mergulho, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e sejam ingeridas cruas sem remoção de película e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas, a classe 2 são águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário tais como natação e mergulho, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

O tipo de tratamento desta ETA é do tipo convencional o esquema de tratamento de água está representado na Figura 3.2.



Fonte: Do Autor (2014)

A ETA Botafogo foi projetada com 4 módulos idênticos, com capacidade unitária de $1,56\text{m}^3/\text{s}$. A configuração atual consta de um módulo e meio, com

capacidade de tratamento para $2,2\text{m}^3/\text{s}$ de água bruta. A construção das unidades de tratamento da ETA se deu em duas etapas. Na primeira, concluída em 1986, foi construído um módulo de tratamento e na segunda, concluída em 1989, foi construído meio módulo de tratamento. Os principais constituintes desta ETA são: Calha Parshall; 3 floculadores mecanizados de 4 estágios e decantadores (Figura 3.3) com capacidade de tratamento de $2,77\text{ m}^3/\text{s}$, de módulos tubulares sem agitação onde os flocos formados nos floculadores decantam sob ação da gravidade, indo para o fundo do decantador, a água sem os flocos escoam por tubulações localizadas no final da câmara na altura da linha d'água e segue para os filtros, a limpeza nos decantadores é realizada através de descarga hidrostática (Figura 3.4), o lodo que é depositado no fundo do decantador é retirado periodicamente por escoamento hidráulico por tubulações ou aberturas de comportas de fundo, escoando para uma caixa de concreto e depois para a unidade de tratamento de resíduos. A ETA possui ainda filtros rápidos com leito de antracito e areia, como mostra a Figura 3.5.

Figura 3.3. Foto do Tanque de Decantação da ETA Botafogo



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 3.4. Foto do Ponto de Descarga Lodo do Decantador



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 3.5. Foto dos filtros descendentes da ETA Botafogo



Fonte: Do Autor (2013)

Ainda como parte do tratamento da água, a ETA Botafogo possui um pavilhão de cloro, podendo funcionar uma bateria de até seis cilindros de cloro, que ficam estocados no mesmo local. Existe também um prédio de química, onde ficam localizados os tanques de dissolução de sulfato de alumínio, onde o mesmo é dissolvido para ser aplicado à água. É utilizado sulfato no estado líquido que fica armazenado em tanques de fibra de vidro próximos a este prédio.

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS E ENSAIO DE DESÁGUE DE LODO

As amostras foram coletadas no período de março de 2013 a outubro de 2013, segundo a tabela abaixo (tabela 3.1), totalizando 15 coletas.

Tabela 3.1: Período de coleta das amostras. Todas as coletas realizadas no ano de 2013

NÚMERO DE COLETAS	DATA
2	18 e 27 de Março
2	3 e 17 de Abril
2	01 e 13 de Maio
2	03 e 17 de Junho
2	01 e 15 de Julho
2	05 e 19 de Agosto
2	02 e 16 de Setembro
1	02 Outubro

Em cada coleta realizada foram coletadas amostras de água bruta, água tratada, e lodo proveniente da descarga do decantador (Figura 3.6).

Figura 3.6. Fotos do procedimento de coleta de lodo da ETA Botafogo

Fonte: Do Autor (2013)

As amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno, devidamente identificadas (Tabela 3.2), e transportadas no mesmo dia ao Laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais (GPTA – DEQ/ UFPE), onde foram adicionadas nos bags e partes (amostras de água bruta e tratada e amostras e lodo) mantidas sob refrigeração para posterior análise.

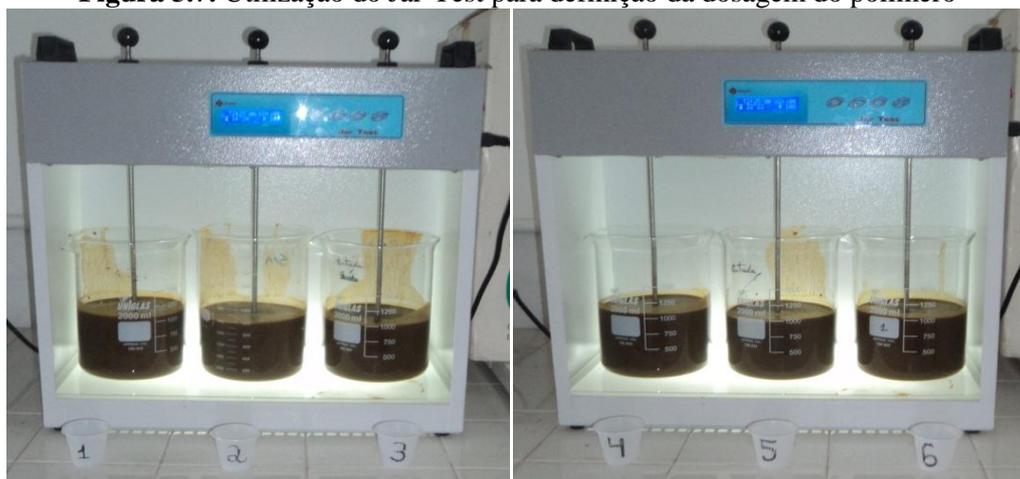
Tabela 3.2: Sistemática de identificação das amostras

NÚMERO DA COLETA	NOMENCLATURA	SIGLA
1	Água Tratada	AT
	Água Bruta	AB
	Lodo	LODO

3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

No início da pesquisa, com uma amostra do lodo realizou-se no laboratório o ensaio de bancada *Jar-Test* (Figura 3.7), para determinação da dosagem ótima do polímero, uma vez que, um bag foi alimentado com lodo bruto e outro com lodo + polímero.

Figura 3.7. Utilização do Jar-Test para definição da dosagem do polímero



Fonte: Do Autor (2013)

O lodo foi homogeneizado no recipiente que foi transportado da ETA para o laboratório, depois foi colocada em seis béqueres para o ensaio no *Jar-Test*. Para cada béquer foi aplicada uma dosagem de polímero diferente, para se verificar a melhor dosagem. A adição do polímero é recomendada pelo fornecedor do bag (Allonda), o qual forneceu a indicação da dosagem aproximada.

Os polímeros estão disponíveis em forma de pó. Estes produtos têm a vantagem de ser 100% concentrados o que pode minimizar os custos de transporte e manuseio. Melhoram na clarificação da água, na velocidade de sedimentação dos flocos e na compactação e desidratação do lodo.

O aparelho de bancada era iniciado com rotação inicial de mistura rápida e logo após rotação de mistura lenta, após o período de rotação se esperava um tempo determinado para sedimentação. A amostra do sobrenadante era retirada e parâmetros de cor, pH e turbidez foram avaliados.

3.4 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

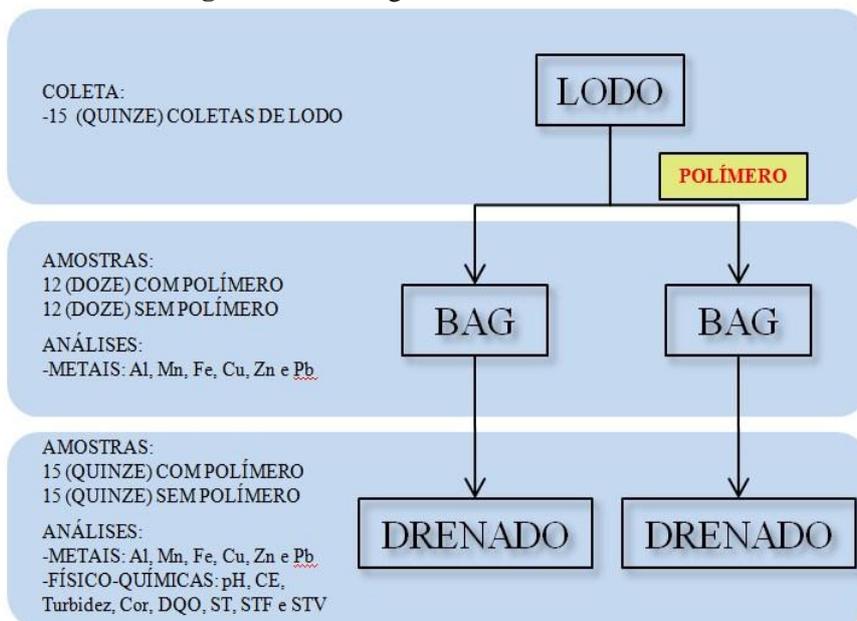
O ensaio com o bag de geotêxtil (a geomembrana), consiste na suspensão de um balde de PVC preso ao teto ligado ao Bag disposto em uma bacia plástica, o balde era interligado ao Bag através de um mangote, conforme a Figura 3.8. A bacia que continha o Bag continha um furo em uma de suas extremidades, onde tinha um registro em PVC e uma mangueira para obtenção do drenado. O bag de geotêxtil é fabricado em tecido de prolipropileno de alta resistência que exerce simultaneamente as funções de retenção das partículas sólidas e de drenagem dos líquidos presentes. O excesso de água decorrente do processo é drenado através dos poros do geotêxtil, resultando uma desidratação efetiva e uma redução do volume de água.

Figura 3.8. Montagem do ensaio



Fonte: Do Autor (2013)

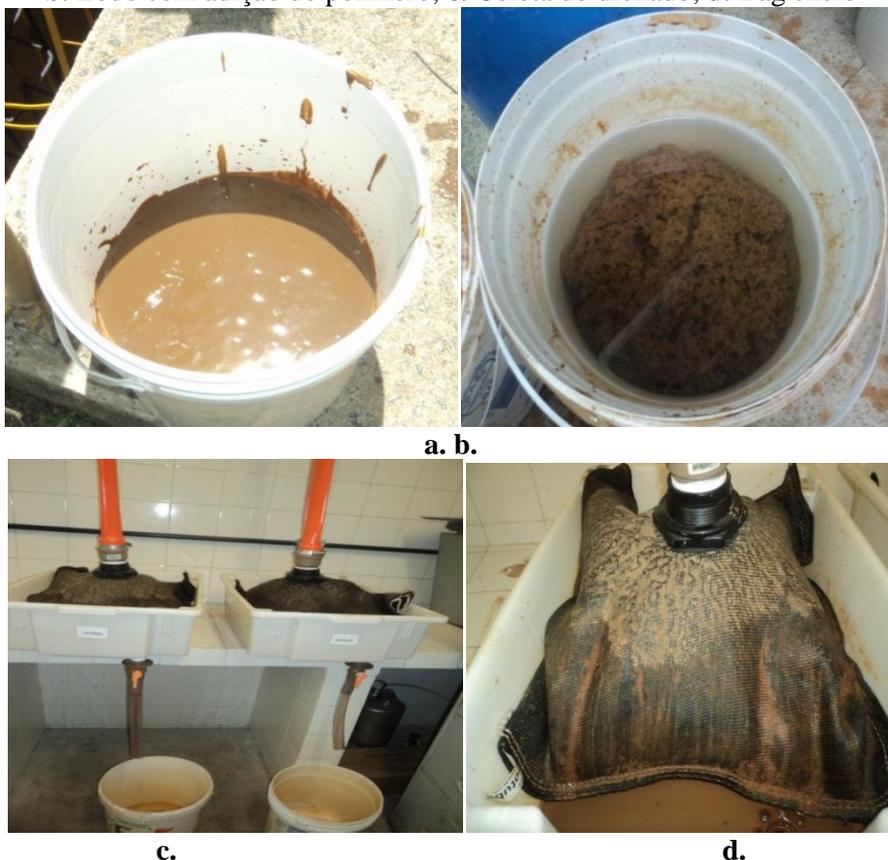
Para este trabalho foram utilizados dois Bags, um bag recebeu o lodo com adição do polímero, o outro recebeu o lodo sem o polímero, como mostra o fluxograma abaixo (Figura 3.9).

Figura 3.9. Fluxograma do ensaio realizado

Fonte: Do Autor (2014)

A Figura 3.10 apresenta a sequência do procedimento do ensaio.

Figura 3.10. Fotos ilustrando o procedimento do ensaio. **a.** Lodo bruto; **b.** Lodo com adição do polímero; **c.** Coleta do drenado; **d.** Bag cheio



Fonte: Do Autor (2014)

Os drenados obtidos de cada coleta eram identificados com a nomenclatura abaixo (Tabela 3.3), e armazenados em garrafas pet de volume de 2 litros e mantidos em refrigeração para determinação de parâmetros.

Tabela 3.3. Sistemática de identificação do drenado.

NÚMERO DA COLETA	NOMENCLATURA	SIGLA
1	Drenado de Lodo sem polímero	DLODOETASC
	Drenado de Lodo com polímero	DLODOETACC

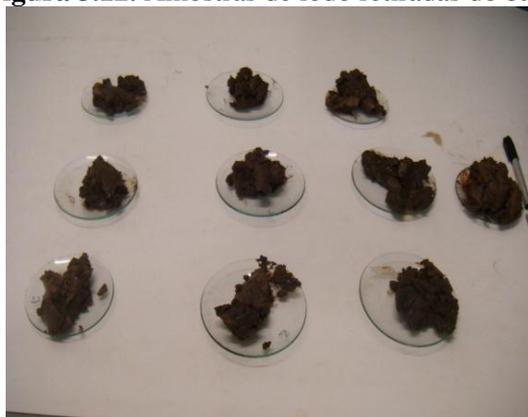
Ao término das coletas os Bags foram abertos (Figura 3.11) as amostras foram retiradas para análise do material (Figura 3.12). Foram coletadas amostras de pontos distintos (Tabela 3.4).

Figura 3.11. Bags abertos para retirada das amostras



Fonte: Do Autor (2014)

Figura 3.12. Amostras de lodo retiradas do bag



Fonte: Do Autor (2014)

Tabela 3.4. Ponto de coleta das amostras no Bag

NUMERAÇÃO	LOCAL DE RETIRADA DA AMOSTRA
1	Fundo do bag – esquerda superficial
2	Esquerda meio
3	Esquerda fundo
4	Fundo do bag – direita superficial
5	Direita – meio
6	Direita – fundo
7	Centro – superficial
8	Centro – fundo
9	Superior - superficial
10	Superior - fundo
11	Inferior – Superficial
12	Mistura de todo o lodo do Bag

3.5. ANÁLISES REALIZADAS

As análises dos parâmetros físico-químicos da água bruta, água tratada, lodo e drenados foram realizadas nos seguintes laboratórios:

- Laboratório do Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais – GPTA/DEQ/UFPE;
- Laboratório do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE;
- Laboratório do Centro de Apoio à Pesquisa – CENAPESQ/UFRPE;
- Laboratório de Fertilidade do Solo – UFRPE.

As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Os procedimentos utilizados no experimento seguem abaixo na Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Parâmetros analisados e seus respectivos métodos

PARÂMETRO	MÉTODO
Potencial Hidrogeniônico - pH	SMEWW 4500B - Potenciômetro
Cor (Hazen)	SMEWW 2120 C - Espectrofotômetro
Condutividade (mS/cm)	Condutância elétrica SMEWW 2510 B - Condutivímetro
Turbidez (NTU)	Nefelométrico SMEWW 2130 B - Turbidímetro
DQO (mg O ₂ /L)	Titulométrico SMEWW 5220 C - Termo reator de DQO e Espectrofotômetro
ST	SMEWW 2540B – Gravimetria
SV e SF	SMEWW 2540E – Gravimetria
Metais	Espectrometria de absorção atômica

Para a obtenção dos metais de interesse, todas as amostras foram digeridas em meio ácido segundo Método 3051A (USEPA, 1998), descrito no anexo I.

3.6 ANÁLISE DE DADOS

3.6.1 Seleção dos dados

Foram utilizados os dados resultantes das análises dos metais de todos os pontos amostrais dos bags com adição de polímero e sem a adição deste.

3.6.2 Base de dados

A base de dados utilizada apresenta 6 variáveis contando com 24 casos, o que totaliza 144 registros de dados.

3.6.3 Processamento dos dados

A base de dados foi inserida no worksheet do software *Statistica 10.0*, e processada para fornecer os resultados no módulo de estatística multivariada compreendendo a análise fatorial pelo método de extração de componentes principais.

3.7. TRATAMENTO DO PERCOLADO DA GEOMEMBRANA POR ADSORÇÃO

O processo de tratamento por adsorção foi aplicado nos efluentes provenientes do ensaio de deságue do lodo, foram considerados os efluentes da 9ª e 15ª semana por apresentarem maior volume.

Foi realizado um planejamento experimental fatorial 2^2 como apresentado na Tabela 3.6 abaixo.

Tabela 3.6. Planejamento fatorial 2^2

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
Rotação (rpm)	100	200	300
Massa do adsorvente (g)	1	2	3

O tempo estipulado para os ensaios foi de uma hora, de acordo com estudos anteriores realizados por Paulino (2011).

3.7.1 Material Adsorvente

O tratamento inicial das conchas seguiu a metodologia de Nakatani *et al* (2009) que investigaram a eficiência de ostras calcinadas nativas do Japão como catalisador da reação de transesterificação do óleo de soja. Consiste na lavagem das conchas com água corrente para remoção de areia e resíduo orgânico marinho que tenha se depositado na superfície da casca. A secagem ocorre naturalmente. As conchas de marisco são grosseiramente trituradas usando moinho de rolos e moídas através de pilão e almofariz até atingir uma granulometria média de 100 mesh, medidas em peneiras da série de Tyler. O material resultante foi seco a 110 °C em estufa durante 2 horas. A reação de calcinação para ativação térmica do material foi conduzida numamufra. As conchas calcinadas foram acondicionadas em dessecador à vácuo (ASSIS FILHO, 2014).

As amostras foram centrifugadas a 4000 rpm durante 15 minutos após a adsorção. Todos os experimentos foram realizados em duplicata, e os valores médios foram tomados para minimizar o erro.

Foram determinadas concentrações de matéria orgânica e inorgânica pelo parâmetro DQO, bem como os parâmetros Cor, pH. As metodologias utilizadas na adsorção foram às indicadas na Tabela 3.7 a seguir.

Tabela 3.7. Metodologias utilizadas no estudo da adsorção

Parâmetros	Métodos
Cor (mgPt/L)	Color, TrueandApparentMethod 8025 Platinum-Cobalt Standard Method (15 to 500 units)
DQO(mg O ₂ /L)	Titulométrico (Digestão com K ₂ Cr ₂ O ₇) – SMEWW 5220 C
pH	Método eletrométrico -SMEWW 4500 B

O cálculo da capacidade de remoção da corfoibaseado na Equação 4.1,

$$q_{cor} = \frac{(Cor_i - Cor_f)V}{m_{ads}} \quad (4.1)$$

na qual Cor_i é o valor inicial de cor, Cor_f o valor da cor após adsorção, ambos em mg Pt/L, V o volume da amostra que foi posta em contato com o adsorvente em litro e m_{ads} a massa de adsorvente em g.

Assis Filho (2014) realizou a caracterização das conchas de marisco utilizadas, mostrando que após a calcinação são compostas essencialmente por óxido de cálcio, resultados obtido da análise do material adsorvente por difratometria de raio x(DR-X).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS METAIS PRESENTES NO LODO DO BAG

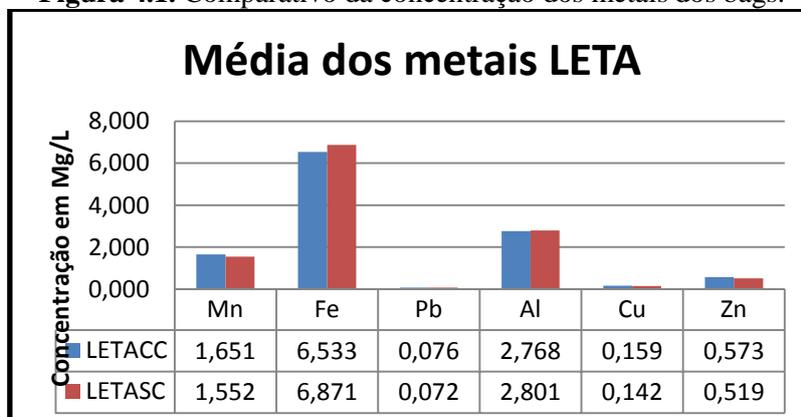
Os valores de média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação encontram-se abaixo na tabela 4.1.

Tabela 4.1. Estatística descritiva das seis variáveis.

Variáveis	Média	Desvio padrão	Variância	Coeficiente de variação
Al (mg/g de sólido)	2.784	0.350	0.123	0.126
Cu (mg/g de sólido)	0.151	0.023	0.001	0.154
Fe (mg/g de sólido)	6.702	0.885	0.784	0.132
Mn (mg/g de sólido)	1.601	1.138	1.295	0.711
Pb (mg/g de sólido)	0.074	0.025	0.001	0.342
Zn (mg/g de sólido)	0.546	0.174	0.030	0.319

Através do Coeficiente de variação da Tabela 4.1 podemos verificar que a variável manganês (Mn) apresentou uma média variação, enquanto que as demais apresentaram pequena variação em relação aos pontos amostrais, como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1. Comparativo da concentração dos metais dos bags.



4.1.1 Estatística descritiva das amostras de lodo

Estatística descritiva das amostras de lodo para as amostras com adição de polímero (Tabela 4.2) e sem o polímero (Tabela 4.3).

Tabela 4.2. Média das amostras com polímero

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de variação
Al	2.768	0.348	0.121	0.126
Cu	0.159	0.022	0.000	0.138
Fe	6.533	0.796	0.634	0.122
Mn	1.651	1.182	1.397	0.716
Pb	0.076	0.021	0.000	0.273
Zn	0.573	0.217	0.047	0.378

Tabela 4.3. Média das amostras sem polímero

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
Al	2.801	0.367	0.135	0.131
Cu	0.142	0.022	0.000	0.156
Fe	6.871	0.971	0.943	0.141
Mn	1.552	1.143	1.306	0.736
Pb	0.072	0.030	0.001	0.417
Zn	0.519	0.122	0.015	0.235

4.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS ANALISADOS

A matriz de correlação dos 6 parâmetros analisados (Tabela 4.4) mostra em negrito e sublinhado altas correlações positivas, destacando: manganês e chumbo; ferro e alumínio; zinco e chumbo.

Tabela 4.4. Matriz de correlação dos parâmetros analisados

Variáveis	Mn	Fe	Pb	Al	Cu	Zn
Mn	1,000000					
Fe	-0,181094	1,000000				
Pb	<u>0,751920</u>	0,214847	1,000000			
Al	-0,254734	<u>0,740753</u>	0,299603	1,000000		
Cu	0,279819	<u>0,657699</u>	<u>0,601537</u>	<u>0,582943</u>	1,000000	
Zn	<u>0,656962</u>	0,219894	<u>0,737703</u>	0,304794	<u>0,613448</u>	1,000000

4.3 COMPONENTES PRINCIPAIS

4.3.1 Autovalores e Variância Total Explicada

Através da representação gráfica dos autovalores da matriz de correlação (Figura 4.2), selecionamos as duas primeiras componentes principais, onde se verificou que as duas componentes selecionadas explicaram aproximadamente 85% da variância total (Tabela 4.5). Verificou-se que a primeira (CP1) e a segunda (CP2) explicaram respectivamente 53% e 32%.

Figura 4.2. Representação gráfica dos autovalores

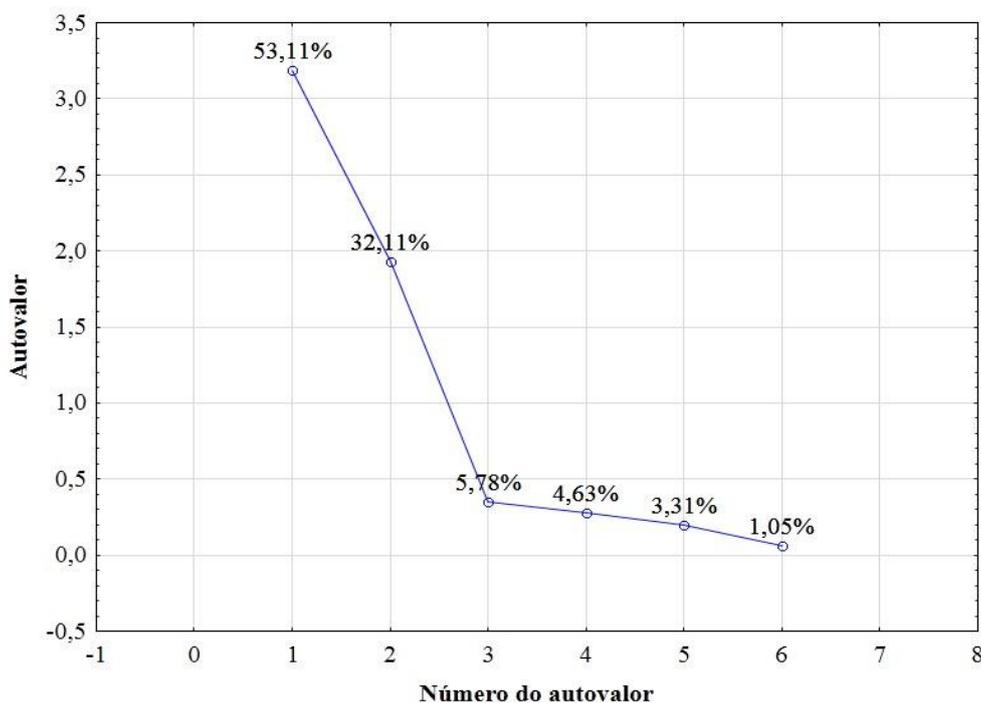


Tabela 4.5. Autovalores e variância explicada

Componentes	Autovalores	Variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Variância explicada acumulada (%)
CP1	3,186427	53,10712	3,186427	53,1071
CP2	1,926879	32,11464	5,113306	85,2218
CP3	0,347087	5,78478	5,460393	91,0065
CP4	0,277552	4,62587	5,737945	95,6324
CP5	0,198899	3,31499	5,936844	98,9474
CP6	0,063156	1,05259	6,000000	100,0000

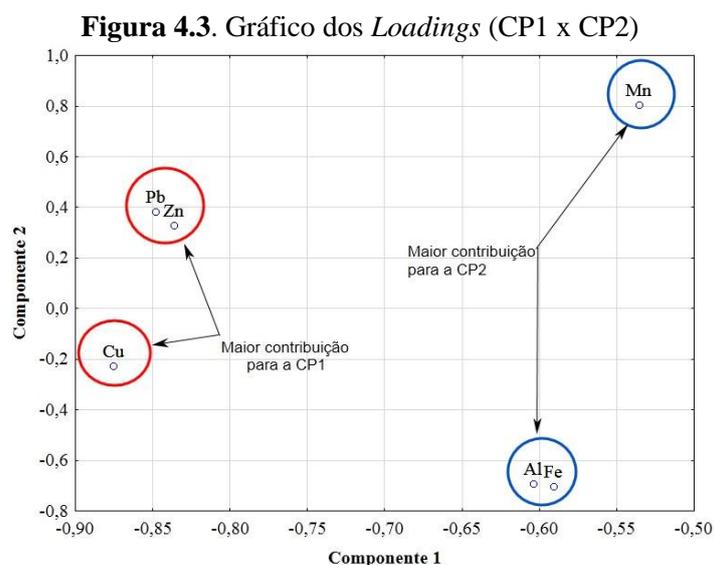
4.3.2 Loadings (pesos / carregamentos)

Abaixo (Tabela 4.6) destaca-se de negrito e sublinhado os pesos que mais contribuíram para a respectiva componente principal. Na CP1 as variáveis mais significativas foram: Chumbo, Cobre e Zinco com pesos negativos. Na CP2 as variáveis de maior peso foram Ferro e Alumínio com pesos negativos e Manganês com peso positivo.

Tabela 4.6. Loadings das Componentes Principais

Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Mn	-0,535687	<u>0,804048</u>	0,129855	-0,099878	0,113348	-0,163893
Fe	-0,591074	<u>-0,703395</u>	0,269550	-0,071105	0,277384	0,034821
Pb	<u>-0,848125</u>	0,382208	-0,092916	-0,321561	-0,072180	0,131746
Al	-0,604057	<u>-0,692556</u>	-0,361902	-0,098237	-0,031601	-0,117721
Cu	<u>-0,875416</u>	-0,225205	0,274941	0,146697	-0,291934	-0,024314
Zn	<u>-0,836387</u>	0,330436	-0,205836	0,357700	0,132949	0,057235
Autovalores	3,186427	1,926879	0,347087	0,277552	0,198899	0,063156

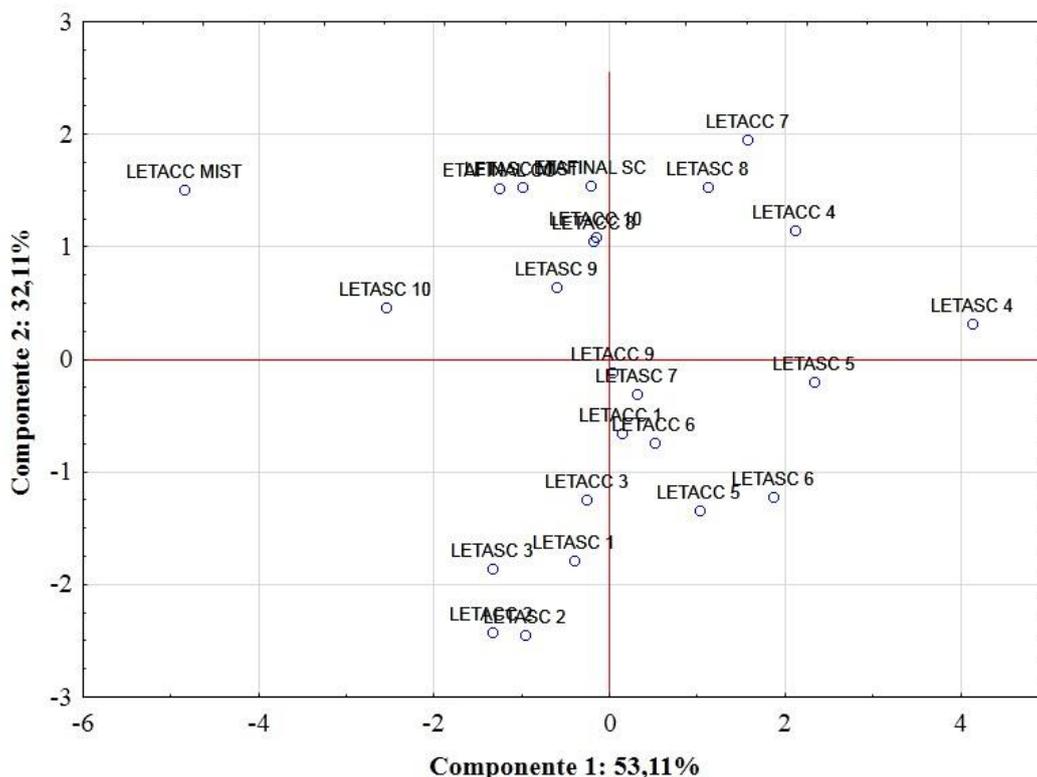
No gráfico dos *Loadings* (CP1 x CP2) (Figura 4.3) observam-se os num plano 2D as contribuições da cada variável na formação da componente. Foi observada a formação de dois pares: alumínio com ferro, e o chumbo com o zinco.



4.3.3 Distribuição das amostras no Plano CP1 x CP2

A projeção dos pontos amostrais no plano CP1 x CP2 (Figura 4.4), indica que o ponto de maior relevância no estudo é o LETACC MIST, pois é o ponto amostral de maior contribuição na CP1, e esta componente explica cerca de 53% de toda a variabilidade do estudo. Os pontos LETASC 4 e LETASC 10 também são representativos em relação a CP1.

Figura 4.4. Projeção dos pontos amostrais no plano CP1 x CP2



4.4 MONITORAMENTO DO PERCOLADO

Durante as quinze semanas em que houve a alimentação do bag com lodo, o percolado foi recolhido e armazenado. Nos dias de coleta foram também tomadas amostras da água bruta e tratada, as quais foram analisadas, assim como o lodo que alimentou o bag. Os resultados dos parâmetros monitorados para cada semana são apresentados nesta seção. Ressalta-se que cada coleta de percolado se inicia com a alimentação do bag com lodo e termina quando da nova adição de lodo.

4.4.1. DQO

Através da Figura 4.5.a é possível observar que água bruta apresentou um pico de DQO na terceira semana, este deve-se a percipitação que carrou material

particulado das margens e também aumentou a turbidez, como poderá ser observado mais adiante.

Figura 4.5.a. Valores da concentração de DQO para a água bruta (-) e tratada (-)

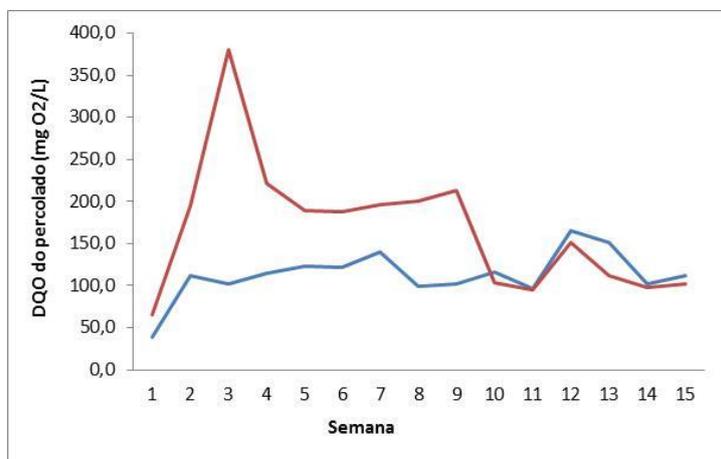
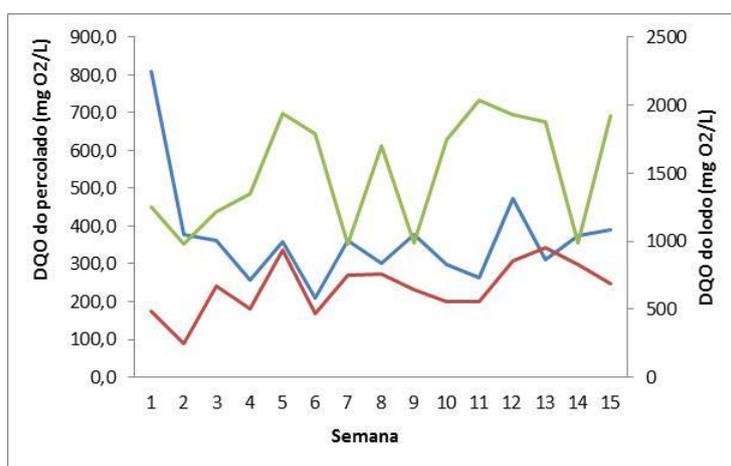


Figura 4.5.b. Valores da concentração de DQO para o lodo (-), percolato do bag sem coagulante (-) e com coagulante (-)



A DQO do percolato sem coagulante apresentou um valor de 808,2 mg O₂/L na primeira semana, este valor corresponde a 65% da DQO do lodo que alimentou este bag enquanto que a DQO do percolato com coagulante ficou em torno de 175 mg O₂/L. Pode-se inferir que o uso do coagulante reduziu em 78% a DQO do percolato, a partir da 4^a semana de monitoramento. Então não seria necessário o uso contínuo deste produto para assegurar um percolato com baixa concentração de poluentes. Todavia, a esta diferença da concentração de DQO entre o sistema com coagulação do lodo e sem coagulação foi diminuindo (Figura 4.5 b), fato este que pode estar associado à uma diminuição da abertura dos poros do sistema de desague pelo material do lodo, que

começa a atuar como sistema filtrante. Esta diferença saiu de 78% na primeira coleta, e chegou a 6% na quinta.

A DQO do lodo bruto (saído do decantador), oscilou entre 1000 e 2000 mg O₂/L, como pode se observar pela Figura 4.6. Pode-se constatar vários picos de concentração de DQO, os quais apresentam comportamento inverso dos sólidos totais voláteis (STV) nas 10 primeiras semanas, como pode ser constatado pela Figura 4.6a. Todavia, esta não é uma correlação linear, como se observa pela Figura 4.6b. O coeficiente de correlação R^2 para o ajuste linear foi de 0,43, mostrando que outros parâmetros são necessários para obter-se uma boa correlação.

Figura 4.6.a. Variação da DQO (-) e dos STV (-) do lodo para as 10 primeiras semanas

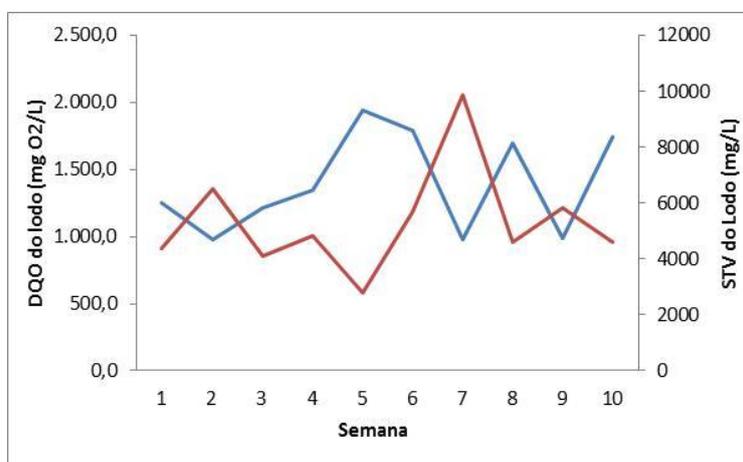
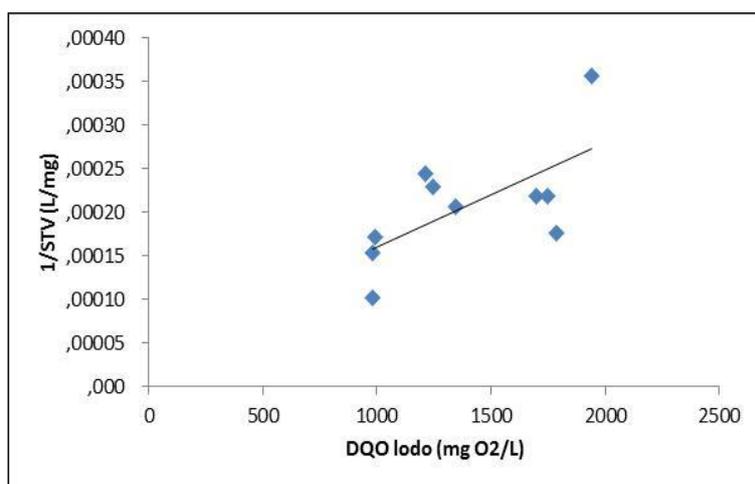


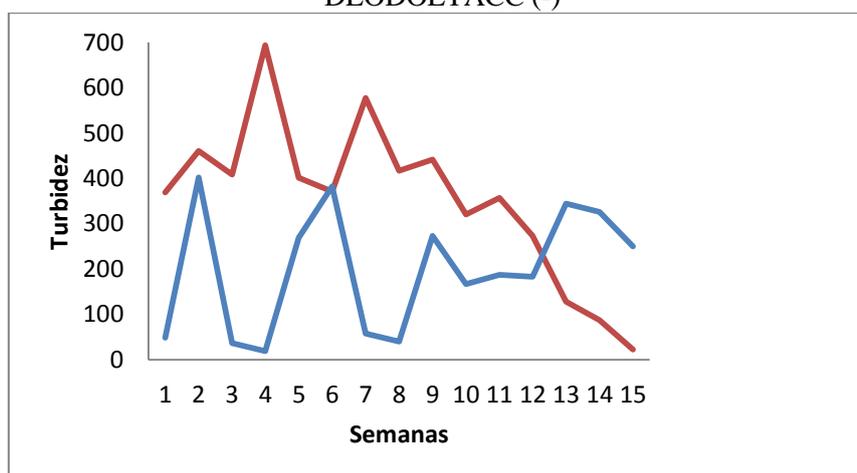
Figura 4.6.b. Correlação entre a DQO e o inverso dos STV do lodo



4.4.2 Turbidez

Através da Figura 4.7 é possível observar a variação dos valores de turbidez para as 15 semanas, o drenado de lodo de ETA com adição de polímero apresentou um pico na 2ª semana, com variações mínima de 19 e máxima de 402, mantendo uma média de 199, inferior a média do drenado de lodo de ETA sem adição de polímero, que foi de 354. Fato marcante foi que com a evolução das semanas, a turbidez do sistema sem coagulante reduziu, chegando a valores inferiores ao do sistema com coagulante a partir da 12ª semana. Este fato pode ter ocorrido pela agregação de pequenas partículas na superfície da geomembrana, diminuindo a porosidade e aumentando a eficiência de retenção. No sistema com coagulante estas partículas são aglomeradas e não chegam à superfície do material.

Figura 4.7. Variação da Turbidez do líquido drenado para as 15 semanas, DLODOETASC (-), DLODOETACC (-)



4.4.3 Sólidos

Na Figura 4.8 é possível observar que a concentração dos sólidos se manteve maior no drenado que não teve adição de polímero, assim o material particulado conseguiu com mais facilidade ultrapassar a manta geotêxtil. A média de ST no drenado sem adição de polímero foi 488 mg/L, já o drenado que recebeu adição de polímero teve uma média de 333mg/L. Pode-se observar que a concentração de sólidos totais, voláteis e fixos do percolado oriundo da geomembrana sem adição de polímero sempre apresentou valores mais elevados que o da geomembrana com polímero. Esta diferença foi mais significativa para os sólidos voláteis, que estão associados à matéria orgânica,

logo pode-se inferir que o uso do polímero na geomembrana contribui para a redução da carga poluente.

Figura 4.8. Variação dos ST do liquido drenado para as 15 semanas, DLODOETASC (-), DLODOETACC (-)

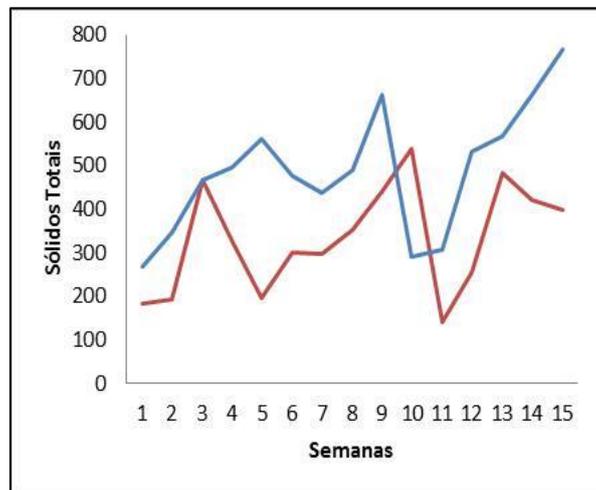


Figura 4.8.a. Variação dos STV do liquido drenado para as 15 semanas, DLODOETASC (-), DLODOETACC (-)

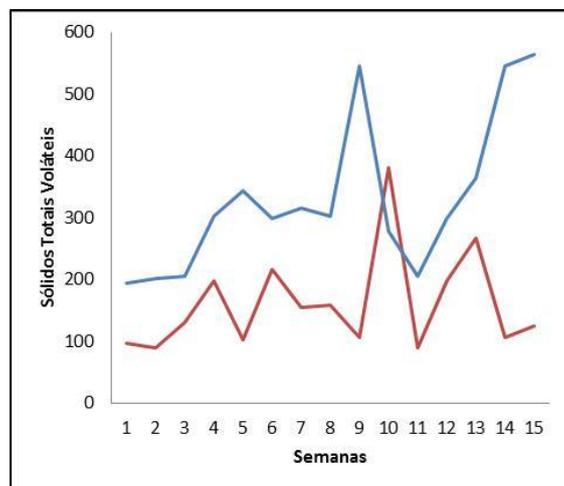
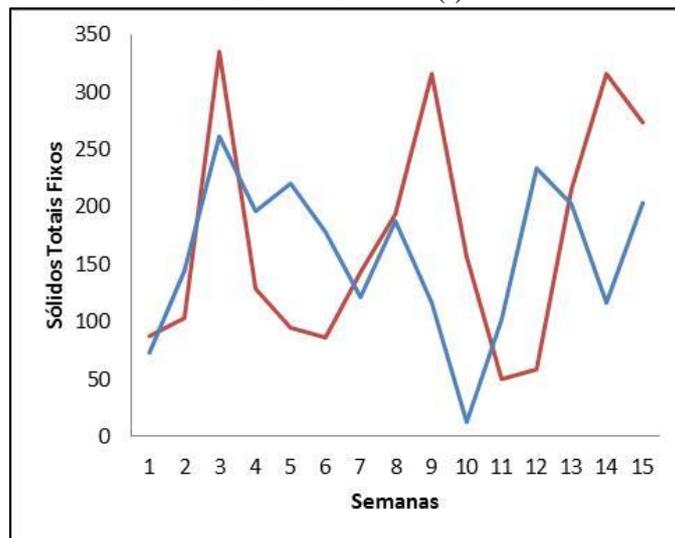


Figura 4.8.b. Variação dos STF do líquido drenado para as 15 semanas, DLODOETASC (-), DLODOETACC (-)

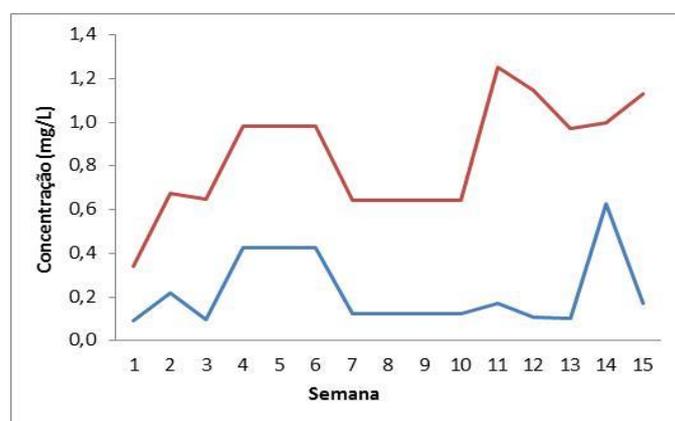


4.4.4 Metais

-Alumínio

Através da Figura 4.9.a é possível observar a água bruta apresentou um pico no nível de alumínio na décima primeira semana com valor de 1,25 mg/L. Mostra-se também que as concentrações para água tratada na terceira, quarta, quinta, sexta e décima quarta semana apresentaram valores elevados, nas demais semanas de coleta as concentrações de alumínio obtida estão abaixo de 0,2mg/L.

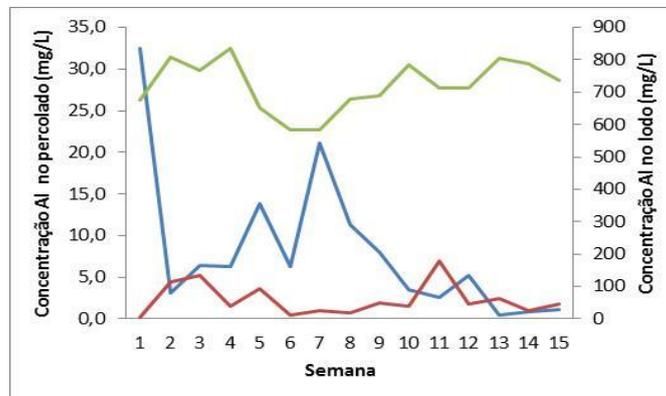
Figura 4.9.a. Valores da concentração de alumínio (Al) na água bruta (-) e tratada (-)



Nas amostras de lodo bruto (descarga do decantador), apresentaram valores de concentrações que nos drenados desse lodo ficaram retidas no Bag, dado esse percebido

após a análise dos drenados. Essa retenção ocorreu de forma mais ampla no Bag que recebeu o lodo com adição de polímero.

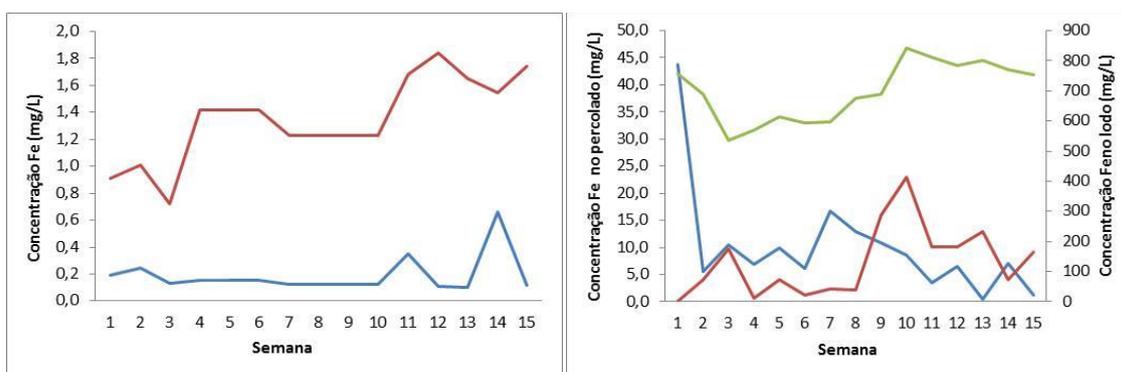
Figura 4.9.b. Valores da concentração de alumínio (Al) para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-)



- Ferro

Através da Figura 4.10.a observa-se a concentração de ferro para água bruta e tratada, observou-se no gráfico que as concentrações na água tratada se mantiveram dentro do valor máximo permitido de 0,3 mg/L para padrão máximo de consumo humano pela portaria 518 ministerio da saúde, com exceção da décima primeira e décima a quarta semana, que apresentou pico de 0,353 e 0,66, respectivamente. As concentrações encontradas na água bruta se justificam por alguns fatores, como exemplo o aumento do nível de ferro nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens, o que deve ser estudado de acordo com o período da coleta. A Figura 4.10.b mostra as concentrações de ferro para as amostras de lodo e os drenados com e sem polímero, apresentando reduções nas concentrações dos drenados, mostrando a importância da manta geotêxtil na retenção dos sólidos.

Figura 4.10. Valores da concentração de ferro (Fe) na água bruta (-) e tratada (-) (a) e para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-) (b)



- Manganês

A Figura 4.11.a apresenta concentrações de manganês para a água bruta e água tratada. O valor de maior destaque se encontra na coleta da primeira semana de água tratada, com pico inicial de 0,44, sendo esse valor o máximo encontrado para as quinze semanas, observa-se a partir da sexta semana níveis mais baixos para a água tratada.

A Figura 4.11.b apresenta valores de concentração de manganês para o lodo e drenados do bag sem polímero e com polímero, apresentando pico de concentração na segunda semana que depois decaem e permanecem baixos até a semana final.

Figura 4.11.a. Valores da concentração de manganês (Mn) na água bruta (-) e tratada (-)

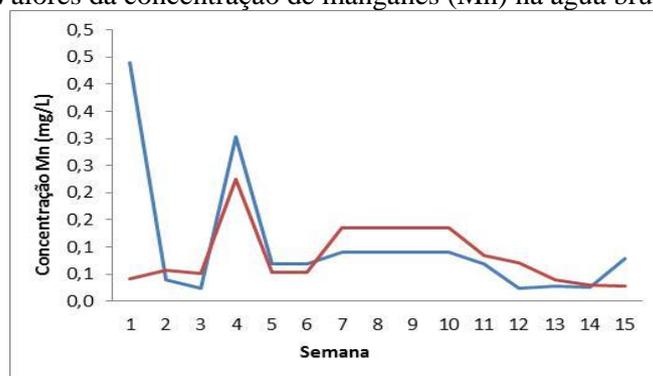
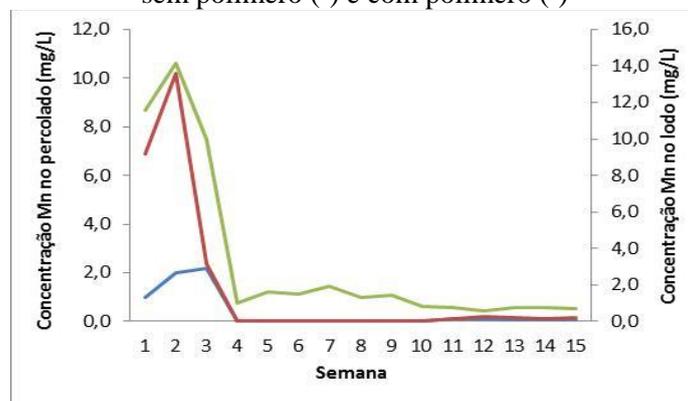


Figura 4.11.b. Valores da concentração de manganês (Mn) para o lodo (-), percolado do bag sem polímero (-) e com polímero (-)



4.5 ADSORÇÃO

4.5.1 Eficiência de remoção da DQO

No estudo do parâmetro DQO, as melhores eficiências de remoção observadas para os drenados da 9ª semana de coleta, ocorreram quando se combinou a massa do adsorvente ao efluente, no deságue sem polímero (SC). A maior eficiência apresentou-se na combinação 300rpm utilizando 3g do adsorvente. Para o efluente bruto sem

adsorvente agitado, a eficiência (ϵ) foi de 70%, já para o efluente bruto com adsorvente agitado, obteve-se eficiência de remoção de DQO de 78%. O que pode ser verificado no Anexo II as devidas combinações de tratamento por adsorção.

Para o efluente da 15ª semana, o estudo do parâmetro DQO, apresentou eficiências de remoção na adsorção para as combinações 100rpm 1g, 300rpm 1g e 300rpm com 3g de adsorvente, no deságue de lodo sem adição de polímero (SC), tanto para o efluente bruto sem adsorvente agitado quanto para o efluente bruto com adsorvente agitado. Os valores apresentaram-se em torno de 67% e 93%. Porém, o melhor desempenho ocorreu na combinação 300rpm com 3g de adsorvente, tanto para o efluente sem polímero (SC) quanto para o efluente com polímero (CC). Os valores apresentaram-se entre 93% para o efluente bruto sem adsorvente agitado, 86% para o efluente com adsorvente agitado, e de 75% para o efluente com adsorvente agitado. Como indicado no anexo III.

4.5.2 Eficiência de remoção da Cor

Na avaliação do parâmetro COR para adsorção no deságue do lodo coletado na 9ª semana, observou-se bom desempenho nos valores de redução. Para o efluente de deságue do lodo sem coagulante (SC), as reduções significativas ficaram na faixa de 67% e 91%. Para este efluente os melhores desempenhos ocorreram nas combinações 300rpm 1g, 300rpm 3g e 200rpm 2g, com valores entre 84% e 91%. Já para o efluente de deságue do lodo com coagulante(CC) na combinação 100rpm 1g e 100rpm 3g, as reduções apresentaram-se no efluente bruto sem coagulante agitado, bem como, no efluente com coagulante agitado entre 75% e 82%. Nas combinações 300rpm 1g e 300rpm 3g, observou-se desempenho significativos para os três efluentes analisados. Para a combinação 200rpm 2g, a redução do parâmetro COR ocorreu apenas no efluente com coagulante agitado em 88%.

Como pode ser observado pelos resultados mostrados no anexo IV, a maior capacidade de remoção de cor foi obtida para a condição de massa de 1 g e agitação de 300 rpm. A menor massa sendo utilizada permite uma maior saturação do adsorvente, já a maior velocidade permite à redução das resistências a transferência de massa.

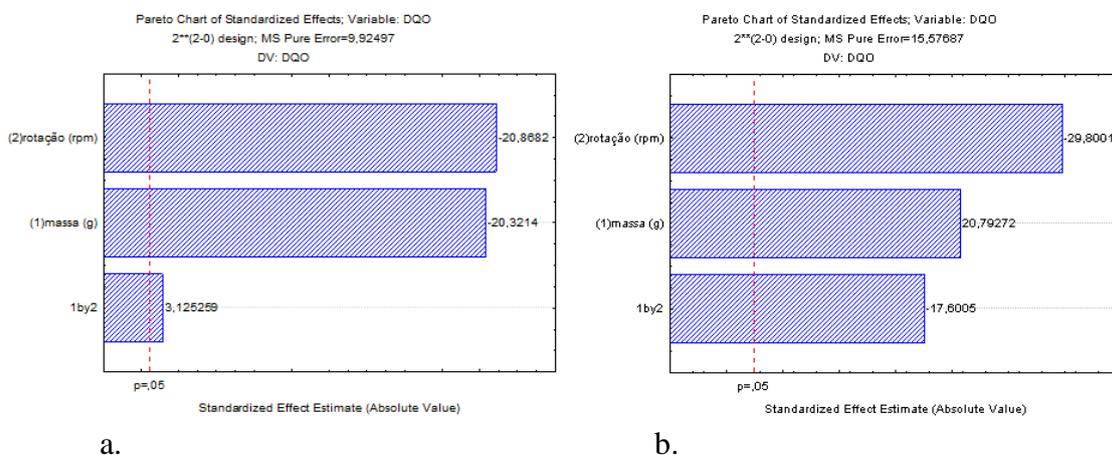
Na avaliação do parâmetro Cor para adsorção no deságue do lodo coletado na 15ª semana, observou-se reduções entre 52% e 70% para o efluente sem coagulante (SC). Já para o efluente com coagulante (CC) os valores não apontaram um bom

desempenho para a maioria das combinações, ver anexo V. Neste estudo, as melhores performances verificadas ocorreram para o efluente de deságue sem coagulante. Como o lodo da ETA possui matéria orgânica e possivelmente ácidos húmicos e fúlvicos podem estas sendo eliminados após várias semanas de armazenamento do bag, estas estruturas são mais complexas e possuem cadeias mais longas que não conseguem penetrar na superfície porosa. Há também a possibilidade do efeito do óxido de cálcio na precipitação dos contaminantes ter sido reduzido pela redução do pH do percolado, fato que ocorreu da 9^a para a 15^a semana.

4.5.3 Avaliação do Planejamento Experimental

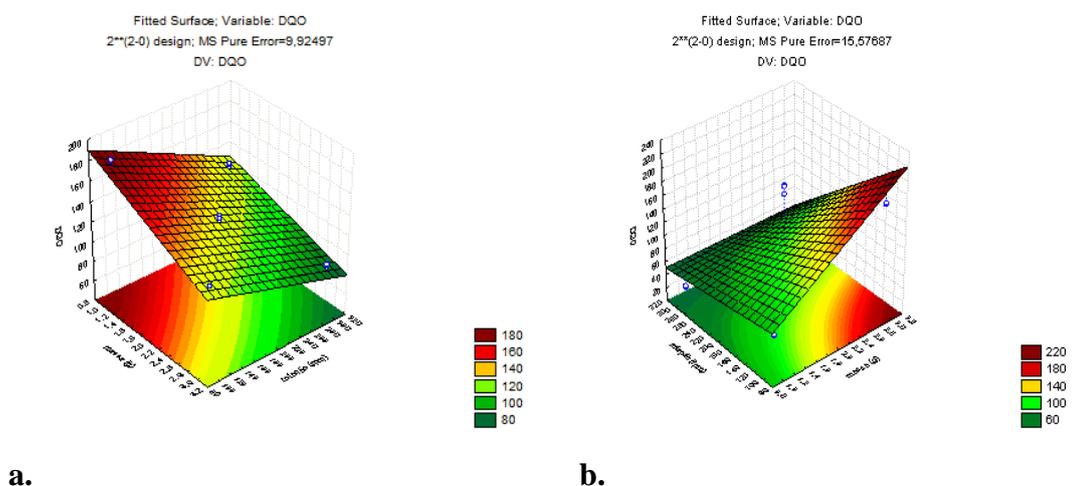
Ao analisar os resultados do planejamento fatorial para a DQO sem adição do coagulante, verificou-se que as variáveis que influenciaram significativamente o processo adsorptivo na 9^a semana foi a rotação e a massa, de forma proporcional, e em menor escala a interação entre estas variáveis. Já para a 15^a semana houve uma influência pronunciada da agitação, seguida da interação entre as variáveis, tendo a massa um menor efeito. Este fato pode indicar problemas de transferência de massa. Como no final do monitoramento, na 15^a semana, há uma maior probabilidade de se ter produtos da decomposição da lama, estes podem estar interferindo no processo adsorptivo, ou ainda pode ser a possível presença, em maior concentração de ácidos húmicos e fúlvicos. Uma das perspectivas deste trabalho é analisar a presença destes no percolado após cada semana.

Figura 4.12. Diagrama de pareto das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana



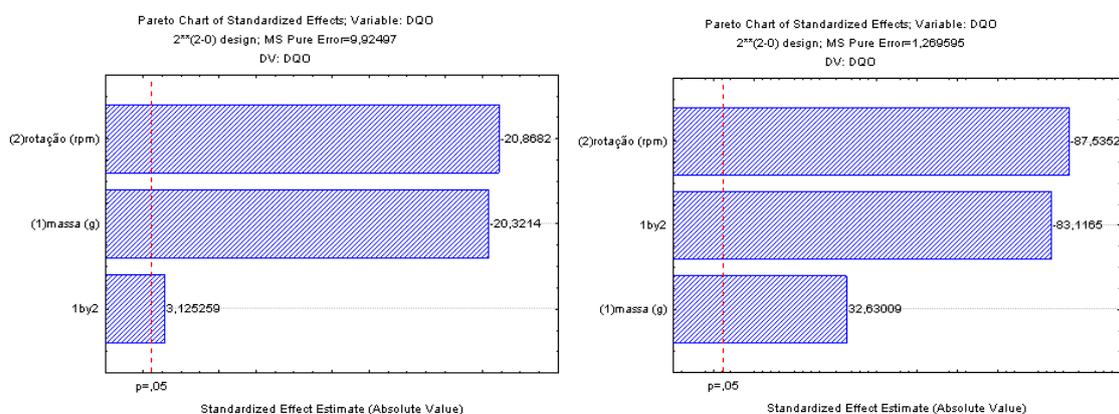
Através das superfícies de resposta (Figura 4.13) é possível verificar que para o percolado da 9ª semana uma maior massa e maior agitação levam à uma maior redução da DQO. Todavia, para o ensaio da 15ª é com a menor massa de adsorvente e a maior agitação. Este fato contradiz o esperado (maior massa), devendo haver outros contaminantes ou variação de parâmetros (pH, por exemplo) que estão provocando este efeito.

Figura 4.13. Superfície de resposta das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9ª (a) e a 15ª (b) semana.



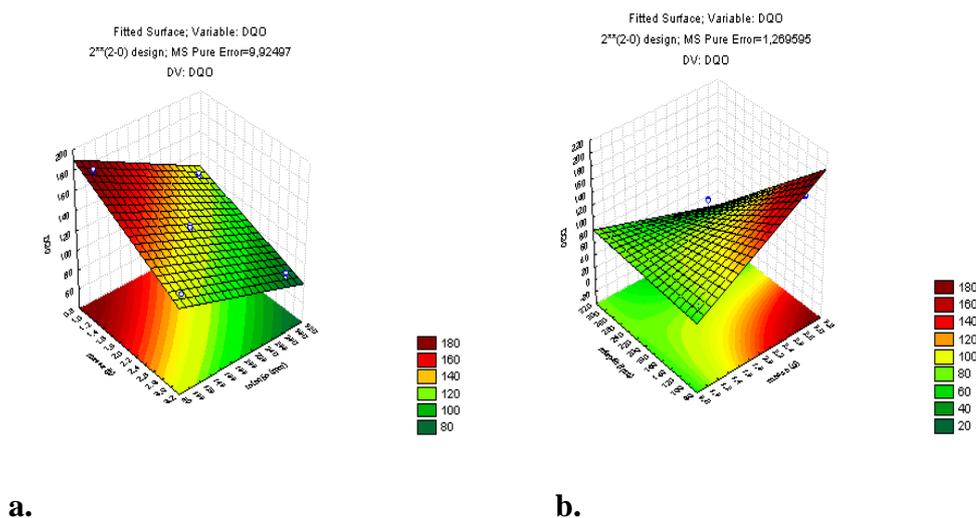
Para os percolados dos bags com coagulante, apresentaram comportamento semelhante ao sem coagulante, ou seja, a massa deixa de ser a segunda variável mais importante e passa a ser a terceira, só que desta vez com intensidade bem menor de a agitação e a interação agitação e massa (Figura 4.14).

Figura 4.14. Diagrama de pareto das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana com coagulante, após a 9ª (a) e a 15ª (b) semana.



A superfície de resposta (Figura 4.15) traduziram a mesma orientação do diagrama de Pareto, isto é, comportamento semelhante com maior intensidade da redução do efeito da massa.

Figura 4.15. Superfície de resposta das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana com coagulante, após a 9^a (a) e a 15^a (b) semana.

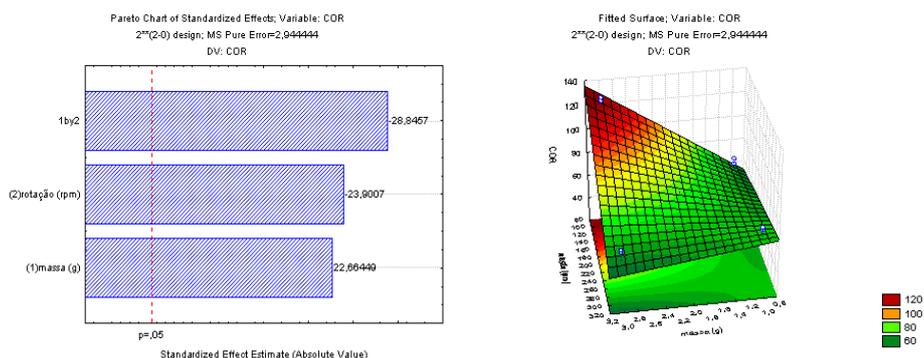


Para os sistemas com e sem coagulantes, para a 9^a semana não houve mudança significativa, apenas para a 15^a semana, com efeito intensificado para a massa, como relatado acima.

Ressalta-se que foram testados os ajustes lineares e quadráticos para as 4 condições acima, sendo o ajuste linear o melhor para o sistema sem coagulante e para as duas condições restantes, sistemas com coagulante 9^a e 15^a semana, não houve ajuste, sendo necessário testar outros planejamentos, como face centrada.

Buscou-se ainda se avaliar a cor no tratamento do percolado do bag por adsorção nas conchas (Figura 4.16). Verificou-se que a massa e a agitação apresentaram efeitos significativos e semelhantes, todavia a interação entre estas variáveis isoladas apresentou maior influência. Já a superfície de resposta aponta para uma maior redução da cor empregando uma maior agitação e uma menor massa.

Figura 4.16. Diagrama de Pareto e superfície de resposta para a cor das variáveis massa e rotação no processo de adsorção do percolado da geomembrana sem coagulante, após a 9ª semana



Foi observado que alguns dados experimentais obtiveram boa correlação linear dentro da faixa investigada de massa e rotação de maneira que uma análise de variação para um modelo linear empírico pode ser visto na tabela 4.7.

Tabela 4.7 Modelo linear empírico

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	Varição explicada (R ²)	Máximo de variação explicável
Regressão	3205,26	3	1068,42	0,9937	0,9955
Resíduo	20,42	7	2,91792		
Falta de Ajuste	5,853	1	5,853		
Erro puro	14,568	6	2,428		
Total	3225,685	10			

A mesma indica que o coeficiente de regressão foi de 99,37% de um máximo de 99,55%. O modelo não apresenta falta de ajuste, com 95% de confiança de maneira que um modelo linear estatístico empírico pode ser útil para prever o valor da variável DQO com variação da massa e rotação do sistema. A equação apresenta o modelo empírico para predição da variável DQO:

$$DQO = 154,11 - 5,84X_1 + 0,07X_2 - 0,04X_1X_2$$

Na qual:

- DQO em mg/L de O₂ ;
- X₁ = massa em g;
- X₂ = rotação rpm.

Modelo com potencial preditivo para indicar a variável de acordo com as condições de entrada.

5 CONCLUSÕES

Caracterizou-se todo o percolado obtido após cada alimentação no ensaio do bag, comparando-se a retenção de metais para os sistemas com e sem uso do polímero

O ponto amostral de maior relevância no bag foi à amostra do lodo misturada que recebeu adição de polímero, contribuindo com 53% da variabilidade do estudo. O variável Manganês apresentou uma media variação em relação às demais variáveis, isso ocorreram para as duas condições com e sem polímero.

O processo de tratamento por adsorção foi aplicado nos efluentes provenientes do ensaio de deságue do lodo, foram considerados os efluentes da 9ª e 15ª semana por apresentarem maior volume, os parâmetros determinadas foram: concentrações de matéria orgânica e inorgânica pelo parâmetro DQO, Cor, pH e turbidez.

Em todas as amostras foram analisados metais, destacando-se a presença em maior concentração do alumínio, ferro e manganês. Importante citar que a ETA estudada utiliza como coagulante o sulfato de alumínio.

Percebe-se a retenção de metais no sistema de desaguamento de lodo por geomembranas. A adição do polímero ao lodo ajuda na desidratação e facilita o manuseio para disposição final. No ensaio verificou-se a necessidade de uso contínuo deste produto para assegurar um percolado com baixa concentração de poluentes.

No processo de tratamento do lixiviado realizou-se processo adsortivo utilizando conchas de marisco, comparou-se as variáveis que influenciam no processo adsortivo na redução da DQO e da Turbidez.

Os estudos de caracterização microbiológica dos lodos e seus efluentes gerados se faz necessário para melhor tratamento e disposição final desses resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos – Classificação** - NBR-10.004. 2004
- ACHON, C. L., MEGDA, C. R., SOARES, L.V. **Impactos ambientais proocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, ABES, Campo Grande – MS, 2005.
- ÁGUA - Associação Guardiã da Água. **Jornal Eletrônico da Água - Tratamento de Água**. Disponível em: <www.agua.bio.br/botao_d_L.htm>. Acesso em: 13 set. 2013.
- ALMEIDA, A. M., NASCIMENTO, A. F., SILVA, F. C. S., SILVEIRA, P. B., HAZIN, C. A., VALENTIM, E. Determinação de metais em amostras de água dos diferentes estágios de tratamento em ETA's da Região Metropolitana do Recife-PE, Brasil. **Scientia Plena** v.9, n. 8, 2013.
- APHA American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater**, 21ª ed., New York. 2005.
- ASAOKA, S.; YAMAMOTO, T.; KONDO, S.; HAYAKAWA, S. Removal of hydrogen sulfide using crushed oyster shell from pore water to remediate organically enriched coastal marine sediments. **Bioresource Technology**. v. 100, p. 4127-4132, 2009.
- ASSIS FILHO, R. B. **Avaliação do resíduo de malacocultura como absorventes de corante têxteis**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2014.
- ATKINS, P.; PAULA, J. Físico-Química. Rio de Janeiro. RJ: LTC. 7ª ed. Vol.3, 2004, p.176- 182.
- ÁVILA, I.; CRNKOVIC, P. M.; MILIOLI, F. E. Metodologia para o estudo da porosidade de dolomita em ensaio de sulfatação interrompida. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p.1732-1738, 2010.
- BARBOSA, R. M. et. al. **A Toxicidade de Despejos (lodos) de Estações de Tratamento de Água à daphniasimilis (ceadocera, crustacea)**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária. Porto Alegre. 2000.
- BARROSO, M.M. **Influência das micro e macropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.
- BARROSO, M.M. **Gerenciamento de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**. Engenharia Ambiental. UNIR. Abril, 2009.
- BARROSO, M.M. CORDEIRO, J.S. **Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de águas**. In: Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

BESSLER, K. E.; RODRIGUES. Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita. **Química Nova**.v.31, n. 1, p. 178-180, 2008.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3^aed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 408 p.2006.

BRUNO, M. **Utilização de Zeólitas Sintetizadas a Partir de Cinzas de Carvão na Remoção de Corante em Água**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, SP: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - USP, 2008. p.102.

CARONI, A. L. F. **Estudo de adsorção de tetraciclina em partículas de quitosana**. Tese de Doutorado. Natal, RN: UFRN. 2009.

CEPENE - CENTRO DE PESQUISA E GESTÃO DE RECURSOS PESQUEIROS DO LITORAL NORDESTE. Boletim da estatística da pesca marítima e estuarina do Nordeste do Brasil. Tamandaré, PE: CEPENE. p.385, 2008.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**, 2008. Disponível em <<http://WWW.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/109-variaveis-de-qualidade-das-aguas>>. Acesso em 11 de Abril de 2014

COMPESA. **Companhia Pernambucana de Saneamento**. Abastecimento de Água. Disponível em: <<http://www.compesa.com.br/arquivos/saneamento/botafogo.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2013.

CORDEIRO, J. S. **Importância no tratamento e disposição adequada de lodo de ETAs**(Capítulo I). Coordenador: Reali, M. A. P. Noções gerais de tratamento e disposição de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CORDEIRO, J. S. **Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancun, México, 2002.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. Tese Doutorado - SHS – EESC, USP - 342p. São Carlos, 1993.

CPRH. **Agência Estadual de Meio Ambiente**. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/41_QualidadeDasAguas.pdf. Acesso e, 13 de setembro de 2014.

DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. – São Carlos: RiMa Editora, 248 p.,2002.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B, VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. Editora LDiBe, São Carlos, SP, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos:RiMa Editora, 2. ed.v. 2, 1565p, 2005.

FERNANDES, R. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis. SC: Universidade Federal de Santa Catarina. 2005. 91f.

FERREIRA FILHO, S.S.; WAELKENS, B.E. Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.3, p. 317-326, 2009.

FOGLER, H.S. **Elementos de engenharia das reações químicas**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002, 896p.

FRANCI, R., **Gerenciamento do Lodo de Lagoas de Estabilização Não Mecanizadas**. Rio de Janeiro, RJ, 1999, 80 p.

FRANCO, E.S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. PROÁGUA, Universidade Federal de Ouro Preto. 187p. 2009.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

HUMPHREY, J. L.; KELLER, G. E. **Separation Process technology**. McGraw-Hill, New York, NY. 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008**. Rio de Janeiro, RJ. 2010

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Rio de Janeiro, RJ. 2014. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=260680>. Acesso em 21/03/2014

JANUÁRIO, G.F.; FERREIRA FILHO, S.S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, 2007.

LAVANDER, H.D.; JÚNIOR, L. O. C.; OLIVEIRA, R. L.; NETO, S. R. S.; GALVEZ, A. O.; SILVIO R. M. PEIXOTO, S. R. M. Biologia reprodutiva da Anomalocardia brasiliensis (Gmelin, 1791) no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.**, Recife, v.6, n.2, p.344-350, 2011.

LÉCUYER, C.; HUTZLER, A.; AMIOT, V. D.; GROSHENY, D.; OTERO, O.; MARTINEAU, F.; FOUREL, F.; BALTER, V.; REYNARD, B. Carbon and oxygen isotope fractionations between aragonite and calcite of shells from modern mollusks. **Chemical Geology**. v. 332–333, p. 92-101, 2012.

MERINO, G. S. A. D. **A contribuição da gestão de design em grupos produtivos de pequeno porte no setor da maricultura: o caso AMPROSUL**. Dissertação de mestrado. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

Ministério da Saúde. **PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011**. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 15/03/2014.

MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Carbon**, v. 42, p. 83–94, 2004.

NAKATANI, N.; TAKAMORIA, H.; TAKEDA K.; SAKUGAWA, H. Transesterification of soybean oil using combusted oyster shell waste as a catalyst. **Bioresource Technology**. v.100, p. 1510-1513, 2009.

NUNES, E. O. **Tratamento de água e saúde pública: manual de operações de estações de tratamento de água**. CASAN, Florianópolis, 1999.

NUNES, J. A.; **Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais**. Aracajú, 1993.

PAIVA, T. M. N. **Remoção de corante têxtil ácido por adsorção utilizando conchas de amêijoas**. Dissertação de Mestrado. Recife. PE: Universidade Federal de Pernambuco. 2011. 85f.

PAULINO, P. M. S. **Avaliação do processo de coagulação/floculação seguido de radiação gama para tratamento de lixiviados**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE: UFPE, 2011.

PEÑA, R. S.; CALVIÑO, F. D.; MUÑOZA, N. J. C.; ESTÉVEZA, A. M.; DELGADO, N. A.; SANJURJO, F. M. J.; RODRÍGUEZ, A. E. Kineticsof Hg (II) adsorptionanddesorption in calcinedmusselshells. **JournalofHazardousMaterials**. v. 180, p. 622-627, 2010.

PETRIELLI, F. A. S. **Viabilidade técnica e econômica da utilização comercial das conchas de ostras descartadas na localidade do Ribeirão da Ilha, Florianópolis, Santa Catarina**. 2008, 122f. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PIEPER, K. M. C. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2008.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. **Caraterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr**. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL. Joinvile, 2003.

Ramos, José Rogério da Conceição. **Avaliações técnico-operacionais em estações de tratamento de água dos municípios das regiões leste e dos lagos do Estado do Rio de Janeiro, com propostas de melhorias para futura implantação de sistema de gestão ambiental baseado nas normas ISO 14.000.** / José Rogério da Conceição Ramos. – 2008.

REALI, M. A. P. **Noções gerais de tratamento e disposição final do lodo de estações de tratamento de água.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES.240 p. 1999.

REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J.; CORDEIRO, J. S. **Noções gerais de tratamento e disposição final do lodo de estações de tratamento de água.** Projeto PROSAB. Cap. 4. Rio de Janeiro: ABES.240 p. 1999.

RIBEIRO, F.L.M. **Quantificação e caracterização química da ETA Itabirito – MG.** Dissertação de mestrado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. PROÁGUA, Universidade Federal de Ouro Preto. 2007

RICHTER, C.A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.

RUDZINSKI, W.; PLAZINSKI, W. Theoretical description of the kinetics of solute adsorption at heterogeneous solid/solution interfaces: On the possibility of distinguishing 116 between the diffusional and the surface reaction kinetics models. **Applied Surface Science.** v.253, p. 5827-5840, 2007.

SABOGAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. **Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Mato Grosso, 2005. *Anais...* ABES: Campo Grande. 2005. CDSE, 161 p., 1993.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil.** Dissertação de mestrado. Londrina, Paraná, 2012.

SOARES, B. D. **Estudo da produção de dióxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica.** Dissertação de mestrado. Uberlândia, MG: UFU, 2007. p.383.

STEFANI, C.; MERINO, G. S. A. D.; PEREIRA, E. F.; MERINO, E. A. D. A atividade da malacocultura e as queixas musculoesqueléticas: considerações acerca do processo produtivo. **IJIE – Ibero american Journal of Industrial Engineering.** v. 3, n.1, p. 2-15, 2011.

TAVARES, R. G. **Problemas operacionais da indústria da água: consumo excessivo de cloro na linha tronco de distribuição do sistema Gurjaú e lodos gerados pelas 6 maiores estações de tratamento de água da Região Metropolitana do Recife.** Dissertação (Mestrado) - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 145 p. 2003.

USEPA. **Method 3051 A.** 1998b. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>. Acesso em: 12 de março de 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. Ed. Minas Gerais: DESA/UFMG. 452p. 2005.

YANG, E.; KIM, M.; PARK, H.; YI, S. Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete. **Construction and Building Materials**. v. 24, p. 758-765, 2010.

ZUIM, D. R.; **Estudo da Adsorção de Componentes do Aroma de Café (Benzaldeído e Ácido Acético) Perdidos Durante o Processo de Produção do Café Solúvel**. Dissertação de Mestrado. Paraná: Universidade Federal do Paraná. 2010. 154f.

ANEXO A – Procedimento da digestão dos metais nas amostras

Para amostras sólidas:

- Transferir 0,5g da amostra pulverizada para tubo de teflon;
- Adicionar 9mL de HNO₃ e 3mL de HCL.
- Manter o conjunto em sistema fechado, forno de microondas (MarsXpress), por 8'40'' na rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 175°C, mantendo-se esta temperatura por mais 4'30''. Após resfriamento, as amostras foram transferidas para balões certificados (NBR ISO/IEC) de 50 mL, sendo o volume dos balões completado com água ultra pura e os extratos filtrados em papel de filtro lento.

Para amostras líquidas:

- Transferir 25 mL da amostra pulverizada para tubo de teflon;
- Adicionar 9mL de HNO₃ e 3mL de HCL.
- Manter o conjunto em sistema fechado, forno de microondas (MarsXpress), por 8'40'' na rampa de temperatura, tempo necessário para atingir 175°C, mantendo-se esta temperatura por mais 4'30''. Após resfriamento, as amostras foram transferidas para balões certificados (NBR ISO/IEC) de 50 mL, sendo o volume dos balões completado com água ultra pura e os extratos filtrados em papel de filtro lento.

As digestões foram realizadas em digestor MarsXpress com aquecimento por microondas da CEM CORPORATION, ilustrada a seguir.

Forno microondas MarsXpress.



Fonte: Do Autor (2013)

Após, digeridas as amostras foram submetidas à análise de espectrometria de absorção atômica.

ANEXO B – Combinações para os drenados da 9ª semana

DQO (mg/L): 100rpm – 1g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ξ (%)
Efluente Bruto sem agitação	396	289	292	290	2	27
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	396	360	372	366	8	7
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	396	176	182	179	4	55

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ξ (%)
Efluente Bruto sem agitação	157	455	456	455	1	0
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	157	270	278	274	5	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	135	139	137	3	12

DQO(mg/L): 100rpm – 3g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ξ (%)
Efluente Bruto sem agitação	396	219	220	220	1	44
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	396	209	213	211	2	47
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	396	127	127	127	0	68

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ξ (%)
Efluente Bruto com agitação	157	203	214	209	8	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	211	214	212	2	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	118	118	118	0	25

DQO(mg/L): 300rpm – 1g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ξ (%)
Efluente Bruto sem agitação	396	346	348	347	1	12
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	396	209	210	210	0	47
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	396	123	128	126	3	68

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto com agitação	157	439	450	444	8	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	341	354	347	9	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	115	118	116	2	26

DQO(mg/L): 300rpm – 3g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	396	199	212	206	9	48
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	396	119	121	120	1	70
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	396	84	90	87	4	78

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto com agitação	157	191	202	196	8	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	108	110	109	1	30
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	81	82	82	1	48

DQO (mg/L): 200rpm – 2g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	396	341	357	349	11	12
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	396	314	324	319	7	19
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	396	128	133	130	4	67

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto com agitação	157	450	453	452	2	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	401	402	401	0	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	157	114	115	115	1	27

ANEXO C – Combinações para os drenados da 15ª semana

DQO (mg/L): 100rpm – 1g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	231	62	65	63	2	72
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	231	75	76	76	0	67
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	231	57	59	58	1	75

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	70	165	166	165	1	0
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	70	211	211	211	0	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	60	62	61	2	13

DQO (mg/L): 100rpm – 3g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	231	393	399	396	2	0
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	231	201	209	205	0	11
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	231	164	166	165	1	28

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto com agitação	70	231	233	232	1	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	250	257	253	0	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	152	154	153	2	0

DQO (mg/L): 300rpm – 1g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	231	10	10	10	0	96
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	231	99	99	99	0	57
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	231	24	25	24	1	90

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto com agitação	70	50	52	51	0	28
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	92	97	95	0	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	57	58	58	1	18

DQO (mg/L): 300rpm – 3g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	231	53	56	54	2	76
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	231	15	16	15	0	93
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	231	33	33	33	0	86

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto com agitação	70	53	55	54	2	23
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	48	50	49	2	31
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	17	17	17	0	75

DQO (mg/L): 200rpm – 2g

SC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto sem agitação	231	128	128	128	1	45
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	231	195	203	199	0	14
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	231	172	185	179	2	23

CC	DQO inicial	DQO 1	DQO 2	Média	Desvio Padrão	ε %
Efluente Bruto com agitação	70	152	154	153	1	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	217	228	222	0	0
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	70	138	139	138	2	0

ANEXO D – Combinações para os drenados da 9ª semana

COR: 100rpm – 1g

SC	Cor inicial	Cor _{f1}	Cor _{f2}	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ε(%)
Efluente Bruto sem agitação	468	155	156	156	78,250	78,000	1	67
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	468	331	334	333	34,250	33,500	2	29
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	468	68	70	69	99,500	99,500	1	85

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ε(%)
Efluente Bruto sem agitação	485	485	487	486	0,125	0,625	1	0
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	485	117	121	119	92,000	91,000	3	75
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	485	65	69	67	105,000	104,000	3	86

COR: 100rpm – 3g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ε(%)
Efluente Bruto sem agitação	468	137	140	139	27,583	27,333	2	70
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	468	91	91	91	31,417	31,417	0	81
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	468	99	100	100	30,750	30,667	1	79

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ε(%)
Efluente Bruto sem agitação	485	409	411	410	6,333	6,167	1	15
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	485	85	86	86	33,333	33,250	1	82
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	485	128	131	130	29,750	29,500	2	73

COR: 300rpm – 1g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ε(%)
Efluente Bruto sem agitação	468	62	63	63	101,500	101,250	1	87
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	468	63	64	64	101,250	101,000	1	86
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	468	41	42	42	106,750	106,500	1	91

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	485	76	76	76	102,250	102,250	0	84
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	485	83	84	84	100,500	100,250	1	83
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	485	72	74	73	103,250	102,750	1	85

COR: 300rpm – 3g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	468	52	54	53	34,667	34,500	1	89
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	468	53	55	54	34,583	34,417	1	88
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	468	75	76	76	32,750	32,667	1	84

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	485	80	82	81	33,750	33,583	1	83
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	485	83	84	84	33,500	33,417	1	83
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	485	65	66	66	35,000	34,917	1	86

COR: 200rpm – 2g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	468	59	61	60	51,125	50,875	1	87
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	468	64	65	65	50,500	50,375	1	86
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	468	41	42	42	53,375	53,250	1	91

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	485	323	325	325	20,250	20,000	1	33
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	485	334	335	335	18,875	18,750	1	31
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	485	57	59	58	53,500	53,250	1	88

ANEXO E – Combinações para os drenados da 15ª semana

Cor: 100rpm – 1g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	$\epsilon(\%)$
Efluente Bruto sem agitação	138	56	59	58	20,375	19,625	2	58
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	138	56	57	57	20,375	20,125	1	59
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	138	75	77	76	15,625	15,125	1	45

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	$\epsilon(\%)$
Efluente Bruto sem agitação	94	76	78	77	4,500	4,000	1	18
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	94	83	85	84	2,750	2,250	1	11
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	94	63	66	65	7,750	7,000	2	31

Cor: 100rpm – 3g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	$\epsilon(\%)$
Efluente Bruto sem agitação	138	43	45	44	7,917	7,750	1	68
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	138	51	51	51	7,250	7,250	0	63
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	138	64	67	66	6,167	5,917	2	52

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	$\epsilon(\%)$
Efluente Bruto sem agitação	94	37	39	38	4,750	3,750	1	60
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	94	49	49	49	3,750	4,000	0	48
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	94	63	64	64	2,583	2,500	1	32

Cor: 300rpm – 1g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	$\epsilon(\%)$
Efluente Bruto sem agitação	138	62	63	63	19,000	18,750	1	55
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	138	63	64	64	18,750	18,500	1	54
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	138	41	42	42	24,250	24,000	1	70

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	94	76	76	76	4,500	4,500	0	19
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	94	83	84	84	2,750	2,500	1	11
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	94	72	74	73	5,500	5,000	1	22

Cor: 300rpm – 3g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	138	52	54	53	7,167	7,000	1	61
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	138	53	55	54	7,083	6,917	1	61
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	138	75	76	76	5,250	5,167	1	45

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	94	80	82	81	1,167	1,000	1	14
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	94	83	84	84	0,917	0,833	1	11
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	94	65	66	66	2,417	2,333	1	30

Cor: 200rpm – 2g

SC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	138	61	63	62	9,625	9,375	1	55
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	138	70	72	71	8,500	8,250	1	48
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	138	61	63	62	9,625	9,375	1	55

CC	COR inicial	COR 1	COR 2	Média	qCOR1	qCOR2	Desvio Padrão	ϵ (%)
Efluente Bruto sem agitação	94	59	61	61	5,000	4,125	1	35
Efluente Bruto sem adsorvente agitado por 1h	94	64	65	65	3,750	3,625	1	31
Efluente Bruto com adsorvente agitado por 1h	94	41	42	42	6,625	6,500	1	56