



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

RICARDO MATEUS DE LIMA

**DESAGUAMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA (ETA) 006 DA CIDADE DE PALMAS-TO, POR MEIO
DE POLÍMEROS E FILTRAÇÃO EM GEOTÊXTIL**

PALMAS – TO
2016

RICARDO MATEUS DE LIMA

**DESGUAMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA (ETA) 006 DA CIDADE DE PALMAS-TO, POR MEIO DE
POLÍMEROS E FILTRAÇÃO EM GEOTÊXTIL**

ORIENTADOR: DR. EMERSON ADRIANO GUARDA

Dissertação apresentada
à Universidade Federal do
Tocantins como parte dos
requisitos para obtenção
do Título de Mestre em
Engenharia Ambiental,
área de Saneamento
Ambiental.

**PALMAS – TO
2016**

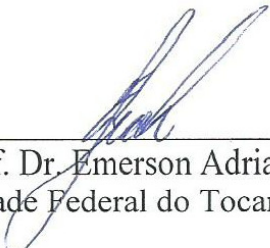
FOLHA DE APROVAÇÃO

RICARDO MATEUS DE LIMA

DESAGUAMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
(ETA) 006 DA CIDADE DE PALMAS-TO, POR MEIO DE POLÍMEROS E
FILTRAÇÃO EM GEOTÊXTIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

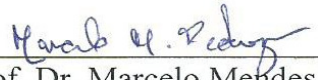
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Aprovada em: 27 de junho de 2016

Local de defesa: Sala 40 do bloco III

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L732d Lima, Ricardo Mateus de.
Desaguamento do Lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) 006 da Cidade de Palmas-TO, Por Meio De Polímeros E Filtração Em Geotêxtil. / Ricardo Mateus de Lima. – Palmas, TO, 2016.
82 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.
Orientador: Emerson Adriano Guarda

1. Desaguamento de Lodo de ETA por meio de Polímeros e Geotêxtil. 2. Uso de Polímeros e Geotêxtil para tratamento de Resíduos de ETA. 3. Uso de Polímeros para Tratamento de Resíduos de ETA. 4. Uso de Geotêxtil para Tratamento de Resíduos de ETA. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedico este trabalho primeiramente a Deus pela força e coragem que me foi dada durante toda esta caminhada, à minha esposa Katiane, pelo incentivo e carinho, e à minha família pelo apoio dado a todos esses anos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado saúde, oportunidade, força e disposição para superar as dificuldades e concluir mais uma etapa da minha vida.

À minha esposa Katiane, por estar ao meu lado dando todo o apoio necessário, pelo carinho e dedicação, por respeitar minhas escolhas e ajudar a conquistá-las.

Ao meu pai Mateus e à minha mãe Diva, pelo amor incondicional, por estarem presentes em todas as fases da minha vida, por me ensinarem o caminho do bem e me incentivarem pelo caminho do estudo e do trabalho.

Aos meus irmãos Karla Martins, Mateus Martins, Marla Mateus, Samara Mateus e Beatriz Mateus, aos meus sobrinhos Arthur, Davi e Giovanna, por me apoiarem ao longo da caminhada e vibrando a cada etapa conquistada.

Ao meu sogro Luiz Gonzaga e minha sogra Katia, pelo apoio e suporte dado nesta etapa de transição em minha vida, serei eternamente grato.

Ao meus familiares e amigos que, mesmo estando de longe, sempre torceram pela minha vitória.

Ao professor, orientador Dr. Emerson Guarda pela dedicação e confiança que demonstrou durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor, coorientador e amigo Me. Sérgio Carlos Bernardo Queiroz, pelo suporte, ajuda e conhecimento compartilhado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus eternos companheiros de trabalho da DIPAG, Ana Christina Horner, Sebastião Noletto, Fernando Ribeirão, César Palomino, Denis Paiva, Wesley Pinheiro, Jordanna Lustosa, Igor Agripino, Igor Noletto, Jeverson Carlos e Aparecida Andrade, pelo companheirismo, crescimento profissional e pessoal durante todo o período de convivência.

À Odebrecht Ambiental|Saneatins - Companhia de Saneamento do Tocantins e todo o pessoal envolvido, por nos acolher nas visitas à ETA 06, pela disponibilidade e por todas as informações concedidas.

Ao pessoal do laboratório de Resíduos Sólidos da UFT, principalmente a Jucilene Costa, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos graduandos, Angélica Freitas e Rodrigo Barbosa, pelo imenso apoio que prestado no decorrer deste trabalho, onde nos tornado amigos.

À empresa Floerger em nome do Alfredo e à empresa Allonda, que gentilmente cederam seus produtos para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de escritório, Diogo Pedreira, Lidiane Guida, Tânia Marcelino, Igor Noletto e Marcia Matos que me incentivaram o tempo todo.

Aos meus colegas de curso, novos amigos, pelo tempo que passamos juntos e muitos estudos.

À Fundação Universidade Federal do Tocantins – UFT e a todos que contribuíram para a realização de mais esta conquista em minha vida.

RESUMO

O sistema mais utilizado para o tratamento da água bruta disponível nos mananciais é a Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional, conhecida também como estação de ciclo completo. Durante o processo de tratamento são produzidos os resíduos (lodos), originados principalmente da lavagem dos filtros e da descarga do decantador. Esses resíduos variam dependendo do tipo e quantidade de produto químico utilizado no tratamento e as características do manancial. O presente estudo teve como objetivo a análise de alternativas de tratamento dos resíduos gerados na ETA 06 de Palmas TO, com foco principal no desaguamento dos resíduos por meio da aplicação de polímeros sintéticos e filtração em geotêxtil. Primeiramente foram caracterizados os resíduos gerados na ETA 006, sendo em seguida feitos ensaios de bancada simulando condições de mistura rápida e clarificação/adensamento em jarreste e filtração em geotêxtil. Foram utilizadas diferentes dosagens de polímeros sintéticos não-iônico, catiônico e aniônico. Os resultados mostraram que o uso de polímeros no auxílio do desaguamento do lodo no geotêxtil foi eficiente, reduzindo valores de turbidez e teor de sólidos suspensos totais (SST) na amostra. O polímero que mostrou o melhor resultado no processo de desaguamento foi o catiônico.

Palavras chave: Geotêxtil, polímeros, Estação de Tratamento de Água, resíduos de ETA, lodo de ETA.

ABSTRACT

The system most used for the treatment of raw water available in water sources is the conventional Water Treatment Plant (ETA), also known as full cycle station. During the treatment process are produced waste (sludge), originated mainly from filters wash and the discharge of the sedimentation tank. These wastes vary depending on the type and amount of chemical used in the treatment and water source characteristics. This study aimed to analyze the waste treatment alternatives generated in the ETA 006 of Palmas TO, with main focus on dewatering of waste through the application of synthetic polymers and geotextile filtration. First were characterized the waste generated at ETA 006, being then made bench tests simulating flash mixing conditions and clarification/consolidation in jar test and geotextile filtration. Were used different dosages of synthetic polymers non-ionic, cationic and anionic. The results showed that the use of polymers in the dewatering of sludge in the geotextile was efficient, reducing turbidity values and total suspended solids (SST) in the sample. The polymer that showed the best result in the dewatering process was the cationic.

Keywords: Geotextile, polymers, Water Treatment Plant, waste of ETA, sludge of ETA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano	16
Figura 2 – Resíduos gerados em ETAs de ciclo completo.....	20
Figura 3 – Representação esquemática para Polímeros não iônicos, aniônicos e catiônicos	23
Figura 4 – Distribuição da umidade e formação do <i>Filter Cake</i>	25
Figura 5 – Croqui de localização da ETA 006 de Palmas Tocantins.....	28
Figura 6 – Concepção da área da ETA	29
Figura 7 – Barragem de nível.....	30
Figura 8 – Canal em concreto	30
Figura 9 - Tomada d'água	30
Figura 10 – Unidades da ETA	31
Figura 11 – Caixa de chegada da água bruta	32
Figura 12 – Vertedor Retangular e aplicação da cal hidratada	32
Figura 13 – Vertedor Parshal	32
Figura 14 – Ponto de lançamento do sulfato de alumínio	32
Figura 15 - Unidade de floculação.....	33
Figura 16 – Câmara de Floculação	33
Figura 17 - Unidades de Decantação.....	34
Figura 18 – Calhas de coleta de água decantada.....	34
Figura 19 – Raspadores de lodo mecanizados	34
Figura 20 – Vista lateral dos filtros	36
Figura 21 – Mesa de comando do filtro	36
Figura 22 – Unidade de filtro	36
Figura 23 – Calhas de coleta de água de lavagem	36
Figura 24 – Lavagem do filtro com ar.....	36
Figura 25 - Lavagem do filtro com ar e água.....	37
Figura 26 - Lavagem do filtro com água.....	37
Figura 27 – Encerramento da lavagem do filtro.....	37
Figura 28 – Canal lateral condutor da água de lavagem.....	37
Figura 29 - Saída dos filtros por meio de caixas individuais.....	37
Figura 30 – Estoque da Cal em Pó	38
Figura 31 – Solução da Cal Hidratada	38
Figura 32 – Bombas dosadoras de produto químico.....	38
Figura 33 – Croqui esquemático do sistema de tratamento dos resíduos.....	40
Figura 34 – Poços de lodo do TCALF	41
Figura 35 – Ponto de descarga do lodo do decantador no TRDD/SALF.....	41
Figura 36 – Bag geotêxtil instalado no sistema de tratamento dos resíduos ...	42
Figura 37 – Fluxograma das metodologias aplicadas	43
Figura 38 – Coleta do lodo com balde de 25 L.....	44
Figura 39 – Acondicionamento do lodo nos galões de 50 L.....	44
Figura 40 - Jarteste	46
Figura 41 – Filtro com manta geotêxtil	46
Figura 42 – Homogeneização da amostra bruta	47
Figura 43 – preenchimento do jarro com amostra Bruta homogeneizada.....	47
Figura 44 - Inserção das dosagens dos polímeros nos jarros.....	48
Figura 45 – Filtração direta em filtro com tecido geotêxtil	48

Figura 46 – Recipientes de coleta do volume filtrado por tempo.....	49
Figura 47 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero A.....	52
Figura 48 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero B.....	53
Figura 49 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero C.....	54
Figura 50 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero D.....	55
Figura 51 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero E.....	56
Figura 52 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero F.....	57
Figura 53 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero G.....	58
Figura 54 - Gráfico da eficiência dos volumes filtrados por dosagem e polímero.....	62
Figura 55 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero A.....	63
Figura 56 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero B.....	64
Figura 57 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero C.....	64
Figura 58 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero D.....	65
Figura 59 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero E.....	65
Figura 60 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero F.....	66
Figura 61 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero G.....	66
Figura 62 – Gráfico comparativo com valores de turbidez obtidos nos volumes filtrados com a utilização de diferentes polímeros.....	69
Figura 63 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero A.....	70
Figura 64 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero B.....	71
Figura 65 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero C.....	71
Figura 66 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero D.....	72
Figura 67 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero E.....	72
Figura 68 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero F.....	73
Figura 69 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero G.....	73
Figura 70 - Gráfico comparativo com teor de SST obtidos nos volumes filtrados com a utilização dos polímeros.....	75
Figura 71 – Gráfico de eficiência do volume filtrado, da redução de turbidez e redução do teor de SST do Polímero E.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Turbidez e SST da amostra bruta.....	45
Tabela 2 - Características dos polímeros testados	45
Tabela 3 – Configuração do jarteste	47
Tabela 4 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero A	51
Tabela 5– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero B	52
Tabela 6– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero C.....	53
Tabela 7– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero D.....	54
Tabela 8– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero E	55
Tabela 9– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero F	56
Tabela 10– Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero G.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
ETA – Estação de Tratamento de Água
FDA – Filtração Direta Ascendente
g - Grama
GCL - Geocomposto Argiloso
GTK - Geotêxtil Tricotado
GTN - Geotêxtil Não-Tecido
GTW - Geotêxtil Tecido
h - Hora
Kg- Quilograma
L – Litro
m – Metro
mg - Miligrama
min – Minuto
OMS - Organização Mundial de Saúde
PCPS – Preparador de Polímero em Emulsão
pH - Potencial Hidrogeniônico
PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas
PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos
s – Segundos
SALF - Sólidos da Água de Lavagem dos Filtros
SANEATINS – Companhia de Saneamento do Tocantins
SST – Sólidos suspensos Totais
SVS - Secretaria de Vigilância em Saúde
TAR - Tanque de Água Recuperada
TCALF - Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros
TRDD - Tanque de Recepção das Descargas dos Decantadores
UFT – Universidade Federal do Tocantins
uT – Unidade de Turbidez
w – Largura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Processos de Potabilização da Água.....	16
3.2	Tratamento em ciclo completo ou convencional.....	17
3.3	Resíduos gerado na ETA.....	19
3.4	Tecnologias de tratamento dos Resíduos das ETAs.....	21
3.4.1	Polímeros.....	22
3.4.2	Geotêxtil.....	24
3.5	Impacto dos resíduos de etas no meio ambiente.....	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PALMAS TO (ETA 006).....	28
4.1.1	Localização.....	28
4.1.2	Captação.....	29
4.1.3	Estação de Tratamento de Água.....	30
4.1.4	Sistema de Tratamento dos Resíduos Gerados na ETA.....	39
4.2	ENSAIOS DE BANCADA.....	43
4.2.1	Coleta do Lodo.....	43
4.2.2	Caracterização da Amostra Bruta.....	44
4.2.3	Dosagem do Polímero.....	45
4.2.4	Ensaio de Jarteste com Filtração Direta em Manta Geotêxtil.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1	Volume Filtrado.....	51
5.2	Turbidez.....	63
5.3	Concentração de SST.....	70
5.4	RESUMO DOS RESULTADOS.....	76
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	78

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETAs) são componentes essenciais para garantir que a qualidade da água seja compatível com seu uso. O tipo de tratamento e a tecnologia utilizada variam em função da finalidade a que se destina e das características da água bruta utilizada. A água tratada pode ser para consumo humano ou para outras aplicações (FONTANA, 2004).

De acordo com IBGE/DPIS (2000), as ETAs produzem cerca de $41,0 \times 10^6$ m³/dia de água tratada, sendo 93% ($30,5 \times 10^6$) produzidas pelas ETAs convencionais de ciclo completo. As ETAs podem ser vistas como mini fábricas de resíduos, com produção na faixa de 1 a 4 % do volume total de água tratada, que corresponderia à geração de 613.037 m³/dia. Este quadro que a indústria brasileira de água apresenta estimula a crescente necessidade do gerenciamento adequados dos resíduos gerados, à medida que aumenta conscientização ambiental neste âmbito.

Segundo o IBGE (2008), em sua Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, a água bruta pode passar por tecnologias de tratamento classificadas como convencionais, dotado dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (cloração), podendo ocorrer também a correção do pH e a fluoretação, e não convencionais através de processos como, clarificador de contato, dessalinização, filtração direta, entre outros (BARROSO, 2009).

O sistema convencional apresenta um bom grau de eficiência na remoção de cor, turbidez e possíveis contaminantes, e é utilizado pela maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) do Brasil (JACOMASSI, 2009). As impurezas removidas, juntamente com resíduos dos produtos químicos aplicados, são denominadas “lodo de ETA” (MARINHO, 2012).

Os resíduos gerados nas ETAs são provenientes das limpezas ou descargas dos decantadores (ou eventualmente em flotadores) e da lavagem dos filtros. Em uma estação de ciclo completo, a lavagem dos filtros produz a maior quantidade desses resíduos em termos volumétricos, já o decantador produz a maior quantidade em termos mássicos. Outras atividades desenvolvidas na estação, como as lavagens de

tanques de preparação de produtos químicos, também contribuem para a geração desses resíduos (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

Apesar de não ser um problema recente, o efeito da disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pelas ETAs no meio ambiente, tem-se mostrado prejudicial, especialmente em grandes centros urbanos, uma vez que os lodos gerados nessas estações contêm concentrações de metais pesados, como alumínio e ferro (HALL & HALL, 1989; BARBOSA, 2000 apud PEREIRA, 2011), que ao serem lançados sem tratamento em cursos d'água pode vir a levar toxicidade aos organismos e ambientes aquáticos.

Além dos metais pesados, apresentam também elevadas concentrações de sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e alta turbidez, que podem causar assoreamento de cursos d'água, criação de bancos de lodo, alterações na cor e na composição química, além de alterações biológicas na água (VICORY & WEAVER, 1984; CORNWELL et al. 1987; SOUZA FILHO, 1998 apud PEREIRA, 2011). Assim, os lodos de ETAs são classificados pela série de normas NBR-10.004 (2004) como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento "in natura" em águas superficiais. (MARINHO, 2012).

As características destes resíduos dependem da qualidade da água bruta captada e dos tipos de produtos químicos que foram adicionados, eles apresentam-se na forma fluida e com concentração de sólidos menor que 3%. Dessa forma, tratá-los é necessário e consiste em buscar soluções para diminuição do seu volume, removendo a parte líquida, para que se possa dar destinação final adequada (TSUTIYA, 2001).

Achon et al. (2008) cita que os métodos atualmente empregados para sua disposição são divididos em naturais (leitos de secagem e lagoas de sedimentação) e mecânicos (filtro à vácuo, filtro prensa e centrífugas). Diante desta temática, o presente trabalho vem contribuir no estudo do comportamento de uma nova tecnologia construtiva por meio do emprego de polímeros e geossintéticos, que permite o desaguamento e redução do volume de lodo gerado em ETAs.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de sete polímeros sintéticos no desaguamento dos lodos gerados na descarga do decantador e lavagem dos filtros da Estação de Tratamento de Água de ciclo completo (ETA 006) localizado na cidade de Palmas-TO, simulando o processo de filtração por meio de tecido geotêxtil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar ensaios de bancada para a avaliação de diferentes tipos e dosagens de polímeros no desaguamento dos resíduos gerados na ETA, com filtração em tecido geotêxtil;
- b) Caracterizar o líquido obtido durante o processo de desaguamento dos resíduos utilizados em volume, turbidez e sólidos suspensos;
- c) Comparar a eficiência dos polímeros utilizados para desaguamento do lodo gerado na ETA.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

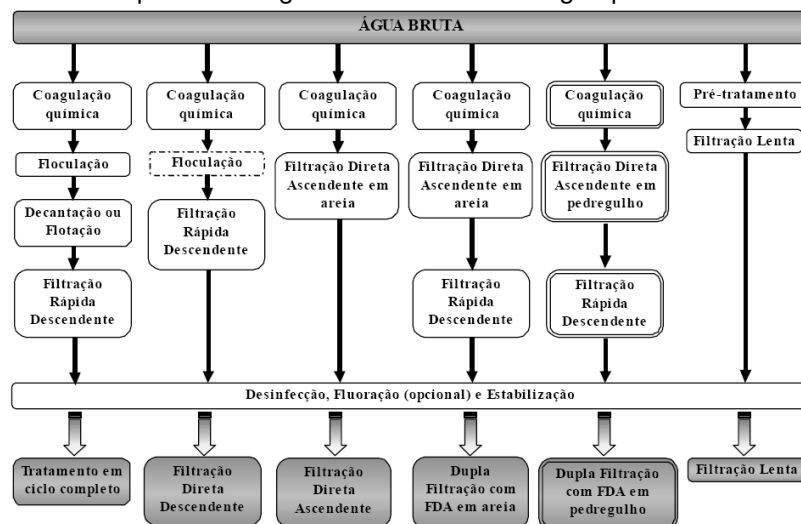
3.1 PROCESSOS DE POTABILIZAÇÃO DA ÁGUA

O sistema de tratamento da água tem a finalidade de retirar qualquer tipo de contaminação, impedindo a proliferação de doenças e alterando a água bruta às características necessárias para seu uso. No Brasil existe um padrão a ser seguido para a água tratada, esse padrão é fornecido pelo Ministério da Saúde através da Portaria 2.914/11, também referenciada como Padrão de Potabilidade da Água.

Segundo Di Bernardo (2012), a primeira etapa em um projeto para tratamento de água é a caracterização da água bruta, e em seguida por diversos parâmetros de custo operacional e manutenção.

Existem várias alternativas de tratamento, onde suas tecnologias podem ser resumidas em dois grupos, com e sem coagulação química. A Figura 1 apresenta o diagrama de blocos com as principais alternativas de tratamento

Figura 1 – Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano



Fonte: Di Bernardo, 2005

De acordo com Achon (2008), o tratamento mais comum no Brasil é o ciclo completo ou convencional. Di Bernardo (2005) afirma que o tratamento completo ou convencional, comum as Estações de Tratamento de Água (ETAs) consistem em um conjunto de operações e processos unitários que, dependendo da qualidade da água bruta, em muitos casos se fazem necessária também o uso de pré tratamentos.

3.2 TRATAMENTO EM CICLO COMPLETO OU CONVENCIONAL

O sistema de tratamento de água mais utilizado no mundo é o tratamento com ciclo completo ou convencional, pois se adapta a maior parte das águas brutas, e, devido ao seu conjunto de unidades, capaz de remover a maior parte das impurezas existentes nestas, segundo Costa (2011).

O sistema de tratamento em ciclo completo de uma maneira geral pode ser dividido nas seguintes etapas:

- Pré-tratamento

O pré tratamento é considerado uma etapa preliminar que tem a função de remover os materiais grosseiros como areia, galhos, folhas dentre outros. Costa (2011) cita que nesta fase também é possível realizar o processo de remoção de impurezas específicas com a aplicação de produtos químicos, podendo ser realizada uma pré-desinfecção ou ainda ser realizado a correção do pH para otimizar o desempenho do coagulante.

- Coagulação:

Nesta etapa ocorre a coagulação da água bruta com a utilização de coagulantes a base de sal de alumínio ou ferro, fazendo com que ocorra a formação de precipitados do metal do coagulante. Esse processo ocorre na chamada unidade de mistura rápida (ACHON, 2008).

O processo de coagulação tem seu início logo após a inserção do coagulante à água, a reação desse processo ocorre de uma forma extremamente rápida. Consiste em uma série de processos físicos e químicos entre a superfície das partículas com o coagulante, o pH da água e a própria água (COSTA, 2011).

- Floculação:

Segundo Costa (2011), a floculação é a etapa onde as partículas já estabilizadas pela etapa anterior chocam-se umas com as outras para a formação de flocos maiores. De acordo com Achon (2008), após a coagulação a água é encaminhada para os chamados floculadores (unidade de mistura lenta) onde ocorre a formação dos flocos devido a agitação lenta, com variações de velocidade, durante um determinado tempo, até os flocos obterem tamanho e peso necessário para que ocorra a sedimentação.

- Sedimentação:

A sedimentação consiste na ação da força da gravidade sobre os flocos formados na floculação, fazendo assim a separação do sólido do líquido. Os decantadores tem a finalidade de diminuir o volume de sólidos aplicada nas unidades de filtração, por isto são previstos após a floculação. Caso a qualidade da água bruta permita uma filtração direta esta etapa pode ser dispensada. Em águas onde contem alto teor de algas em suspensão ou com cor elevada e baixa turbidez, a sedimentação poderá ser alterada pela flotação por ar dissolvido (COSTA, 2011).

- Filtração:

A filtração precede a floculação cujo objetivo principal é separar os flocos e microrganismos não removidos na sedimentação, ressaltando que a sua eficiência depende diretamente da qualidade das etapas anteriores. A água clarificada nos decantadores é direcionada para os filtros, que contem materiais granulares com granulometria adequada, geralmente de areia. A água é filtrada até o momento que a água clarificada não possui características adequadas, ou seja, até o momento que a carga de resíduos retidos no filtro esteja acima do limite aceitável, acarretando o aumento excessivo na perda de carga. Após essa etapa é necessária a limpeza dos filtros através de, na maioria das vezes, retrolavagem. A água resultante da limpeza dos filtros (água de lavagem dos filtros) e o lodo descartado pelos decantadores são os denominados resíduos de ETAs (COSTA, 2011).

- Desinfecção:

Segundo Januário (2005), a desinfecção é um processo que tem a finalidade de eliminar ou destruir os organismos patogênicos existentes na água capazes de causar doenças. Os agentes desinfectantes podem ser físicos ou químicos.

A Portaria 2.914/11 do ministério da saúde regulamenta que após a remoção das impurezas pelo processo convencional a água deve ser desinfetada com a utilização de cloro em suas diversas formas e fluoretada com o intuito de prevenir problemas dentários principalmente em crianças.

Poderá ser necessária uma etapa de pós condicionamento em que se corrige a alcalinidade da água para valores de pH próximos a neutralidade, com o intuito de evitar problemas de corrosão devido a água está com baixos valores de pH e incrustações causada por águas com altos valores de pH (COSTA, 2011).

3.3 RESÍDUOS GERADO NA ETA

Os resíduos (lodo) das ETAs no Brasil são dispostos, com grande frequência, diretamente em cursos d'água sem receber nenhum tipo de tratamento (TSUTIYA e HIRATA, 2001 e OLIVEIRA, MACHADO e HOLANDA, 2004).

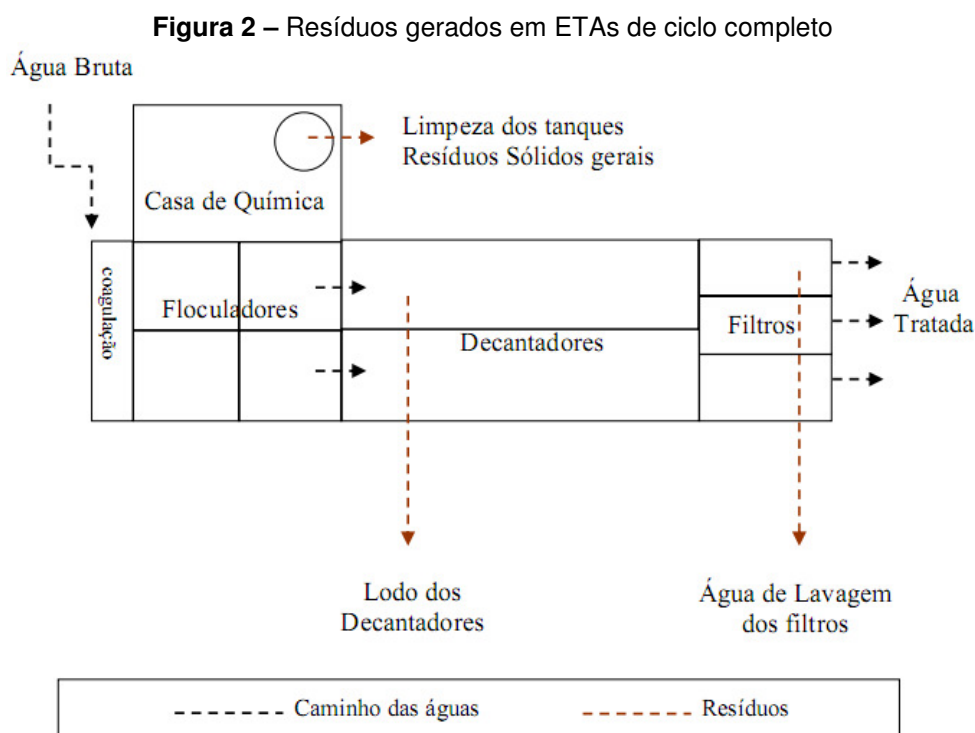
Os resíduos gerados nas ETAs são compostos de impurezas existentes na água bruta, produtos químicos aplicados no decorrer do tratamento e ao sub-produtos proveniente as interações ocorridas (GRANDIN, 1992 apud FONTANA, 2004).

Do ponto de vista de Sousa (2009), as ETAs atuam como indústrias, transformando a água bruta disposta nos corpos d'água (matéria prima) em água potável (produto final). Sousa (2009) relata a importância da ETA nos sistemas de abastecimento de água, no entanto enfatiza que durante muito tempo foram desconsiderados os eventuais impactos negativos causados pela exposição no meio ambiente.

Os resíduos gerados nas ETAs são provenientes do lodo acumulado nos decantadores, eventualmente nos floculadores, na lavagem dos filtros, nos tanques

de dosadores e aplicação de produtos químicos. Estes resíduos são descartados de acordo com a concepção de cada ETA (SOUSA, 2009).

A Figura 2 ilustra, sucintamente, as unidades que compõem o tratamento e seus pontos de geração de resíduos para uma ETA de ciclo completo:



Fonte: FONTANA, 2004

No processo de descarga dos decantadores a quantificação do volume de água descartada é de vital importância para elaboração do projeto de tratamento dos lodos de ETAs de ciclo completo. É necessária a estimativa da concentração dos sólidos no lodo descartado expressa usualmente em porcentagem de massa de sólidos secos (FONTANA, 2004).

De acordo com Fontana (2004), a água de lavagem de filtro é considerada a segunda maior quantidade de rejeito produzido em uma ETA convencional e apresenta características bastantes distintas das ETAs que utilizam coagulantes a base de sais de ferro e de alumínio.

De acordo com Sundefeld Junior (2007) apud Marinho (2012), cada ponto de geração de resíduos varia a qualidade e quantidade de sólidos em função da qualidade da água bruta a ser tratada e do tipo e dosagem de produtos químicos

utilizados. Deve-se considerar também que um manancial sofre variações sazonais nas características da água, provocando alterações nas quantidades de produtos químicos utilizados no tratamento.

3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DAS ETAS

Di Bernardo (2012) relata que a concepção dos sistemas de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs pode alterar consideravelmente devido as diferenças significativas das características quantitativas e qualitativas dos resíduos de ETA, que são gerados por diferentes tecnologias de tratamento.

De acordo com Haak (2011), os resíduos gerados na ETA são, em sua maioria, difíceis de serem desidratados mecanicamente. Isso se deve a vários fatores. As partículas do lodo são carregadas eletricamente, tendem a se repelirem ao invés de formarem flocos. Como o tamanho dos flocos do lodo é pequeno, estes podem causar um entupimento do meio filtrante ou propiciar um filtrado de má qualidade. Além disso, devido à hidratação, uma ou várias camadas de água ligadas a superfície das partículas formam uma película que impede a aproximação das mesmas para a formação do floco.

Assim, é necessário que o lodo seja previamente condicionado para que haja uma melhoria na eficiência dos processos de desidratação. Logo, o processo de condicionamento objetiva melhorar a propriedade estrutural do lodo permitindo uma drenagem livre da água, aumentando a recuperação de sólidos e minimizando o tempo de ciclo do processo de desidratação (HAAK, 2011).

Conforme descrito por Ferreira e Sobrinho (1998), o condicionamento químico tem por objetivo preparar o lodo para a operação subsequente de desaguamento, que é a retirada do maior volume de água possível do despejo, reduzindo seu volume para fins de disposição final. O desaguamento pode ser realizado mecanicamente ou por métodos naturais.

Os principais métodos de condicionamento dos lodos são: congelamento, tratamento térmico, aplicação de auxiliares físicos de filtração e aplicação de produtos químicos (FREITAS et al., 2005; PORRAS, 2007).

A aplicação de produtos químicos é o método de condicionamento mais utilizado tanto para o processo de adensamento quanto para o de desidratação. Os produtos químicos empregados podem ser íons metálicos, cal e polímeros, sendo que esses últimos, isto é, os polímeros, são os mais utilizados no condicionamento de lodos de ETA (HAAK, 2011).

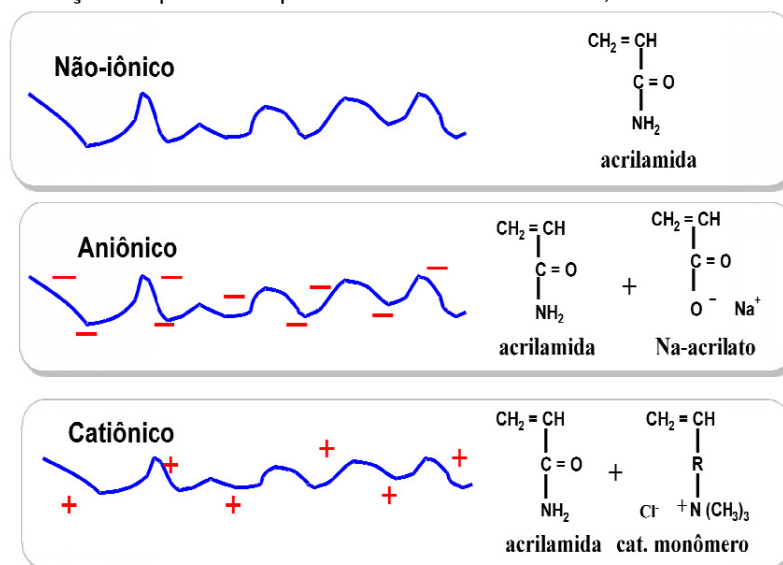
A escolha do melhor polímero apenas pode ser efetuada por meio de ensaios em escala de laboratório e da otimização do processo em escala real. A sua escolha não pode ser efetuada unicamente baseada nos resultados experimentais obtidos, mas, também, em uma análise econômica do binômio polímero-dosagem (FERREIRA e SOBRINHO, 1998).

3.4.1 Polímeros

Os Polímeros são moléculas orgânicas e hidrossolúveis de cadeia molecular longa e peso molecular alto. A principal função dos polímeros é aumentar o tamanho das partículas do lodo. Este aumento de tamanho resulta num decréscimo da área superficial específica por peso unitário de sólidos do lodo. Desde que a resistência à desidratação é relacionada com perdas por atrito superficial, um aumento no tamanho da partícula reduzirá a área superficial na matriz do lodo, melhorando assim, as taxas de desidratação (HAAK, 2011). A coagulação de lodo de ETA baseia-se em dois principais mecanismos (BOLTO e GREGORY, 2006, apud HAAK, 2011), a neutralização-adsorção de cargas e formação de pontes.

Existem três tipos de polímeros que podem ser utilizados no condicionamento do lodo: catiônico, aniônico e não-iônico, de acordo com a carga de seus grupos funcionais. Geralmente os melhores resultados de desidratação são obtidos quando se utilizam polímeros de alto peso molecular e carga. Na Figura 3 tem-se a representação esquemática destes polímeros:

Figura 3 – Representação esquemática para Polímeros não iônicos, aniônicos e catiônicos



Fonte: ASHLAND, apud HAAK, 2011

Todavia, o peso molecular é o parâmetro decisivo, pois as forças químicas predominam sobre as eletrostáticas. Dentre os três tipos de polímeros, em geral, os aniônicos resultam em uma melhor desidratabilidade (YUZHU, 1996; FERNANDES, 2002). Porém, na atualidade, estudos demonstram que o grau de desidratação do lodo está intimamente ligado ao tipo de lodo gerado e, conseqüentemente, ao tipo de polímero aplicado, não sendo necessariamente os de carga aniônicas que proporcionam melhor desaguamento (HAAK, 2011).

É importante ressaltar que a eficiência do condicionamento do lodo com utilização de polímero depende de vários fatores. O condicionamento ótimo não será realizado sem uma boa combinação deles. Os fatores que mais influenciam na desidratabilidade do lodo são: dosagem de polímero, tempo de mistura e gradiente médio de velocidades (HAAK, 2011).

Os resultados da utilização de dosagem de polímero sobre o desaguamento do lodo são geralmente evidentes. Os teores de desaguamento aumentam consideravelmente com o aumento da dosagem de polímero (YUZHU, 1996). Já uma combinação excessiva, tanto do ponto de vista de tempo como de velocidade, pode causar a desagregação das partículas do lodo, “desestabilizando-as” logo após tê-las floculado (HAAK, 2011).

As duas primeiras situações são desejáveis e representam o que normalmente ocorre na prática. Nas outras situações estão ilustrados casos indesejáveis em que houve dosagens elevadas de polímero ou lodos já floculados sujeitos a altas tensões de cisalhamento (altos gradientes de velocidade) ou tempos de mistura muito longos (HAAK, 2011).

A especificação do melhor polímero a ser utilizado deve ser analisada através da elaboração de testes em laboratório que representa o mais próximo da realidade possível o processo de desaguamento do lodo. Tal especificação não deverá ser efetuada baseando-se unicamente nos resultados experimentais obtidos, mas, também em uma análise do binômio polímero-dosagem (AWWA, 1989). As análises deverão ser efetuadas diretamente nos equipamentos de desaguamento, porém, na impossibilidade, poderá ser efetuado de maneira mais simples em laboratório, de forma que seja possível a seleção do polímero e da sua dosagem (FERREIRA et al., 1998).

3.4.2 Geotêxtil

Conforme a NBR 12.553 (2002), geossintético é uma denominação genérica para produtos poliméricos (sintéticos ou naturais) industrializados. São utilizados como materiais de inclusão em obras geotécnicas, em substituição aos materiais convencionais ou em situações em que os mesmos não possam ser empregados, cumprindo uma ou mais funções, tais como reforço, filtração, drenagem, proteção, separação e controle de erosão.

Afirma-se que os geossintéticos vêm sendo utilizados em obras geotécnicas como meio de solucionar problemas ambientais ou mesmo obras de proteções ambientais onde necessita alto nível de durabilidade dos materiais utilizados (GUANAES, 2009).

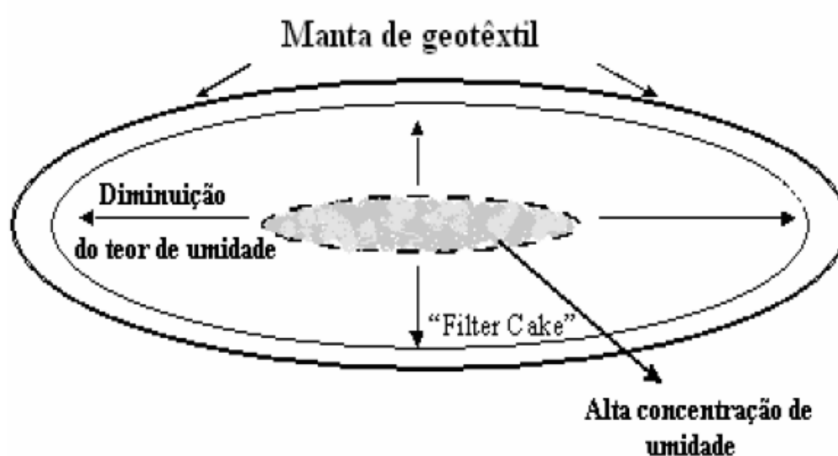
A NBR 12.553 (2002) classifica o geotêxtil como um tipo de geossintético e o descreve como produto têxtil bidimensional permeável, composto de fibras cortadas, filamentos contínuos, laminetes ou fios, formando estruturas tecidas, não-tecidas ou tricotadas, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções numa obra geotécnica.

De acordo com Guanaes (2009), os Geotêxteis são mantas constituídas de fibras ou filamentos têxteis, permeáveis e bidimensionais, cujas propriedades mecânicas e hidráulicas possibilitam seu amplo emprego em obras de engenharia geotécnica.

A utilização do geotêxtil no sistema de tratamento dos resíduos de ETA, consiste na eliminação do excesso de água do lodo, através da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geossintético, ocorrendo o desaguamento progressivo e redução do volume inicial (DI BERNARDO et al., 2012).

O lodo, seja ele um sedimento argiloso ou resíduo industrial, quando passa por um processo de filtração com geotêxtil, a maioria dos resultados mostram que a retenção de partículas através do geossintético para rapidamente e a água filtrada torna-se mais limpa. Possivelmente, isto ocorre devido à colmatação física ou biológica do geotêxtil. Este processo em um tubo de geotêxtil é chamado de *Filter Cake*, o qual aumenta a eficiência de filtração, todavia reduz a permeabilidade (Leshchinsky, 1992; Gaffney et al, 1999). O *Filter Cake* é uma camada que se aglutina na interface do geotêxtil com o material que está sendo desaguado. Esta camada dificulta a passagem do fluido que está no interior do tubo através do geotêxtil (PIEPER, 2008). A Figura 4 ilustra a formação do *Filter Cake* e a distribuição da umidade na filtração em geotêxtil.

Figura 4 – Distribuição da umidade e formação do *Filter Cake*



Fonte: Gaffney et al (1999) apud Guanaes (2009)

Moo-Young et al (2002) relata em seus estudos que a quantidade de sólidos em suspensão durante a filtração é alta no começo do processo, porém reduz sensivelmente logo após a formação do *Filter Cake*. Todos estes fenômenos que atrapalham a saída do fluido habitam reter ainda um elevado teor de umidade no interior dos tubos de geotêxtil, o que, em alguns casos, necessita a realização de um dessecamento, ou seja, a descerramento dos tubos com o intuito que a parte úmida no seu interior seja exposta ao ar e para que haja uma diminuição ainda maior do teor de umidade por evaporação (PIEPER, 2008).

A adição de polímeros ao material que necessita ser desaguado é uma prática bastante comum. Essas substâncias químicas são chamadas de aditivos ou simplesmente floculantes e, por meio de reações químicas, combinam-se aos componentes do material a ser desaguado formando flocos, o que permite que a avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de Estação de Tratamento de Água retenção seja mais eficiente, diminuindo o risco de colmatação do geotêxtil por partículas finas comuns em material do tipo lodo (Vidal, 2003).

3.5 IMPACTO DOS RESÍDUOS DE ETAS NO MEIO AMBIENTE

De acordo com Sousa (2009), os resíduos gerados nas ETAs apresentam um potencial tóxico de poluição e contaminação para os organismos aquáticos, o homem, as plantas e o meio ambiente. A característica tóxica deste tipo de rejeito depende de alguns fatores como: características da água bruta; dosagem e produtos químicos utilizados e os possíveis contaminantes presentes no produto; forma de remoção do lodo; tempo de retenção do lodo nos decantadores; reações químicas ocorridas durante o processo; características físicas, químicas, biológicas e hidráulicas dos corpos d'água.

O lançamento desses resíduos nas redes de águas pluviais ou diretamente em rios é uma prática ainda bem utilizada na maioria das empresas de saneamento (PEREIRA, 2011).

Os mananciais utilizados para abastecimento de água estão sujeitos a outras ações antropogênicas causadoras de contaminação e poluição, tais como: aplicação

de fertilizantes, pesticidas, disposição de resíduos sanitários, industriais e hospitalares (SOUZA, 2009). Segundo Cordeiro (1993), estes aspectos são de grande importância, pois esses contaminantes podem estar nos resíduos gerados.

Sengupta & Shi (1992) apud Franco (2009) desenvolveram estudos onde identificam uma grande redução na produção de fitoplânctons em áreas afetadas por descarte de lodo, além de uma diminuição na luminosidade. No mesmo sentido estudos confirmaram a presença de complexos de alumínio em órgãos de seres aquáticos, indicando um possível acúmulo desse material a longo prazo. Desconfia-se que concentrações elevadas de alumínio na água distribuída à população podem levar ao mal de Alzheimer.

Souza (2009) relata que a disposição dos resíduos de ETAs em corpos d'água os tornam vulneráveis à degradação da qualidade das águas e dos sedimentos destes ambientes pois, além de ocorrer a existência de metais pesados, apresentam altas concentrações de sólidos, turbidez e DQO, provocando a formação de bancos de lodo, assoreamento, alterações de cor, alteração na composição química e biológica dos corpos receptores (BARBOSA et al., 2000).

As consequências do lançamento devem ser examinadas com intensidade, onde se possa conscientizar os gestores sobre esses danos. O poder de contaminação dos resíduos das ETA para plantas, seres humanos e organismos aquáticos depende de fatores tais como: características da água bruta; produtos químicos utilizados e possíveis contaminantes contidos nesses produtos; reações químicas ocorridas durante o processo; forma de remoção do lodo; tempo de retenção do lodo nos decantadores; características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água (RIBEIRO, 2007, apud FRANCO, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PALMAS TO (ETA 006)

Os dados e informações relatados nesta seção foram obtidos através visitas técnicas à concessionária local Odebrecht Ambiental|Saneatins e embasamento teórico.

4.1.1 Localização

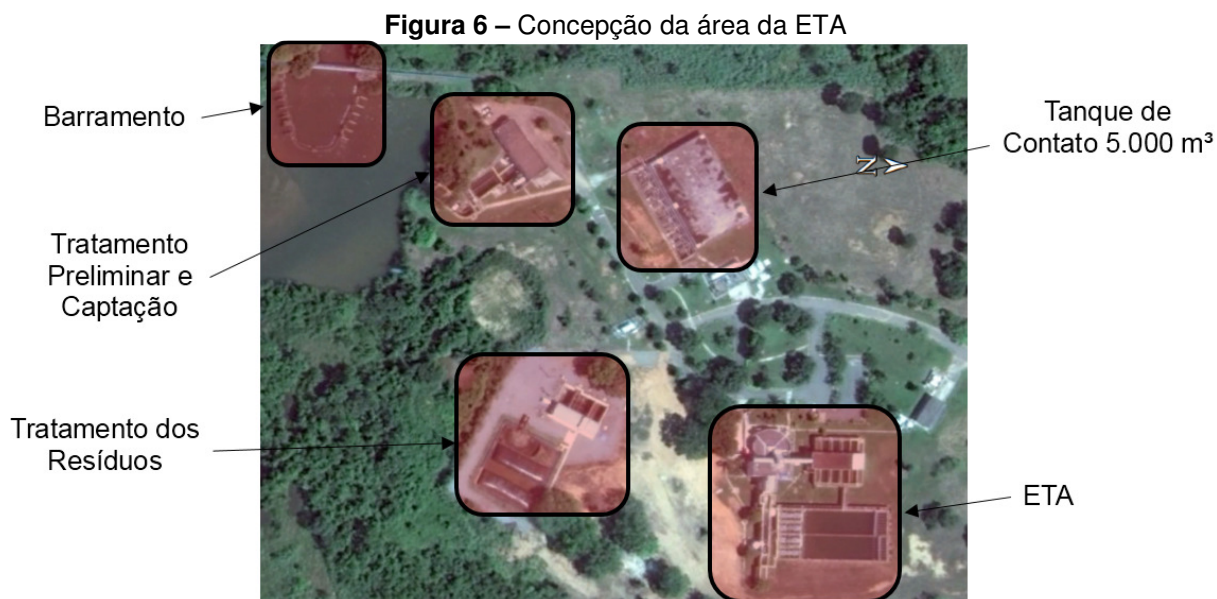
A ETA 006 está localizada na rodovia TO-050, saída para Porto Nacional, nas coordenadas geográficas: 10° 17'16,66" S e 48° 17' 41,69" O, e atualmente encontra-se sob a administração da Odebrecht Ambiental|Saneatins – Companhia de Saneamento do Tocantins. A Figura 5 ilustra o croqui de localização da estação.

Figura 5 – Croqui de localização da ETA 006 de Palmas Tocantins



Fonte: autor

A Figura 6 ilustra o posicionamento das unidades existentes na área da ETA.



Fonte: Google Earth

4.1.2 Captação

A captação de água bruta é realizada no Ribeirão Taquarussu, é constituída de uma barragem de nível que alimenta um canal de concreto com gradeamento onde se encontra a tomada d'água da Elevatória de Água Bruta (EAB), conforme ilustra a Figura 7, 8 e 9.

A EAB é responsável pelo bombeamento da água bruta da tomada d'água para o início do tratamento da ETA.

Figura 7 – Barragem de nível

Fonte: autor

Figura 8 – Canal em concreto

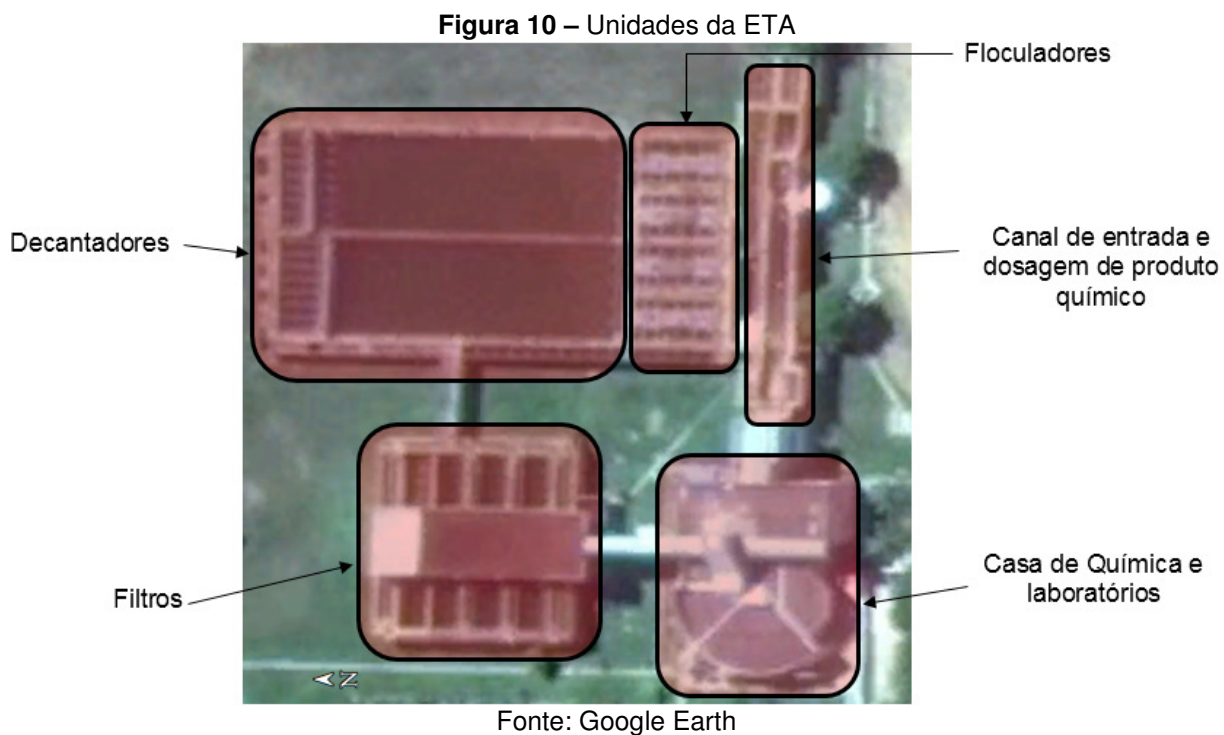
Fonte: autor

Figura 9 - Tomada d'água

Fonte: autor

4.1.3 Estação de Tratamento de Água

Trata-se de uma ETA de ciclo completo com unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração, que atende cerca de 85% da demanda total da cidade, atualmente opera com uma vazão média de aproximadamente 800L/s em um período de funcionamento diário de aproximadamente de 20h, atendendo cerca de 224.817 habitantes. A Figura 10 ilustra o posicionamento das unidades existentes na ETA.



4.1.3.1 Chegada da Água Bruta

A água bruta captada é direcionada para um caixa de chegada localizada no início do sistema de tratamento (Figura 11).

Após a chegada encontra-se instalado um vertedor retangular e o ponto de aplicação da cal hidratada, com o intuito de correção do pH da água bruta quando necessária (Figura 12).

Figura 11 – Caixa de chegada da água bruta

Fonte: autor

Figura 12 – Vertedor Retangular e aplicação da cal hidratada

Fonte: autor

4.1.3.2 Coagulação

O coagulante utilizado na ETA 006 é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), e o seu lançamento ocorre na garganta do vertedor Parshal (com largura da garganta de $W=1,83\text{m}$), conforme ilustrado na Figura 14. Este vertedor cumpre as funções de medir a vazão afluyente à ETA e promover a mistura rápida do coagulante com a água. A Figura 13 ilustra a imagem do vertedor Parshal.

Figura 13 – Vertedor Parshal

Fonte: autor

Figura 14 – Ponto de lançamento do sulfato de alumínio

Fonte: autor

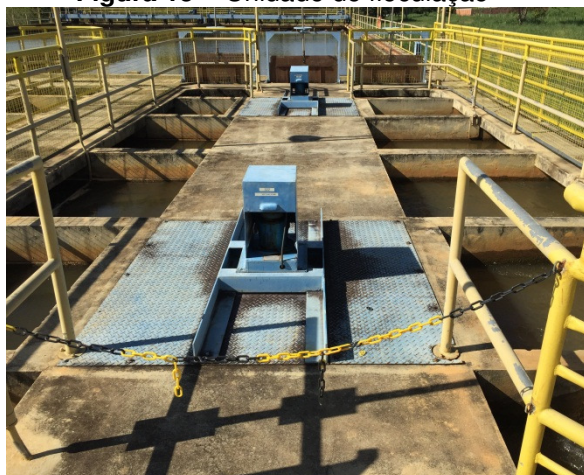
4.1.3.3 Floculador

O sistema floculação é formado por dois módulos em paralelo. Cada unidade alimenta um decantador diferente.

Cada módulo é composto de 4 câmaras de floculação, providas de agitadores tipo turbina, apresentando as seguintes dimensões (ver Figuras 15 e 16):

- base quadrada (em planta) com lado igual a 5,9 m;
- profundidade útil de 3,65 m;
- volume útil de 127 m³;
- tempo médio de detenção em cada câmara de aproximadamente 8 min e 45 s;
- gradientes de velocidade de 75 s⁻¹ (primeira câmara), 50 s⁻¹ (segunda e terceira câmaras) e 30 s⁻¹ (quarta câmara).

Figura 15 - Unidade de floculação



Fonte: autor

Figura 16 – Câmara de Floculação



Fonte: autor

4.1.3.4 Decantador

Como mencionado no item anterior, existe um decantador para cada módulo de floculação, sendo, portanto, dois decantadores em paralelo na unidade de tratamento (Figura 17).

Os decantadores são do tipo convencional, com escoamento horizontal, e possuem as seguintes características:

- comprimento útil de 40 m;

- profundidade útil de 4,2 m;
- largura de 12 m;
- área em planta de 480 m²;
- volume útil de 2016 m³;
- taxa de escoamento superficial igual a 45 m³/m²d
- tempo médio de detenção 2 h e 14 min
- velocidade horizontal média de escoamento de 0,5 cm/s
- cortina perfurada contendo 300 orifícios de 8 cm de diâmetro
- coleta de água decantada realizada por meio de 8 calhas de 6,75 m de comprimento, 0,35 m de largura e 0,27 m de altura, providas de placas com vertedores triangulares (Figura 18).

O sistema também é composto por raspadores de lodo mecanizado (Figura 19), responsáveis pela raspagem e acumulação do lodo sedimentado, onde posteriormente é feito seu descarte através de descargas planejadas.

Figura 17 - Unidades de Decantação



Fonte: autor

Figura 18 – Calhas de coleta de água decantada



Fonte: autor

Figura 19 – Raspadores de lodo mecanizados



Fonte: autor

4.1.3.5 Unidades de Filtração

A estação de tratamento possui 8 filtros rápidos de areia descendentes, ou seja, por gravidade. A Figura 20 ilustra uma visão lateral da disposição dos filtros, já a Figura 21 ilustra o uma visão superior de um filtro.

Todas as unidades são automatizadas, onde cada filtro possui uma mesa de comando individualizada denominada QCE (ver Figura 22).

Os filtros possuem fundo falso, compostos por bocais especiais, utilizados para lavagem do meio filtrante (areia), hora com ar (Figura 24), hora com ar e água (Figura 25), e hora com água (Figura 26).

Todos os filtros encontram-se funcionando e apresentam as seguintes características:

- comprimento de 7,6 m;
- largura da câmara filtrante de 3,8 m;
- área da câmara filtrante de 28,88 m²;
- profundidade útil de 3,2 m;
- taxa média de filtração de 249,3 m³/m²d;
- espessura da camada filtrante de 0,8 m;
- calhas de coleta de água de lavagem descarregando em canal lateral, situado ao longo do comprimento da câmara filtrante (Figura 23 e Figura 28);
- disposição das unidades filtrantes: 4 de cada lado do corredor de comando (Figura 20);
- saída dos filtros por meio de caixas individuais, providas de vertedor retangular com descarga livre (Figura 29).

Todas as unidades são automatizadas, onde cada filtro possui uma mesa de comando individualizada denominada QCE (ver Figura 21). Atualmente a lavagem de cada filtro ocorre no intervalo de tempo de 48 horas, em modo escalado, proporcionando uma melhor eficiência na operação do sistema, as etapas da lavagem dos filtros podem ser observadas entre a Figura 23 e a Figura 27.

Figura 20 – Vista lateral dos filtros

Fonte: autor

Figura 21 – Unidade de filtro

Fonte: autor

Figura 22 – Mesa de comando do filtro

Fonte: autor

Figura 23 – Calhas de coleta de água de lavagem

Fonte: autor

Figura 24 – Lavagem do filtro com ar

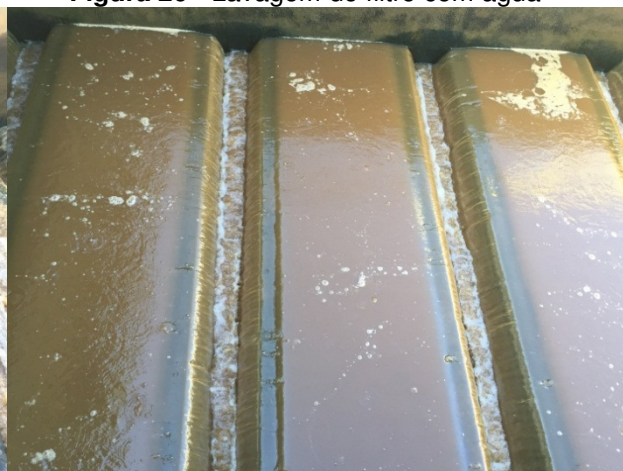
Fonte: autor

Figura 25 - Lavagem do filtro com ar e água



Fonte: autor

Figura 26 - Lavagem do filtro com água



Fonte: autor

Figura 27 – Encerramento da lavagem do filtro



Fonte: autor

Figura 28 – Canal lateral condutor da água de lavagem



Fonte: autor

Figura 29 - Saída dos filtros por meio de caixas individuais



Fonte: autor

4.1.3.6 Casa de Química

A casa de Química fica localizada próxima a caixa de chegada de água bruta, e é composta por laboratório, administração, sala de monitoramento, armazenagem e dosagem de produtos químicos. Os produtos armazenados são Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), a Cal em Pó (Figura 30) e Hidratada (Figura 31).

Figura 30 – Estoque da Cal em Pó



Fonte: autor

Figura 31 – Solução da Cal Hidratada



Fonte: autor

Figura 32 – Bombas dosadoras de produto químico



Fonte: autor

4.1.3.7 Tanque de Contato

Após a etapa de filtração, a água filtrada é direcionada para o tanque de contato onde ocorrerão as adições do cloro e fluor.

O tanque de contato trata-se de um reservatório semienterrado (RSE) de concreto, com capacidade de armazenamento de 5.000 m³ de água.

4.1.4 Sistema de Tratamento dos Resíduos Gerados na ETA

A ETA possui um sistema que trata os resíduos gerados no processo de potabilização da água, mais precisamente, provenientes dos processos de descarga dos decantadores e da lavagem dos filtros.

O sistema de tratamento existente busca inicialmente a separação dos diferentes resíduos (descarga dos decantadores e lavagem dos filtros), tendo como interesse o direcionamento da água recuperada após o tratamento, para o início do sistema da ETA, obtendo o menor gasto de produtos químicos no desaguamento do lodo.

4.1.4.1 Condução dos resíduos

Os resíduos gerados no decantador e na lavagem dos filtros são conduzidos em tubulações diferentes para o sistema de tratamento.

Com o intuito de reduzir o volume de resíduos a ser conduzido, no processo de limpeza geral das unidades de decantação e floculação, a água presente é removida através de uma bomba submersível e encaminhada para o sistema de drenagem de águas pluviais ou para o canal comum de água decantada, onde somente após a realização desse processo as válvulas das tubulações são abertas, conduzindo por gravidade o lodo acumulado nas unidades para o sistema de tratamento. Este processo evita o sobrecarregamento do sistema de tratamento de resíduos, recirculando a água clarificada (com concentrações baixas de sólidos) para a ETA.

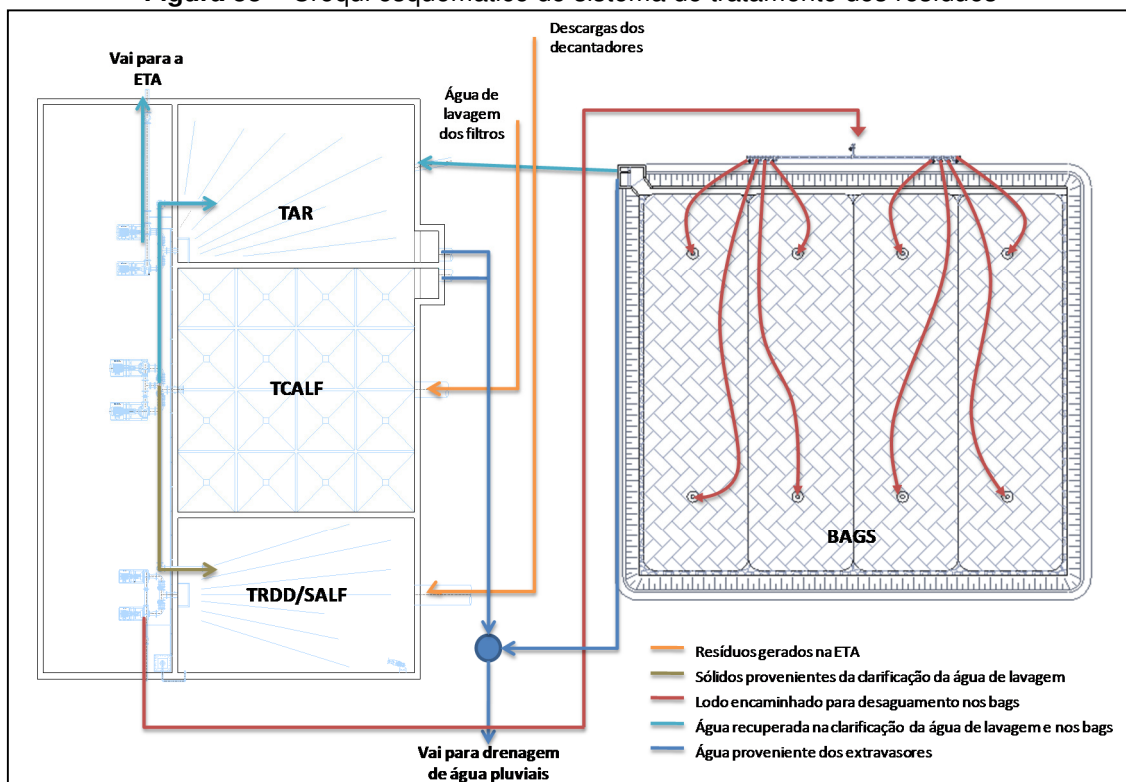
4.1.4.2 Funcionamento do sistema de tratamento

O sistema de tratamento dos resíduos é composto por um Tanque de Clarificação da Água de Lavagem dos Filtros (TCALF), um Tanque de Recepção das Descargas dos Decantadores e Sólidos da Água de Lavagem dos Filtros (TRDD/SALF), Sistema de Desaguamento de Lodo em Bags de Geotêxtil e Tanque de Água Recuperada (TAR). A Figura 33 ilustra o croqui esquemático com as unidades descritas.

O sistema conta também com uma unidade de apoio composta por uma casa de bomba (pavimento inferior), uma casa de química (pavimento superior) e um laboratório (pavimento superior).

Este sistema possibilita a recuperação de água clarificada, sendo ela encaminhada para o início do tratamento da ETA.

Figura 33 – Croqui esquemático do sistema de tratamento dos resíduos



Fonte: Di Bernardo, 2012

O TCALF opera em batelada, recebendo e clarificando a água proveniente da lavagem dos filtros. A operação deste tanque consiste na recepção dos resíduos e, após o tempo de clarificação, encaminha os sólidos adensados nos poços de lodo para o TRDD/SALF e encaminha a água clarificada para o TAR. A Figura 34 ilustra os poços de lodo do tanque de clarificação.

Figura 34 – Poços de lodo do TCALF



Fonte: autor

O TRDD/SALF acumula todo o lodo proveniente do sistema de tratamento de água. Recebe diretamente a descarga de fundo dos decantadores (Figura 35), bem como o lodo desaguado (sedimentado) da água de lavagem dos filtros (TCALF).

O TRDD/SALF possui um agitador elétrico submerso, tendo como função a agitação do lodo armazenado e, por consequência, a homogeneização do resíduo.

Figura 35 – Ponto de descarga do lodo do decantador no TRDD/SALF



Fonte: autor

O TAR recebe a água clarificada proveniente do TCALF e TRDD/SALF, que é bombeada para o início do processo de tratamento da ETA.

O projeto do sistema de tratamento dos resíduos previa a instalação de quatro bags de geotêxtil, más atualmente encontra-se apenas três instalados. Os bags recebem o lodo proveniente do TRDD/SALF, efetuando desaguamento do mesmo.

O desaguamento é realizado de forma que, o lodo armazenado no TRDD/SALF é encaminhado para um dos bags até que o seu volume máximo seja atingido. Neste momento o outro bag passará a receber o lodo, enquanto o lodo no bag anterior é desaguado. Após haver uma diminuição do volume contido no primeiro bag, este voltará a receber o lodo. Esse procedimento é repetido até que atinja a capacidade máxima de quantidade de lodo desaguado, sendo posteriormente feito seu descarte. A Figura 36 ilustra o bag instalado no sistema de tratamento dos resíduos.

O lodo acumulado no interior do bag, após o seu descarte, é direcionado para o aterro sanitário.

Figura 36 – Bag geotêxtil instalado no sistema de tratamento dos resíduos



Fonte: autor

4.1.4.3 *Produtos Químicos*

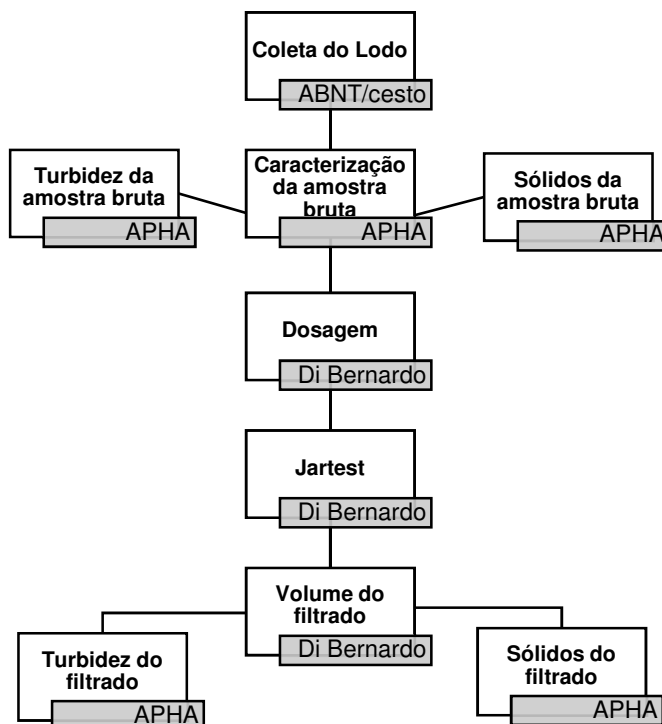
No sistema de tratamento dos resíduos é feito o uso de dois produtos químicos, o polímero sintético em emulsão e o hipoclorito de cálcio.

O polímero sintético em emulsão é utilizado para auxiliar na clarificação da água de lavagem dos filtros e no desaguamento do lodo, já o hipoclorito de cálcio é utilizado para garantir a qualidade da água recuperada no sistema, uma vez que esta será enviada para o início da ETA. As dosadoras e os produtos químicos estão instalados na unidade de apoio do sistema de tratamento dos resíduos.

4.2 ENSAIOS DE BANCADA

Nesta seção serão descritos as etapas e procedimentos utilizados para a realização das análises do presente estudo, na Figura 37 ilustra, de forma sucinta, o fluxograma das etapas realizadas no processo.

Figura 37 – Fluxograma das metodologias aplicadas



Fonte: autor

4.2.1 Coleta do Lodo

O lodo utilizado é proveniente da mistura homogeneizada dos resíduos oriundos da descarga do decantador com o lodo adensado da lavagem dos filtros, armazenados no tanque TRDD/SALF, localizado no sistema de tratamento dos resíduos da ETA.

A coleta do lodo foi realizada com um auxílio de um balde de 25 litros e uma corda de nylon, onde eram lançados no meio do tanque e içados logo em seguida, conforme Figura 38.

Para a facilidade do transporte, o lodo coletado foi armazenado em 8 galões de 50 litros cada com um auxílio de um funil, totalizando um volume coletado de aproximadamente 400 litros, ver Figura 39. Em seguida os galões foram conduzidos para o Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

A coleta foi realizada uma única vez, sendo todas as análises realizadas utilizam a mesma amostra.

Figura 38 – Coleta do lodo com balde de 25 L



Fonte: autor

Figura 39 – Acondicionamento do lodo nos galões de 50 L



Fonte: autor

4.2.2 Caracterização da Amostra Bruta

Foram realizadas análises de turbidez e sólidos suspensos totais (SST) na amostra bruta do lodo coletado. Os procedimentos das análises utilizadas seguiram o recomendado pelo Standard Methods (APHA et al., 2005).

Tabela 1 – Turbidez e SST da amostra bruta

Amostra Bruta	
Turbidez (uT)	10.236,00
SST (mg/L)	8.500,00

Fonte: autor

4.2.3 Dosagem do Polímero

Para a realização das análises foram utilizados sete tipos de polímeros sintéticos, fornecidos pela empresa SNF FLOERGER.

Os sete polímeros sintéticos são distribuídos em um não iônico, três aniônicos e três catiônicos. A Tabela 2 ilustra as características dos polímeros testados, com sua respectiva nomenclatura de referência na pesquisa.

Tabela 2 - Características dos polímeros testados

Tipo	Descrição comercial	Fornecedor	Forma física	Referência na pesquisa
Não iônico	FA 920 PWG	Floerger	Granular	Polímero A
Aniônico	NA 910 PWG	Floerger	Granular	Polímero B
Aniônico	NA 913 PWG	Floerger	Granular	Polímero C
Aniônico	NA 923 PWG	Floerger	Granular	Polímero D
Catiônico	FLONEX 4125 SH	Floerger	Granular	Polímero E
Catiônico	FLONEX 4350 SH	Floerger	Granular	Polímero F
Catiônico	FLONEX 4650 SH	Floerger	Granular	Polímero G

Fonte: autor

Para a realização das análises foram preparadas as soluções de polímero com concentração a 1%. O preparo da solução foi elaborada de acordo com o recomendado por Di Bernardo (2011)

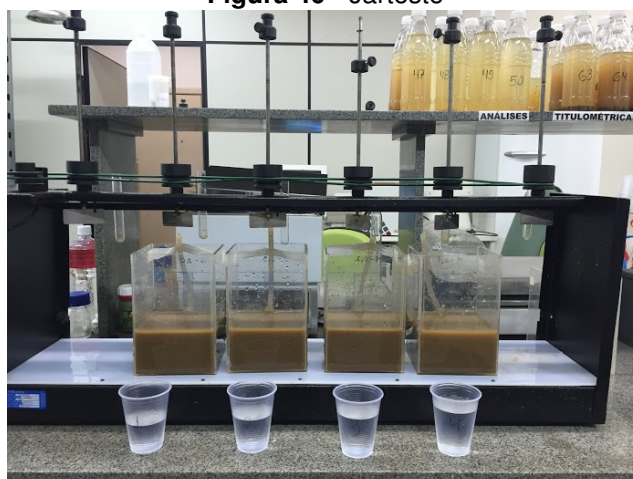
Para cada polímero foram realizadas sete ensaios, sendo eles com dosagens de 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 mgPol/gSST.

4.2.4 Ensaios de Jarteste com Filtração Direta em Manta Geotêxtil

Para realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Jarteste (Figura 40);

Figura 40 - Jarteste



Fonte: autor

- Filtro em manta geotêxtil (Figura 41);

Figura 41 – Filtro com manta geotêxtil



Fonte: autor

A manta geotêxtil utilizada é específica para desidratação de lodos, e foi fornecida pela empresa Allonda.

Cada ensaio de jarteste foi executado seguindo os seguintes passos:

1º Passo – homogeneização da amostra bruta (Figura 42);

Figura 42 – Homogeneização da amostra bruta

Fonte: autor

2º Passo – preenchimento dos jarros com um litro da amostra bruta homogeneizada (Figura 43);

Figura 43 – preenchimento do jarro com amostra Bruta homogeneizada

Fonte: autor

3º Passo – Configuração do jarteste, conforme Tabela 3;

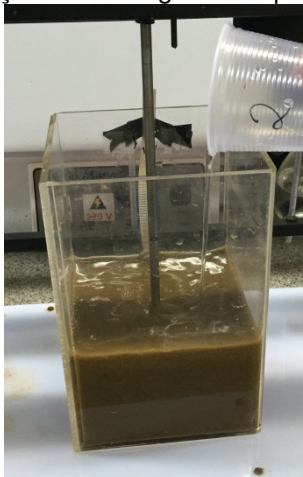
Tabela 3 – Configuração do jarteste

Etapa	Descrição	Gradiente de velocidade	Tempo
1	Homogeneização	100 s ⁻¹	10 s
2	Mistura rápida	500 s ⁻¹	20 s

Fonte: autor

4º Passo – Inserção das dosagens dos polímeros no início da mistura rápida (Figura 44);

Figura 44 - Inserção das dosagens dos polímeros nos jarros



Fonte: autor

5º Passo – Filtração direta em filtro geotêxtil logo após o termino da mistura rápida (Figura 45);

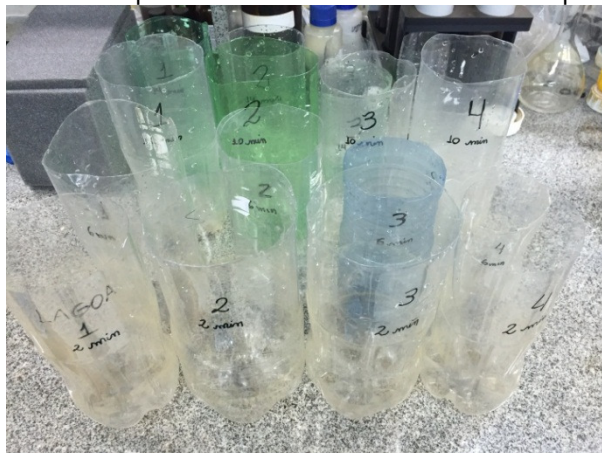
Figura 45 – Filtração direta em filtro com tecido geotêxtil



Fonte: autor

6º Passo – Coleta do volume filtrado nos tempos 2, 6, 10, 14 e 18 minutos (Figura 46);

Figura 46 – Recipientes de coleta do volume filtrado por tempo



Fonte: autor

Após realização da etapa de filtração, foi realizada a caracterização do filtrado, sendo analisados os seguintes parâmetros: volume filtrado, os valores de turbidez e concentração de SST para cada dosagem de cada polímero. A caracterização seguiu o recomendado pelo Standard Methods (APHA et al., 2005).

Os resultados dos parâmetros foram interpretados nas seguintes grandezas:

- ✓ Volume filtrado: quanto maior melhor;
- ✓ Valor de Turbidez: quanto menor melhor;
- ✓ Teor SST: quanto menor melhor

Para todos os parâmetros foram realizados ensaios com a amostra bruta, sem utilização de polímeros (0 mg/L), auxiliando na comparação dos dados obtidos com e sem polímero.

Vale ressaltar que o volume de amostra utilizada, após a inserção do polímero, modificará de acordo com a dosagem utilizada, ou seja, o volume total a ser inserido no filtro piloto de geotêxtil será o somatório do volume de um litro do lodo bruto homogeneizado com o volume do polímero diluído, obtendo então os seguintes valores:

- ✓ Dosagem de 0 mg/L = 1.000mL;
- ✓ Dosagem de 2 mg/L = 1.020mL;
- ✓ Dosagem de 4 mg/L = 1.040mL;
- ✓ Dosagem de 6 mg/L = 1.060mL;
- ✓ Dosagem de 8 mg/L = 1.080mL;
- ✓ Dosagem de 10 mg/L = 1.100mL;
- ✓ Dosagem de 12 mg/L = 1.120mL;
- ✓ Dosagem de 14 mg/L = 1.140mL.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos testes de bancada, sendo os seguintes parâmetros abordados: volume filtrado, valores de turbidez e concentração de SST do líquido drenado com a utilização de polímeros e filtração direta em manta geotêxtil.

5.1 VOLUME FILTRADO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos do volume de lodo filtrado na manta geotêxtil, a partir dos ensaios de bancada, para cada polímero e suas respectivas dosagens.

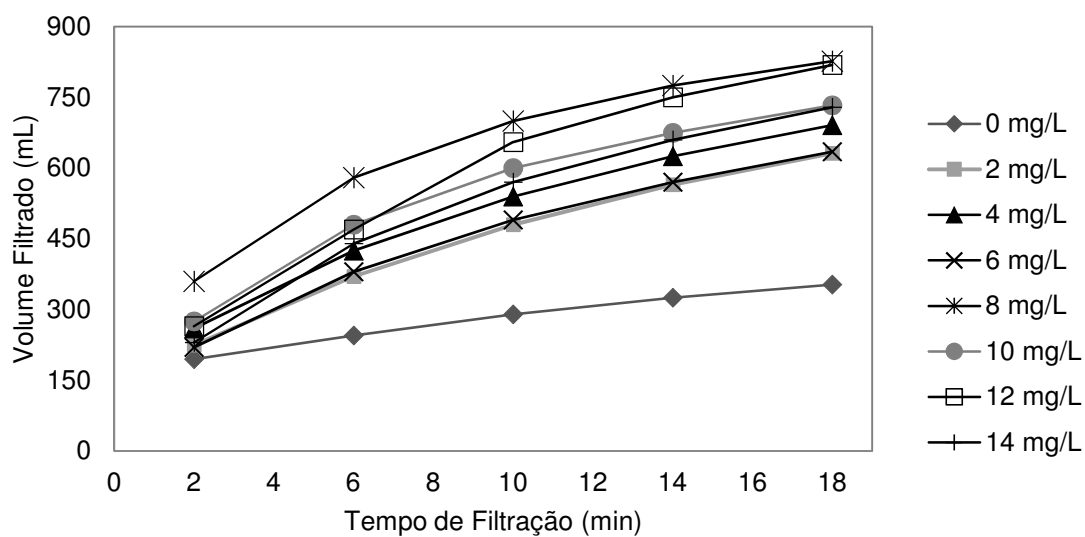
Com base nos dados contraídos, obteve-se os seguintes resultados:

- Polímero A:

Tabela 4 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero A

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
A	0	195	50	45	35	28	353	35,30
	2	225	145	110	85	66	631	61,86
	4	260	165	115	85	66	691	66,44
	6	220	160	110	80	65	635	59,90
	8	360	220	120	75	52	827	76,57
	10	275	205	120	75	58	733	66,63
	12	265	205	185	95	69	819	73,13
	14	230	210	130	90	69	729	63,95

Fonte: autor

Figura 47 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero A

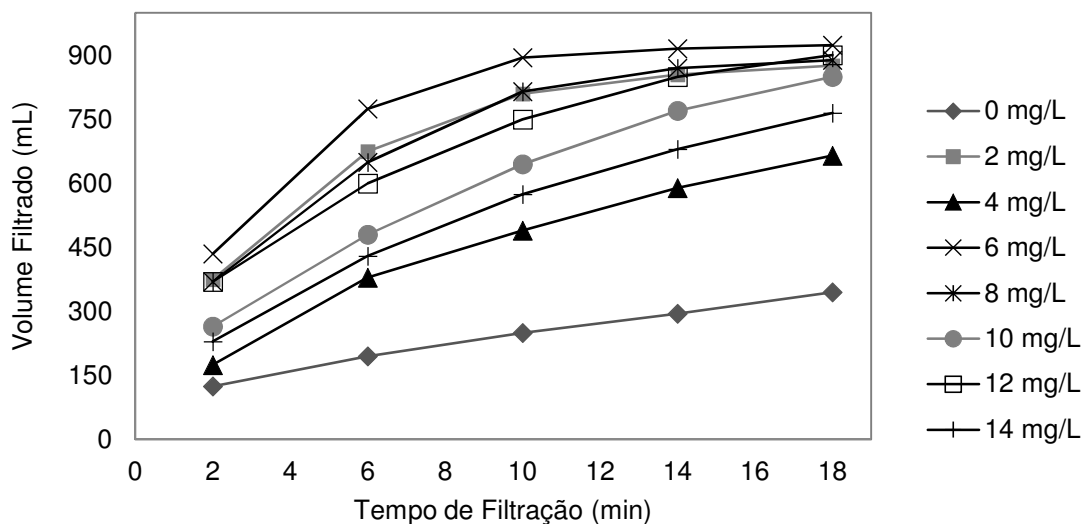
Fonte: autor

- Polímero B

Tabela 5 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero B

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)							Rendimento (%)
		Tempo (min)					Total		
		2	6	10	14	18			
B	0	125	70	55	45	50	345	34,50	
	2	375	300	135	45	21	876	85,88	
	4	175	205	110	100	75	665	63,94	
	6	435	340	120	21	8	924	87,17	
	8	370	280	165	55	19	889	82,31	
	10	265	215	165	125	80	850	77,27	
	12	370	230	150	100	51	901	80,45	
	14	230	200	145	105	85	765	67,11	

Fonte: autor

Figura 48 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero B

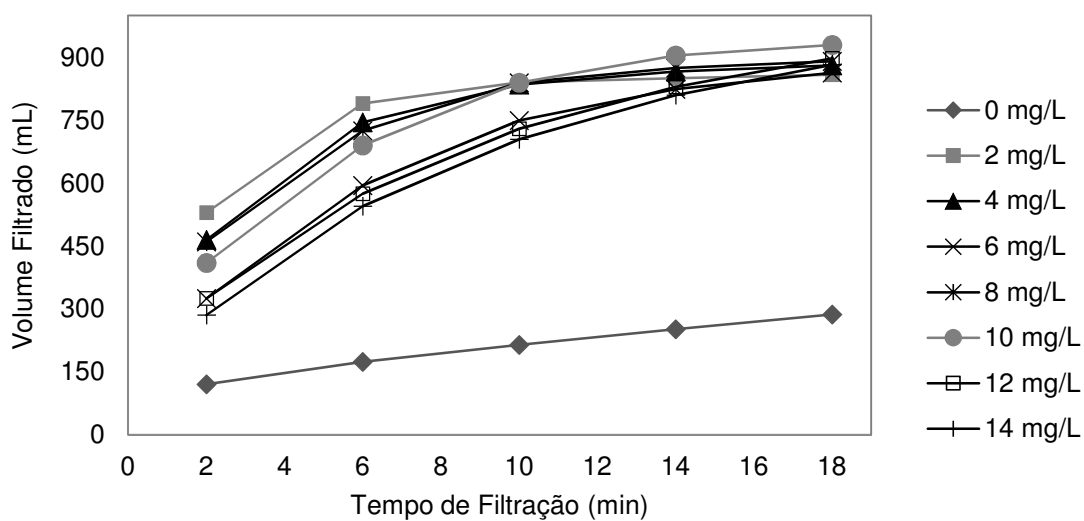
Fonte: autor

- Polímero C

Tabela 6 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero C

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
C	0	120	54	40	38	35	287	28,70
	2	530	260	51	10	8	859	84,22
	4	465	280	90	32	14	881	84,71
	6	325	270	155	75	39	864	81,51
	8	460	265	115	35	16	891	82,50
	10	410	280	150	65	25	930	84,55
	12	325	250	155	100	68	898	80,18
	14	285	260	160	105	73	883	77,46

Fonte: autor

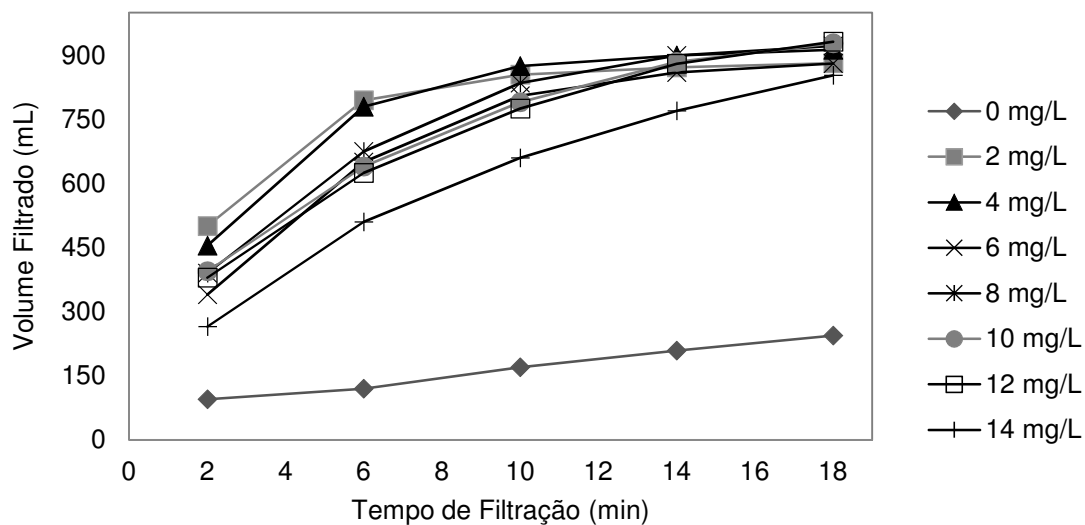
Figura 49 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero C

- Polímero D

Tabela 7 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero D

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
D	0	95	25	50	39	35	244	24,40
	2	500	295	60	17	10	882	86,47
	4	455	325	95	25	13	913	87,79
	6	340	310	155	55	21	881	83,11
	8	390	285	160	65	22	922	85,37
	10	395	245	150	95	43	928	84,36
	12	380	245	150	105	52	932	83,21
	14	265	245	150	110	83	853	74,82

Fonte: autor

Figura 50 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero D

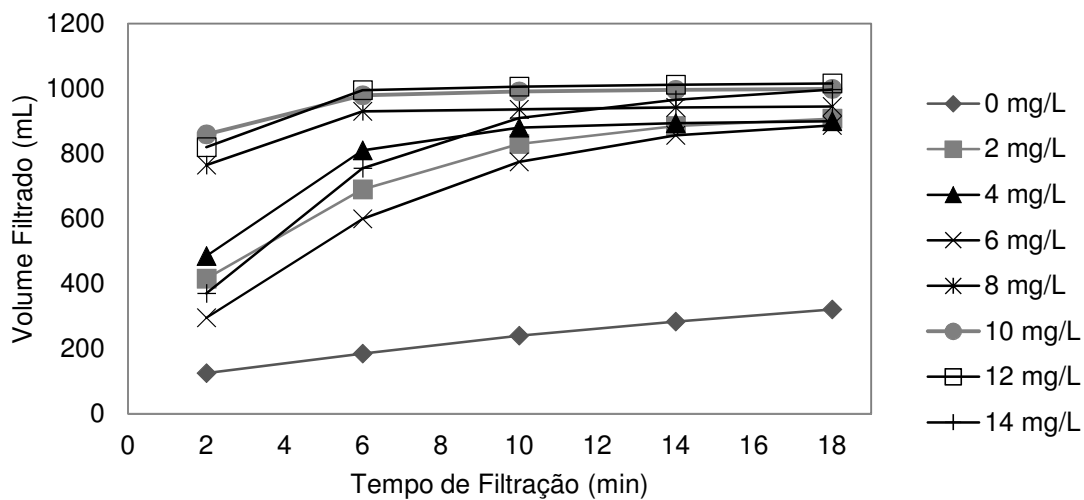
Fonte: autor

- Polímero E

Tabela 8 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero E

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
E	0	125	60	55	43	38	321	32,10
	2	415	275	140	55	23	908	89,02
	4	485	325	70	14	6	900	86,54
	6	295	305	175	82	30	887	83,68
	8	765	165	6	6	3	945	87,50
	10	860	120	11	5	3	999	90,82
	12	820	175	11	6	4	1.016	90,71
	14	370	385	155	56	31	997	87,46

Fonte: autor

Figura 51 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero E

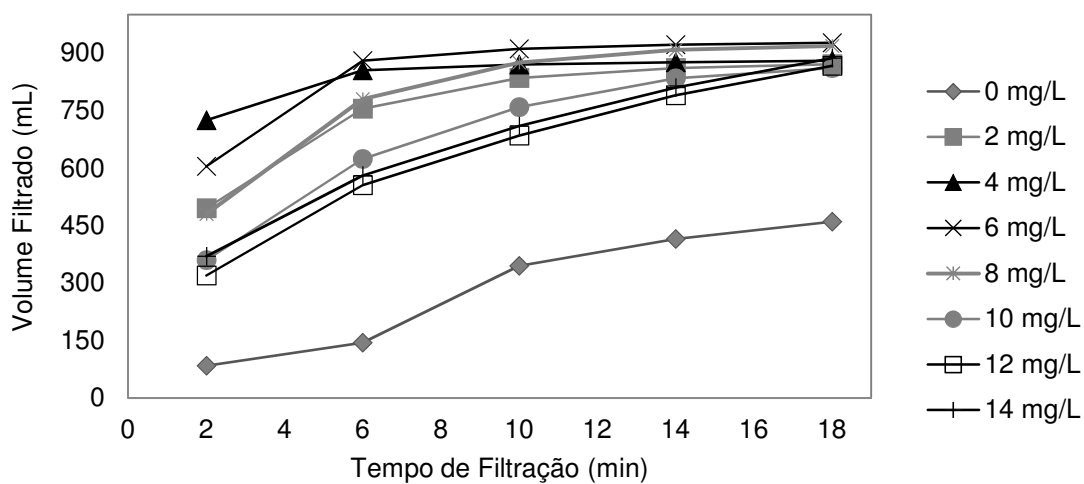
Fonte: autor

- Polímero F

Tabela 9 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero F

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
F	0	85	60	200	70	45	460	46,00
	2	495	260	80	26	10	871	85,39
	4	725	130	15	6	4	880	84,62
	6	605	275	31	11	5	927	87,45
	8	480	300	95	33	10	918	85,00
	10	360	264	135	75	27	861	78,27
	12	320	235	130	105	77	867	77,41
	14	370	210	130	100	77	887	77,81

Fonte: autor

Figura 52 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero F

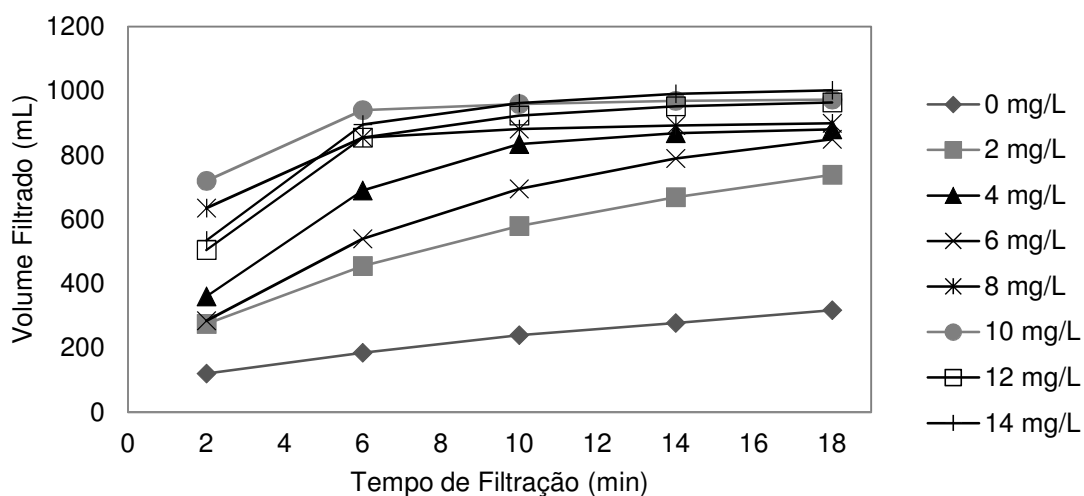
Fonte: autor

- Polímero G

Tabela 10 – Volume filtrado por tempo e dosagem do Polímero G

Polímero	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Volume drenado (mL)						
		Tempo (min)					Total	Rendimento (%)
		2	6	10	14	18		
G	0	120	65	55	38	40	318	31,80
	2	275	180	125	89	70	739	72,45
	4	360	330	145	33	12	880	84,62
	6	285	255	155	95	60	850	80,19
	8	635	220	26	11	7	899	83,24
	10	720	220	19	10	4	973	88,45
	12	505	350	68	29	12	964	86,07
	14	535	360	67	29	11	1002	87,89

Fonte: autor

Figura 53 – Curva do volume filtrado acumulado por tempo de filtração e por dosagem do Polímero G

Fonte: autor

Com base nos valores obtidos, é possível observar que todos os polímeros apresentaram variações no volume, tendo uma redução gradativa durante o decorrer do tempo de filtração. Isso ocorre devido as partículas maiores de sólidos suspensos ficarem retidas na interface do geotêxtil, passando a reter partículas cada vez menores (URASHIMA, 1996), formando assim um pré filtro reduzindo a permeabilidade e aumentando a eficiência da filtração (GUANAES, 2009).

O polímero A, como pode ser observado na Tabela 4, apresentou, maiores valores nos instantes de 2, 6 e 10 min, indicando assim a formação do pré-filtro.

Na Figura 47 é possível verificar que a dosagem que obteve o melhor resultado foi a de 8 mg.L^{-1} , com um rendimento de 76,57 %. O segundo melhor rendimento encontrado na dosagem de 12 mg.L^{-1} , contudo, este exigiria uma quantidade 6 vezes maior do polímero no processo de tratamento.

No polímero B, é possível observar que os maiores resultados de volume filtrado ocorreram no intervalo de 2 min, com exceção da dosagem de 4 mg.L^{-1} que apresentou seu maior volume no tempo de 6 min.

As amostras com dosagens de 2, 6 e 8 mg.L^{-1} apresentaram grande variação do volume filtrado entre o primeiro e o ultimo tempo medido (ver Tabela 5), com

diferenças superiores a 350 mL, mostrando a rapidez da filtração utilizando o polímero nestas dosagens.

De acordo com os resultados obtidos para o polímero B, as amostras que apresentaram melhores resultados foram as com dosagens de 6 e 2 mg.L⁻¹ que obtiveram o rendimento de 87,17 e 85,88 %, respectivamente.

Nos resultados obtidos do polímero C (Tabela 6), é interessante observar que em todas as condições estudadas o volume drenado diminuiu com o passar do tempo, com maiores valores no tempo de 2 min. Contudo, dentre as dosagens aplicadas, as que apresentaram maior volume filtrado neste tempo inicial foram as de 2, 4, 8 e 10 mg.L⁻¹. Ainda por meio da Tabela 6, é possível observar que a amostra que apresentou um volume filtrado maior no final do processo foi a de 10 mg.L⁻¹. Neste polímero as melhores eficiências ficaram por conta das dosagens de 4, 10 e 2 mg.L⁻¹. Os mesmos obtiveram rendimentos bem próximos, 84,71%, 84,55 e 84,22 %, respectivamente. Tais resultados podem ser confirmados na Figura 48. Nesta situação, como critério de seleção, seria necessária a análise de outros parâmetros (turbidez, sólidos e custo benefício) para indicar precisamente qual a melhor opção a ser utilizada.

O polímero D, de acordo com a Tabela 7, apresentou maior desempenho inicial nas dosagens 2 e 4 mg.L⁻¹, representando cerca de 49 e 44 %, respectivamente, do volume total da amostra.

Todas as amostras com dosagem de polímero tiveram um bom rendimento ao final dos 18 min. Com exceção da amostra de dosagem de 14 mg.L⁻¹, todas as amostras obtiveram rendimento superior a 83 %.

A amostra que obteve o melhor rendimento foi a de 4 mg.L⁻¹, com 87,79%, porém as amostras com 2 e 8 mg.L⁻¹ obtiveram rendimentos bem próximos, 86,47 e 85,37 %, respectivamente, dando margem de escolha utilizando outros critérios.

O polímero E (Tabela 8), apresentou valores elevados de filtração no primeiro intervalo de tempo (2 min), com destaque para as dosagens de 8, 10 e 12 mg.L⁻¹, que representam cerca de 71, 78 e 73 %, respectivamente, do volume total da amostra utilizada no início do processo.

Apesar das dosagens 2, 4 e 14 mg.L⁻¹ não apresentarem valores tão elevados no primeiro intervalo de tempo, quando comparadas as dosagens citadas anteriormente, estas mostraram também um bom desempenho. Nestas dosagens a filtração apresentou um comportamento mais constante, com valores próximos no primeiro e segundo intervalo de tempo, e com um decréscimo de volume filtrado menos intenso no decorrer do tempo.

Com exceção da amostra sem polímero, todas as amostras mostraram bons desempenhos para filtração, com rendimentos acima de 83 % (ver Tabela 8).

A amostra 10 mg.L⁻¹ apresentou a melhor eficiência com 90,82 % de rendimento, e com maior volume filtrado no primeiro tempo do teste, conforme pode ser visualizado na Tabela 8 e na Figura 51.

Conforme observado na Tabela 9, o polímero F apresentou maior desempenho inicial nas dosagens 4 e 6 mg.L⁻¹, representando cerca de 70 e 57 %, respectivamente, do volume total da amostra, mostrando um bom desempenho logo nos primeiros 2 min.

A dosagem que mostrou melhor eficiência foi a de 6 mg.L⁻¹, com rendimento 87,45 %. As dosagens de 2 e 8 mg.L⁻¹ obtiveram rendimentos próximos, 85,39 e 85,00 %, respectivamente, podendo caracterizá-los como segundo melhor rendimento desta análise.

É interessante observar que, a curva do volume acumulado da amostra sem utilização de polímero obteve um comportamento distinto das análises anteriores (Figura 52). Esse fato pode ocorrer devido a interferências externas no momento da filtração, uma vez que nesta amostra não ocorre nenhum tipo de reação pela ausência de polímero.

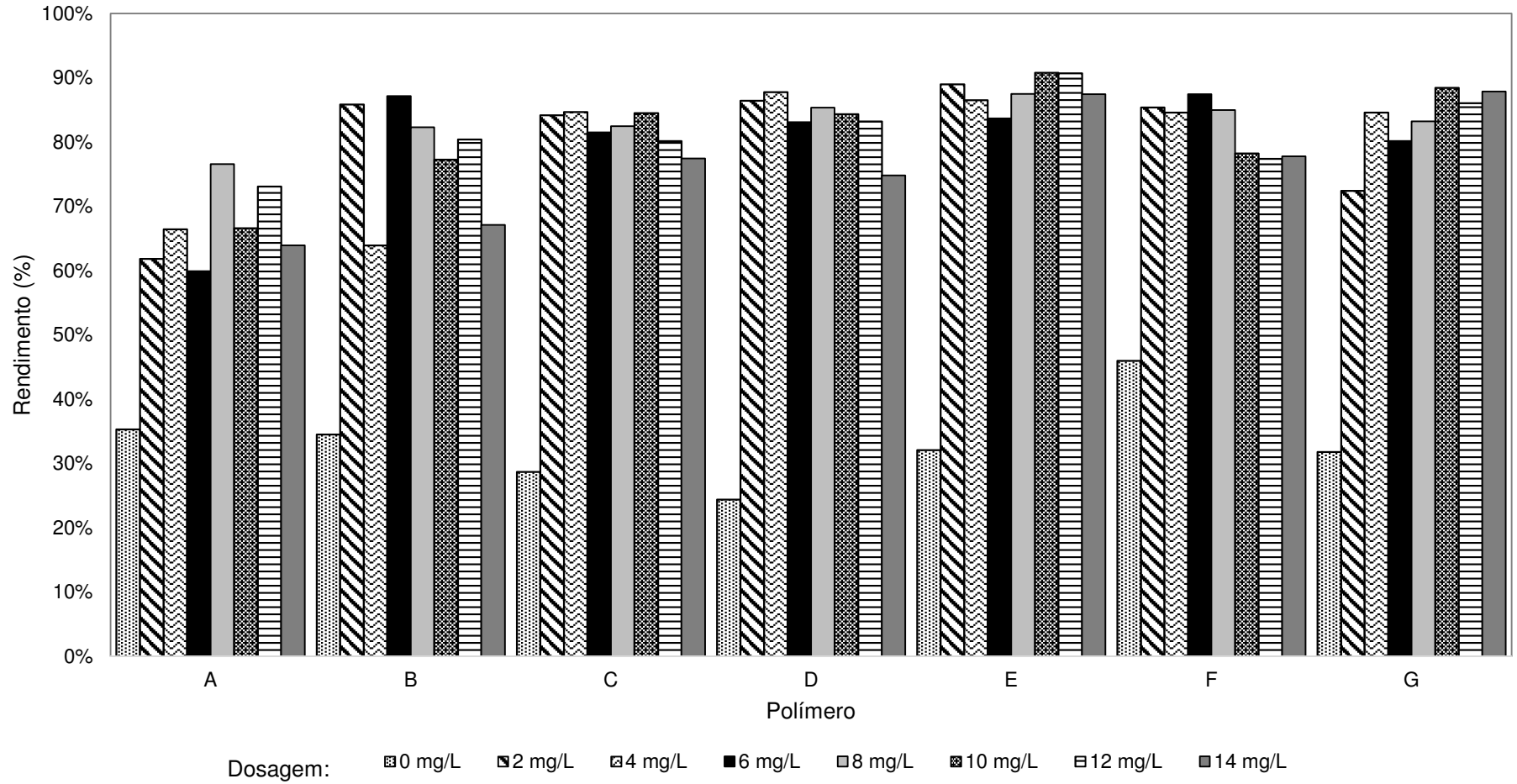
Na Tabela 10, do polímero G, é possível verificar que as dosagens de 8 a 14 mg.L⁻¹ obtiveram eficiência elevada já no início do processo, como consequência conseguiram um melhor rendimento. Já a amostra com dosagem de 4 mg.L⁻¹ se manteve proporcional nos primeiros 6 min, decaindo até o fim do processo, porém a mesma obteve um rendimento semelhante aos citados anteriormente.

A melhor eficiência ficou por conta da análise com dosagem de 10 mg.L^{-1} , com rendimento de 88,45%, abaixo dele ficaram as dosagens 14 e 12 mg.L^{-1} , com rendimento de 87,89 e 86,07 %, respectivamente.

É possível verificar em todos os testes com polímero a diferença entre a amostra bruta com as demais amostras (ver Figura 47 a Figura 53). Evidenciando que a utilização dos polímeros estudados no tratamento dos resíduos influenciam na eficiência do sistema de tratamento do resíduo.

A Figura 54 apresenta o resumo dos rendimentos dos volumes filtrados nos sete polímeros, e suas respectivas dosagens, permitindo e facilitando a comparação das eficiências dos mesmos.

Figura 54 - Gráfico da eficiência dos volumes filtrados por dosagem e polímero



Fonte: autor

Ao analisar o gráfico da Figura 54, observa-se que o polímero E foi o que mostrou maior eficiência na filtração da amostra de lodo provenientes dos resíduos gerados na ETA. Dentre os resultados obtidos, destacam-se as dosagens de 10, 12 e 2 mg.L⁻¹ com rendimento de 90,82%, 90,71 e 89,02 %, respectivamente.

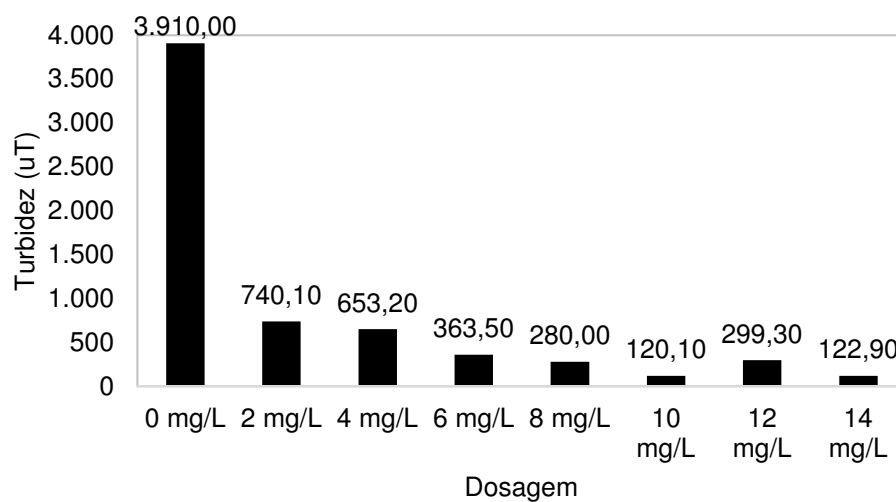
5.2 TURBIDEZ

Nesta seção serão apresentados os valores de turbidez dos volumes totais filtrados para cada polímero e suas respectivas dosagens.

Com base nos dados contraídos, obteve-se os seguintes resultados:

- Polímero A

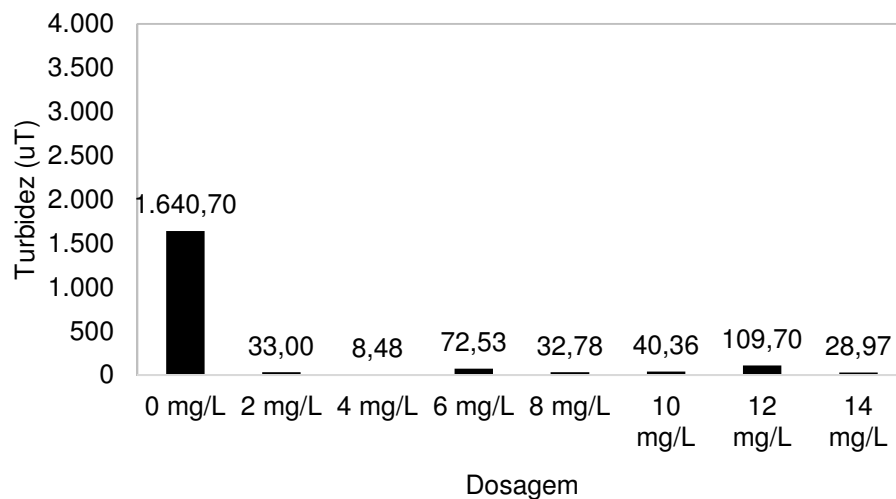
Figura 55 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero A



Fonte: autor

- Polímero B

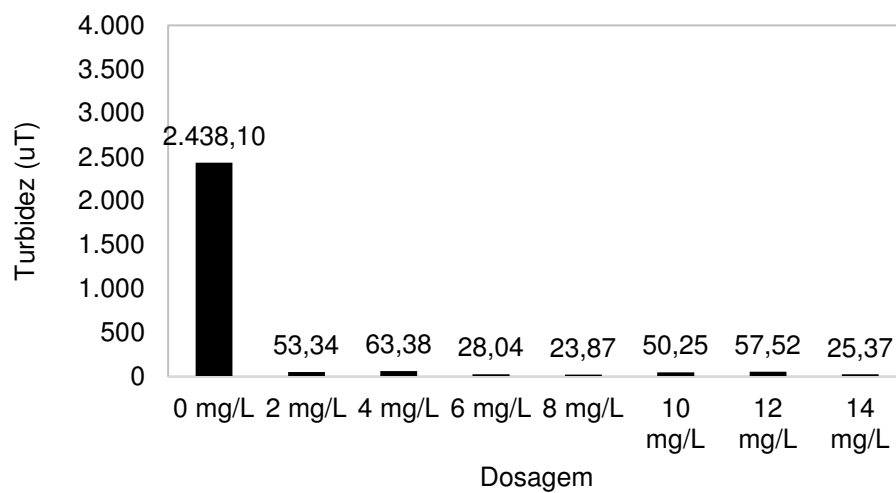
Figura 56 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero B



Fonte: autor

- Polímero C

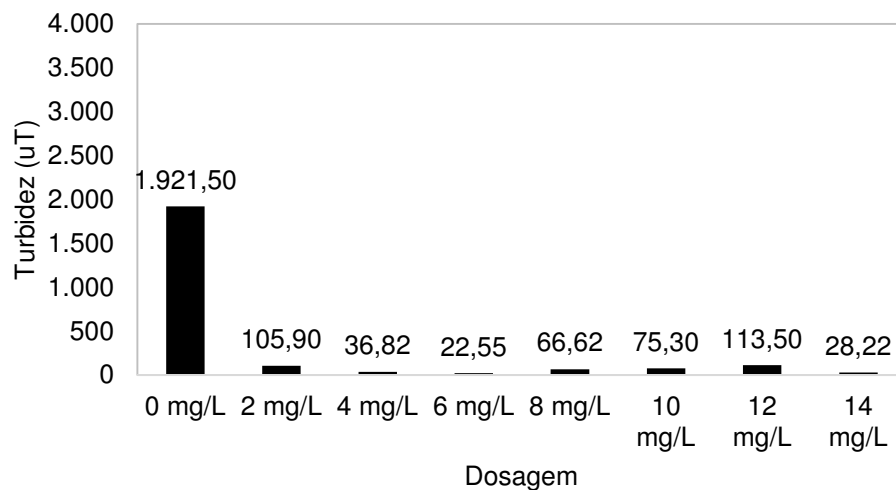
Figura 57 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero C



Fonte: autor

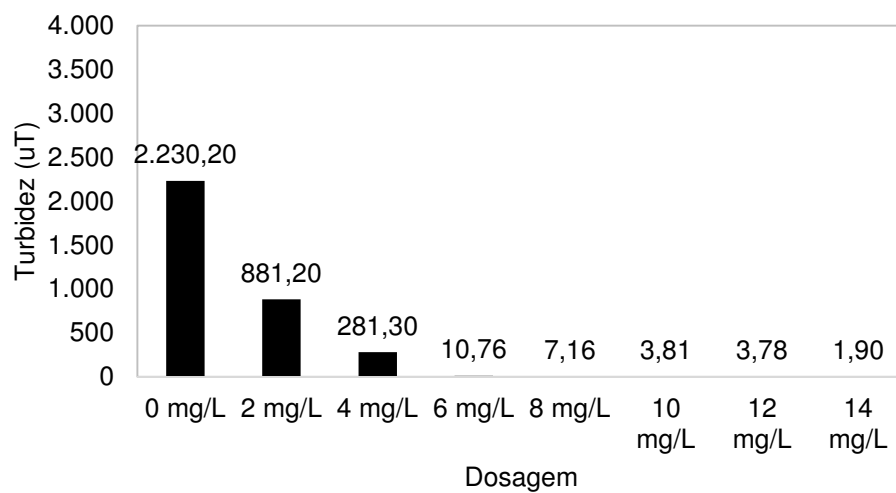
- Polímero D

Figura 58 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero D



- Polímero E

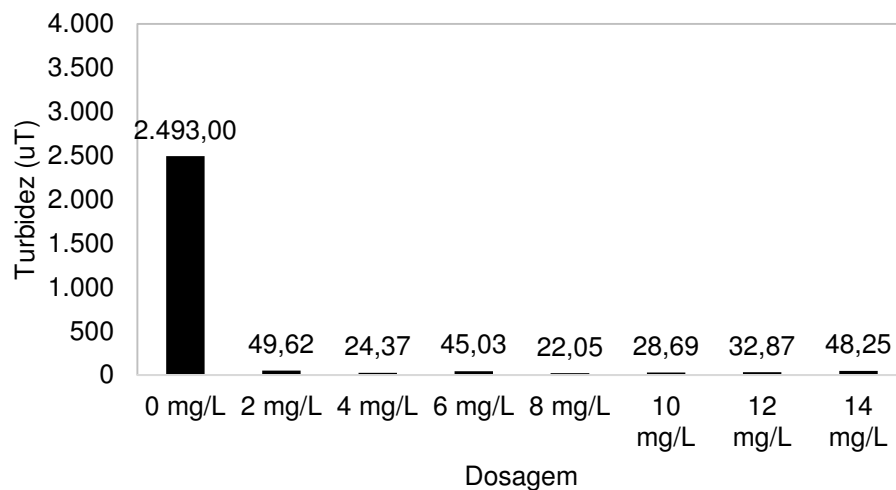
Figura 59 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero E



Fonte: autor

- Polímero F

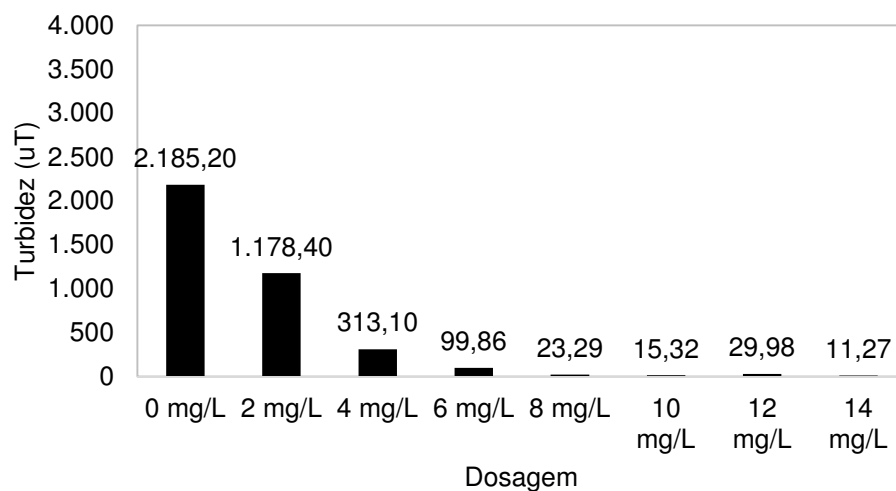
Figura 60 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero F



Fonte: autor

- Polímero G

Figura 61 – Valores de turbidez do volume filtrado por dosagem do Polímero G



Fonte: autor

De acordo com o a Resolução CONAMA N° 357/2005, o padrão de turbidez para águas doces de classe 2 é de 100 uT, já a PORTARIA N° 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde classifica o nível como o valor máximo

permitido de 0,5 uT para água potável na saída dos filtros e 5,0 uT em toda rede de distribuição.

Tendo em vista os padrões de turbidez e os resultados obtidos na Figura 55, observa-se que os valores obtidos para o polímero A estão superiores 100 uT com destaque as dosagens 2 e 4mg.L⁻¹ que obtiveram valores mais elevados, 740,10 uT e 653,20 uT respectivamente.

Diferentemente do polímero A, o polímero B apresentou uma melhor eficiência em relação a redução da turbidez. Com exceção da dosagem de 12 mg.L⁻¹ as amostras apresentaram valores de turbidez abaixo de 100 uT. O melhor resultado obtido foi na amostra de 4 mg.L⁻¹, onde apresentou um valor de 8,48 uT, já a dosagem que apresentou valor de turbidez acima dos níveis aceitáveis foi a de 12 mg.L⁻¹, que apresentou um valor de 109,70 uT.

No polímero C, todas as amostras obtiveram valores de turbidez abaixo de 64 uT, com exceção da amostra sem polímero. Apresentou três dosagens com valores próximos (entre 20 e 30 uT) nas dosagens de 6, 8 e 14mg.L⁻¹.

O menor valor de turbidez (23,87 uT) foi observada para uma dosagem de 8 mg.L⁻¹.

Na Figura 59 estão apresentados os dados experimentais obtidos durante o tratamento de lodo com o polímero D, observa-se que duas dosagens obtiveram resultados superiores a 100 uT (2 e 12 mg.L⁻¹), evidenciando uma eficiência menor do que os demais. Já a dosagem de 6 mg.L⁻¹ representa o melhor resultado de turbidez do polímero, com valor de 22,55 uT.

O polímero E obteve bons resultados para turbidez, onde seus valores se destacam tendo em vista os polímeros anteriores. Contudo, pode-se observar que nas dosagens de 2 e 4 mg.L⁻¹ obtiveram valores relativamente maiores, sendo eles bem acima de 100 uT, 881,20 e 281,3 uT, respectivamente. Esse resultado mostra que para uma maior eficiência do polímero é necessário dosagens acima de 4 mg.L⁻¹.

A dosagem que representa o melhor resultado de turbidez foi a dosagem de 14 mg.L⁻¹, com 1,90 uT. As dosagens 10 e 12 mg.L⁻¹ também mostraram resultados

menores, se comarado com os polímeros anteriores, obtendo 3,81 e 3,78 uT, respectivamente.

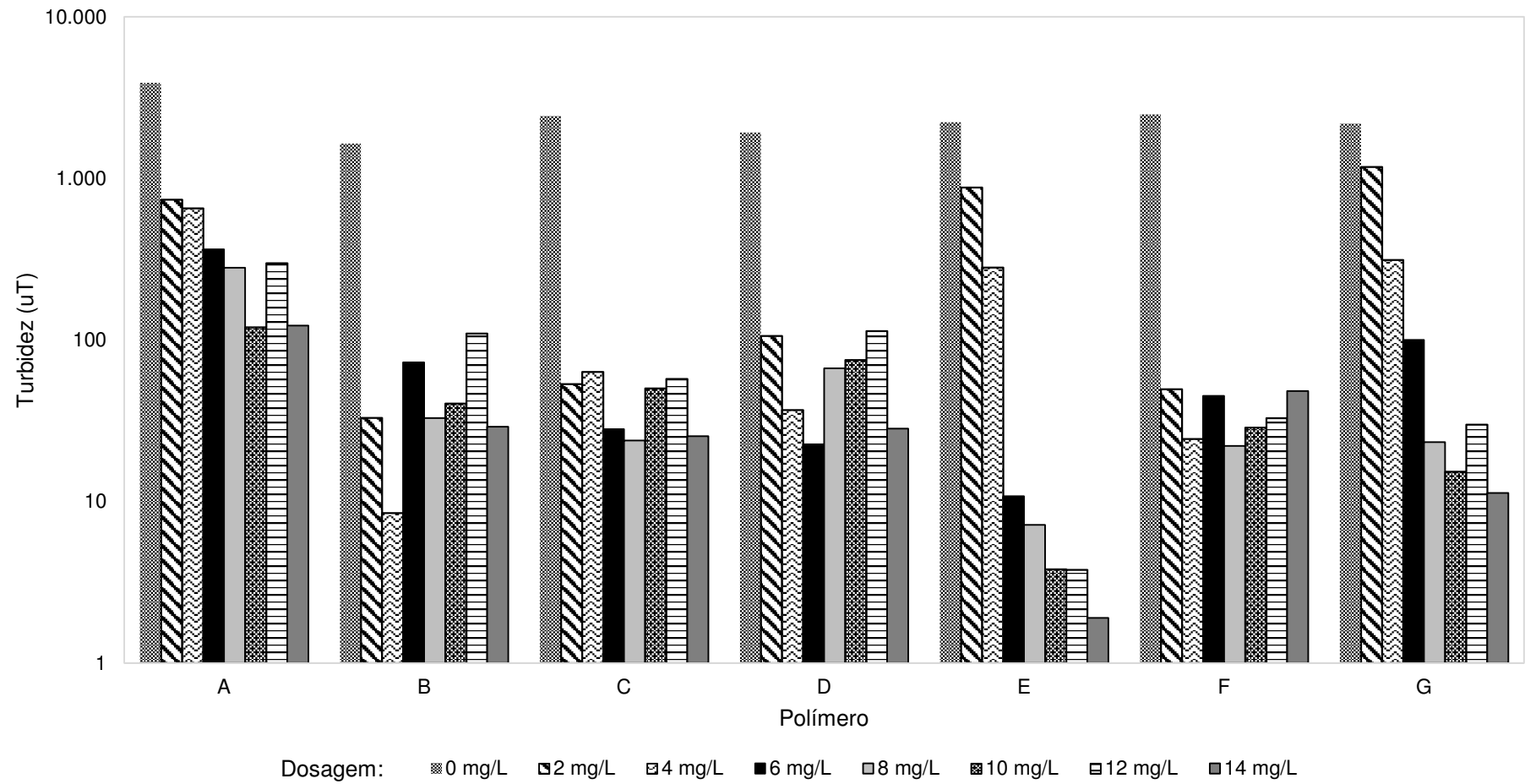
Todos os resultados do polímero F ficaram abaixo de 100 uT, não possuindo variação relevante entre suas dosagens (entre 20 e 50 uT).

A dosagem de 8 mg.L⁻¹ representa o melhor resultado de turbidez, com valor de 22,05 uT.

O polímero G apresentou valores de turbidez mais elevados, nas dosagens de 2 e 4 mg.L⁻¹, com 1.178,40 e 313,10 uT. Já a dosagem de 6 mg.L⁻¹ obteve um valor bem próximo de 100 uT. A dosagem que obteve melhor resultado foi a de 14 mg.L⁻¹, com valor de 11,27 uT.

A Figura 62 apresenta o resumo dos valores de turbidez dos volumes filtrados dos 7 polímeros, e suas respectivas dosagens, com o intuito de facilitar a comparação dos resultados apresentados neste tópico.

Figura 62 – Gráfico comparativo com valores de turbidez obtidos nos volumes filtrados com a utilização de diferentes polímeros



Fonte: autor

Ao analisar a Figura 62, pode-se observar que o polímero E foi o que mostrou maior eficiência na redução dos valores de turbidez após a filtragem da amostra bruta com tecido geotêxtil. Dentre os resultados obtidos, destacam-se as dosagens de 14, 12 e 10 mg.L⁻¹ com turbidez de 1,90, 3,78 e 3,81 uT, respectivamente.

Vale observar que o polímero E obteve os melhores rendimentos para o volume filtrado, e em dosagens que coincidem com os melhores resultados de turbidez obtidos, que são de 10 e 14 mg.L⁻¹.

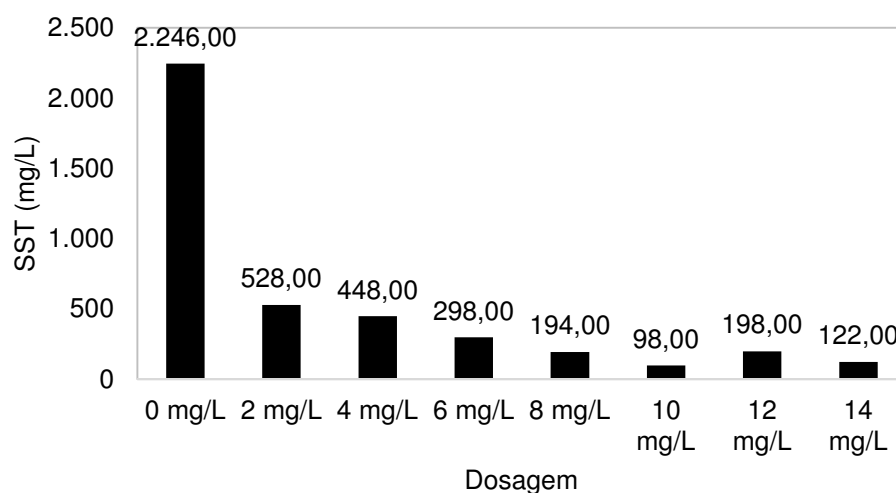
5.3 CONCENTRAÇÃO DE SST

Nesta seção serão apresentados os valores de SST dos volumes totais filtrados para cada polímero e suas respectivas dosagens.

Com base nos dados contraídos, obteve-se os seguintes resultados:

- Polímero A

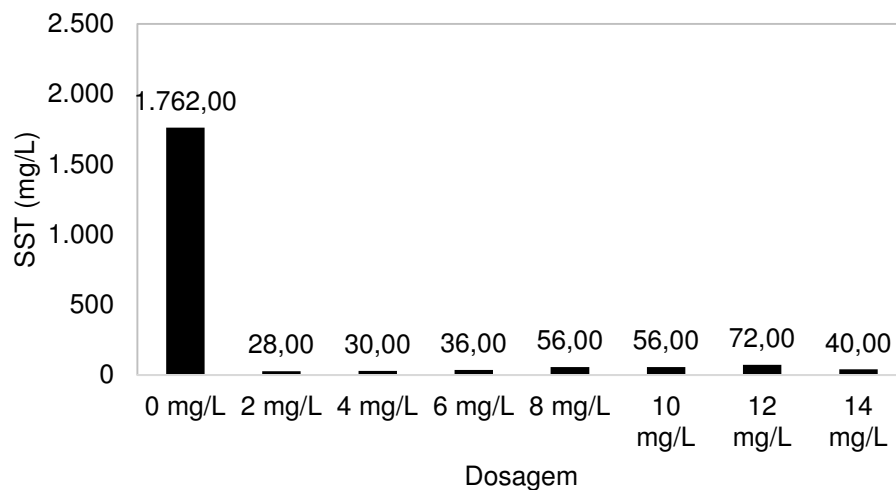
Figura 63 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero A



Fonte: autor

- Polímero B

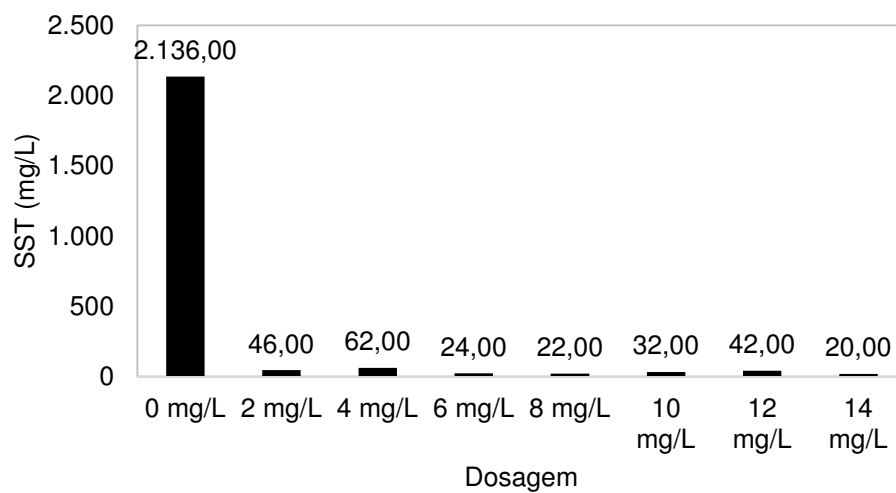
Figura 64 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero B



Fonte: autor

- Polímero C

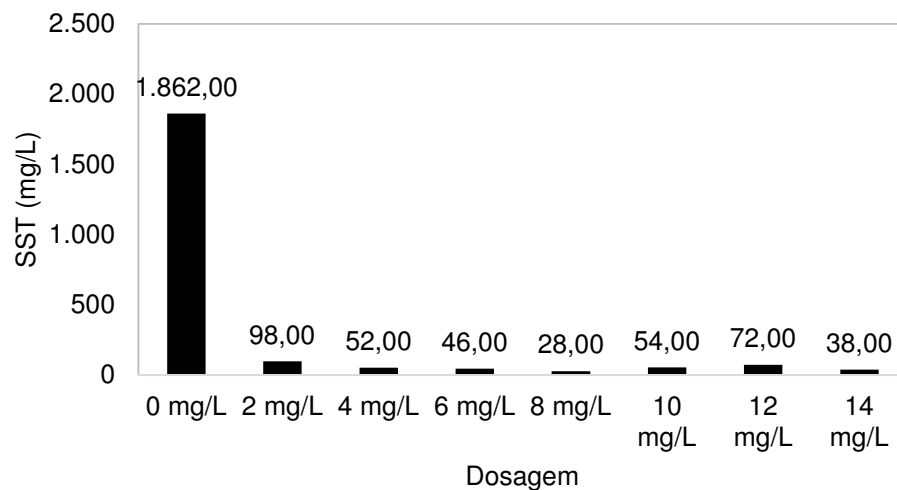
Figura 65 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero C



Fonte: autor

- Polímero D

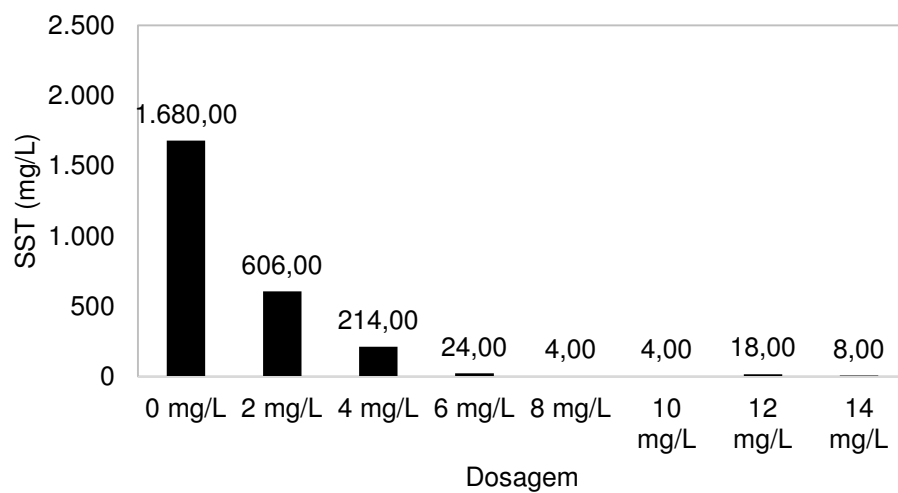
Figura 66 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero D



Fonte: autor

- Polímero E

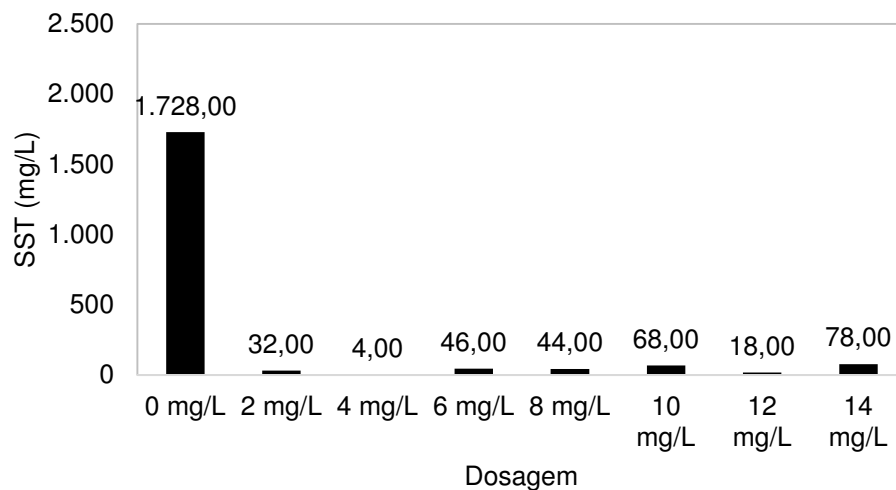
Figura 67 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero E



Fonte: autor

- Polímero F

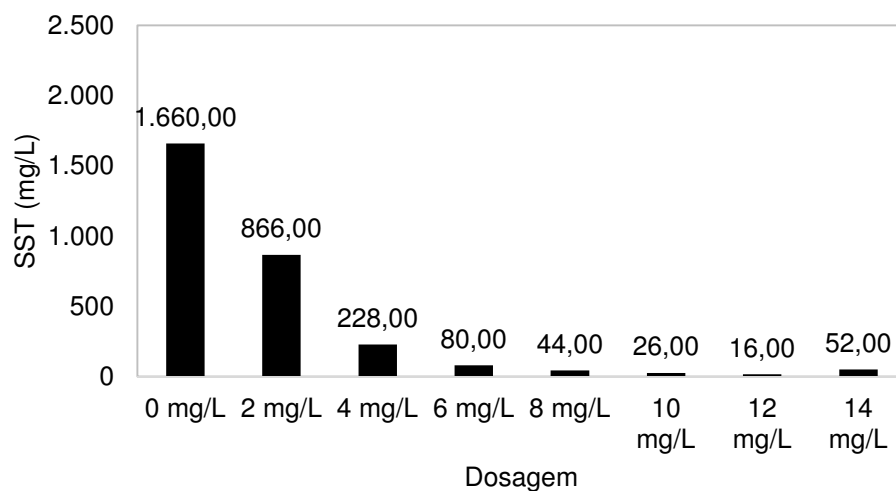
Figura 68 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero F



Fonte: autor

- Polímero G

Figura 69 – Resultado de SST do volume filtrado por dosagem do Polímero G



Fonte: autor

Os dados obtidos mostram que o polímero A apresentou valores de SST mais elevados nas dosagens 2, 4 e 6 mg.L⁻¹. Já a dosagem de 10 mg.L⁻¹ apresentou o menor valor, cerca de 98 mg.L⁻¹, sendo esta dosagem a mais eficiente neste polímero. Tais resultados podem ser observados na Figura 63.

O polímero B apresentou valores de SST menores que o polímero anterior (Figura 64), evidenciando sua maior eficiência na retenção de sólidos durante a filtração. Os menores valores de SST foram nas dosagens de 2, 4 e 6 mg.L⁻¹, sendo 2 mg/L a que apresentou melhor desempenho, com menor valor de SST (cerca de 28 mg.L⁻¹).

Os resultados observados do polímero C na Figura 65, mostram que, no geral, todas as dosagens se mostraram eficientes na remoção de SST, quando comparadas com a amostra bruta, e que as dosagens de 6, 8 e 14 mg.L⁻¹ obtiveram resultados de SST bem próximos, 24, 22 e 20 mg.L⁻¹, respectivamente.

Em relação ao polímero D, a dosagem que obteve melhor resultado na remoção de sólidos foi a de 8 mg.L⁻¹ (Figura 66).

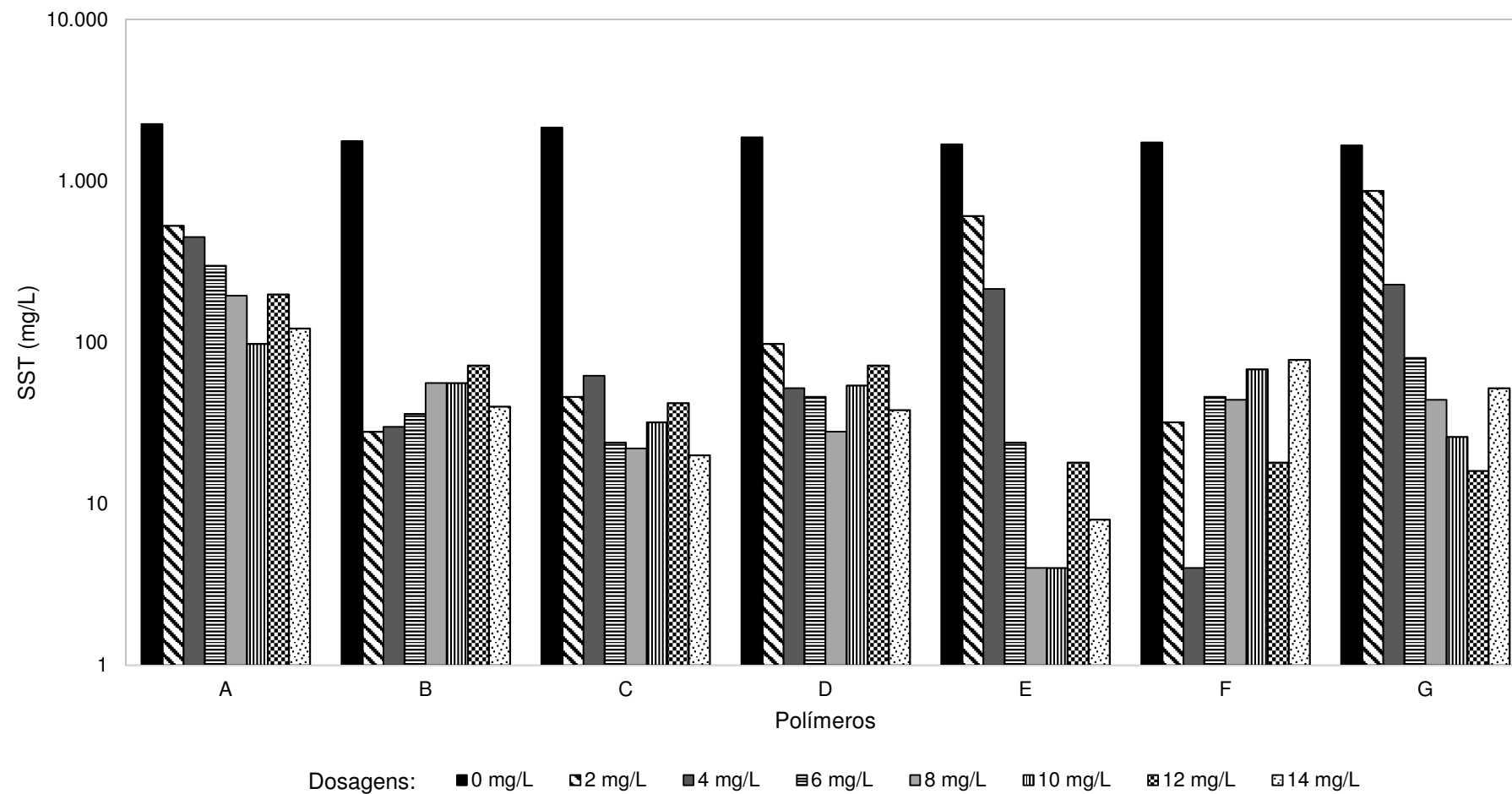
O polímero E apresentou valores de SST relativamente baixos, quando comparados aos valores obtidos nos polímeros analisados anteriormente, em destaque as dosagens 8, 10 e 14 mg.L⁻¹. Já as dosagens 8 e 10 mg.L⁻¹ apresentaram de resultados de concentração de SST idênticos de 4 mg.L⁻¹, sendo este o melhor resultado encontrado para este polímero.

No polímero F a dosagem de 4 mg.L⁻¹ obteve um resultado bem diferente dos demais, com concentração de SST de 4 mg.L⁻¹, sendo esta a dosagem que reduziu o maior teor de sólidos no processo de desaguamento do lodo (ver Figura 68).

Como se pode observar na Figura 69, a dosagem de 12 mg.L⁻¹ foi a que teve maior eficiência na remoção de sólidos, com 16 mg.L⁻¹, sendo esta a melhor dosagem para o polímero G.

A Figura 70 apresenta o resumo do teor de SST dos volumes filtrados dos sete polímeros, e suas respectivas dosagens, como objetivo de facilitar a comparação dos resultados.

Figura 70 - Gráfico comparativo com teor de SST obtidos nos volumes filtrados com a utilização dos polímeros



Fonte: autor

Ao analisar a Figura 70, pode-se observar que todos os polímeros obtiveram bons resultados no processo de retenção de sólidos, evidenciando a influência dos mesmos no tratamento.

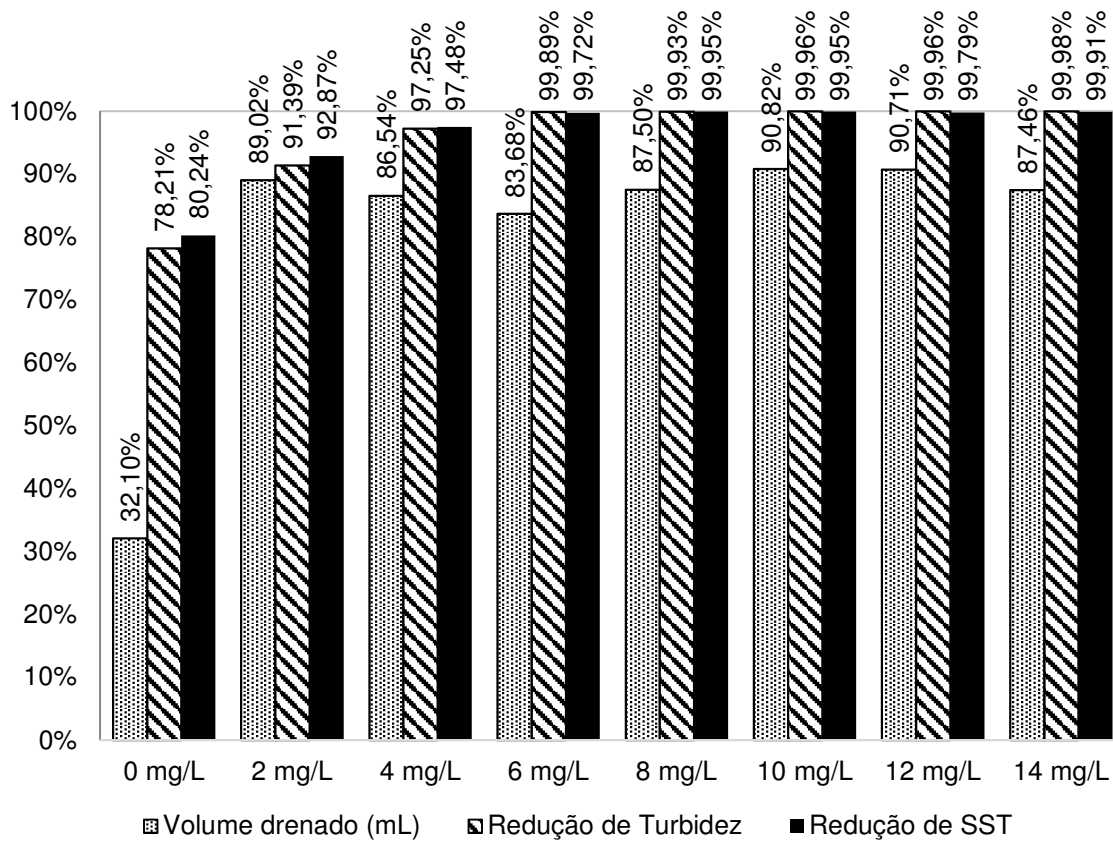
O polímero E foi o que mostrou maior eficiência na redução do teor de SST após a filtração da amostra bruta no filtro com tecido geotêxtil. Dentre os resultados obtidos, destacam-se as dosagens de 8, 10 e 14 mg.L⁻¹ com concentração de SST na grandeza de 4; 4 e 8 mg.L⁻¹; 3,78 e 3,81 uT, respectivamente.

5.4 RESUMO DOS RESULTADOS

Em uma avaliação geral de todos os parâmetros, é notória a influência positiva que os polímeros exercem na aceleração do processo de desaguamento do lodo gerado na ETA. Evidenciando uma grande redução no potencial poluidor que esse tipo de resíduo venha a causar quando lançado em mananciais sem prévio tratamento.

Analisando os parâmetros de volume filtrado, turbidez e teor de SST, o polímero que obteve os melhores desempenhos foi o polímero E, resultando nos melhores valores em eficiência de filtração, baixo valor de turbidez e grande potencial de remoção de SST. Na Figura 71 é possível verificar a eficiência que o polímero obteve no desaguamento do lodo analisado.

Figura 71 – Gráfico de eficiência do volume filtrado, da redução de turbidez e redução do teor de SST do Polímero E



Fonte: autor

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Através do estudo realizado neste trabalho conclui-se que:

✓ A utilização de sistemas de tratamento dos resíduos gerados em ETAs é de fundamental importância, sendo ela uma alternativa na minimização dos impactos ambientais causados pelo descarte do lodo diretamente no corpo hídrico.

✓ A utilização do geotêxtil para o desaguamento de resíduos mostrou grande eficiência para o tratamento do lodo gerado na ETA 006 de Palmas – TO, em que reteve grande parte dos sólidos existentes em sua camada filtrante. Esse processo facilita o transporte do lodo desaguado para destinações finais adequadas e a recirculação da água clarificada para o início do sistema da ETA.

✓ A utilização de polímeros no processo de tratamento dos resíduos é de essencial, pois promovem uma floculação mais eficiente otimizando o desaguamento do lodo fazendo com que os sólidos fiquem retidos com mais facilidade nos filtros.

✓ O polímero que apresentou maior eficiência foi o polímero catiônico FLONEX 4125 SH, denominado na pesquisa como polímero E. Este polímero apresentou maior rendimento do volume drenado, maior redução na turbidez e do teor de SST dentre os outros polímeros. E a amostra que apresentou maior rendimento de volume drenado foi a de 10 mg.L⁻¹. L com valor de 90,81%. Para turbidez a amostra mais eficiente foi a de 14 mg/L, apresentando valor de 1,9 uT. Para SST a amostra mais eficiente foram as de 8 e 10 mg/L, ambas com teor de 4,0 mg/L.

Recomenda-se que sempre sejam feitos testes em laboratório com o intuito de escolha do polímero e a dosagem que mais se adequa ao tratamento, uma vez que as características da água bruta influenciam diretamente no desempenho dos polímeros.

Recomenda-se que sejam feitas análises físico-financeira quanto ao sistema de tratamento, obtendo assim as dimensões adequadas para o volume previsto de resíduo da ETA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C. L. **Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. 2008. 235 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água**. 2008. Artigo Técnico - Engenharia Sanitária e Ambiental vol.13 no.1 Rio de Janeiro Jan./Mar. 2008.

ALLONDA AMBIENTAL. **Fornecimento geotêxtil utilizados na pesquisa**. São Paulo, 2015

APHA / AWWA / WEF **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21. Ed Washington, DC: APHA / AWWA / WCF, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553**: Geossintéticos: Terminologia. Rio de Janeiro, 2002.

BARBOSA, R. M. A toxicidade de despejos de estações de tratamento de água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., Porto Alegre,. **Anais...** Porto Alegre: 2000.

BRASIL. Portaria Nº 2.914, DE 12 de dezembro de 2011. **Ministério da Saúde**: procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRASIL. Resolução Nº 2.914, DE 17 de março de 2005. **Concelho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**: classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005, Diário oficial da união nº 053, p. 58-63.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água**. 1993. 342 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1993.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com Cloreto de Polialumínio composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas - Estudo de caso na ETA do município de Mirassol-SP**. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed., Vol 2. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D.; VOLTAN, P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDiBe, 2012.

DI BERNARDO, L. D.; DI BERNARDO, A. D.; VOLTAN, P.E.N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2011.

FERNANDES, A. N. **Balanço de massa e produção de lodo da Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista - SABESP**. 2002. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

FERREIRA, S.S; SOBRINHO P. A. **Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de água**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros – estudo de caso – ETA Cardoso**. 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

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**. 2009. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FREITAS, J. G.; BRINK, N. C. P.; FILHO, S. S. F. **Análise do comportamento da etapa de condicionamento e desidratação de lodos de ETAs e ETEs mediante a execução de ensaios de resistência específica e tempo de filtração**. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Campo Grande. Anais, 2005.

GAFFNEY, D. A., et al. ***Dewatering contaminated, fine-grained material using geotextiles***. Brasil: SI Geosolutions, 1999.

GUANAES, E. A. **Análise laboratorial do desaguamento do lodo residual de estação de tratamento de água por meio de geossintéticos**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Guanaes, E. A. **Análise laboratorial do desaguamento do lodo residual de estação de tratamento de água por meio de geossintéticos**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

Haak, W. **Condicionamento químico de lodo de estação de tratamento de água com monitoramento através de potencial**. 2011. 235 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. 219p.

JACOMASSI, F. E. **Estudo das micropropriedades de resíduos sólidos gerados nos decantadores de Estações de Tratamento de Água**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

JANUÁRIO, G. F. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**. 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2005.

LESHCHINSKY, D. Issues in geosynthetic-reinforced soil. In: INT. SYMP. ON EARTH REINFORCED PRACTICE. **Anais...** Kyushu, Japan. Balkerna, Rotterdam, 1992. p. 871- 897.

MARINHO, I, A, R, S. **Estimativa da massa seca de lodo e caracterização dos resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água (ETA 001) da cidade de Paraíso do Tocantins – TO/ Igor Agripino Rodrigues Santana Marinho**. 2012. 63 f. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso) – Universidade Federal do Tocantins, 2012.

MOO-YOUNG, H. K.; GAFFNEY, D. A.; MO, X. Geotextiles and Geomembranes. **Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes.**, v. 20, p. 289-303, 2002.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Cerâmica, **Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha**. vol.50, nº.316, p.324-330, 2004.

PEREIRA, S. L. de M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2011.

PIEPER, K. M. C. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. 2008. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de engenharia, Porto Alegre, 2008.

PORRAS, A. C. **Uso de lodo de estação de tratamento de água e agregado reciclado miúdo na fabricação de elementos de alvenaria**. Tese (Engenharia Civil). UNICAMP. Campinas, 2007.

SENGUPTA, A. K., SHI, B. Lancaster. **Selective alum recovery from clarifier sludge**. **Journal. American Water Works Association**. v.64, n.10, p.96-103, Oct 1972.

SNF BRASIL FLOERGER. **Fornecimento dos polímeros utilizados na pesquisa**. São Paulo, 2015.

SOUZA, M. B. **Estudo do lodo gerado na estação de tratamento de água de Buíque – PE : caracterização, quantificação e identificação de oportunidades de minimização dos resíduos**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade

Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Química, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, São Cristóvão, 2009.

SUNDEFELD JÚNIOR, G. C. Efeitos do recebimento do lodo da estação de tratamento de água pelo sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado em bateladas e aeração prolongada do Município de Jujutiba – SP. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2007.

TSUTUYA, M. T., HIRATA, A. Y. Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo. In: 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

URASHIMA, D. C. **Dimensionamento de Filtros Têxteis por teoria Probabilística.** 1996. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 1996.

VIDAL, D. **Aplicações Especiais de Geossintéticos.** In: 40 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOSINTÉTICOS. Porto Alegre, 2003.

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso.** 1996. 419 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.