



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
ISABELA DE SOUZA INOCENTE

**QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DO SUL CATARINENSE**

Tubarão
2018



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
ISABELA DE SOUZA INOCENTE

**QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DO SUL CATARINENSE**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. MSc. Alessandro de Oliveira Limas (Orientador)

Tubarão

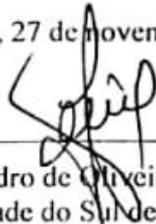
2018

ISABELA DE SOUZA INOCENTE

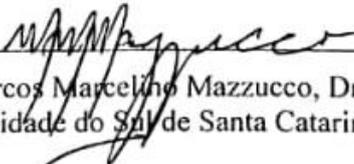
**QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) DO SUL CATARINENSE**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

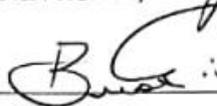
Tubarão, 27 de novembro de 2018.



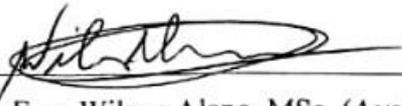
Professor Eng. Alessandro de Oliveira Limas, MSc. (Orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Eng. Marcos Marcelino Mazzucco, Dr. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Eng. Diogo Quirino Buss, MSc. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Eng. Wilson Alano, MSc. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais André e Anelise, pelo apoio e suporte, e pela presença em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou e deu forças para a realização deste trabalho, e por aqueles que colocou em meu caminho durante essa caminhada.

Aos meus amigos, os quais mantemos uma longa amizade, pelo apoio e compreensão. Em especial as minhas amigas, Ana Cláudia, Clarissa, Cecília, Fabíola e Yanka.

Ao meu namorado Bruno, por todos esses anos de carinho e suporte.

A Universidade do Sul de Santa Catarina, e seu corpo docente, responsáveis por ensinar tudo que me foi aprendido.

Aos meus colegas de faculdade, os quais percorremos essa caminhada juntos, enfrentamos dificuldades, e superamos muitas barreiras.

A empresa concedente ao estágio pelo auxílio e suporte de seus funcionários e colaboradores.

Ao CENTEC, pela atenção e realização das análises.

A minha família, especialmente minha mãe Anelise, meu pai André e meu irmão Vinicius, por estarem ao meu lado sempre, pelo apoio incondicional e suporte em todos esses anos de faculdade.

A todos que contribuíram ao longo do caminho, deixo meus sinceros agradecimentos.

“A persistência é o caminho do êxito.” (Charles Chaplin).

RESUMO

As estações de tratamento de água realizam a transformação da água bruta, em água potável, seguindo os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Esse processo de tratamento gera um resíduo que chamamos de lodo de ETA, composto pelos sólidos retirados da água bruta, juntamente com os agentes coagulantes empregados no processo. Esse resíduo é geralmente lançado em cursos d'água sem nenhum tratamento, podendo acarretar danos ao meio ambiente. Por isso, é importante realizar um estudo, para definir um sistema de tratamento apropriado e uma destinação correta desse resíduo. A quantificação desse lodo pode ser realizada por diversos métodos: equações empíricas, balanço de massa e medição física. Foram aplicados nesta pesquisa métodos teóricos, sendo quatro equações empíricas, e balanço de massa. Os cálculos teóricos utilizam de dados de turbidez e sólidos suspensos para a obtenção do resultado. Como a análise de sólidos suspensos não é comumente realizada na ETA, em estudo, fez-se necessário realizar uma correlação entre sólidos suspensos e turbidez, a fim de obter uma equação que representasse essa relação. O coeficiente de determinação entre esses dados apresentou um valor de 0,8014 demonstrando confiabilidade dos dados. Os métodos que apresentaram um resultado mais semelhantes são o de Cornwell e o de balanço de massa. Destaca-se a importância da continuação do estudo para comprovação dos resultados e para a realização de um projeto de tratamento e destinação para lodo.

Palavras-chave: Quantificação de lodo de ETA; Balanço de massa; Equações empíricas.

ABSTRACT

Water treatment plants carry out the transformation of raw water into drinking water, following the standards established by the Ministry of Health. This treatment process generates a residue that's called WTP sludge, composed by the solids extracted from the raw water, and the coagulating agents employed in the process. This residue is usually released into water courses without any treatment and may cause damage to the environment. Therefore, it is important to carry out a study, to define an appropriate treatment system and a correct destination of this residue. The quantification of this sludge can be accomplished by several methods: empirical equations, mass balance and physical measurement. Theoretical methods were applied in this research, being four empirical equations, and mass balance. Theoretical calculations use turbidity and suspended solids data to obtain the result. As the analysis of suspended solids is not commonly performed in WTP, it was necessary to perform a correlation between suspended solids and turbidity in order to obtain an equation that represented this relation. The coefficient of determination among these data presented a value of 0.8014 demonstrating reliability of the data. The most similar methods were Cornwell and mass balance. It is important to continue the study to prove the results and to carry out a treatment and disposal project for sludge.

Keywords: Quantification of WTP sludge; Mass balance; Empirical equations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.....	18
Figura 2 - Fluxograma de uma Estação de Tratamento de Água Tradicional.....	19
Figura 3 - Esquema da recepção dos resíduos gerados em ETAs convencionais de ciclo completo.	24
Figura 4 - Balanço de massa dos sólidos gerados em ETAs tradicionais.	33
Figura 5 - Equipamentos para determinar a topografia da camada de lodo depositada em decantadores.	36
Figura 6 - Correlação entre turbidez e sólidos suspensos realizada por Teixeira.....	37
Figura 7 - Correlação entre turbidez e sólidos suspensos realizada por Chagas.	38
Figura 8 - Vista Superior da ETA.....	40
Figura 9 - Lodo acumulado nos (a) filtros e (b) flocladores após esvaziamento completo para limpeza.	42
Figura 10 - Amostra de água coagulada coletada.....	45
Figura 11 - Espectrofotômetro UV-VIS Spectroquant Pharo 300.....	46
Figura 12 - Volume de controle utilizado para o balanço de massa.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de Água Captada no ano de 2018	43
Gráfico 2 – Valores de turbidez média por mês da água bruta, decantada, filtrada e tratada. .	43
Gráfico 3 - Dosagem Média Mensal de Sulfato de Alumínio no ano de 2018.....	44
Gráfico 4 - Correlação sólidos suspensos e turbidez (todos os dados).....	49
Gráfico 7 - Produção de lodo pelos métodos de Cornwell e Balanço de Massa.	51
Gráfico 8 - Estimativa produção mensal de lodo por diferentes métodos.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de turbidez estabelecidos pela PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX para água pós-filtração ou pré-desinfecção.	29
Tabela 2 - Produção teórica de sólidos.	34
Tabela 3 - Material Filtrante.	41
Tabela 4 - Cronograma de coleta.	45
Tabela 5 – Estimativa produção mensal de lodo por diferentes métodos.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVO	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	17
2.1.1	Coagulação.....	19
2.1.2	Floculação	20
2.1.3	Decantação	20
2.1.4	Filtração	21
2.1.5	Caixa de Contato	21
2.2	RESÍDUOS GERADOS NA ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	21
2.2.1	Características gerais.....	22
2.2.2	Alternativas de tratamento.....	23
2.2.3	Condicionamento do lodo	24
2.2.4	Adensamento do lodo	25
2.2.5	Desaguamento do lodo	25
2.2.6	Destinação final do lodo de ETA.....	26
2.2.7	Legislação Ambiental.....	26
2.3	ENSAIOS DE ÁGUA.....	28
2.3.1	Turbidez	28
2.4	MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO GERADO	29
2.4.1	Equações empíricas	30
2.4.1.1	American Water Work Association – AWWA (1978).....	31
2.4.1.2	Water Research Association (1996)	31
2.4.1.3	Kawamura Apud Reali (1999).....	31
2.4.1.4	Cornwell (1987).....	32
2.4.1.5	CETESB	32
2.4.1.6	Carlos A. Richter	32
2.4.2	Balanco de massa.....	32

2.4.3 Método de cálculo in loco (Medição física)	35
2.5 RELAÇÃO ENTRE SÓLIDOS SUSPENSOS E TURBIDEZ	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 A PESQUISA CIENTÍFICA	39
3.2 TIPO DE ESTUDO REALIZADO.....	39
3.3 A EMPRESA	39
3.3.1 Tratamento da Água	40
3.3.2 Limpeza dos Equipamentos/Despejo do Lodo.....	41
3.4 COLETA DE DADOS.....	42
3.5 QUANTIFICAÇÃO DO LODO.....	44
3.5.1 Correlação entre sólidos suspensos e turbidez	44
3.5.1.1 Amostragem	44
3.5.1.2 Análises	46
3.5.2 Balanço de massa.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 CÁLCULO CORRELAÇÃO SÓLIDOS SUSPENSOS E TURBIDEZ	49
4.2 ESTIMATIVA PRODUÇÃO DE LODO.....	50
4.3 SUGESTÕES	52
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	55
APENDICE	60
APENDICE A – DADOS COLETADOS NA EMPRESA.....	61
APÊNDICE B – CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSA	62

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico pode ser considerado um dos serviços mais importantes realizados para a população. Apesar da demanda populacional ter sido alterada e intensificada ao longo do tempo, as ações que visam a garantia da salubridade são observadas desde civilizações antigas, ações estas de abastecimento de água e disposição de efluentes. (REZENDE, 2002).

A demanda de água vem crescendo cada vez mais, juntamente com o aumento populacional, com o desenvolvimento de cidades e surgimento de novas indústrias. A água encontrada na natureza, na grande maioria das vezes, não é apropriada para o consumo humano, sendo necessário a realização do tratamento para torná-la potável.

As estações de tratamento de água, tem por objetivo tornar uma água bruta em água potável, com padrões de potabilidade definidos através da PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, que consiste em retirar grande parte do material suspenso e realizar a desinfecção da água, eliminando microrganismos.

Esse tratamento da água gera um resíduo: o lodo da ETA, que são resíduos sólidos, que contém geralmente resíduos provenientes da água bruta em conjunto com os agentes coagulantes utilizados.

Embora existam diversos tipos de tratamento de disposição para esse resíduo, um grande número de ETAs ainda realiza o lançamento desse resíduo em mananciais/cursos d'água.

Existem ainda controvérsias sobre a toxicidade do lodo de ETA, pois ele tem composição variável dependendo da qualidade da água bruta e do tratamento empregado. Por este motivo, os órgãos ambientais vêm exigindo das concessionárias de saneamento a implantação de alternativas de disposição desse resíduo. (KATAYAMA, 2012).

Esta situação, além de colocar em risco o meio ambiente, também se torna ilegal, visto que lodos de ETA são classificados como resíduos sólidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004), e seu lançamento *in natura* é regulamentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, disposta pela Lei n°12305 (BRASIL, 2010).

A dificuldade atual, além do custo de implantação, atribui-se a realizar a quantificação da massa e volume dos resíduos produzidos, visto que existem diversos métodos para tal, porém diversas dificuldades. Enquanto métodos mais precisos demandam tempo e tem um custo maior, modelos teóricos apresentam alto índice de imprecisão.

Considerando os fatos apresentados acima, o presente trabalho tem por objetivo dar o primeiro passo na implantação de um sistema de tratamento de lodo, realizando a quantificação teórica através de balanço de massa e equações empíricas, da produção de lodo em uma ETA convencional.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A demanda de água vem crescendo cada vez mais, juntamente com o aumento populacional, com o desenvolvimento de cidades e surgimento de novas indústrias. A água encontrada na natureza, na grande maioria das vezes, não é apropriada para o consumo humano, sendo necessário a realização de um tratamento para torná-la potável.

Nesse tratamento utilizam-se agentes coagulantes para aglomerar partículas sólidas presentes na água. Essas partículas sedimentam e dão origem ao lodo de ETA. Em estações convencionais, esse lodo é descartado no ato da limpeza dos equipamentos, juntamente com a água de lavagem.

Este resíduo é constituído de água, sólidos suspensos, e produtos químicos coagulantes utilizados no tratamento, sendo importante um tratamento e destinação adequada, visto que esse lodo contém concentrações de matéria orgânica, sólidos e produtos químicos que podem ser prejudiciais a organismos aquáticos, e causar diversos outros problemas ao serem lançados em corpos hídricos.

O descarte deste lodo tem ocorrido, muitas vezes, sem nenhum tratamento, porém, de acordo com a definição da ABNT NBR 10004, o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido e semissólido, sendo obrigatório um fim apropriado, previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12305/2010.

Este resíduo tem uma composição variável, visto que esta depende de vários fatores, tais como: origem da água bruta, produtos utilizados para realizar o tratamento, condições climáticas, entre outros.

A caracterização e a quantificação deste lodo são etapas fundamentais para direcioná-lo a um destino correto, visto que existem diversas maneiras de realizar seu tratamento e destinação.

Portanto, surge a questão: **como quantificar a produção de lodo mensal, através de métodos teóricos, em uma ETA localizada em município do sul de Santa Catarina, no ano de 2018?**

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Quantificar, a partir de métodos empíricos (AWWA, KAWAMURA, CORNWELL e CETESB) e pelos cálculos de balanço de massa, o lodo da ETA localizada em município do sul de Santa Catarina.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Descrever os métodos de quantificação do efluente;
- b) Determinar analiticamente a concentração de sólidos suspensos e turbidez da água bruta e coagulada;
- c) Correlacionar a concentração de sólidos suspensos com a turbidez, visando estimar a produção de lodo;
- d) Comparar o desempenho das estimativas de lodo gerado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A água bruta é geralmente captada em mananciais superficiais, estes que cada vez mais tem sua qualidade comprometida, devido à poluição e contaminação em decorrência das atividades humanas. Portanto, a água bruta necessita passar por um tratamento para tornar-se potável, visto que esta pode ser prejudicial à saúde humana se não tratada, podendo conter microrganismos e outras substâncias nocivas.

A poluição do meio aquático pode causar alterações nas características físicas (turbidez, cor, número e tamanho de partículas, temperatura, condutividade, viscosidade, tensão superficial, etc), químicas (DQO, DBO, pH, toxicidade, etc) ou biológicas (espécies de fitoplâncton e do zooplâncton. (DI BERNARDO, 2002, p. 32).

As águas tratadas são padronizadas e devem seguir os parâmetros especificados conforme a PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX do Ministério da Saúde. (BRASIL, 2017). Essa portaria “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”.

As estações de tratamento de água têm a função de realizar este tratamento de maneira adequada, de acordo com a qualidade de sua água bruta, e torna-la potável.

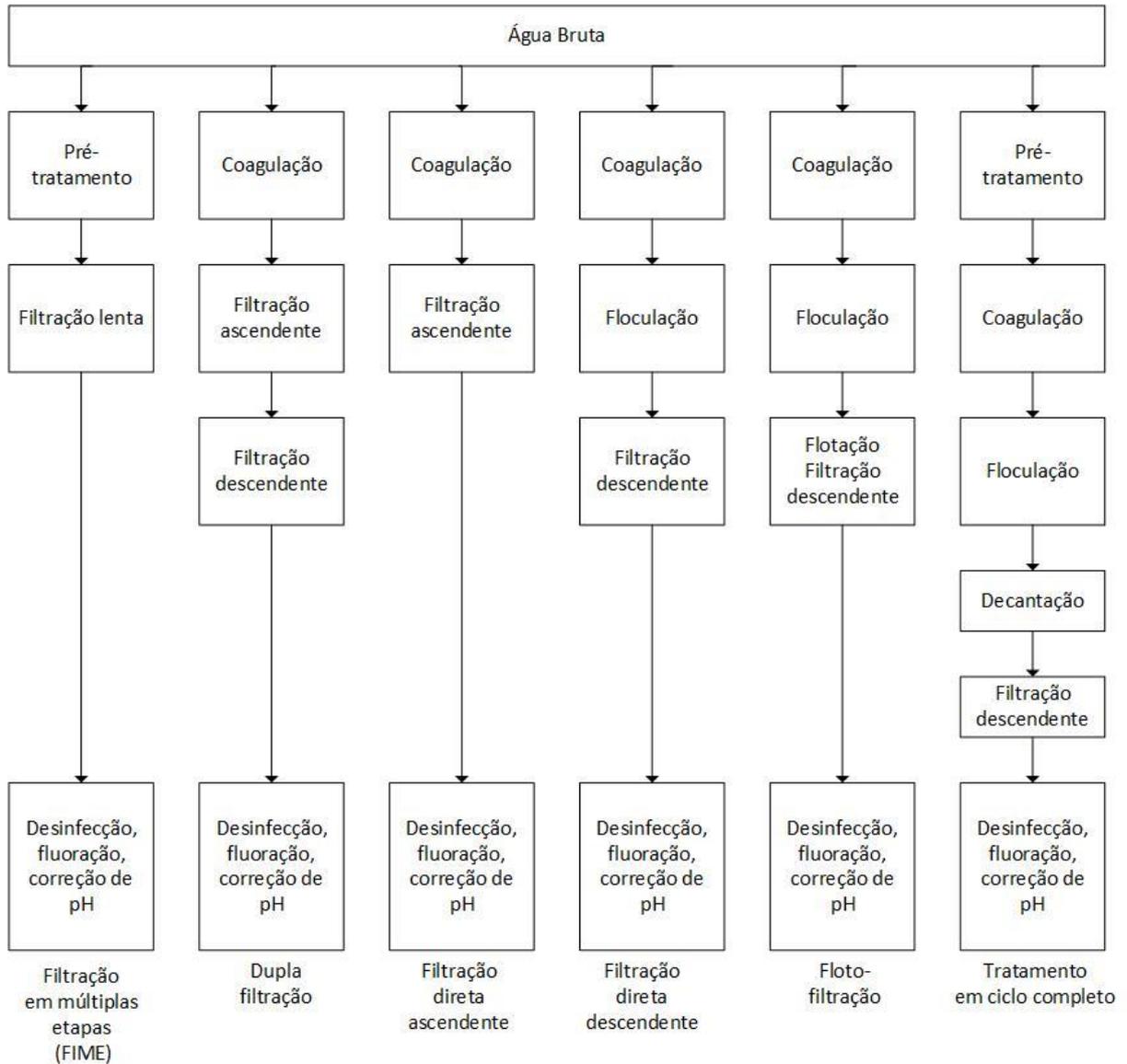
A operação de Estações de Tratamento de Água (ETAs) depende de vários fatores inerentes a seu projeto e da existência de pessoal devidamente qualificado para que seja conseguida a produção contínua de água potável. Como a qualidade da água e a vazão de água tratada variam durante o ano e o dia, respectivamente, a otimização do processo de tratamento é conseguida somente com execução de ensaios em instalações piloto ou equipamentos de bancada que reproduzam as condições observadas nas unidades que compõem a ETA. (DI BERNARDO, 2002, p.1).

Afirma Olinger (2002, p. 4), que “todo esse tratamento é executado nas estações de tratamento de água que variam de tipo, forma e tamanho conforme a qualidade do manancial e da população a ser atendida.”

Os métodos de tratamento de água podem ser divididos em dois grupos: os que utilizam a coagulação química e os que não utilizam coagulação química. A água quimicamente coagulada pode seguir diversos caminhos até sua chegada ao filtro, todavia a qualidade da água bruta deve ser um fator decisivo na escolha do tipo de tratamento. (PIEPER, 2008). Abaixo

estão representadas as principais alternativas de tratamento de água, de acordo com Di Bernardo.

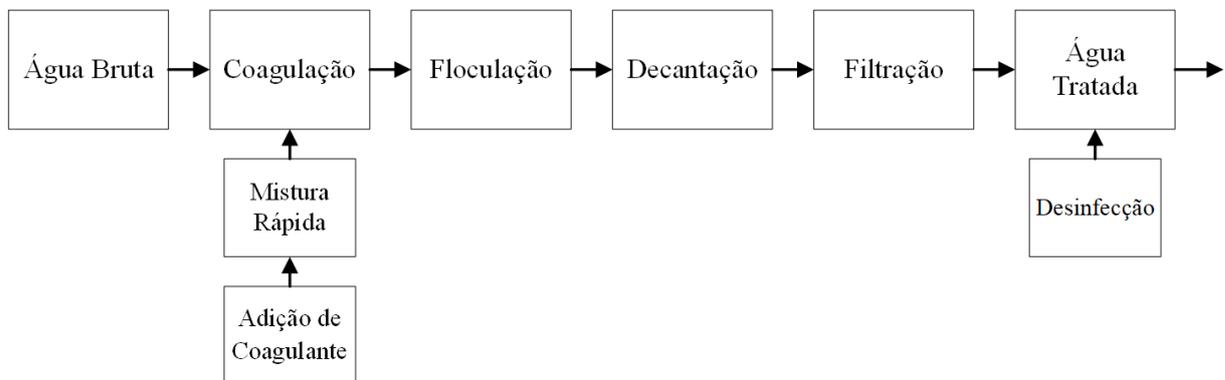
Figura 1 - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.



Fonte: adaptado de Di Bernardo, 2005.

O tipo mais comum de tratamento é o sistema tradicional, ou de ciclo completo, que consiste em aplicar produtos químicos tais como sais de ferro ou alumínio, como agentes coagulantes para aglomerar partículas sólidas presentes na água, formando flocos que decantam e são removidos. As etapas que compõe este sistema são coagulação, floculação, decantação e filtração.

Figura 2 - Fluxograma de uma Estação de Tratamento de Água Tradicional



Fonte: adaptado de Olinger, 2002, p. 4.

2.1.1 Coagulação

A coagulação acontece na unidade de mistura rápida. Nesta primeira etapa, onde é iniciado o tratamento da água, é adicionado o agente coagulante, que terá a função de aglomerar as partículas sólidas presentes na água, formando flocos.

Coagulação é a adição de um agente químico e uma dispersão coloidal que resulta na desestabilização das partículas através da redução das forças que as mantêm separadas. Os mecanismos de coagulação da água são muito complexos e envolvem propriedades de superfície, potenciais elétricos, interações solvente-soluto, solvente-partículas, produtos de solubilidade, condições de mistura e de pH, entre outros. (FERRANTI, 2005).

É considerado por Di Bernardo (2002, p. 83) que “a coagulação como o resultado da ação de três mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, adsorção e formação de pontes.”

A eficiência da coagulação e, portanto, das fases subsequentes do tratamento, está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados, cuja composição depende das condições da água no momento e no ponto em que entram em contato. Essa reação de hidrólise é muito rápida e, para haver a desestabilização dos coloides, é indispensável a dispersão de algumas gramas de coagulante sobre toda a massa em um tempo muito curto, o que implica na necessidade de aplica-lo em uma região de grande turbulência. (RICHTER, 1991, p. 53).

Os dispositivos de mistura rápida podem ser hidráulicos (como vertedor Parshall ou retangular) ou mecanizada, tendo como objetivo alterar as propriedades do material em suspensão para promover sua remoção. (SILVEIRA, 2012).

2.1.2 Floculação

Esta etapa, consiste na agitação lenta em tanques, visando o encontro entre partículas pequenas, para formar agregados ou flocos, que irão favorecer as operações seguintes de decantação e filtração. “Com o aumento do tamanho dos flocos, as forças de cisalhamento podem causar sua ruptura. A agregação e a ruptura ocorrem simultaneamente, conduzindo a uma única condição de distribuição de tamanho dos flocos.” (DI BERNARDO, 1993).

A eficiência da unidade de floculação depende do desempenho da unidade de mistura rápida, a qual é influenciada por fatores como tipo de coagulante, pH de coagulação, temperatura da água, concentração e idade da solução coagulante, tempo e gradiente de velocidade de mistura rápida, tipo e geometria do equipamento de floculação e qualidade da água bruta. (DI BERNARDO, 2002, p. 91.)

O bom funcionamento desta etapa influenciará na eficiência de toda estação de tratamento, sendo de extrema importância que a floculação ocorra de maneira correta e eficiente.

2.1.3 Decantação

A decantação é a etapa do processo onde ocorrerá a sedimentação dos flocos formados pela etapa anterior de floculação, ou seja, remoção das partículas em suspensão.

A sedimentação é o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade. (id ibid., p.100).

A água proveniente dos floculadores, é disposta nos decantadores, onde ocorre a separação das fases líquida e sólida e a clarificação do meio líquido.

A partir de ensaios de “Jar Test” é possível calcular o tempo de detenção necessário para uma decantação ótima, assim possibilitando o projeto dos decantadores. O volume do decantador vai ser o produto da vazão estabelecida com o período de detenção. (OLINGER, 2002).

2.1.4 Filtração

A filtração baseia-se na retirada de partículas suspensas, coloidais e de microrganismos contidos na água, que escoam através de um meio granular. (DI BERNARDO, 2002).

A filtração é um método de afinação da qualidade da água, usada para eliminar a matéria suspensa que não foi removida nas fases anteriores. Em certos casos, pode-se utilizar a filtração para remoção primária, filtrando diretamente a água bruta. Além da remoção dos sólidos suspensos, a filtração permite a redução da quantidade de microrganismos, e em alguns casos a remoção de cheiro, sabor e cor. (ALVES, 2010).

2.1.5 Caixa de Contato

Na caixa de contato é onde acontece a desinfecção e fluoretação da água filtrada. A desinfecção é o processo onde geralmente adiciona-se cloro, sendo gasoso ou líquido na forma de hipoclorito de sódio, com o objetivo de eliminar microrganismos patogênicos e bactérias.

Já a fluoretação é realizada com a adição de compostos de flúor às águas, com a finalidade de alcançar o teor adequado de íon fluoreto, que proporciona aos dentes “um esmalte mais resistente e de qualidade superior, reduzindo na proporção de cerca de 70% a incidência de cárie dentária.” (RAMIREZ, 2015).

2.2 RESÍDUOS GERADOS NA ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Afirma Gevarsoni (2014, p. 31) que “os projetos de abastecimento de água trazem benefícios à população, porém, durante muito tempo foram desconsiderados eventuais impactos negativos sobre o ambiente.”

O rejeito gerado nas ETAs, provém dos floculadores, decantadores e da água de lavagem dos filtros, também dos resíduos de limpeza dos tanques de preparo de produtos químicos.

“O lodo é produzido principalmente nos processos de lavagem dos filtros e tanques de decantação, sendo que neste último, tem-se o maior volume e concentração de sólidos.” (LOPES; SERRA, 2016).

O lodo é composto pelos sólidos contidos na água bruta, agente coagulante, alcalinizantes e polímeros, utilizados na estação de tratamento de água, e é geralmente classificado como resíduo sólido – Classe II A – não inerte, segundo a NBR 10.004. (ABNT, 2004). De acordo com Gevarsoni (2014, p.31), “a crescente preocupação e regulamentação para preservar e recuperar a qualidade do meio ambiente têm imposto a busca de alternativas de tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos das ETAs.”

Afirma Katayama (2012), que no Brasil, geralmente o lodo é disposto em rios (o que não é indicado pois pode causar impacto ao meio ambiente, piora na qualidade da água, etc.), em aterros sanitários (possuindo um custo elevado), ou o tratamento em conjunto com o esgoto doméstico.

É de extrema importância realizar a caracterização dos resíduos gerados nas ETAs, de acordo com sua natureza física, química e microbiológica, para assim avaliar seus possíveis impactos ambientais e definir os métodos e equipamentos adequados para seu tratamento e disposição final. (OLINGER, 2002).

Existe um conjunto de possibilidades para deposição do efluente sólido. Hoppen et al., (2005, p.86) nos diz que “dentre as opções disponíveis para a disposição do material, destacam-se: lançamento em cursos d’água, aplicação no solo, disposição em aterro sanitário, incineração, fabricação de cimento e tijolos, e reciclagem em matriz de concreto.”

Porém, devido a motivos técnicos e ambientais, deve-se evitar o lançamento dos resíduos líquidos formados nas ETAs diretamente nos cursos d’água, já que seu lançamento pode acarretar na diminuição do oxigênio dissolvido, aumento de turbidez e concentração de metais na fauna e flora. (id ibid.).

2.2.1 Características gerais

As características do lodo de ETA variam de acordo com a qualidade da água bruta, com o tipo de tratamento empregado e com os produtos químicos utilizados neste tratamento. Então, é possível afirmar que a composição desse resíduo não é uniforme e igual em todas as estações de tratamento, tendo uma composição variável que depende de diversos fatores.

Este resíduo é constituído, basicamente, de resíduos sólidos de natureza orgânica e inorgânica provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro e manganês. (GEVARSONI, apud GRANDIN et al., 1993).

Além dos resíduos provenientes da água bruta, os agentes coagulantes utilizados também formarão o lodo da ETA, sendo mais comumente utilizado hidróxidos de alumínio e ferro, ou também em alguns casos polímeros condicionantes.

2.2.2 Alternativas de tratamento

Afirma Ribeiro (2007), que o lodo da ETA geralmente tem sua disposição final em aterros sanitários, sendo necessário que a desidratação deste atinja um teor de sólidos de no mínimo 20%. Para atingir esse teor de sólidos, faz-se necessário a utilização de métodos de desaguamento/desidratação do resíduo.

O tratamento dos resíduos de ETAs constitui-se principalmente em uma separação de fases sólido-líquido, elevando a concentração dos sólidos presentes no material sedimentado, possibilitando a reutilização ou descarte adequado do drenado, e permitindo a disposição adequada do material sólido. (SILVEIRA, 2012, p.20).

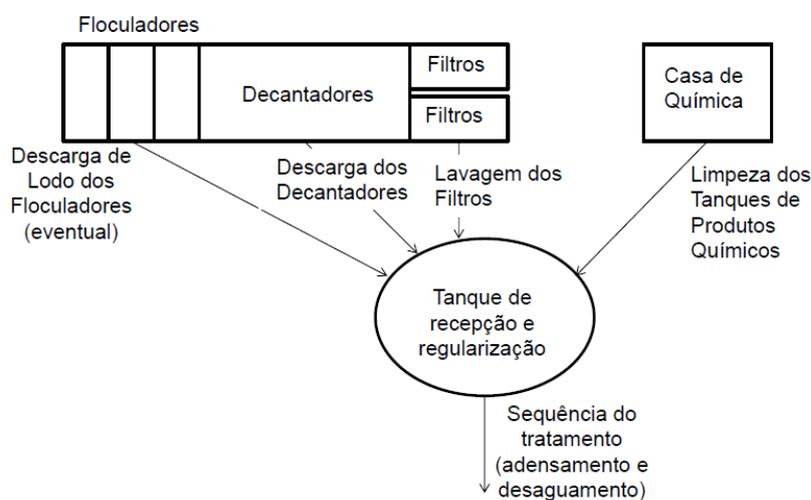
Richter (2001) afirma que para realizar um projeto de um sistema de desaguamento de lodo de ETAs, deve-se conhecer a estimativa da quantidade de lodo produzida, métodos para minimizar a quantidade de lodo produzida e métodos de desidratação.

É considerado por Andreoli et al., (2013a) que os métodos mais comuns empregados para o tratamento do lodo consistem em: equalização, regularização, condicionamento, adensamento, desaguamento, e em alguns casos, secagem e incineração.

De acordo com Gervasoni (2014, p. 32) “o intuito dessas técnicas é reduzir o teor de umidade, e conseqüentemente o volume de resíduo, em função das opções de aproveitamento e de disposição do mesmo” (Apud ANDREOLI et al., 2013b).

A figura a seguir demonstra um esquema de recepção de resíduos gerados nas ETAs, para em seqüência este ser encaminhado para o processo adequado.

Figura 3 - Esquema da recepção dos resíduos gerados em ETAs convencionais de ciclo completo.



Fonte: Gervasoni, 2014 apud SANEPAR, 2011.

Para definir o tipo de processo a ser utilizado para realizar este tratamento, é necessário considerar vários fatores. De acordo com Achon (2008, p. 55), deve-se considerar a área necessária para implantação e seu custo, condições climáticas, custo dos equipamentos, operação, necessidade de condicionamento, entre outros.

2.2.3 Condicionamento do lodo

O condicionamento é um processo utilizado para favorecer a separação das fases líquidas e sólidas presente no lodo. (GEVARSONI, 2014).

De acordo com Olinger (2002, p. 32), “o condicionamento dos resíduos de ETA tem como objetivo acelerar os processos de separação de suas fases líquida e sólida, proporcionando, desta forma, maior taxa de escoamento superficial.” Este processo resultará consequentemente em unidades de desaguamento de menor porte, além de melhorar a qualidade da fase líquida desse resíduo.

Este condicionamento pode ser realizado através de meios químicos ou físicos. O condicionamento químico é o mais utilizado, com a aplicação de condicionantes tais como polímeros naturais ou sintéticos ou sais metálicos de alumínio ou ferro. (id *ibid.*).

Geralmente o condicionamento é dispensável em caso de métodos naturais de desaguamento, como leitos de secagem e lagoa de lodo. (GONÇALVES et al., 2001).

2.2.4 Adensamento do lodo

O adensamento é uma operação unitária que induz a precipitação dos sólidos, separando grande parte dos sólidos da fase líquida, deixando-os com pequenas parcelas de água presentes. Faz-se necessário esta etapa, já que os lodos estão geralmente diluídos em água. (RAMIREZ, 2015).

Afirma Lopes e Serra (2016, p. 127) que “o adensamento é uma etapa anterior ao processo de desidratação e essencial para o sucesso da mesma.”

Com o intuito de reduzir as dimensões das unidades de desaguamento, e consequentemente ter menores gastos, utiliza-se o adensamento para concentrar ainda mais os lodos obtidos nos processos de decantação ou flotação. (OLINGER, 2002).

“O lodo adensado deve apresentar um teor de sólidos igual ou maior do que 2,0%, os equipamentos de desidratação existentes no mercado exigem este valor mínimo para que o funcionamento ocorra de forma adequada e econômica.” (LOPES E SERRA, 2016).

2.2.5 Desaguamento do lodo

A remoção de água do lodo de ETAs pode ser feito com o uso de sistemas naturais ou mecânicos. Os equipamentos mecânicos são mais eficientes e não dependem do clima para realizar seu funcionamento, porém possuem um custo de aquisição mais elevado, consomem energia elétrica para seu funcionamento e necessitam da aplicação de produtos químicos, sendo os mais utilizados as centrífugas e prensas desaguadoras. Já os sistemas naturais não utilizam produtos químicos e energia elétrica, mas requerem grandes áreas de instalação e depende das condições climáticas. Pode-se citar as lagoas de lodo e leitos de secagem/drenagem como sistemas naturais de desaguamento. (SILVEIRA, 2012).

Para realizar a destinação do lodo para alguma empresa que o aceite como matéria prima é essencial que seja promovida sua desidratação, reduzindo seu volume, visto que este resíduo possui uma enorme quantidade de água (cerca de 97%). (FERRANTI, 2005).

Afirma Silveira (2012) que o Brasil tem condições favoráveis quanto a implantação de sistemas naturais para o tratamento de resíduos de ETAs, principalmente leitos de secagem/drenagem, devido ao espaço e recursos naturais aliados ao baixo custo de implantação.

2.2.6 Destinação final do lodo de ETA

Um grande desafio para as empresas de saneamento no Brasil é realizar o aproveitamento e disposição final do lodo de ETAs, tendo soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas. (GERVASONI, 2014).

Afirma Januario (2007, p. 118) que “o tipo e a qualidade dos lodos gerados e os custos envolvidos em seu tratamento e encaminhamento influenciam consideravelmente a escolha da alternativa de disposição mais adequada.”

Segundo Sabogal-Paz et al. (2003), os métodos mais comuns para destinação do lodo de ETAs são os aterros, a disposição em ETEs e o lançamento em corpos de água.

Todavia, alguns autores estudaram sobre a destinação deste resíduo para obter um valor agregado. No ramo da construção civil, Teixeira et al. (2006) descreve a utilização do lodo como matéria-prima para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos. Hoppen et al. (2005) realiza um estudo sobre a aplicação do lodo na produção de cimento, e incorporação em matriz de concreto.

Também se encontra estudos da aplicação do lodo no solo, Motta (2011), aplicou o lodo da ETA para avaliar o melhoramento de solos agrícolas, disposição controlada no solo, reaterro e recuperação de áreas degradadas. Bittencourt et al. (2007) realizou a aplicação de lodos de estações de tratamento de água em solo degradado, para avaliar sua fertilidade.

Richter (2001), afirma que outras técnicas possíveis para aplicação são a recuperação de coagulantes, recirculação nas ETAs e remoção de fósforo em lagoas de tratamento de efluente.

2.2.7 Legislação Ambiental

O lodo das ETAs, diante de aspectos legais, deve ser analisado criteriosamente de acordo com as leis vigentes, uma vez que as características desse resíduo são pouco conhecidas. (ANDREOLI, 2001).

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que “dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente”, em seu segundo artigo cita,

Art 2º -A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no

País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]. (BRASIL, 1981).

Afirma Andreoli (2001) que por intermédio da Lei nº 6.938 foi criado o Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e os órgãos estaduais e municipais do meio ambiente.

A Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente”, No capítulo V, na Seção III “Da Poluição e outros Crimes Ambientais”, art. 54 cita,

Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa. (BRASIL, 1998).

No parágrafo 2º, inciso V, se o crime,

Ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos: Pena - reclusão, de um a cinco anos. (BRASIL, 1998).

Considerando as leis descritas, e levando em consideração a legislação vigente, a prática do despejo de água em local inapropriado sem tratamento específico, pode ser ilegal.

No Brasil, a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, “dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.” Seu Art. 1º cita que, “esta Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.”

“O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente.” (BRASIL, 2011).

Portanto, é possível afirmar que o efluente pode ser lançado ao meio ambiente, desde que esteja de acordo com os parâmetros permitidos pelo CONAMA, e para isso ele deve ser estudado para avaliar seu impacto ambiental e se encontra-se de acordo com a legislação vigente.

Ainda, a ABNT NBR 10004, classifica resíduos quanto a seus riscos ao meio ambiente e saúde pública, classificando o lodo proveniente de sistemas de tratamento de água como resíduo sólido e semissólido, tornando inviável o seu lançamento na rede pública de

esgotos ou corpos hídricos, sendo obrigatório um fim apropriado, previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei nº 12305/2010.

2.3 ENSAIOS DE ÁGUA

As águas tratadas são padronizadas e devem seguir os parâmetros especificados conforme a PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX do Ministério da Saúde. (BRASIL, 2017). Essa portaria “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”.

Portanto, devem ser feitas análises periodicamente com o fim de monitoramento da água na estação de tratamento. As análises comumente realizadas em uma ETA são: pH, turbidez, cor e metais.

Para fins de cálculos de quantificação do lodo, faz-se necessário, além de outros dados, a quantidade de sólidos em suspensão, análise que geralmente não são realizadas em uma estação de tratamento de água, já que este não é especificado na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

2.3.1 Turbidez

Afirma Katayama (2012, p.19), que “a turbidez é uma medida do grau de espalhamento que a luz sofre ao passar por um líquido.” Ou seja, o grau de espalhamento da luz na água se dá de acordo com a presença de matéria não dissolvida.

O art. 30 da Portaria de Consolidação nº5/201 PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, trata sobre os padrões de turbidez da água, “Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos.” (BRASIL, 2011).

§ 1º Entre os 5% (cinco por cento) dos valores permitidos de turbidez superiores ao VMP estabelecido no Anexo II a esta Portaria, para água subterrânea com desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 uT em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

§ 2º O valor máximo permitido de 0,5 uT para água filtrada por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), assim como o valor máximo permitido de

1,0 uT para água filtrada por filtração lenta, estabelecidos no Anexo II desta Portaria, deverão ser atingidos conforme as metas progressivas definidas no Anexo III a esta Portaria.

§ 3º O atendimento do percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso no Anexo II a esta Portaria, deve ser verificado mensalmente com base em amostras, preferencialmente no efluente individual de cada unidade de filtração, no mínimo diariamente para desinfecção ou filtração lenta e no mínimo a cada duas horas para filtração rápida. (BRASIL, 2011).

O anexo II citado na portaria, encontra-se na tabela abaixo,

Tabela 1 - Padrões de turbidez estabelecidos pela PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

Tratamento da água	VMP ¹
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 ⁽³⁾ uT ⁽²⁾ em 95% das amostras

Fonte: BRASIL, 2011.

1- Valor máximo permitido;

2- Unidade de Turbidez;

3- Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30.

2.4 MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO GERADO

A quantidade gerada de lodo em uma determinada estação de tratamento, depende de diversos fatores, incluindo a qualidade da água bruta, e a quantidade de partículas nela presente, conferindo-lhe cor e turbidez, a quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento, o tempo de residência da água nos tanques e sua forma de limpeza, a eficiência de sedimentação, entre outros fatores. (ANDREOLI, 2001).

Alguns autores apontam que, para realizar o dimensionamento de sistemas de tratamento de lodos, deve-se tomar como base os resultados obtidos em testes em estações-piloto ou em escala laboratorial, por pelo menos um ano, com a água bruta a ser tratada pela ETA. (DI BERNARDO, 2005; KAWAMURA, 2000; KATAYAMA, 2015).

Porém, esse tipo de prática requer tempo e possui um custo elevado. De acordo com Katayama et al., (2015, p.559), “muitos projetos são realizados tomando-se como parâmetro estimativas de produção de resíduos obtidas através de fórmulas empíricas, que relacionam a

geração de resíduos à dosagem de produtos químicos e à quantidade de sólidos em suspensão afluentes à ETA.”

A partir das dificuldades de realizar uma quantificação em estações-piloto ou em escala laboratorial, foram desenvolvidos métodos que possibilitam estimar a quantidade de lodo produzida em uma ETA a partir de cálculos que relacionam diversos fatores como vazão e turbidez das águas bruta e tratada, dosagens de coagulante, entre outros.

2.4.1 Equações empíricas

Diversas fórmulas empíricas foram desenvolvidas, e permitem realizar uma estimativa da produção de lodo, considerando por exemplo, características da água, dosagem de coagulante, vazão e qualidade da água bruta. Afirma Katayama (2012, p. 15) que “dado o custo e tempo de execução tanto da alternativa dos *jar tests* quanto da estação-piloto, essas fórmulas tornaram-se muito populares no Brasil.”

Todas as equações partem do mesmo princípio, diferindo somente na escolha de algumas variáveis independentes.

Em geral, assume-se que os sólidos gerados pelo tratamento de água possuam duas componentes: a primeira é constituída pela fração dos sólidos da água bruta, que é removida no tratamento, e é quantificada pela concentração de sólidos em suspensão totais (SST). Esses sólidos são considerados não reativos e preservam sua massa durante a remoção. No caso de ETAs com processos de abrandamento por precipitação química, incluem-se nessa categoria os precipitados dos cátions causadores da dureza. O segundo componente advém dos produtos adicionados à água bruta como parte do tratamento, que se precipitam, são adsorvidos ou são insolúveis, e, portanto, saem da solução: coagulantes à base de sais metálicos, polímeros, carvão ativado em pó, e – no caso estações de abrandamento por precipitação química – a cal e o carbonato de sódio, por exemplo. (KATAYAMA, 2012, p.15).

Alguns autores desenvolveram equações empíricas que representam a produção estimada de lodo em uma estação de tratamento de água convencional, onde levam em consideração, por exemplo, a turbidez e o tipo e a dosagem de coagulante utilizado. Algumas dessas equações estão expressas a seguir.

2.4.1.1 American Water Work Association – AWWA (1978)

A associação apresenta a equação para a definição da produção de sólidos em massa de matéria seca por metros cúbicos de água tratada:

$$P = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot Tu^{0,66} \quad (1)$$

Onde:

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

Tu – Turbidez da água bruta (uT)

2.4.1.2 Water Research Association (1996)

Para a Associação de Pesquisas de Água (nossa tradução), a relação anterior é representada através da equação abaixo:

$$P = (1,2 \cdot T + 0,07 \cdot C + K \cdot D + A) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

C – Cor da água bruta (uC)

D – Dosagem coagulante (mg/L)

A – Outros aditivos, tal como polímero (mg/L)

K – Coeficiente de relação estequiométrica na formação de precipitado. Sulfato de alumínio: k=0,26. Cloreto férrico: k=0,4. Sulfato férrico: k = 0,54. PAC (Policloreto de Alumínio): k = 4,75.

2.4.1.3 Kawamura Apud Reali (1999)

$$P = (1,5 \cdot T + K \cdot D) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Onde:

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

D – Dosagem do coagulante (mg/L)

K – Coeficiente de relação estequiométrica na formação de precipitado. Sulfato de alumínio: $k=0,26$. Cloreto férrico: $k=0,4$. Sulfato férrico: $k = 0,54$. PAC(Policloreto de Alumínio): $k = 4,75$.

2.4.1.4 Cornwell (1987)

$$P = (1,5.T + 0,44.D + A). 10^{-3} \quad (4)$$

Onde:

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

D – Dosagem do coagulante (mg/L)

A – Outros aditivos, tal como polímero (mg/L)

2.4.1.5 CETESB

$$P = (0,23.A + 1,5.T). 10^{-3} \quad (5)$$

Onde:

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

A – Outros aditivos, tal como polímero (mg/L)

2.4.1.6 Carlos A. Richter

$$P = (0,2.C + K_1.T + k_2.D). 10^{-3} \quad (6)$$

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca/m³ de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

C – Cor da água bruta (uC)

D – Dosagem coagulante (mg/L)

$K_1 = 1,3$

$k_2 = 0,26$ para o uso de Sulfato de Alumínio

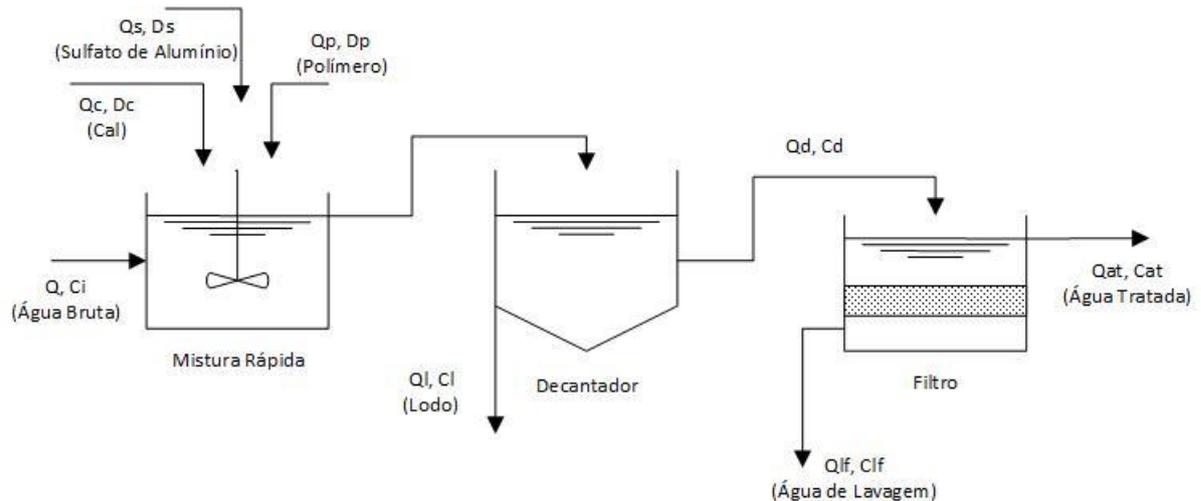
2.4.2 Balanço de massa

Para Katayama (2012), o balanço de massa é o método mais adequado para quantificar o lodo em ETAs existentes.

Afirma Andreoli (2001, p.129), que “a entrada de sólidos no sistema é fornecida pelas partículas presentes na água bruta e nos produtos químicos adicionados ao seu processo.”

O esquema da figura abaixo, representa o balanço de massa dos sólidos gerados em ETAs tradicionais.

Figura 4 - Balanço de massa dos sólidos gerados em ETAs tradicionais.



Fonte: adaptado de Andreoli, 2001.

Então, os parâmetros utilizados para os cálculos são vazão de entrada, turbidez, dosagem de coagulante, dosagem de cal e dosagem de auxiliares de coagulação/floculação. Pereira, Gomes e Pereira (2012) representam a equação de balanço de massa da seguinte maneira.

$$Q \cdot C_i + Q_c \cdot D_c + Q_s \cdot D_s + Q_p \cdot D_p = Q_l \cdot C_l + Q_{lf} \cdot C_{lf} + Q_{at} \cdot C_{at} \quad (7)$$

Onde,

$$Q = \text{Vazão de água bruta} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$C_i = \text{Concentração de sólidos na água bruta} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_c = \text{Vazão de cal} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$D_c = \text{Dosagem de cal} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_s = \text{Vazão de coagulante primário} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$D_s = \text{Dosagem de coagulante primário} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_p = \text{Vazão de polímero} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$D_p = \text{Dosagem de polímero} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_i = \text{Vazão de efluente decantador} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$C_i = \text{Concentração de efluente decantador} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_{if} = \text{Vazão de efluente filtros} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$C_{if} = \text{Concentração de efluente filtros} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$Q_{at} = \text{Vazão de água tratada} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$C_{at} = \text{Concentração de sólidos água tratada} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

O efeito dos produtos químicos utilizados no processo de coagulação, que torna os sólidos dissolvidos em sólidos suspensos, foi representada por REALI (1999). Na tabela abaixo, podemos calcular estequiometricamente a produção total de resíduos utilizando-se a vazão de água tratada e o tipo de coagulante utilizado (expresso em gramas de resíduos por grama de produto aplicado).

Tabela 2 - Produção teórica de sólidos.

Produto Químico	g de Sólidos Produzidos por g de Produto Químico
Sólidos suspensos (silte)	1,0
Matéria orgânica	1,0
Sulfato de Alumínio	0,26 como Al(OH) ₃ *
Cloreto Férrico	0,66 como Fe(OH) ₃ *
Polímero	1
Cal	Permite 0,1 como fração insolúvel
Carvão ativado em pó	1,0

*Dependendo da forma de hidratação do sulfato de alumínio ou cloreto férrico.

Fonte: adaptado de Reali, apud Doe, 1990.

Katayama (2012), descreve a seguinte equação estimativa para representar a produção total de sólidos em uma ETA, considerando que 1 g de Sulfato de Alumínio produza 0,26 g de sólidos, e a estimativa de produção de lodo nos decantadores e filtros, respectivamente.

$$W = [(SST_{AB} \cdot Q_{AB}) + (0,26 \cdot D_{SA} + 0,1 \cdot D_{SC}) - (SST_{AT} \cdot Q_{AT})] \cdot 0,0864 \quad (8)$$

Onde,

W – Produção de sólidos em kg/dia;

SST_{AB} – Concentração de sólidos em suspensão em mg/L na água bruta;

Q_{AB} – Vazão de água bruta em L/s ;

D_{SA} – Adição diária de coagulante (sulfato de alumínio) em mg/s ;

D_{SC} – Adição diária de cal em mg/s ;

SST_{AT} – Concentração de sólidos em suspensão em mg/L na água tratada;

Q_{AT} – Vazão de água tratada em L/s.

$$W_D = [SST_{AB} \cdot Q_{AB} + (0,26 \cdot D_{SA} + 0,1 \cdot D_{SC}) - SST_{AD} \cdot Q_{AD}] \cdot 0,0864 \quad (9)$$

Onde,

SST_{AD} – Concentração de sólidos em suspensão em mg/L na água decantada;

Q_{AD} – Vazão de água decantada em L/s.

$$W_F = (SST \cdot Q_{AD} - SST \cdot Q_{AF}) \cdot 0,0864 \quad (10)$$

Onde,

SST_{AF} – Concentração de sólidos em suspensão em mg/L na água filtrada;

Q_{AF} – Vazão de água filtrada em L/s.

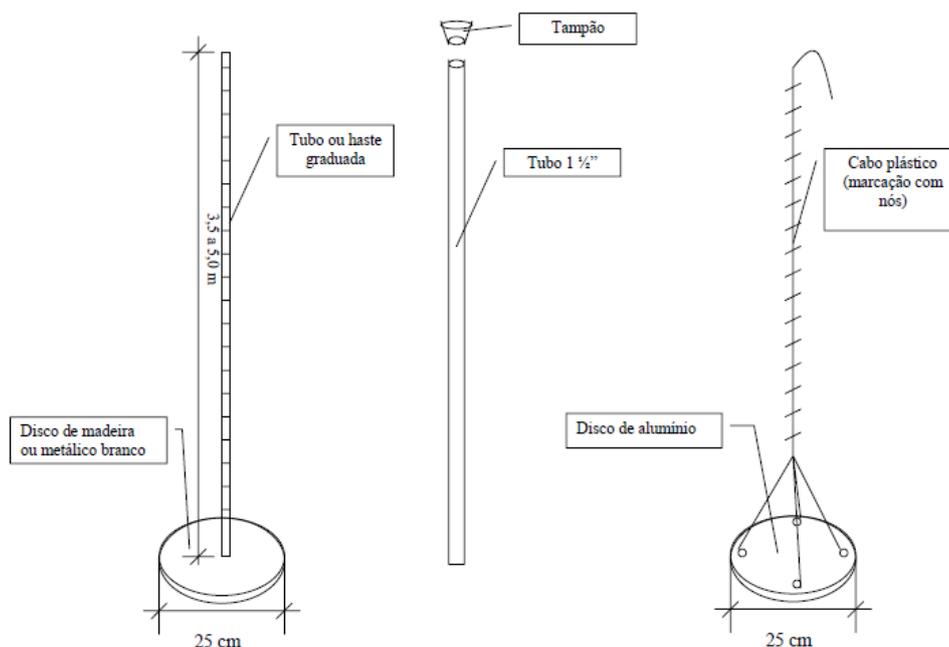
2.4.3 Método de cálculo in loco (Medição física)

Afirma Fontana (2004, p. 43) que “a quantidade de lodo pode ser avaliada mediante determinação da topografia da camada existente ao longo do decantador por meio de equipamentos específicos.”

A altura da camada de lodo é relacionada com o nível de água na superfície do decantador. Para se obter a medição utiliza-se um pequeno barco e um dos equipamentos de disco. Os discos ao tocar o lodo serão cobertos e, portanto, não são visíveis, neste momento se verifica a medida na haste ou cabo utilizado. [...] Para se retirar amostras do lodo de fundo utiliza-se um tubo de 1 ½" que ao ser introduzido aberto até atravessar a camada de lodo é tamponado na sua parte superior retendo o material a ser coletado. (id ibid).

É recomendado por Valencia (1992) que o fluxo de água seja interrompido por no mínimo 12 horas antes de realizar a medição, para garantir que a água acima do lodo esteja bem clarificada.

Figura 5 - Equipamentos para determinar a topografia da camada de lodo depositada em decantadores.



Fonte: Fontana 2004, apud Valencia, 1992.

Com os dados coletados, é possível então determinar a quantidade de lodo em cada seção do decantador, para um certo período de tempo.

2.5 RELAÇÃO ENTRE SÓLIDOS SUSPENSOS E TURBIDEZ

Uma das maiores dificuldades em realizar os cálculos de quantificação da produção de lodo, é a necessidade de ter dados de concentração de sólidos suspensos na água, dado que comumente não é medido em uma ETA.

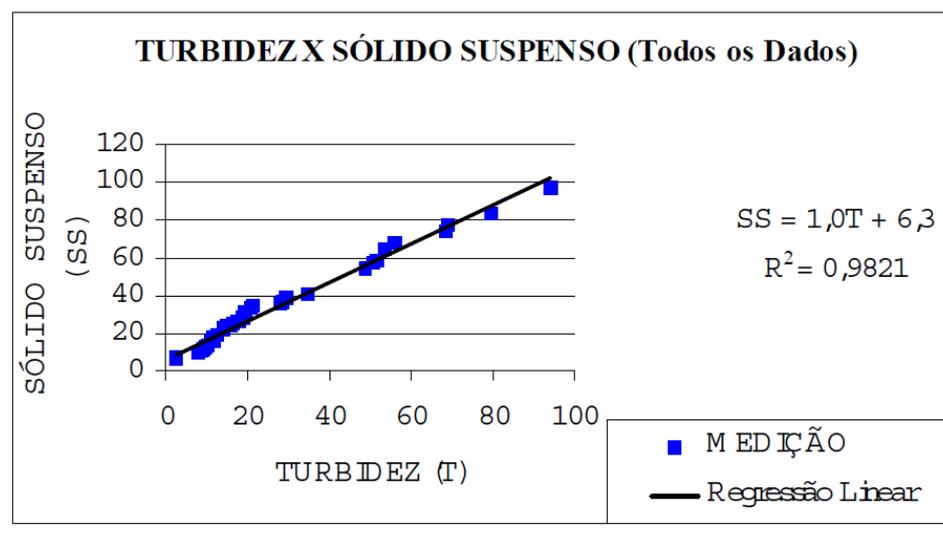
Uma das alternativas realizadas por diversos autores, é a correlação entre sólidos suspensos e turbidez, onde em uma determinada amostragem aplicam-se métodos que determinem essa relação.

Afirma Chagas (2015, p.19) que “a concentração de sólidos suspensos (CSS) influencia diretamente a turbidez, pois dificulta a penetração da luz na água.”

A turbidez é uma propriedade ótica, que mede a dispersão da luz na água. Essa dispersão aumenta de acordo com o aumento de material particulado em suspensão, logo, a turbidez está relacionada com a carga de sedimento suspenso. (TEIXEIRA, 2000).

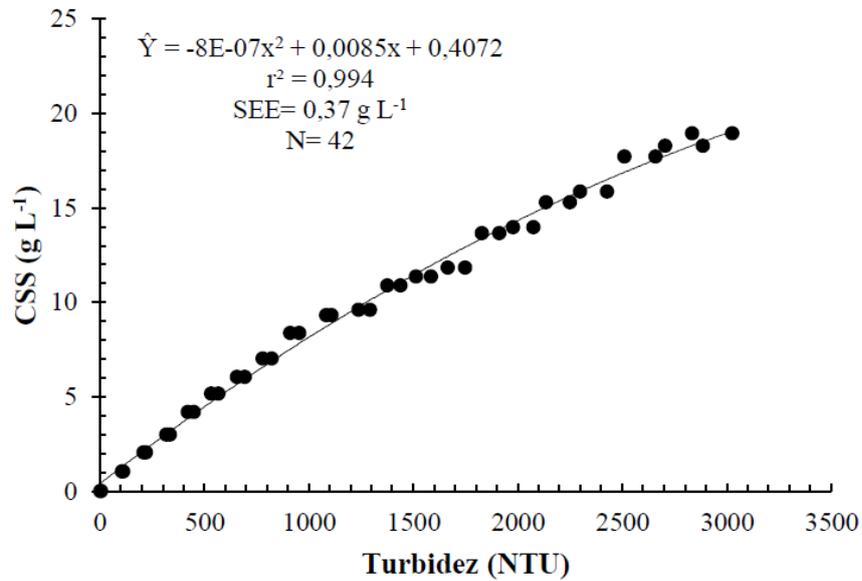
Teixeira (2000), Ankcorn (2003), Katayama (2012) e Chagas (2015) realizaram a correlação de sólidos suspensos e turbidez por meio de um gráfico de dispersão, sendo esta relação representada por análises de regressão, determinando assim uma equação que represente a relação entre esses dois parâmetros.

Figura 6 - Correlação entre turbidez e sólidos suspensos realizada por Teixeira.



Fonte: Teixeira, 2000.

Figura 7 - Correlação entre turbidez e sólidos suspensos realizada por Chagas.



Fonte: Chagas, 2015.

Katayama (2012), ainda afirma que esta correlação é altamente local, visto que estudos focados em corpos d'água específicos possuem maior chance de chegar em correlações significativas, do que estudos com grande conjunto de dados, porém com poucas medições em muitos corpos d'água.

Chagas (2015) ainda realizou uma correlação em que os sólidos suspensos e a turbidez são relacionados por meio de um fator F, representada pela equação abaixo,

$$F = \frac{CSS}{T} \quad (11)$$

Onde,

CSS – Concentração de sólidos suspensos (g/L);

T – Turbidez (NTU).

Todavia, a autora concluiu que a concentração de sólidos totais encontrada por meio de análises de regressão representa valores mais significativos, quando comparado com a concentração real, enquanto que o método do fator F tende a sub e superestimar os valores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 A PESQUISA CIENTÍFICA

Pesquisa de acordo com os pressupostos científicos é uma forma inequívoca de traduzir a competência interpretativa do investigador. Além disso, a pesquisa transforma o indivíduo levando-o à condição de construtor de teses, teorias, práticas alternativas, instrumentos metodológicos, etc. Por outro lado, é uma atividade diferencial porquanto deve ser realizada em lugares e horários característicos como laboratórios, salas especiais, etc. destacando-se diante de outras ações como ensino e extensão. (DEMO, 2012).

3.2 TIPO DE ESTUDO REALIZADO

Para responder a hipótese de trabalho (problema central) definiu-se, após rigoroso planejamento, o método de abordagem do estudo, que foi quantitativo. Ao mesmo tempo determinou-se a pesquisa experimental como método de procedimento sob nível descritivo em função da necessidade de determinação de variáveis dependentes e independentes.

Sabe-se que a maior característica da pesquisa experimental está no controle, relativamente alto, da situação experimental e na determinação de possíveis variáveis independentes. Esse fato caracteriza um estudo realizado isoladamente em relação ao mundo exterior permitindo o estudo aprofundado de “relações puras” dos objetos investigados. (KERLINGER, 2003).

O nível descritivo tem como objetivo maior a configuração das características de determinados fenômenos com o necessário estabelecimento das relações existentes entre as variáveis definidas. (GIL, 1999, p. 44).

3.3 A EMPRESA

O estágio foi realizado em uma concessionária de saneamento, localizada na região litorânea do Sul de Santa Catarina, e tem como atividade a captação e tratamento de água para o abastecimento público. A água bruta é tratada a uma vazão média de 180 L/s, dependendo das condições operacionais.

Figura 8 - Vista Superior da ETA.



Fonte: Google Earth, 2018.

3.3.1 Tratamento da Água

A captação de água bruta é realizada em um rio, localizado aproximadamente 15 km da ETA, e esta é bombeada utilizando-se dois conjuntos de bombas.

O tratamento utilizado é o convencional por ciclo completo, tendo a seguinte sequência de processos: coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e fluoretação.

Na chegada da água bruta a estação, a primeira etapa ocorre na calha Parshall, ocorrendo a adição do Hidróxido de Sódio para correção do pH e em seguida a aplicação de Sulfato de Alumínio Líquido como agente coagulante.

A água é direcionada aos floculadores, onde ocorre a formação dos flocos, para posteriormente sedimentarem no decantador, e assim ocorrer a clarificação da água. A ETA opera com seis floculadores e três decantadores.

Em seguida, a água decantada é encaminhada aos filtros, iniciando assim a filtração. A ETA possui quatro filtros de fluxo descendente, compostos por cinco camadas de filtrantes de diferentes granulometrias, sendo estes:

Tabela 3 - Material Filtrante.

Descrição	Polegada	
	Menor	Maior
<i>Material Filtrante</i>	<i>Menor</i>	<i>Maior</i>
Areia Filtrante ClassifGranul 0,61 a 1,23 mm	-	-
Seixo Rol LavClassifTam 1/8" a 1/4"	0,13	0,25
Seixo Rol LavClassifTam 1/4" a 1/2"	0,25	0,50
Seixo Rol LavClassifTam 1/2" a 3/4"	0,50	0,75
Seixo Rol LavClassifTam 3/4" a 1 1/2"	0,75	1,50

Fonte: arquivo interno da empresa, 2018.

Após a filtração, a água é direcionada a caixa de contato, onde ocorre a desinfecção com a adição de Hipoclorito de Sódio, e a fluoretação, adicionando Fluossilicato de Sódio. Após esta etapa, a água tratada é encaminhada aos reservatórios para o abastecimento.

3.3.2 Limpeza dos Equipamentos/Despejo do Lodo

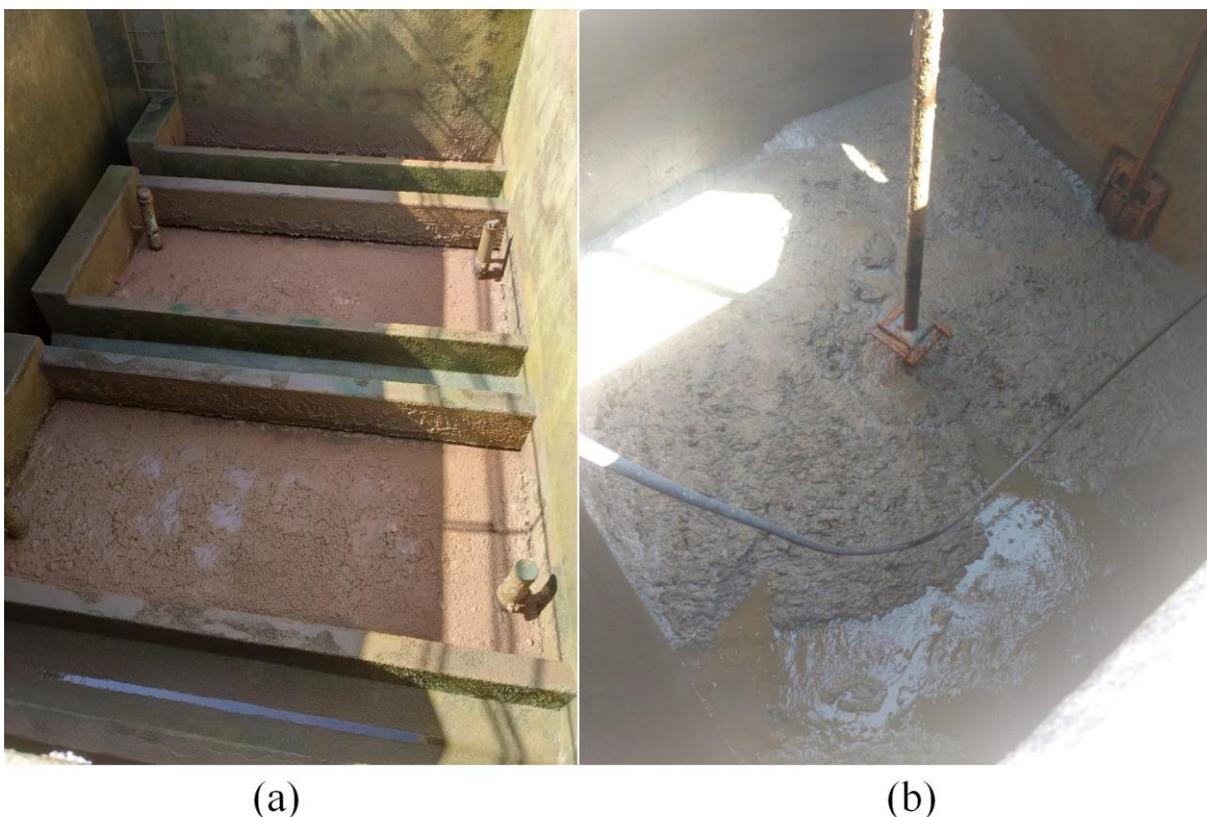
A limpeza dos equipamentos é realizada periodicamente, onde cada equipamento possui uma rotina de lavagem.

Nos floculadores e nos decantadores, a limpeza ocorre mensalmente, onde estes são esvaziados completamente, e a retirada do lodo ocorre de forma manual.

Os filtros são lavados diariamente, onde é somente esvaziado para retirar o excesso de lodo presente acima do material filtrante. A retro lavagem também é realizada quando necessário.

A água de lavagem, contendo o lodo da ETA é descartada em um córrego ao lado da estação, que deságua em uma lagoa.

Figura 9 - Lodo acumulado nos (a) filtros e (b) floculadores após esvaziamento completo para limpeza.



Fonte: da autora, 2018.

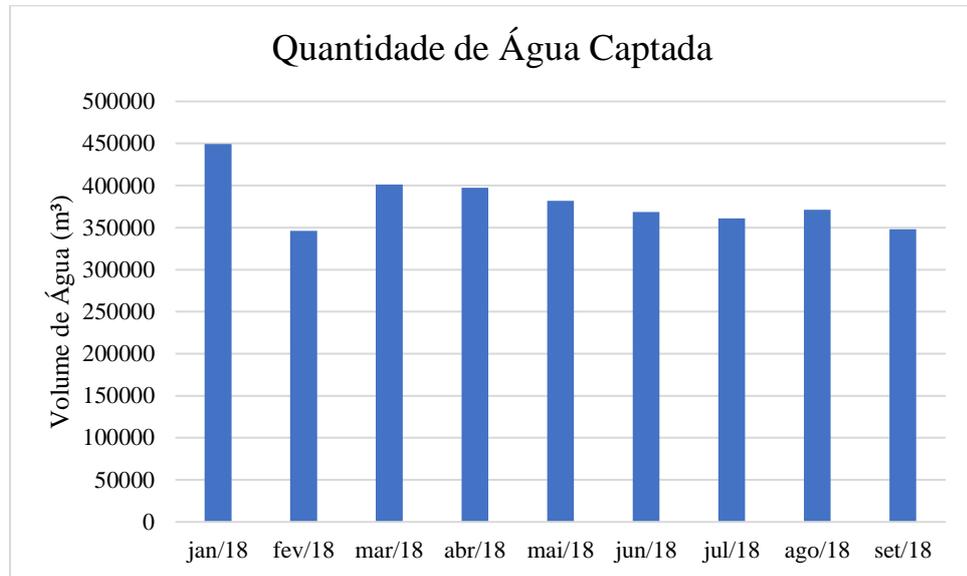
3.4 COLETA DE DADOS

Para realizar a quantificação do lodo da ETA, é necessário obter parâmetros físico-químicos da água bruta, decantada, filtrada e tratada.

Os dados foram coletados na empresa de saneamento a partir do início do ano de 2018, obtendo os resultados da análise da água (bruta, decantada, filtrada e tratada), que é realizada a cada duas horas pelos operadores da ETA, quantidade de água captada por mês e dosagem de coagulante utilizada.

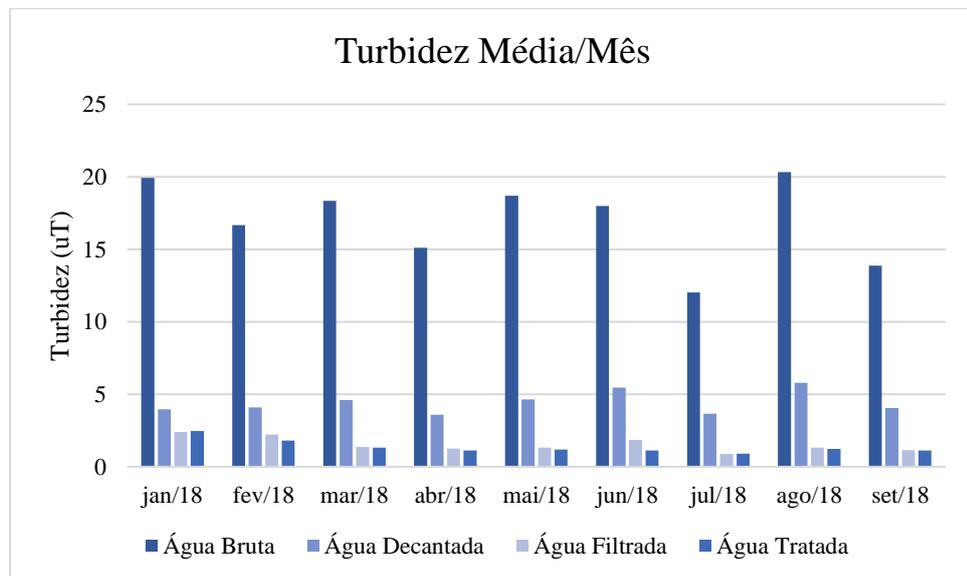
A partir dos dados coletados, foram realizadas médias para cada mês de valores como turbidez, pH e cor. A vazão de água coletada foi calculada a partir da quantidade total captada no mês respectivo. Os principais dados estão representados a seguir.

Gráfico 1 - Quantidade de Água Captada no ano de 2018



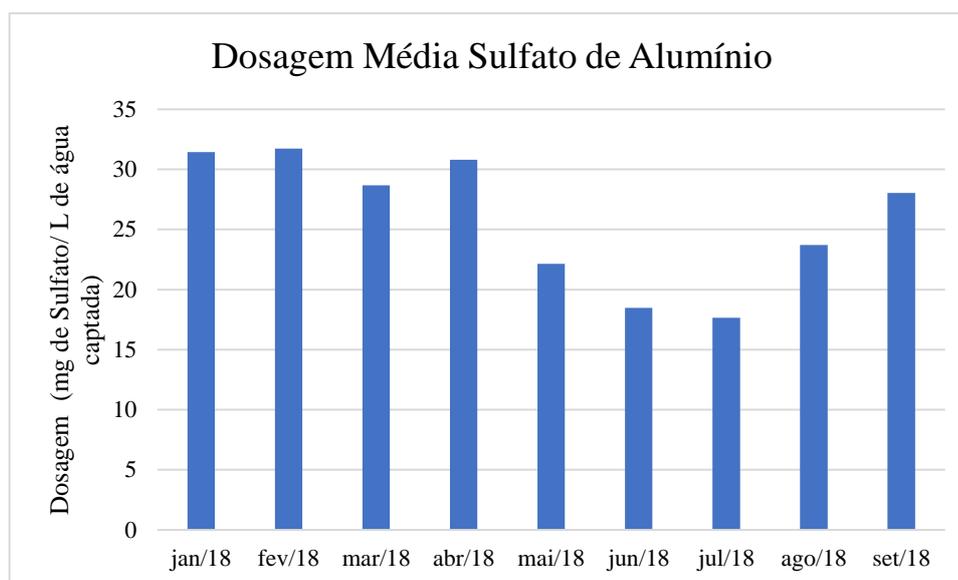
Fonte: arquivo interno da empresa, 2018.

Gráfico 2 – Valores de turbidez média por mês da água bruta, decantada, filtrada e tratada.



Fonte: arquivo interno da empresa, 2018.

Gráfico 3 - Dosagem Média Mensal de Sulfato de Alumínio no ano de 2018.



Fonte: arquivo interno da empresa, 2018.

3.5 QUANTIFICAÇÃO DO LODO

Para realizar a quantificação do lodo, foram escolhidas quatro equações empíricas, com base nas que obtiveram resultados com maior confiabilidade segundo estudos anteriores. Estas foram AWWA, Kawamura, Cornwell e Cetesb. Também foi realizada a quantificação a partir de cálculos de balanço de massa, para fins de comparação de resultados.

Como nos cálculos de balanço de massa é necessário a quantidade de sólidos suspensos presentes na água, análise que não é comumente realizada pela ETA, foi necessário realizar uma relação entre sólidos suspensos e turbidez a fim de obter uma equação que representasse a relação entre esses dados. Essa relação foi realizada com base no estudo feito por Teixeira (2000) e Chagas (2015).

3.5.1 Correlação entre sólidos suspensos e turbidez

3.5.1.1 Amostragem

O cronograma de coleta de água para análise foi realizado com intervalos aleatórios de tempo, de acordo com a disponibilidade de coleta.

Tabela 4 - Cronograma de coleta.

Coleta	Amostra	Volume Amostra
1	Bruta	1 Litro
	Coagulada	1 Litro
2	Bruta	1 Litro
	Coagulada	1 Litro
3	Bruta	1 Litro
	Coagulada	1 Litro
4	Bruta	1 Litro
	Coagulada	1 Litro

Fonte: da autora, 2018.

As amostras de água foram coletadas na ETA, da água bruta e coagulada, em frascos de um litro, conforme o método descrito pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 21th Edition of American Water Works Association - AWWA*, e ficaram armazenadas sob refrigeração até o dia da análise.

Figura 10 - Amostra de água coagulada coletada.



Fonte: da autora, 2018.

Foram coletadas oito amostras de água, sendo quatro bruta, e quatro coagulada, em um período de um mês.

A água bruta foi coletada na calha Parshall, no início do tratamento de água. A água coagulada foi coletada na região de mistura rápida, após a adição do Sulfato de Alumínio (agente coagulante) e antes da entrada no floculador.

3.5.1.2 Análises

As análises de sólidos suspensos e turbidez foram realizadas no CENTEC na Unisul, através do espectrofotômetro UV-VIS Spectroquant Pharo 300.

Figura 11 - Espectrofotômetro UV-VIS Spectroquant Pharo 300.



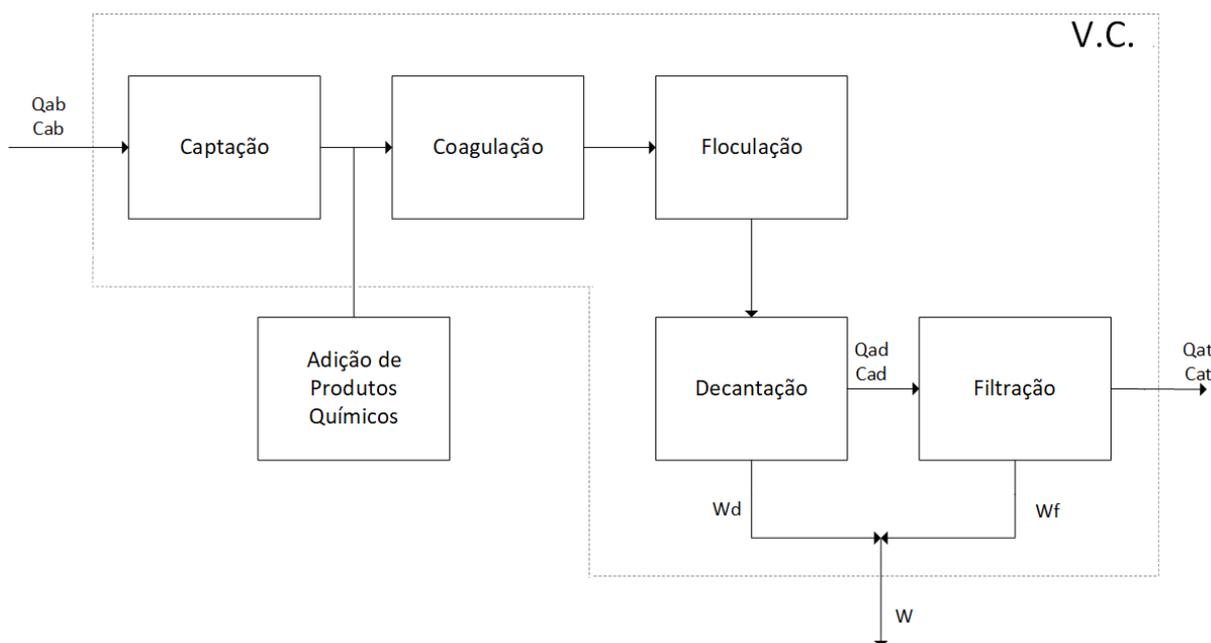
Fonte: da autora, 2018.

Após as análises, os dados foram correlacionados através de uma regressão linear, a fim de se obter uma equação que representasse a relação entre sólidos suspensos e turbidez.

3.5.2 Balanço de massa

Para o cálculo de balanço de massa para quantificação do lodo, se fez necessário a delimitação de um volume de controle. Este está expresso na figura a seguir.

Figura 12 - Volume de controle utilizado para o balanço de massa.



Fonte: da autora, 2018.

Para realizar o cálculo do balanço de massa, fez-se necessário dos dados de entrada e saída da ETA, como a vazão de água e a concentração de sólidos suspensos. Estes dados foram coletados dos arquivos da empresa, desde Janeiro de 2018, até Setembro do mesmo ano. Katayama (2012) utilizou dados da água coagulada para a realização deste método, porém como esse dado não é monitorado na estação, utilizou-se a equação 8, que considera o efeito da adição de produtos químicos, estudada por Reali (1999).

Os dados da quantidade de sulfato de alumínio utilizados, foram fornecidos pela empresa em kg por mês, sendo necessário o levantamento da quantidade de horas de funcionamento da ETA em cada mês, para obter as vazões médias por mês. Este levantamento foi realizado a partir de um caderno onde os operadores mantêm registro do horário de desligamento e ligamento da ETA.

As vazões da água bruta e tratada foram coletadas a partir do histórico de dados do sistema utilizado para controle das águas na própria ETA.

Visto que análises de sólidos suspensos não são realizadas na ETA, as concentrações de sólidos suspensos, da água bruta e tratada foram calculadas a partir da equação de correlação obtida a partir das análises comparativas entre sólidos suspensos e turbidez.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente fez-se necessário obter o conhecimento sobre o funcionamento de uma estação de tratamento de água. Foram observados a rotina de trabalho, bem como a limpeza dos decantadores, floculadores e filtros.

Atualmente, os resíduos produzidos na ETA são despejados em uma lagoa próxima a estação, porém a captação ocorre em outro manancial.

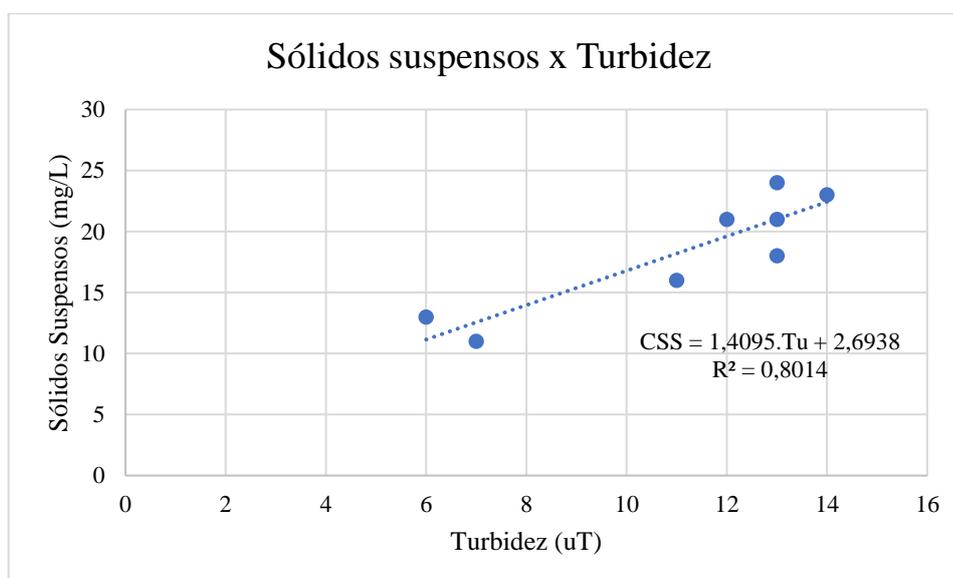
Como na estação não há nenhum estudo sobre esse lodo, fez-se necessário a realização deste. Por ser um estudo longo e complexo, optou-se por inicia-lo pela quantificação desse resíduo.

Foram então aplicadas equações empíricas e a de balanço de massa para obter uma estimativa da quantidade de lodo produzida.

4.1 CÁLCULO CORRELAÇÃO SÓLIDOS SUSPENSOS E TURBIDEZ

A fim de realizar a correlação de sólidos suspensos e turbidez, foram realizadas análises em laboratório. Os resultados foram plotados em um gráfico de dispersão realizando um modelo de regressão linear, onde obteve-se uma equação que representasse a relação entre os dados.

Gráfico 4 - Correlação sólidos suspensos e turbidez (todos os dados).



Fonte: da autora, 2018.

A partir dos dados da correlação, calculou-se a quantidade média mensal de sólidos suspensos, a partir da turbidez média mensal. A equação utilizada é a representada abaixo, sendo esta a obtida pela relação entre todos os dados.

$$CSS (mg/L) = 1,4095.Tu (uT) + 2,6938 \quad (12)$$

4.2 ESTIMATIVA PRODUÇÃO DE LODO

Para estimativa da produção mensal de lodo foram utilizados os dados obtidos a partir do arquivo da empresa, e também coletados ao longo do estágio supervisionado. Estes foram então aplicados nas equações empíricas e de balanço de massa.

Como na ETA não é realizado o monitoramento da água coagulada, portanto não há dados desta, as equações de balanço de massa foram realizadas de acordo com Katayama (2012) e Reali (1999) que consideram a produção de sólidos suspensos a partir da adição dos agentes coagulantes e alcalinizantes utilizados.

Os resultados desta estimativa estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 5 – Estimativa produção mensal de lodo por diferentes métodos.

Meses	AWWA (kg/mês)	Kawamura (kg/mês)	Cornwell (kg/mês)	Cetesb (kg/mês)	Balanço de Massa (kg/mês)
Jan/18	11328,67	17101,29	19643,85	13428,71	16604,95
Fev/18	7764,93	11521,39	13499,75	8663,78	11573,25
Mar/18	9579,10	14029,39	16100,11	11038,33	15799,99
Abr/18	8344,11	12181,51	14383,91	9000,27	13744,34
Mai/18	9232,77	12906,81	14429,17	10707,86	16074,65
Jun/18	8693,96	11726,38	12952,84	9954,82	14282,71
Jul/18	6520,54	8166,39	9314,23	6508,40	10926,01
Ago/18	9482,69	13602,27	15185,88	11314,85	17816,89
Set/18	6912,78	9782,58	11538,79	7245,84	12405,99
Acumulado	77859,54	111018,02	127048,53	87862,85	129228,78

Fonte: da autora, 2018.

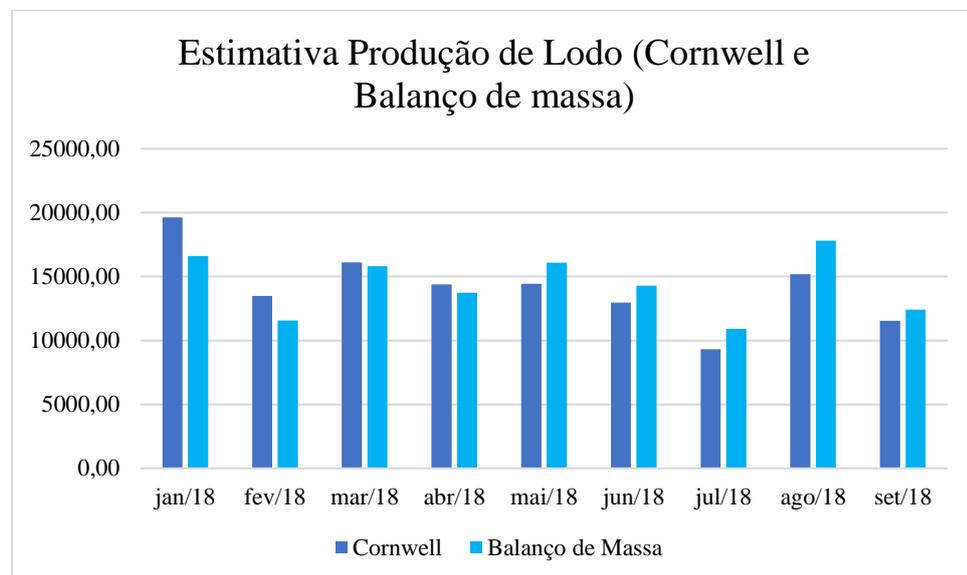
É possível afirmar, que em média, a produção de sólidos estimada em períodos chuvosos (janeiro, fevereiro, março e abril) é maior que a produção de sólidos estimada no

período de estiagem (maio, junho, julho, agosto e setembro). Essa diferença deve ser considerada quando houver a realização de um projeto para tratamento e destinação desses resíduos.

Destaca-se os maiores valores de produção de sólidos obtidos no mês de janeiro, sendo o maior valor o da estimativa através da equação descrita por Cornwell, que apresentou um resultado de 19643,85 kg neste mês.

Os menores valores de produção de sólidos foram obtidos no mês de julho, sendo o menor valor representado pela equação descrita pela Cetesb, estimando uma produção mensal de 6508,397 kg.

Gráfico 5 - Produção de lodo pelos métodos de Cornwell e Balanço de Massa.

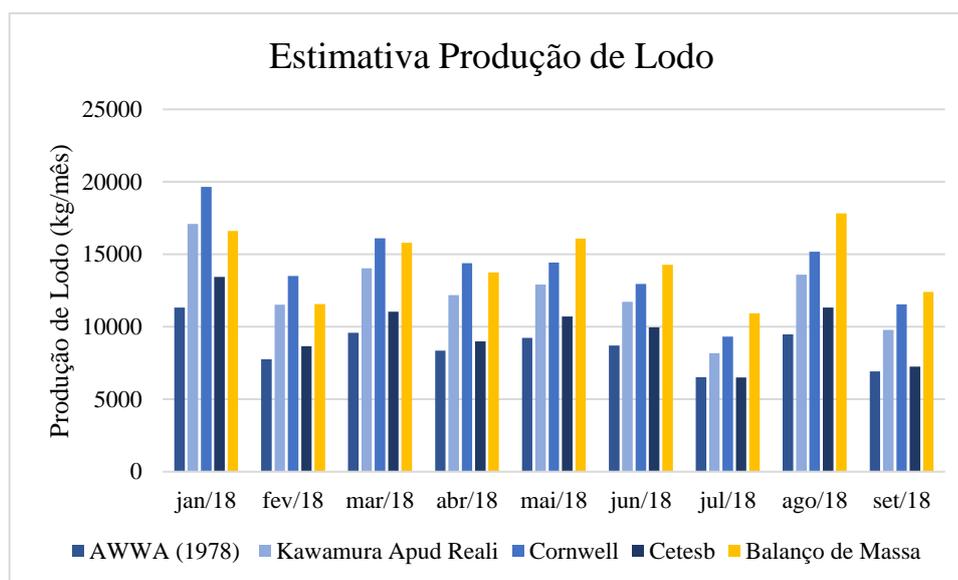


Fonte: da autora, 2018.

Ao comparar os resultados de valores acumulados, observa-se que os métodos que mais se aproximam são o de balanço de massa e o método descrito por Cornwell, que apresentam valores próximos de produção de sólidos, sendo acumulado 129228,8 kg e 127048,5 kg, respectivamente.

O gráfico a seguir expressa os valores da Tabela 5, para melhor visualização.

Gráfico 6 - Estimativa produção mensal de lodo por diferentes métodos.



Fonte: da autora, 2018.

Após os resultados obtidos, conclui-se que foi possível estimar a produção de lodo em uma ETA utilizando equações empíricas e balanço de massa.

A correlação entre sólidos suspensos e turbidez fez-se necessária para obter-se uma equação que representasse essa relação, visto que essa análise não é realizada na estação e que dados de sólidos suspensos são necessários para o cálculo do balanço de massa.

Destaca-se as limitações encontradas para a realização deste trabalho. Katayama (2012) utiliza dados da água coagulada (após a adição do agente coagulante) para realizar o balanço de massa, assim obtendo um resultado mais preciso sobre a produção de sólidos. Como a ETA não realiza o monitoramento da água coagulada, foi então utilizado dados da água bruta, e considerado, estequiometricamente, a produção de sólidos a partir da adição dos agentes coagulantes de acordo com a literatura.

Destaca-se também a importância da continuação dessa pesquisa, a partir da continuação das análises de correlação e aplicação do método, e também de medições físicas a fim de comparar com os resultados teóricos obtidos. Recomenda-se também a caracterização química desse resíduo, a fim de conhecer suas características de composição, e assim destiná-lo adequadamente, através do reaproveitamento ou descarte.

4.3 SUGESTÕES

A empresa onde foi realizado o estágio supervisionado realiza o despejo do efluente em uma lagoa. É essencial que sejam realizados estudos para o dimensionamento de sistemas

de tratamento de lodo para evitar a poluição deste manancial. Seguem como sugestões para a continuação deste estudo:

- a) Quantificação do lodo através da medição física, a fim de comparar com os modelos teóricos.
- b) Estudo de caracterização do lodo para destiná-lo corretamente e avaliação do seu impacto ambiental, verificando se este está de acordo com os padrões de lançamento da resolução do CONAMA Nº 430/11.
- c) Dimensionamento de sistema de tratamento de lodo a fim de encerrar o despejo no manancial.

5 CONCLUSÃO

Com presente trabalho conclui-se que foi possível quantificar a produção de lodo através de métodos empíricos e balanço de massa aplicados.

Com os dados de monitoramento da água obtidos na empresa concedente de estágio, foi possível estimar a produção de lodo mensal através das equações empíricas. Para realização do balanço de massa, foi necessário obter dados de sólidos suspensos. Como na estação essas análises não são realizadas, fez-se necessário a realização de análises em laboratório para avaliar a correlação entre sólidos suspensos e turbidez.

Os resultados obtidos através das análises de turbidez variaram de 6 a 14 uT, e sólidos suspensos de 11 a 24 mg/L.

Foi possível observar que os meses chuvosos apresentaram maior produção de lodo do que na época de estiagem, sendo janeiro o mês com maior estimativa de produção de sólidos, e julho com o menor valor estimado.

Para a ETA estudada, e com base nos resultados obtidos nesse estudo, as equações que possuem um acúmulo com resultados mais próximos é a equação proposta por Cornwell, e o balanço de massa apresentando um acúmulo de 127048,5 kg e 129228,8 kg, respectivamente.

Destaca-se a importância de uma continuidade a este trabalho, e também de medições físicas a fim de comparar com os resultados teóricos obtidos.

Recomenda-se também a caracterização química desse resíduo, a fim de conhecer sua composição, para que o processo de destinação deste resíduo seja feito de forma adequada.

REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 54-62, Mar. 2008. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 out. 2018.
- ALVES, Célia. Tratamento águas de abastecimento. Porto: Publindústria, Edições Técnicas, 2010. 400 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington, DC: APHA, 2005. 1 v. ISBN 0875530478.
- ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, C. V. S.; PEGORINI, E. S.; SOCCOL, V. T. Disposição final de lodos de estações de tratamento de água. In CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: SANEPAR, 2013b. p.67-130.
- ANDREOLI, C. V.; ZARPELON, A.; BERTOLDI, B.; CARNEIRO, C. A problemática da geração e disposição final de Lodo de ETA. In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Estações de Tratamento de Água – Gestão e Perspectivas Tecnológicas. Curitiba: SANEPAR, 2013a. p.179-222.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES/RJ, 2001. 257 p. ISBN 85-86552-19-4.
- BITTENCOURT, Simone et al. Aplicação de estações de tratamento de água de tratamento de esgoto em solo degradado. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, c. 17, n. 3, p. 315-324, setembro de 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000300008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 de setembro de 2018.
- BRASIL. Constituição (2017). PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX. Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: < <https://cevs-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201804/26143402-anexo-xx.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- BRASIL. Conama (2011). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- BRASIL. Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras

providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 05 nov. 2018.

BRASIL. Lei nº 6938, de 13 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 05 nov. 2018.

CHAGAS, Denize Sampaio. Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015. Disponível em: <<https://www.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/DENIZE-SAMPAIO-CHAGAS.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.

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

DEMO, Pedro. Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.

DI BERNARDO, Luiz. Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: Rima, 2002. ix, 237 p.

----- . Métodos e técnicas de tratamento de água. 1. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1993. 2v. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação, 2004.

FERRANTI, Eliana Maria. Desidratação de lodos de estação de tratamento de água. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000501570&loc=2006&l=ed949410d9836b63>>. Acesso em: 05 out. 2018.

GEVARSONI, Ronald. CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DESTINAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DO PARANÁ. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45294/R%20-%20D%20-%20RONALD%20GERVASONI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 6 out. 2018.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v. 2, p. 324-341.

HOPPEN, C. et al . Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. *Cerâmica*, São Paulo , v. 51, n. 318, p. 85-95, June 2005 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 6 out. 2018.

IBRAHIN, Francini Imene Dias. *Análise ambiental : gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes*. São Paulo Erica 2015 1 recurso online ISBN 9788536521497.

JANUARIO, Gladys Fernandes; FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro , v. 12, n. 2, p. 117-126, June 2007 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000200002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 nov. 2018.

KATAYAMA, Victor Takazi et al. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 559-569, Dec. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400559&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 set. 2018.

KATAYAMA, Victor Takazi. *Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica*. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KERLINGER, Fred Nichols. *Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual*. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.
LOPES, Jarllany Cirqueira; SERRA, Juan Carlos Valdés. ADENSAMENTO MECÂNICO E DESIDRATAÇÃO DO LODO DA ETA-6 POR FILTRO PRENSA. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 13, n. 1, p.126-132, jun. 2016.

MOTTA, A. C. V. *Recuperação de áreas degradadas com lodo de ETA. Relatório Final RIPLA*, 2011.

OLINGER, Cristiano. *CARACTERIZAÇÃO E CLARIFICAÇÃO POR SEDIMENTAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO RÁPIDO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA*. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OLIVEIRA, Isadora Yule Queiroz de; RONDON, Odilar Costa. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. *Interações (Campo Grande)*, Campo Grande, v. 17, n. 4, p. 687-698, Dec. 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-70122016000400687&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 set. 2018.

OLIVEIRA, Isadora Yule Queiroz de; RONDON, Odilar Costa. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. *Interações* (Campo Grande), Campo Grande , v. 17, n. 4, p. 687-698, Dec. 2016 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-70122016000400687&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2018.

PIEPER, K. M. C. Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geoconcentração de resíduos sólidos de estação de tratamento de água. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação de engenharia civil: UFRGS. Porto Alegre, 2008.

RAMIREZ, Kleber Gomes. VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) NA CONFECÇÃO DE CONCRETOS. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2196/1/MD_PPGTAMB_M_Ramirez%20Kleber%20Gomes_2015.pdf>. Acesso em: 05 out. 2018.

REZENDE, Sonaly Cristina,; HELLER, Léo,. O saneamento no Brasil: políticas e interfaces. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002 310 p. (Ingenium) ISBN 85-7041-304-1.

RIBEIRO, Frederico Luiz de Matos. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito - MG. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2862/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Quantifica%C3%A7%C3%A3oCaracteriza%C3%A7%C3%A3oQu%C3%ADmica.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

SABOGAL-PAZ, L. P; OLIVEIRA, R. H; CARRIJO, B. I; PRADO, S, G. Lodos gerados em Estações de Tratamento de Água: Situação no Brasil. In: Encontro Latino Americano de Resíduos Sólidos: São Paulo, 2003.

SANTOS, G. Z. B.; MELO FILHO, J. A.; MANZATO, L.. Proposta de uma cerâmica obtida por meio de geopolimerização de lodo de ETA calcinado. *Cerâmica*, São Paulo , v. 64, n. 370, p. 276-283, June 2018 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132018000200276&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2018.

SILVEIRA, Cristine. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil. 2012. 137 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Londrina, 2012.

TAFAREL, Nathann Francisco et al . Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro , v. 21, n. 4, p. 974-986, Dec. 2016 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000400974&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 set. 2018.

TARTARI, R. et al . Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. *Cerâmica*, São Paulo , v. 57, n. 343, p. 288-293, Sept. 2011 . Disponível em

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132011000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2018.

TEIXEIRA, E.C; SENHORELO, A.P. 2000. Avaliação de correlação entre Turbidez e concentração de Sólidos Suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, V - 013: 1-5.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, S. A. de; SOUZA, N. R. de; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G. T. A. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. *Revista Cerâmica*, vol 52, p. 215-220. 2006.

PEREIRA, Ticiania Muniz; GOMES, Maria Helena Rodrigues; PEREIRA, Renata de Oliveira. ESTIMATIVA FINAL DA PRODUÇÃO DE LODO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO. Juiz de Fora, nov. 2012.

APENDICE

APENDICE A – Dados coletados na empresa.

Dados Água Bruta									
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
pH	6,69	7,17	7,01	7,06	6,94	7,07	7,01	7,05	7,01
Cor	57,93	57,58	66,11	55,35	46,61	41,65	38,82	46,2	49,41
Turbidez	19,93	16,68	18,34	15,1	18,69	18	12,02	20,32	13,88
Turbidez Decantadores									
Dec 1	3,7	3,47	4,05	3,28	4,78	5,93	3,37	5,46	3,94
Dec 2	4,52	4,72	5,17	4	4,89	5,52	4,01	6,18	4,39
Dec 3	3,7	4,08	4,6	3,51	4,28	4,92	3,57	5,73	3,84
Turbidez Filtros									
Filtro 1	2,65	3,96	1,46	1,21	1,34	3,74	1,03	1,18	1,1
Filtro 2	2,37	1,63	1,3	1,25	1,34	1,21	0,87	1,34	1,19
Filtro 3	2,5	1,75	1,48	1,42	1,47	1,55	0,95	1,56	1,36
Filtro 4	2,09	1,53	1,25	1,11	1,16	0,88	0,69	1,16	0,92
Dados Água Tratada									
pH	7,14	7,43	7,35	7,27	7,15	7,23	7,16	7,29	7,23
Turbidez	2,47	1,8	1,31	1,12	1,19	1,12	0,91	1,23	1,12
Cor	6,67	6,81	6,35	5,85	3,54	4,44	4,85	6,83	5,79
Cloro	1,35	1,34	1,33	1,32	1,34	1,29	1,33	1,39	1,39
Fluoreto	0,89	0,82	0,8	0,82	0,78	0,83	0,83	0,8	0,82
Alumínio	0,051	0,07	0,04	0,032	0,019	0,008	0,018	0,025	

APÊNDICE B – Cálculos de Balanço de Massa

<i>Balanço de Massa - Lodo ETA</i>									
Mês	SST ab (mg/L)	Q ab (L/s)	D sa (mg/s)	D sc (mg/s)	SST at (mg/L)	Q at (L/s)	W (kg/dia)	W (Kg/mês)	
jan/18	30,785135	181,3879	5699,3211	21,3	6,175265	140,63	535,6434	16604,9455	
fev/18	26,20426	157,4642	4993,9699	21,3	5,2309	122,9	413,33049	11573,2538	
mar/18	28,54403	177,7309	5091,5957	21,3	4,540245	110,14	509,67696	15799,9857	
abr/18	23,97725	180,6845	5559,172	21,3	4,27244	111,7	458,14478	13744,3433	
mai/18	29,037355	185,4505	4103,1998	21,3	4,371105	103,49	518,53726	16074,6549	
jun/18	28,0648	181,0307	3342,8538	21,3	4,27244	103,35	476,09039	14282,7116	
jul/18	19,63599	184,7931	3261,8954	21,3	3,976445	100,47	352,45191	10926,0091	
ago/18	31,33484	189,4417	4486,1017	21,3	4,427485	102,22	574,73847	17816,8926	
set/18	22,25766	176,5196	4944,7119	21,3	4,27244	100,74	413,5331	12405,9931	