



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

GISLAINE LONARDI

**DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE SECAGEM:
REMOÇÃO NATURAL DE ÁGUA DE RESÍDUO SÓLIDO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Tubarão

2018



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
GISLAINE LONARDI

**DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE SECAGEM:
REMOÇÃO NATURAL DE ÁGUA DE RESÍDUO SÓLIDO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

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. Eng. César Renato Alves da Rosa, MSc. (Orientador)

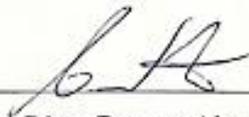
Tubarão
2018

GISLAINE LONARDI

**DIMENSIONAMENTO DE LEITO DE SECAGEM:
REMOÇÃO NATURAL DE ÁGUA DE RESÍDUO SÓLIDO DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

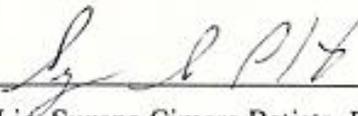
Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 19 de junho de 2018.



Prof. Eng. César Renato Alves da Rosa, MSc. (Orientador)

Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Lic. Suzana Cimara Batista, Dra. (Avaliadora)

Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Jucilene Feltrin, Dra. (Avaliadora)

Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha caminhada, a minha mãe e minhas filhas pelo amor incondicional, pela força e compreensão em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar meu lado me guiando perante os obstáculos encontrados no caminho, e por aqueles a quem ele enviou para minha vida durante toda essa caminhada.

A Universidade do Sul de Santa Catarina e a seu corpo docente que me repassaram todo o conhecimento necessário para a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso, pelo apoio e pela compreensão que tiveram nos momentos de minhas dificuldades, em especial ao meu colega e amigo Cleber Geremias que me ajudou a chegar até aqui, por sempre estar ao meu lado nos trabalhos e provas realizadas, e minha colega e amiga Caroline Menegaz Farias, que essa amizade perdure para a vida toda.

Ao meu namorado Chayron que contribuiu com sua compreensão, amor e carinho nas horas de dificuldades, me cedendo seus ombros nas horas em que eu mais precisa de um abraço sincero.

A minha mãe Laide que esteve ao meu lado em todos os momentos com suas orações, amor e compreensão, sem ela eu teria desistido no meio da jornada.

A minha sogra Kátia, pelo carinho e apoio.

Ao meu cunhado Douglas, pelo apoio e ajuda.

Especialmente as minhas filhas Paolla e Rayssa que souberam compreender a minha ausência em momentos importantes de suas vidas.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes.”
(Isaac Newton).

RESUMO

Estações de Tratamento de Água convencionais comumente conhecidas como ETAs, realizam a captação de águas superficiais que através de operações e processos unitários possibilitam transformar água bruta em água potável para consumo humano de acordo com os padrões de potabilidade determinados pelo Ministério da Saúde. Os processos convencionais de tratamento de água assemelham-se aos processos industriais, conseqüentemente geram resíduos que só podem ser lançados no meio ambiente de acordo com a classificação da NBR 10.004/05 e padrões de lançamentos em conformidade com a Resolução do CONAMA Nº 430/11. Atualmente, a prática do lançamento de resíduos de qualquer natureza no meio ambiente está sendo coibida da lei estando em formação uma cultura de preservação ambiental de amplitude que orientaliza toda e qualquer atividade envolvida diretamente com o meio ambiente. Analisando os resultados da caracterização do lodo bem como seus parâmetros de acordo com a resolução mencionada, identificou-se a necessidade de projetar um sistema de secagem de lodo. O sistema proposto e projetado foi de um leito de secagem convencional com drenagem, constituído de meio filtrante com camadas de brita e areia. Os valores de referência para calcular o volume de lodo produzido foram determinados pelo controle analítico da água bruta e ensaios laboratoriais de amostragem do lodo gerado na ETA. Por se tratar de leito de secagem, estes necessitam de grandes áreas para instalação, sendo assim, o terreno a ser instalado foi avaliado e realizado um estudo topográfico que permitiu avaliar a melhor localização de instalação dos leitos que permitissem o transporte do lodo por gravidade a fim de tornar o sistema operacional simplificado e com viabilidade econômica operacional sendo que o sistema não necessitará de meios mecânicos para sua funcionalidade. O sistema proposto contará com quatro leitos de secagem com área total de 145 m² sendo a estrutura coberta para facilitar a secagem do lodo sem a interferência climáticas. O sistema suprirá as necessidades da empresa tanto na eficiência quanto na regularização das condicionantes prescritas na Licença Ambiental de Operação estando desta forma em conformidade com as legislações vigentes e contribuindo com a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Estação de tratamento de água. Lançamento de efluente. Dimensionamento de leito de secagem.

ABSTRACT

Conventional Water treatment plants commonly known as CWTPs, capture the surface water through unit operations and process which make it possible to transform untreated water into drinking water for human consumption according to the potability standards determined by the Ministry of health. The conventional process of water treatment are similar to industrial process, consequently generate waste that can only be released into the environment according to the NBR 10,004/05 classification and CONAMA resolution nº 430/11. Nowadays, the practice of waste release of any kind on the environment is being curbed the law being in a culture of environmental preservation on such a scale that guide any and all activities involved directly with the environment. Analyzing the results of sludge characterization as well as their parameters according to the resolution mentioned, it was identified the need to design a sludge drying system. The system proposed and designed was a conventional drying bed with drainage, consisting of filter bed with gravel stone and sand layers. The reference values for calculating the volume of produced sludge were determined by the analytical control of untreated water and laboratory testing of sampling sludge generated in WTP. Because it is a drying bed, they need large areas for installation, so the terrain to be installed was evaluated and carried out a topographical study allowing to evaluate the best location for the installation of beds that allow the sludge transportation by gravity in order to make the operational system simplified and with economic viability so that the operational system does not require mechanical means for your functionality. The proposed system will feature four drying beds with total area of 145m² and the covered structure to facilitate sludge drying without climate interference. The system will satisfy the needs of the company both in efficiency and in the adjustment of conditions laid down in the Operational environmental Permit being thus in accordance with the current legislation and contributing to the environmental sustainability.

Keywords: Water treatment plant. Discharge of effluents. Drying bed dimensioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.....	18
Figura 2- Fluxograma típico de sistema de tratamento convencional de águas superficiais....	22
Figura 3 - Fluxograma típico de sistema de tratamento simplificado de águas subterrâneas ..	23
Figura 4 - Fluxograma de ETA convencional, com vazões e concentrações afluentes e efluentes.....	35
Figura 5 - Caracterização e classificação de resíduos de acordo com NBR 10004.....	40
Figura 6 - Ilustração das camadas de um leito de secagem tradicional.....	45
Figura 7 - Ilustração das camadas de um leito de secagem tradicional.....	46
Figura 8 - Detalhe disposição dos tijolos que compõem a camada suporte superior	46
Figura 9 - Desenho esquemático de um leito de secagem.....	50
Figura 10 - Esquema de implantação dos leitos de secagem.....	51
Figura 11 - Planta baixa da empresa de saneamento X.....	59
Figura 12 - Lodo gerado nos decantores	63
Figura 13 - Cotas da topografia do terreno a ser implantado o sistema de secagem de lodo ...	69
Figura 14 - Seção transversal da seção 06 da topografia do terreno	70
Figura 15 - Cotas da seção 3 do perfil longitudinal da topografia do terreno	71
Figura 16 - Localização de implantação do leito de secagem	78
Figura 17 - Projeto leito de secagem da empresa X	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Distritos por tipo de tratamento de água (IBGE, 2002)	19
Gráfico 2 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2015 .	72
Gráfico 3 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2016 .	72
Gráfico 4 -Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2017 ..	73
Gráfico 5 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2018 .	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Funções das principais operações unitárias aplicáveis no tratamento de água	21
Tabela 2 - Funções dos principais processos unitários de tratamento de águas destinadas a abastecimento	21
Tabela 3 - Condições de lançamento de efluentes de acordo com a Resolução nº 430 de 2011.	42
Tabela 4 - Parâmetros de lançamento de efluentes de acordo com a Resolução nº 430 de 2011	42
Tabela 5 - Relatório de ensaio amostra bruta do lodo dos decantadores.....	64
Tabela 6 - Relatório de ensaio amostra lixiviada do lodo dos decantadores	64
Tabela 7 - Relatório de ensaio amostra solubilizada do lodo dos decantadores.....	65
Tabela 8 - Relatório de ensaio da amostra do lodo do decantador	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.1.1	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	17
2.1.1	Operações e processos de tratamento de água de abastecimento	20
2.1.1.1	Coagulação e floculação.....	23
2.1.1.2	Decantação	25
2.1.1.3	Filtração.....	26
2.1.1.4	Desinfecção, fluoretação e estabilização	27
2.2	RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA.....	28
2.2.1	Características qualitativas e quantitativas do resíduo (lodo).....	30
2.2.1.1	Quantificação de resíduo gerado	31
2.2.1.1.1	Método de cálculo com equações empíricas.....	31
2.2.1.1.2	Método de cálculo com balanço de massa	34
2.2.1.1.3	Método de cálculo in loco.....	36
2.3	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	37
2.3.1	Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10004.....	38
2.4	LEGISLAÇÃO FEDERAL SOBRE LANÇAMENTO DE EFLUENTES NOS CORPOS HÍDRICOS	41
2.5	LEITOS DE SECAGEM	44
2.5.1	Dimensionamento dos leitos de secagem	47
2.5.2	Definição da área de implantação e transporte de lodo.....	50
2.6	DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	52
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	56

3.1	PESQUISA METODOLÓGICA	56
3.2	TIPO DE PESQUISA	56
3.3	POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	57
3.4	A EMPRESA	57
3.5	PROCESSO DESCRITIVO DAS ATIVIDADES	58
3.6	INSTRUMENTO DE COLETAS DE DADOS	61
4	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1	INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS INFLUENTES E ESCOLHA DA METODOLOGIA PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DA EMPRESA X.....	75
4.2	DADOS DO PROJETO PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA EMPRESA X	75
4.3	SUGESTÕES	80
5	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXOS	85
	ANEXO A – SEÇÕES TRANSVERSAIS DA TOPOGRAFIA DO TERRENO	86
	ANEXO B – SEÇÕES LONGITUDINAIS DA TOPOGRAFIA DO TERRENO.....	87
	APÊNDICES.....	88
	APÊNDICE A – CÁLCULO DIMENSIONAMENTO LEITO DE SECAGEM	89

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de valor inestimável, fundamental para a existência da vida do ser humano. Em seu estado natural, quando captada diretamente de mananciais, apresentam impurezas que podem causar efeitos deletérios à saúde humana. Na necessidade de fornecer a população água potável, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) convencionais são projetadas para realizar o tratamento necessário através de operações unitárias e processos unitários, transformando a água in natura em água potável de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de setembro de 2017, Anexo XX.

O processo convencional de tratamento, passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, gerando resíduos nas unidades de sedimentação e filtração. Os resíduos são comumente chamados de lodos e suas características variam em função da qualidade da água bruta, dos produtos químicos e das condições de operação do sistema. Os lodos possuem grande teor de umidade e são classificados pela NBR 10.004/04 como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento direto no meio ambiente sem que atendam os padrões de lançamentos determinados na Resolução do CONAMA Nº 430/11. O lançamento indevido de resíduos no meio ambiente é considerado crime ambiental e acarreta em suspensão da Licença Ambiental de Operação do sistema.

Os lodos de ETAs podem ser tratados realizando a separação sólido-líquido por processo de desidratação aumentando a concentração de sólidos, possibilitando desta forma a reutilização ou descarte adequado da água drenada e possibilita a disposição final do material sólido de forma coerente com as legislações vigentes.

Os leitos de secagem convencionais possibilitam a secagem do lodo e são constituídos de materiais simples que compõem o meio filtrante com compostos de pedregulho, areia grossa e camada de tijolos. Os lodos já secos e retirados do sistema de secagem, podem ser utilizados em várias áreas tais como na aplicação como adubo em práticas agrícolas, na recuperação de áreas degradadas, matéria prima para a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos, produção de cimento, incorporação do lodo em matriz de concreto, melhoramento de solos agrícolas, recuperação de coagulantes e até mesmo como auxiliar na decantação de água com baixa turbidez.

A fim de atender as legislações vigentes e diminuir os impactos ambientais que podem ser causados por lançamentos diretos de efluentes no meio ambiente, o presente trabalho tem como objetivos, avaliar as condições de lançamento do resíduo gerado em ETA convencional e dimensionar um sistema de secagem com condições eficientes e economicamente viáveis afim de regularizar as condicionantes prescritas na Licença Ambiental de Operação da Empresa X.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

Atualmente no Brasil, 83,3% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada. Este índice está diretamente refletido pelo crescimento populacional onde o homem vem buscando uma demanda crescente de qualidade de vida tornando indispensável o uso do saneamento básico.

As empresas de saneamento em sua maioria utilizam o sistema de tratamento de água convencional a fim de transformar a água *in natura* em água potável para consumo humano de acordo com os padrões de potabilidade das legislações vigentes. Este processo operacional ocorre com a introdução de produtos químicos que desestabilizam as partículas coloidais na água bruta captada de fontes superficiais gerando resíduos, estes originalizados dos decantadores e lavagem dos filtros.

Tradicionalmente, a maior preocupação da gestão dos resíduos sólidos é em relação aos efluentes gerados nas estações de tratamento de esgoto, e escassa é a conscientização efetiva da importância do tratamento e disposição final dos efluentes das estações de tratamento de água.

Devido aos fatores supracitados, inúmeras estações de tratamento de água lançam os resíduos do processo operacional indiscriminadamente nos corpos d'água sem caracterização adequada do efluente lançado, acarretando a deterioração dos mananciais e possíveis riscos à saúde pública e a vida aquática, o que deixa explícita a incoerência e a necessidade de adequação dos sistemas de saneamento quanto à destinação adequada dos resíduos produzidos pelas estações.

No sentido de cooperar com a sustentabilidade e sistematicidade do processo adequando-se às exigências dos órgãos ambientais, determinou-se como questão central desta pesquisa: **quais os procedimentos necessários para a adequação às exigências dos órgãos**

ambientais de descarte de resíduo sólido gerado em estação de tratamento de água situada na região litorânea do Sul de Santa Catarina, em estudo exploratório realizado para cumprimento de estágio supervisionado no ano de 2018?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar procedimentos necessários para a adequação às exigências dos órgãos ambientais de descarte de resíduo sólido gerado em estação de tratamento de água situada na região litorânea do Sul de Santa Catarina.

1.2.1.1 Objetivos específicos

- a) Descrever o processo de tratamento de água no qual dá origem aos resíduos sólidos;
- b) Caracterizar o efluente gerado na estação de tratamento de água;
- c) Avaliar os parâmetros de lançamento do efluente com base nas legislações vigentes;
- d) Dimensionar leito de secagem;
- e) Analisar a disposição final do resíduo sólido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

A água tratada e destinada ao abastecimento público, deve atender rigorosamente aos padrões de potabilidade determinados pelo Ministério da Saúde, respeitando os limites máximos permitidos (VMP) das concentrações dos parâmetros determinados pela Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 – Dou Nº 190, de 03/10/2017, Anexo XX. Esta consolidação, revoga formalmente sem modificações a Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.

O tratamento de águas de abastecimento público pode ser definido como o conjunto de processos e operações realizados com a finalidade de adequar as características físico-químicas e biológicas da água bruta, isto é, como é encontrada no curso d'água, com padrões organolepticamente agradável e que não ofereça riscos à saúde humana. (DI BERNARDO, 2003, p.6).

Os investimentos no setor de água potável no Brasil, apesar de significativos, não apresentam resultados esperados na melhoria da saúde e da qualidade de vida da população. Estes recursos continuarão sendo limitados enquanto não forem fortalecidos os aspectos técnicos, econômicos, institucionais, ambientais, sociais e culturais. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

A poluição e eutrofização são ocorrências que causam as principais preocupações nos mananciais. A qualidade da água depende dos métodos usados na agricultura local, da posição de descartes de esgotos municipais e industriais, do aproveitamento de rios, principalmente, construções de barragens, das estações do ano e das condições climáticas. Os períodos de elevada precipitação pluviométrica causam uma lavagem do silte e da matéria orgânica dos solos cultivados e das florestas, enquanto as vazões de tempo seco resultam em maiores concentrações de poluentes oriundos das descargas de esgotos. (HAMMER, 1979, p. 238).

As tecnologias de tratamento de água podem ser resumidas em dois grupos: sem coagulação química e com coagulação química. Comumente, aplica-se a coagulação em sistemas convencionais que possuem como fonte de captação de água bruta, águas de

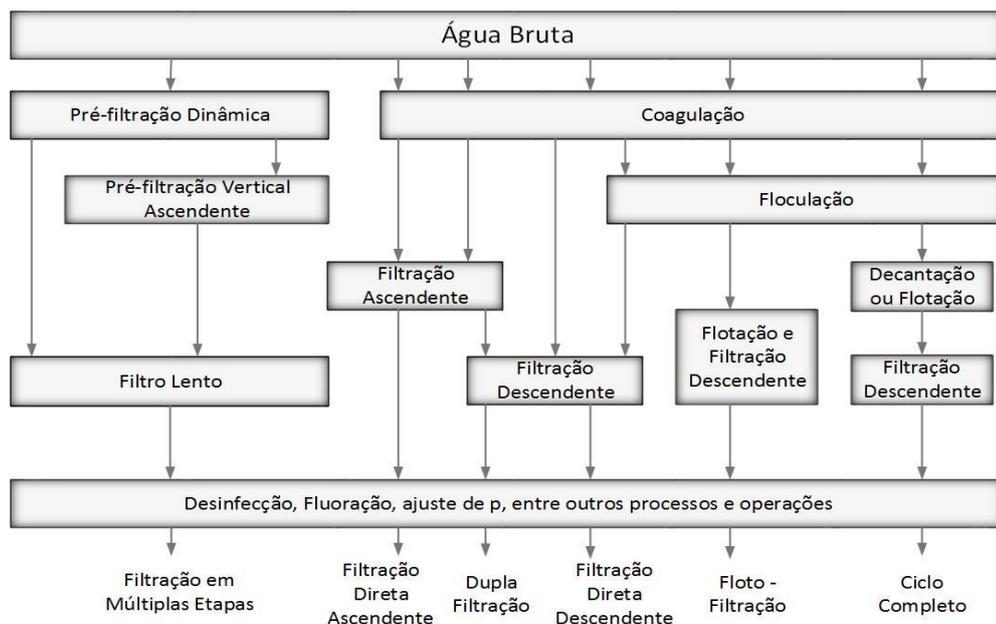
mananciais superficiais e, as fontes de água bruta subterrâneas, normalmente não necessitam passar por processos convencionais de tratamento. A água quimicamente coagulada pode seguir vários caminhos até chegar aos filtros, uma vez que a qualidade da água bruta ser o fator decisivo na escolha da tecnologia de tratamento. (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE (2002), as tecnologias de tratamento de águas para abastecimento são classificadas como convencionais, que incluem todas as etapas tradicionais do processo (coagulação, floculação, decantação e filtração), e não-convencionais, incluindo a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração lenta. A simples desinfecção não é mais considerada tecnologia de tratamento para águas superficiais, sendo aplicada apenas em águas brutas subterrâneas que apresentam condições naturais organolepticamente agradáveis e sanitariamente seguras. (DI BERNARDO, 2003, p.6).

As características sazonais de vazão dos mananciais, bem como as variações de seus parâmetros físico-químicos, refletem diretamente na escolha da tecnologia a ser aplicada. Mananciais com elevadas concentrações de metais requerem tratamentos com tecnologias avançadas, a fim de obter-se uma oxidação eficiente garantindo a potabilidade da água tratada.

A Figura 1 apresenta em forma de diagramas de blocos, as principais estações de tratamento de água, com seus processos e operações de tratamento.

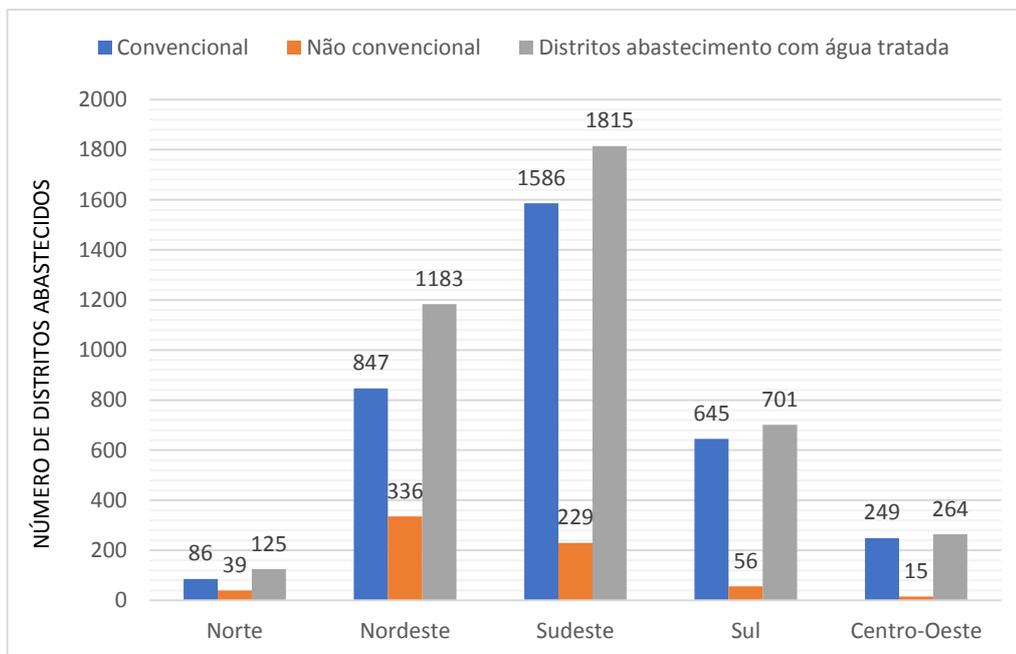
Figura 1- Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano



Fonte: Adaptado de Di Bernardo, Sabogal Paz, 2008, p. 116.

O gráfico 1, apresenta o quantitativo das cinco macrorregiões do País que possuem abastecimento com água tratada e o tipo de tecnologia aplicada, sendo estas, tratamento de água convencional e não convencional.

Gráfico 1- Distritos por tipo de tratamento de água (IBGE, 2002)



Fonte: Adaptado de Di Bernardo, 2003, p. 7.

A distribuição dos tipos de tratamento de água, “[..] apesar da predominância do tratamento convencional nos distritos brasileiros, os tratamentos não-convencionais vêm se difundindo cada vez mais e já apresentam utilização significativa no País. [...]” (DI BERNARDO, 2003, p. 7). A condição ideal seria optar-se por uma estação de tratamento que não gerasse resíduos, mas como isto não é possível, cumpre selecionar aquelas que sejam eficientes na redução dos riscos presentes na água bruta conforme legislações vigentes e que produzam a menor quantidade de resíduos com facilidade de tratamento, aproveitamento na disposição no ambiente.

2.1.1 Operações e processos de tratamento de água de abastecimento

A seleção do esquema de tratamento de uma água destinada a abastecimento público depende dos objetivos de qualidade definidos e das características da água bruta a ser captada e tratada. (ALVES, 2010).

Os tratamentos aplicáveis a uma água bruta visam a melhoria da qualidade para abastecimento e têm por razões de várias índoles:

- a) Higiênicas – Remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, mineralização excessiva, teores elevados de compostos orgânicos, protozoários e outros microrganismos;
- b) Estéticas – Correção da cor, sabor e turvação;
- c) Econômicas – Redução da corrosividade, dureza, cor, turvação, ferro, odor, sabor, manganês, etc.

Em atendimento as índoles supracitadas, a tecnologia aplicável deve satisfazer três conceitos fundamentais: múltiplas barreiras, tratamento integrado e tratamento por objetivos.

No sistema de abastecimento de água, o conceito de múltiplas barreiras sugere a necessidade de haver mais de uma etapa de tratamento para alcançar condições de baixo risco, juntas devem progressivamente, remover os contaminantes para produzir água de qualidade satisfatória e promover máxima proteção contra agentes de veiculação hídrica. O conceito de tratamento integrado, por sua vez, sugere que as barreiras devam ser combinadas de forma a produzir o efeito esperado. A estratégia de tratamento por objetivos considera que cada fase de tratamento possui uma meta específica de remoção relacionada a algum tipo de risco. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008, p. 113).

O tratamento processa-se em várias etapas que se interligam num determinado espaço físico, conhecido por Estação de Tratamento de Água (ETA).

De maneira geral, os agrupamentos das tecnologias são definidos como arranjos lógicos de seqüências de processos e operações unitárias que fornecem as diretrizes para a concepção de um sistema de tratamento que resulta em água tratada. (FONTANA, 2004).

A Estação de Tratamento de Água – ETA, geralmente é instalada quando a água bruta utilizada por uma população, especialmente nas grandes cidades, é imprópria para o consumo humano. Sua instalação deve ser localizada mais próximo possível do manancial que, em geral, é um rio, necessitando, muitas vezes, de uma Estação

Elevatória para bombear a água até a entrada da ETA. Um dos artifícios para bloquear as impurezas é o sistema de gradeamento, que tem como finalidade deter os materiais flutuantes de maiores dimensões, evitando o desgaste e destruição dos equipamentos à jusante. (FUNASA, 2014, p. 50).

Cada etapa, ou método individual de tratamento, classifica-se em: operação unitária, que se assenta em princípios físicos e, processo unitário que se assenta em princípios químicos ou biológicos. Ambas as etapas podem ser visualizadas nas tabelas 1 e 2.

O tratamento por sistema convencional é comumente o processo mais utilizado e é compreendido pelas seguintes operações unitárias: clarificação (mistura rápida/coagulação, mistura lenta/floculação, decantação e filtração), seguida da desinfecção, fluoretação, correção de pH, reservação e distribuição.

Tabela 1 - Funções das principais operações unitárias aplicáveis no tratamento de água

<i>Operações unitárias</i>	<i>Função</i>
• Gradagem	Separação de impurezas grosseiras
• Microtamização	Remoção de partículas finas em suspensão
• Desarenação	Remoção de areias
• Arejamento	Remoção de voláteis e precipitação de metais
• Floculação	Aglutinação de partículas em suspensão
• Sedimentação	Remoção de partículas em suspensão
• Filtração	Remoção de partículas finas após sedimentação
• Adsorção	Remoção de substâncias dissolvidas
• Armazenamento	Conservação da água tratada antes da distribuição

Fonte: Alves (2010, p. 46).

Tabela 2 - Funções dos principais processos unitários de tratamento de águas destinadas a abastecimento

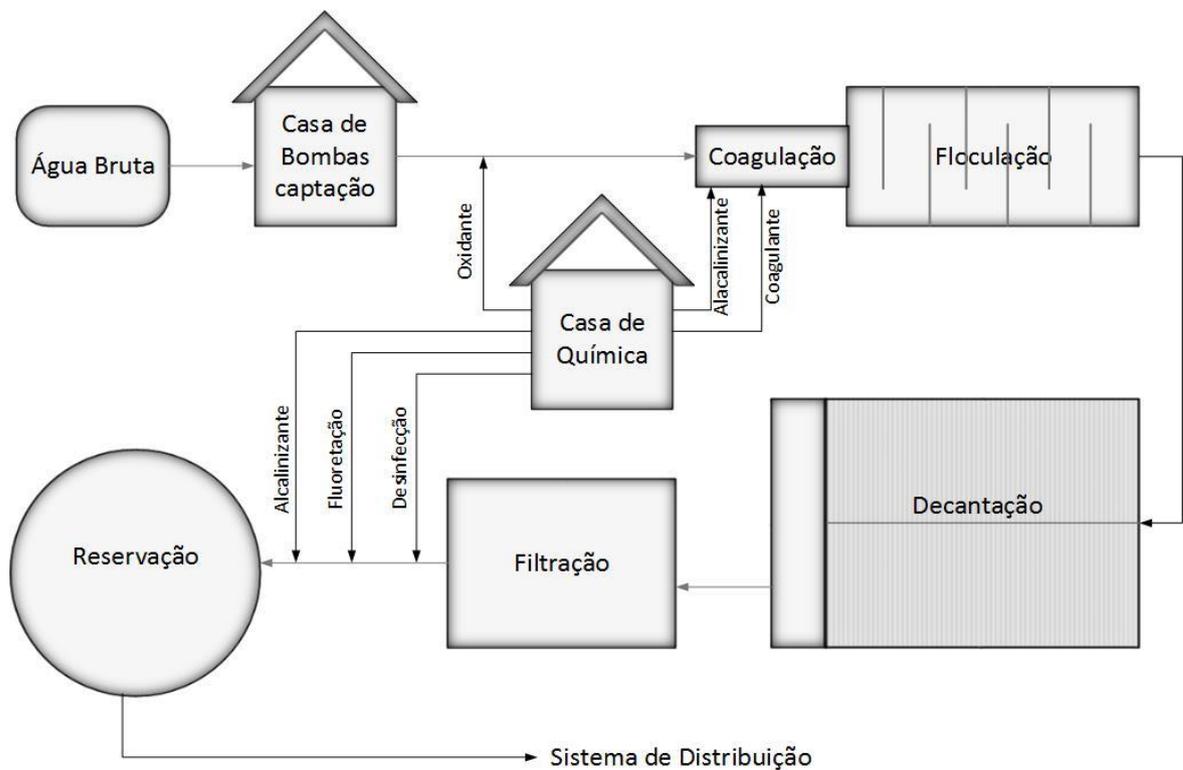
<i>Operações unitárias</i>	<i>Função</i>
• Coagulação	Desestabilização de partículas coloidais
• Estabilização	Correção de pH, alcalinidade e teor de cálcio
• Desinfecção	Remoção de microrganismos patogênicos

- **Fluoretação** Adição de fluoretos à água tratada
- **Osmose reversa** Remoção de teores elevados de iões dissolvidos
- **Electrodiálise** Remoção de teores elevados de iões dissolvidos

Fonte: (id ibid.).

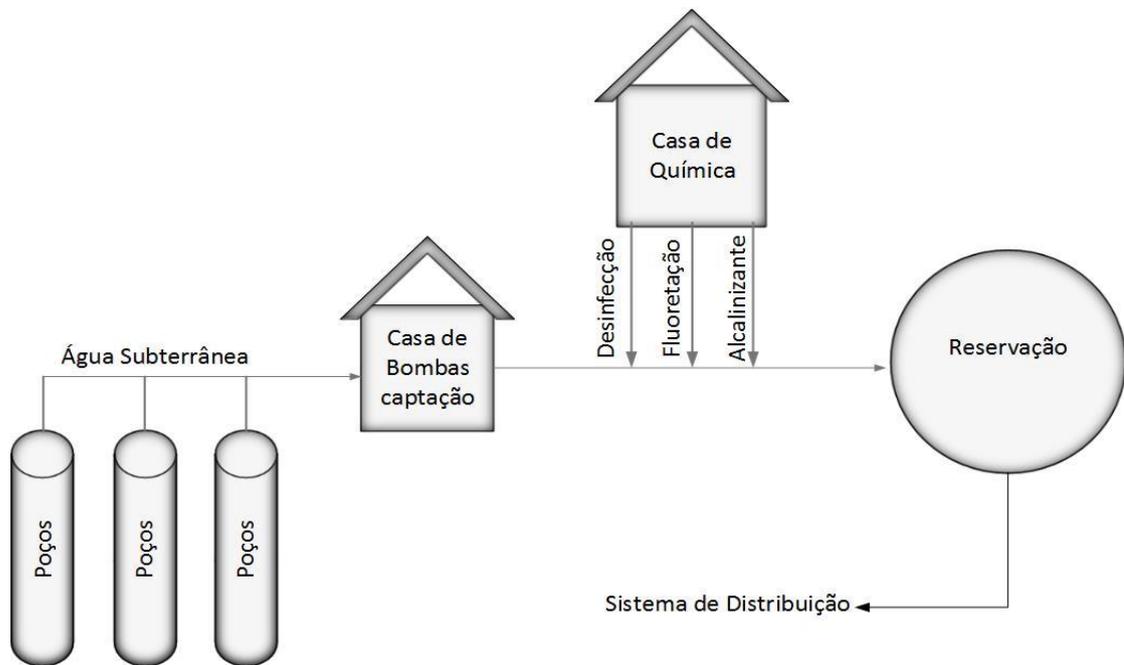
Nas figuras 2 e 3 representa-se de forma esquemática, a sequência habitual das várias etapas que integram as estações de tratamento de águas superficiais convencionais e subterrâneas simplificadas.

Figura 2- Fluxograma típico de sistema de tratamento convencional de águas superficiais



Fonte: da autora, 2018.

Figura 3 - Fluxograma típico de sistema de tratamento simplificado de águas subterrâneas



Fonte: da autora, 2018.

Nos sistemas convencionais, a água a ser captada e tratada provém de mananciais de superfície, sendo estas as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas e bacteriológicas impróprias, com exceção das águas de nascentes que, com uma simples proteção de cabeceiras e as águas subterrâneas com uma simples desinfecção, podem ser muitas vezes consumidas sem perigo.

2.1.1.1 Coagulação e floculação

Os termos coagulação e floculação são frequentemente usados como sinônimos, ambos significando o processo integral de aglomeração de partículas e possuem grande importância para o funcionamento eficiente dos decantadores e filtros.

O processo de coagulação é a condução simultânea de partículas coloidais por forças químicas originadas do processo de reação química no qual é ocasionada rapidamente

após a aplicação do coagulante à água. Este processo ocorre na etapa de mistura rápida e “[...] é essa a razão pela qual é necessária uma mistura intensa no ponto de aplicação do coagulante, afim de que se dê uma exposição das partículas finas em suspensão na água ao agente coagulante, antes que a reação da coagulação se complete [...]” (LEME, 1979, p. 19) obtendo-se a redução das forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão.

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).

Posteriormente ao processo de coagulação, a água coagulada é submetida a etapa de floculação que tem por objetivo promover o contato, através de uma mistura lenta, das partículas desestabilizadas e favorecer a sua agregação em flocos facilmente sedimentáveis. A mistura deve ser suficientemente intensa para permitir o contato entre partículas e impedir a sedimentação dos flocos e suficientemente moderada para não desagregar e dispersar os flocos.

Um processo comum de realizar a floculação consiste em fazer passar a mistura através de uma sequência de tanques providos de agitadores transversais (ou paralelos) ao sentido do escoamento ou forçando-a a seguir em trajeto sinuoso ao longo de depósitos munidos de chicanas. (ALVEZ, 2010, p. 77).

A floculação pode ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas e a necessidade da variação da intensidade de agitação, em função da qualidade da água bruta a ser tratada, indica a adoção de unidades mecanizadas. Entretanto, sempre que possível, deve-se empregar a floculação hidráulica.

2.1.1.2 Decantação

O processo de sedimentação, ou decantação, é uma operação de remoção de partículas em suspensão. Esta etapa “[...] consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento [...]” (RICHTER, 1991, p.148) e é um dos processos mais comuns no tratamento de água.

As partículas sedimentam-se com uma velocidade crescente até o momento em que a resistência do líquido se iguala ao peso efetivo da partícula. Neste momento, a velocidade da sedimentação se torna constante e passa a depender unicamente do tamanho, da forma, do peso específico da partícula como, também do peso específico e viscosidade da água. (LEME, 1979).

Os primeiros decantadores foram tanques de fluxo horizontal. Suas principais vantagens residem em sua inerente simplicidade, alta eficiência e baixa sensibilidade a condições de sobrecarga. Por esses motivos, sua utilização é ainda defendida por diversos engenheiros. (RICHTER, 1991, p.149).

As operações de sedimentação processam-se em tanques de planta retangular ou circular e escoamento horizontal ou vertical. Em ambos é possível identificar quatro zonas: entrada, sedimentação, saída e acumulação de lamas provenientes das partículas sedimentadas, sendo estes tanques comumente conhecidos como decantadores. (ALVES, 2010).

As partículas que não forem removidas na sedimentação, sejam por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade próxima à da água, estas serão removidas na etapa seguinte do processo operacional de tratamento.

2.1.1.3 Filtração

A filtração é um processo de separação sólido-líquido, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, as vezes biológicos que consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Regra geral, a filtração é usada como método de afinação da qualidade da água, ou seja, tem como finalidade eliminar matéria suspensa que não tenha sido removida nas fases de sedimentação, coagulação e floculação. Em certos casos a filtração pode ser utilizada como operação de remoção primária da turvação, ou seja, pode ser destinada à filtração direta de uma água bruta. Para além de permitir a remoção de sólidos em suspensão, a filtração possibilita a redução do número de microrganismos e, dependendo da natureza do meio, a remoção de cheiro, sabor e cor. (ALVES, 2010, p. 131).

Os filtros podem ser classificados de acordo com sua velocidade ou sua pressão. Os filtros lentos funcionam com taxa média de 2 a 6 m³/m²/dia e os rápidos funcionam com taxa média de 120 a 600 m³/m²/dia. Os filtros de pressão são fechados, metálicos, nos quais a água decantada a ser filtrada é aplicada sobre pressão. Os filtros lentos são utilizados geralmente em zonas rurais onde existam disponibilidade de área e o processo de remoção de partículas não requer previamente o uso de coagulantes. (FUNASA, 2014).

A eficiência do processo de coagulação, floculação e decantação refletem diretamente na etapa de filtração pois, “[...] se o efluente dos decantadores carregar uma quantidade excessiva de flocos grandes, um espesso tapete formar-se-á na superfície do filtro e colmata o leito. [...]” (HAMMER, 1979. p. 253). Entretanto, as impurezas contidas na água podem penetrar, profundamente no leito e não serem retidas, causando um efluente turvo.

A filtração ótima ocorre quando os flocos coagulados não-decantáveis são retidos nos poros do leito e produzem a filtração ao longo da profundidade do meio. Um leito filtrante ideal possui as características: o meio possui diâmetro suficientemente grande para formar poros de dimensão, capazes de reter grandes quantidades de flocos, e possui diâmetro suficientemente pequeno para evitar a passagem de sólidos em suspensão; possui profundidade adequada para permitir corridas de filtração suficientemente longas; é gradado para permitir limpeza efetiva durante a lavagem. (id *ibid.*, p. 253).

Após o processo de filtração, a água já filtrada, passa para as últimas etapas de operações unitárias constituídas de desinfecção, fluoretação e estabilização.

2.1.1.4 Desinfecção, fluoretação e estabilização

A desinfecção da água filtrada se faz necessária porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento de água.

A desinfecção é o tratamento mais importante a que uma água deve ser sujeita. Todas as águas de abastecimento devem ser desinfetadas, mesmo nos casos em que exista uma garantia de qualidade microbiológica. Embora a maior parte dos microrganismos passa ser removida com um esquema convencional de tratamento de água a sua erradicação só é garantida através da desinfecção. (ALVES, 2010, p. 175).

Entre os agentes desinfetantes o mais largamente empregado na purificação da água é o cloro, pois, é facilmente disponível como gás, líquido ou sólido; é barato; é fácil de aplicar devido a sua alta solubilidade; deixa um residual em solução, de concentração facilmente determinável protegendo o sistema de distribuição e é capaz de destruir a maioria dos microrganismos patogênicos. (HICHTER, 1991).

A cloração é comumente a primeira e última etapa do processo de tratamento, provendo oxidação e desinfecção da água bruta e estabelece um residual de cloro na água tratada. A pré-cloração é utilizada para remover os compostos que produzem odores e gostos.

O efeito da cloração cresce com a temperatura da água, com o tempo de contato do cloro e com a concentração deste. Pode ser prejudicado por substâncias orgânicas e pela turbidez presentes na água. No entanto de todos os fatores que afetam a cloração, destaca-se a concentração do íon hidrogênio. Quanto menor o pH da água, mais acentuado é o poder desinfetante do cloro. (DACACH, 1979, p. 264).

Logo após a filtração e desinfecção, a água antes de ser conduzida para os reservatórios deve ser estabilizada e fluoretada garantindo a qualidade e a potabilidade da água a ser distribuída e consumida.

A fluoretação é implantada no tratamento como coadjuvante na prevenção da cárie dentária, considerada no Brasil como problema de Saúde Pública, em face da alta prevalência. A adição de flúor não deve ser considerada tratamento da água, e sim um aditivo necessário e recomendado pelo Ministério da Saúde. (FUNASA, 2014).

Quando submetemos a água ao tratamento completo (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção), é frequente que, a saída dos filtros, o pH seja inferior a 6,5, pelo que é necessário proceder ao ajuste deste parâmetro a um nível aceitável. A estabilização é o processo de acerto do pH de uma água ao seu valor de equilíbrio, igualmente designado como pH de saturação (pH_s). Note-se que uma água ao pH de equilíbrio não tem tendência nem a dissolver, nem a precipitar o carbonato de cálcio. (ALVES, 2010, P. 240).

Para evitar que as redes de distribuição sofram corrosão, é necessário formar uma película de substâncias químicas oriunda da água devidamente condicionada. Tal película é geralmente de carbonato de cálcio, resultante do emprego de cal ou soda. Se a quantidade de carbonato de cálcio presente na água for inferior que 30 mg/L, recomenda-se a cal. Se for superior, os melhores resultados são obtidos com a soda. Sem o devido controle haverá desequilíbrio, em decorrência do aumento ou diminuição do gás carbônico presente. Se o gás aumentar, a água pode dissolver a película e se diminuir, o carbonato de cálcio depositar-se-á em excesso, o que é indesejável, porque implica na redução da seção de escoamento. (DACACH, 1979).

O ponto de equilíbrio dos carbonatos, que dependem do pH, da temperatura e das características químicas da água, pode ser determinado por testes de laboratório.

2.2 RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento da água bruta, indiscutivelmente, gera benefícios sociais, mas, como toda indústria de transformação, os processos e operações utilizados podem gerar impactos no meio ambiente. Neste contexto, os resíduos gerados nas estações de tratamento de água, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo, representam um problema sério para as

instituições que gerenciam tais sistemas. Esses resíduos, comumente chamados de lodos, são provenientes da água da lavagem de filtros e descargas de decantadores.

Os rejeitos ordinários do tratamento d'água, em ordem de produção, são: resíduos da coagulação química, precipitados do abrandamento, lavagem dos filtros, sólidos da pré-decantação, óxidos da remoção de ferro e manganês, e a solução gasta usada na regeneração de unidades trocadoras de íons. Esses despejos variam extensivamente na sua decomposição, contendo os materiais concentrados, removidos da água bruta. Esses rejeitos são produzidos continuamente e descarregados intermitentemente. Os flocos decantados são acumulados nos decantadores durante períodos relativamente longos, enquanto que a lavagem dos filtros produz uma grande vazão por um período de alguns minutos, geralmente uma vez por dia para cada filtro. (HAMMER, 1979, p. 297).

No Brasil, o lançamento de resíduos nos corpos de água é regulado pela Resolução CONAMA N° 430/2011 – “Dispõe sobre condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução N° 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA” e, considerando a NBR 10.004/2004, o lodo gerado nas estações de tratamento de água é classificado como resíduo sólido, portanto, deve ser devidamente tratado e disposto sem provocar danos ao meio ambiente. Na Lei n° 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece que o lançamento indiscriminado dos resíduos nos corpos de água se sujeita ao regime de outorga podendo receber ou não autorização e, de acordo com a Lei dos Crimes Ambientais, o lançamento irregular destes resíduos é passível de punição civil, administrativa e criminal.

O lançamento indiscriminado dos resíduos em corpos de água, contribui para o aumento da concentração de metais tóxicos, limita a concentração de carbono disponível para alimentação de macro invertebrados e, as altas concentrações de sólidos suspensos, diminuem significativamente a luminosidade do meio líquido, reduzindo a produtividade do fotoplâncton nos locais próximos aos pontos de descarga. As descargas com baixa velocidade de escoamento podem também desenvolver condições anaeróbicas e promover a solubilização de metais presentes no solo e nos resíduos. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Considerando a carência de água tratada em muitas regiões do Brasil e o impacto dos resíduos gerados descartados ilegalmente dos corpos hídricos com possível comprometimento da qualidade de potenciais de abastecimento, torna-se fundamental o tratamento desses resíduos e a disposição adequada atendendo as legislações vigentes.

2.2.1 Características qualitativas e quantitativas do resíduo (lodo)

Os lodos de ETAs, “[...] na sua forma mais comum, são basicamente constituídos de água e sólidos suspensos, originalmente presentes no manancial, comumente areia, argila, metais, soluções dissolvidas e bactérias, acrescidos de produtos [...]” (FONTANA, 2004, p. 28), e possuem em média 95% de umidade, o que dificulta o seu tratamento, necessitando reduzir esta umidade através de processos de desaguamento natural.

As características do lodo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e produtos químicos aplicados. Entretanto, pode-se delinear algumas generalizações de modo a antecipar informações para o dimensionamento e projeto de sistemas de desidratação.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), a caracterização dos resíduos pode ser realizada conforme sua importância e o objeto do estudo de acordo com:

- a) Aspectos ambientais associados à disposição dos resíduos: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, pesticidas, fertilizantes e compostos orgânicos voláteis;
- b) Aspectos geotécnicos relacionados à remoção de água e futuras utilizações dos sólidos dos resíduos: tamanho e distribuição de tamanho das partículas, limite de plasticidade e de liquidez, resistência específica, repostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade.

A determinação de sólidos é o principal parâmetro a ser utilizado na caracterização dos resíduos, sendo que a água de lavagem dos filtros é geralmente caracterizada pela concentração de sólidos em mg/L e os lodos dos decantadores pelo teor de sólidos em %. Como a maior parte das partículas presentes nesses resíduos estão em suspensão, os valores de sólidos em suspensão (SST) tendem a ser bem próximos aos sólidos totais (ST). (GUIMARÃES, 2007).

As duas fontes mais importantes são os lodos dos decantadores (ou flotados) e a água de lavagem dos filtros. A porcentagem de lodo removida depende da sua origem – se de decantadores ou de flotadores, de filtros rápidos convencionais, de unidades de filtração direta, e da técnica ou metodologia que é usada para remoção de lodo, e geralmente se encontra entre 0,2 a 5% do volume tratado pela estação de tratamento, havendo casos excepcionais de instalações de filtração direta onde a

presença de algas eleva esta perda a valores tão altos como 30 – 40%. Os decantadores convencionais são os que apresentam os valores mais baixos, geralmente inferiores a 0,5% de perdas, dependendo da frequência das descargas e os clarificadores em manto de lodos são os que apresentam valores (1 – 5%), com os decantadores laminares em uma posição intermediária (05 – 2%). (RICHTER, 2001, p. 2).

A quantidade e qualidade dos resíduos existentes, podem ser obtidas por meio do monitoramento das unidades de tratamento, por períodos superiores a três anos sendo possível obter as variações da qualidade da água bruta durante todas as estações climáticas. Em caso de ausência de registros, pode ser efetuado levantamento do funcionamento de cada unidade de tratamento e relacionar a quantidade de sólidos suspensos totais retidos por meio de balanço de massas e comparar os resultados obtidos com equações empíricas. (DI BERNARDO, SABOGAL PAZ, 2008).

Em estações em fase de projeto, a quantidade de sólidos pode ser estimada pelo uso de equações, porém, é extremamente difícil estimar a qualidade dos resíduos sem que se tenham dados confiáveis da qualidade da água bruta a ser tratada e das características dos produtos químicos a serem empregados.

2.2.1.1 Quantificação de resíduo gerado

A quantificação da geração de resíduos sólidos pode ser determinada utilizando três métodos: métodos de cálculo com equações empíricas, balanço de massa e determinação *in loco*. (SILVEIRA, 2012).

2.2.1.1.1 Método de cálculo com equações empíricas

De acordo com Fontana (2004), há diversas fórmulas empíricas propostas na literatura para a estimativa da produção de sólidos em ETA, considerando correlações diversas entre sólidos suspensos (SS) e turbidez, dentre elas:

$$W = 0,0864 \times Q \times (0,44 \times D + 1,5 \times T + A) \quad (\text{Equação 1})$$

$$W = \text{quantidade de lodo} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$Q = \text{vazão de entrada da água} \left(\frac{\text{L}}{\text{s}} \right)$$

$$D = \text{dosagem de sulfato de alumínio} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$T = \text{turbidez da água bruta (uT)}$$

$$A = \text{dosagem de auxiliares} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$SS = b \cdot T \quad (\text{Equação 2})$$

$$SS = \text{sólidos suspensos} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$T = \text{turbidez (uT)}$$

$$b = \text{coeficiente de correlação}$$

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times T^{0,66} \quad (\text{Equação 3})$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

$$P = \text{produção de sólidos}$$

$$T = \text{turbidez da água bruta}$$

$$W = \text{quantidade de sólidos secos} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right)$$

$$Q = \text{vazão de água bruta tratada} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$P = (SS + 0,07C + H + A) \times 10^{-3} \quad (\text{Equação 4})$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

$$P = \text{produção de sólidos}$$

$$SS = \text{sólidos em suspensão na água bruta} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$C = \text{cor na água bruta (uC)}$$

$$H = \text{hidróxido coagulante} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$$A = \text{outros aditivos, tal como polímero} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$$

$W = \text{quantidade de sólidos secos} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{dia}} \right)$

$Q = \text{vazão de água bruta tratada} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$

$$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3} \quad (\text{Equação 5})$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

$P = \text{produção de sólidos}$

$T = \text{turbidez água bruta (uT0)}$

$C = \text{cor aparente da água bruta (uC)}$

$D = \text{dosagem de sulfato de alumínio} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

$A = \text{outros aditivos} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

$$P = (0,23 \times 2AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3} \quad (\text{Equação 6})$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

$AS = \text{dosagem de sulfato de alumínio}$

$T = \text{turbidez da água bruta}$

$W = \text{quantidade de sólidos secos} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right)$

$Q = \text{vazão de água bruta tratada} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$

$$P = ((D \times F^1) + (T \times F^2)) \quad (\text{Equação 7})$$

$P = \text{produção de sólidos}$

$D = \text{dosagem de sulfato de alumínio} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

$F^1 = \text{fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio.}$

$F^2 = \text{razão entre a concentração de SST presentes na água bruta e a turbidez na faixa de 1,0 a 2,0}$

$$D_L = \frac{100}{\frac{T_{ST}}{D_{SS}}} + \left(100 - \frac{T_{ST}}{D_A}\right) \quad (\text{Equação 8})$$

D_L = densidade úmida do lodo

T_{ST} = teor de sólidos totais (%)

D_{SS} = densidade dos sólidos secos (adota-se $2500 \frac{kg}{m^3}$)

D_A = densidade da água

É perceptível que as equações consideram como parâmetros básicos as características da água bruta, vazão, dosagem de coagulante e sólidos secos. Portanto, com base nos dados e aplicação nas equações empíricas supracitadas, é possível quantificar o lodo gerado nas estações de tratamento de água.

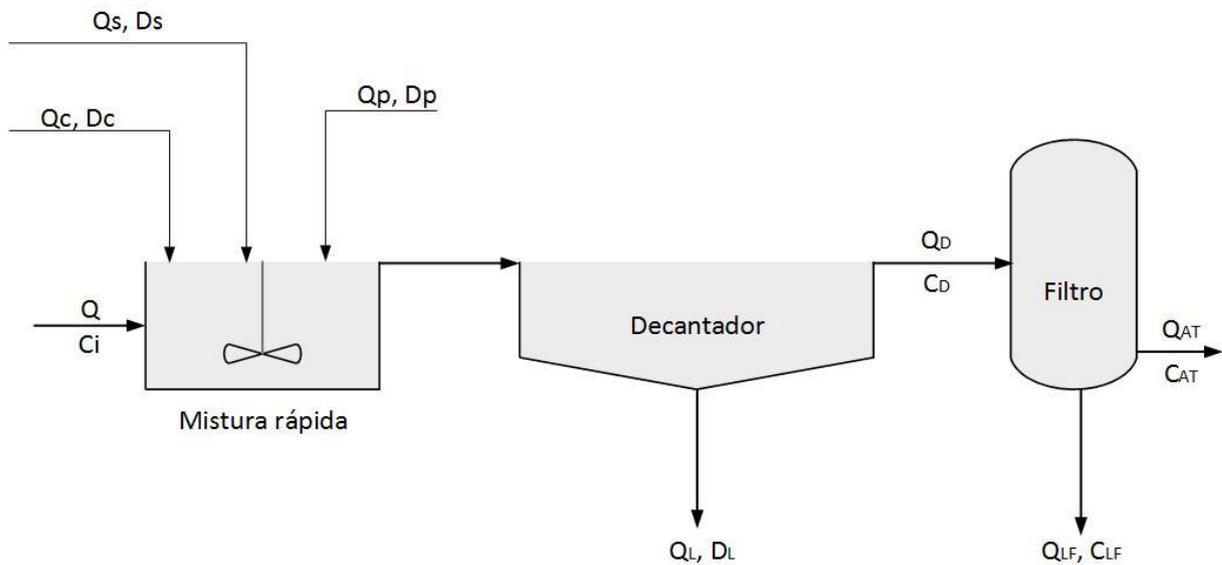
2.2.1.1.2 Método de cálculo com balanço de massa

De acordo com Cordeiro *et al.* (2001), o balanço de massa dos sólidos gerados nos decantadores e de ETAs convencionais, pode ser determinado pela entrada de sólidos no sistema que é fornecida pelas partículas presentes na água bruta e nos produtos adicionados ao processo. Assim, os parâmetros determinados em uma ETA são:

- a) Vazão de entrada (L/s);
- b) Turbidez (uT);
- c) Cor (uC);
- d) Dosagem de coagulante (mg/L);
- e) Dosagem de cal (mg/L);
- f) Dosagem de auxiliares de floculação (mg/L).

A figura 4 demonstra o balanço de massa dos sólidos gerados nos decantadores.

Figura 4 - Fluxograma de ETA convencional, com vazões e concentrações afluentes e efluentes



Fonte: Adaptado de Cordeiro *et al.*, 2001, p. 130.

O balanço de massa no decantador apresentado na figura 4 pode ser expresso pelas equações:

$$QC_1 + Q_C D_C + Q_S D_S + Q_P D_P + = Q_L D_L + Q_{LF} C_{LF} + Q_{AT} C_{AT} \quad (\text{Equação 9})$$

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

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

$$Q_C = \text{vazão de cal} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$D_C = \text{dosagem de cal} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

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

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

$$Q_P = \text{vazão de polímero} \left(\frac{L}{s} \right)$$

$$D_P = \text{dosagem de polímero} \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$Q_L = \text{vazão efluente do decantador} \left(\frac{L}{s} \right)$

$D_L = \text{concentração de lodo} \left(\frac{mg}{L} \right)$

$Q_{LF} = \text{vazão de lodo de água de lavagem de filtros} \left(\frac{L}{s} \right)$

$C_{LF} = \text{concentração de sólidos na água de lavagem de filtros} \left(\frac{mg}{L} \right)$

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

$C_{AT} = \text{concentração de sólidos na água tratada} \left(\frac{mg}{L} \right)$

A concentração de sólidos que entra no decantador pode ser relacionada à turbidez da água bruta, sendo multiplicada por valor que pode variar de 1,5 a 2,2. (CORDEIRO, *et al.*, 2001).

Sendo assim:

$$C_e = 1,5 \times T \quad (\text{Equação } 10)$$

$C_e = \text{concentração de partículas que entra no decantador}$

$T = \text{turbidez da água bruta}$

2.2.1.1.3 Método de cálculo in loco

O volume de lodo do decantador pode ser quantificado fisicamente mediante medidas da camada de lodo existente ao longo do decantador.

A altura da camada de lodo é relacionada com o nível de água na superfície do decantador. Equipamentos de discos podem ser utilizados para realizar a medição, introduzindo-os no decantador até que sejam cobertos e, portanto, não visíveis, neste momento se verifica a medida na haste ou cabo utilizado. Amostras de lodos podem ser coletas para determinar a porcentagem de sólidos secos em cada seção de coleta. Com os

dados determina-se a quantidade de lodo em cada seção do decantador para um certo período de tempo. Os valores podem ser plotados representando as curvas de isoconcentração dos sólidos para melhor visualização das condições de acúmulo e características do lodo. (FONTANA, 2004).

Nos filtros é possível estimar a massa seca retida por carreira de filtração e o volume gerado em cada lavagem assumindo-se a condição crítica em que a duração da carreira de filtração seja no mínimo de 24 horas e tendo-se a vazão por filtro. (SILVEIRA, 2012, p. 35).

Para realizar a medição é necessário a visualização do fundo do decantador, sendo assim, é necessário que o sistema permaneça com o fluxo interrompido o tempo suficiente para que ocorra a sedimentação dos flocos e conseqüentemente clarificação do tanque de decantação possibilitando a visualização da camada de lodo.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água, depois do tratamento envolvendo a redução da sua concentração de água, precisa da avaliação das suas características físico-químicas e microbiológicas, com o intuito de conhecer seu impacto e as particularidades da sua disposição no meio ambiente. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

O lançamento dos resíduos de ETAs em corpos hídricos é uma prática ilegal, porém, mesmo sendo ato de criminalidade devido aos efeitos diretos causados ao meio ambiente aquático, não há legislações específicas vigentes quanto ao lançamento de lodos provenientes do tratamento de água. Neste contexto, apesar não se ter referências específicas, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou as normas NBR 10004, NBR 10005, NBR 10006 e NBR 10007, para avaliar os riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública de qualquer tipo de resíduo sólido que não apresente características radioativas.

2.3.1 Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10004

A NBR 10004 classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública. Define o lodo proveniente de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados. A identificação a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. (NBR 10004, 2004, p. V).

Alguns questionamentos surgem ao avaliar as características e as origens dos lodos de ETAs, pois, normalmente estes têm concentração de sólidos entre 30000 mg/L e 60000 mg/L, quando passam por processos de espessamento, podem ser caracterizados como resíduos sólidos, contudo, na comunidade científica, há consenso de que as águas de retrolavagem de filtros podem ser caracterizadas como resíduo líquido, com concentração de sólidos variando de 50 a 500 mg/L. (FONTANA, 2004).

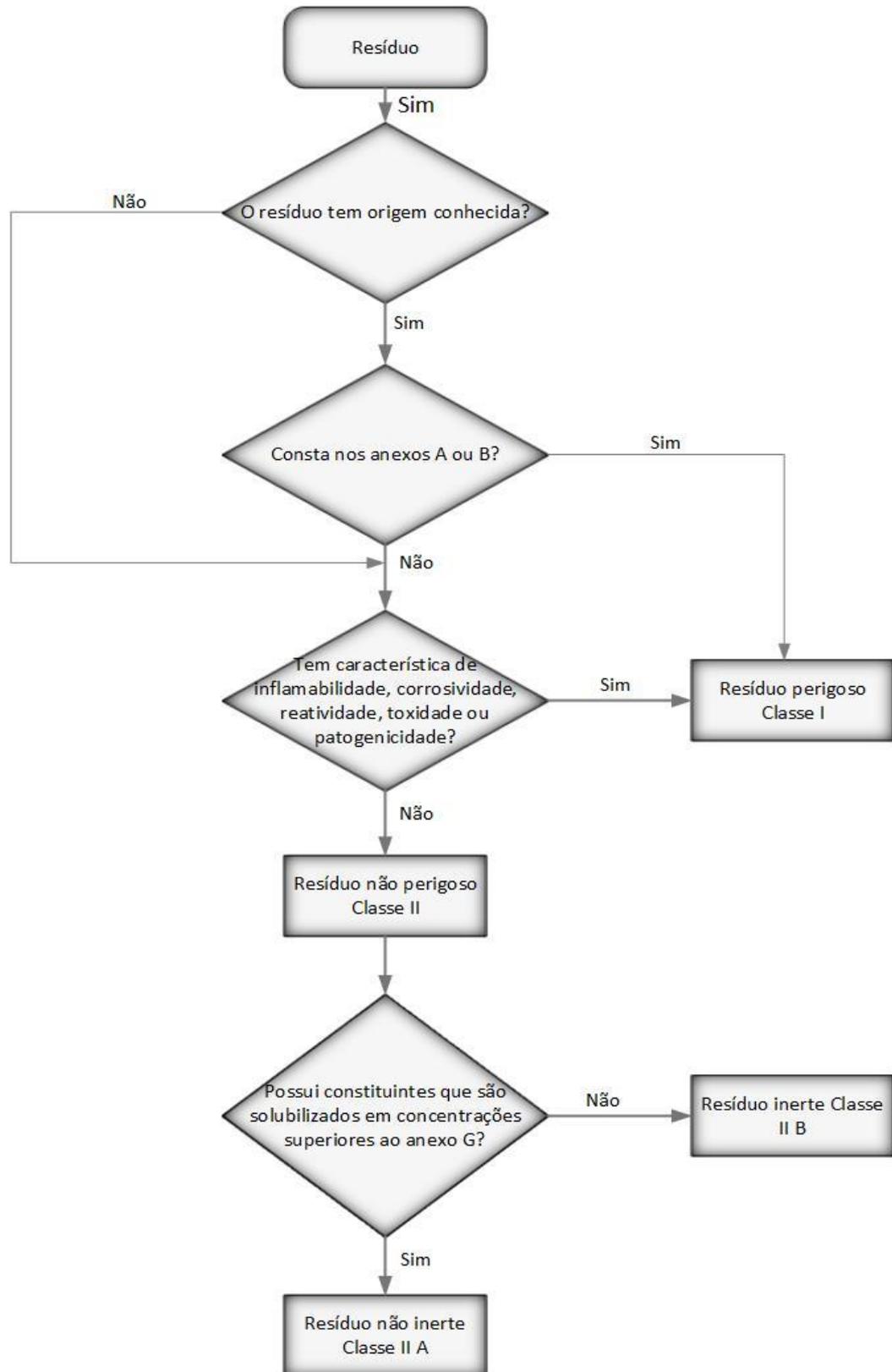
De acordo com a NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos são divididos em dois grupos: perigosos (Classe I) e não perigosos (Classe II). Sendo ainda os de Classe II subdividido em não inerte (Classe II-A) e inerte (Classe II_B).

Na literatura brasileira, tem sido observada a existência de trabalhos de pesquisadores que consideram os resíduos de ETAs como Classe II (não perigoso). Os resíduos Classe II não inertes apresentam propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água. Os resíduos inertes, quando amostrados de forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, não devem ter nenhum de seus constituintes solubilizados

a concentrações superiores ao padrão de potabilidade da água, exceto para cor, turbidez, dureza e sabor. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

A figura 5 ilustra a classificação dos resíduos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Figura 5 - Caracterização e classificação de resíduos de acordo com NBR 10004



Fonte: Adaptado de NBR 10004, 2004, p. vi.

Os métodos de ensaio de caracterização dos resíduos para análises químicas são recomendados pela NBR 10004, os métodos USEPA – SW 846 (*Test methods for evaluating solid waste – physical/chemical/methods*), última edição e, quando disponíveis, os métodos equivalentes, elaborados pela ABNT. (NBR 10004, 2004).

Apesar de os efluentes de ETAs não terem legislações específicas, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são definidos pela NBR 10004 como resíduos sólidos e, portanto, devem seguir as regulamentações específicas por essa norma.

2.4 LEGISLAÇÃO FEDERAL SOBRE LANÇAMENTO DE EFLUENTES NOS CORPOS HÍDRICOS

O lançamento de efluentes gerados em estações de tratamento de água, não possuem legislação específica quanto ao seu lançamento, porém, levando em consideração as legislações vigentes e conhecendo as características dos lodos de ETAs e os impactos que estes podem causar no corpo de água sendo lançados direta ou indiretamente, é prática ilegal. Sendo assim, a Lei 9.433/97 estabelece que o lançamento de resíduos sólidos, tratados ou não, com fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos de água, além de outros usos que alterem prejudicialmente a qualidade da água está sujeita a outorga do Poder Público. (SILVEIRA, 2011).

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis. Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica: I - acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou II - exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor. (RESOLUÇÃO Nº 430, 2011, p. 1).

No Brasil, o lançamento de efluentes é regulamentado pela Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes,

complementa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Subentende-se de acordo com a Resolução nº 430 (2011), que os órgãos ambientais, apenas devem permitir o lançamento de efluentes que não exceda as condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes, sendo uma exceção a situação em que existam metas obrigatórias estabelecidas em corpos de água em recuperação. Ainda assim, o lançamento não poderá causar violação dos padrões estabelecidos.

As condições e padrões de lançamentos de efluentes de ETAs a serem respeitados estão estabelecidas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Condições de lançamento de efluentes de acordo com a Resolução nº 430 de 2011.

I - Condições de lançamento de efluentes

pH	5 a 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone <i>Inmhof</i> .
Regime de lançamento	1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente
Óleos minerais	Até 20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	Até 50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausentes
Demanda Bioquímica de Oxigênio	Remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor

Fonte: Adaptado de Resolução nº 430, 2011, p. 4.

Tabela 4 - Parâmetros de lançamento de efluentes de acordo com a Resolução nº 430 de 2011

II - Padrões de lançamento de efluentes

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores máximos</i>
Arsênio total	0,5 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
Cádmio total	0,2 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L
Cianeto total	1,0 mg/L
Cianeto livre	0,2 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo trivalente	1,0 mg/L
Estanho total	4,0 mg/L
Ferro dissolvido	15,0 mg/L
Fluoreto total	10,0 mg/L
Manganês dissolvido	1,0 mg/L
Mercúrio total	0,01 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L
Prata total	0,1 mg/L
Selênio total	0,30 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L
Zinco total	5,0 mg/L
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais	0,5 mg/L

Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: (id ibid.).

Ainda no âmbito federal, são também de grande relevância as Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e Agência Nacional de Águas – ANA.

Diante dos regulamentos e legislações, as condições aplicáveis para o controle e proteção do meio ambiente, exigem posturas éticas no gerenciamento dos sistemas de tratamento de água perante os resíduos gerados e sua disposição no meio ambiente, em função dos impactos que estes podem causar.

2.5 LEITOS DE SECAGEM

Leitos de secagem são dispositivos não mecânicos de desidratação mais comum, porém, possuem um baixo índice de aplicação devido a limitações das áreas requeridas para a instalação do sistema. Devido ao seu custo ser inferior aos sistemas mecânicos, são indicados para pequenas estações de tratamento, usualmente com capacidade menor que 200 L/s. As cargas aplicadas nos leitos com lodos procedentes da coagulação por sais de alumínio ou de ferro variam entre 10 a 60 kg/m² e, os resíduos do abrandamento a cal e soda aceitam cargas entre 50 a 75 kg/m². (RICHTER, 2001).

Os leitos de secagem apresentam como vantagem, a obtenção da torta de lodo desidratado em escalas menores de tempo e com maior concentração de sólidos, além de operação e manutenção simplificadas e economicamente viáveis.

O desaguamento ocorre em função de diferentes fatores incluindo a decantação, evaporação e a percolação em meio poroso. No caso de leitos de secagem sem cobertura, deve-se avaliar os dados pluviométricos, pois em algumas regiões do Brasil, com elevado

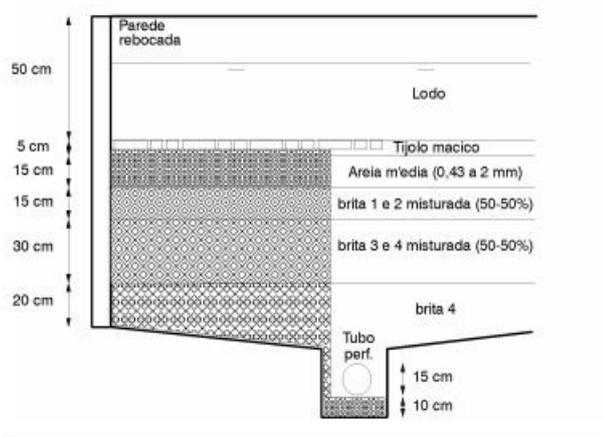
índice de precipitação, esses sistemas devem ser descartados. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

O tempo de remoção de água dos lodos é fator fundamental para que se possa equacionar adequadamente a questão do desaguamento. A água livre deve ser removida no menor tempo possível e esta, poderá retornar ao sistema ou ser reutilizada.

Pode ser considerável a quantidade de água livre presente no lodo, dependendo da forma de limpeza dos tanques de sedimentação. Quando essa limpeza é feita diariamente, a concentração de sólidos pode atingir 1% (cerca de 1.000 mg/L), o que faz com que esse despejo tenha predominância de água livre. Mesmo quando o despejo do lodo é realizado de forma intermitente (após determinado número de dias de sedimentação nos tanques), a quantidade de água livre também é considerável, cerca de 3% (30.000 mg/L), possibilitando a recuperação da mesma. (CORDEIRO et al, 2001, p. 132).

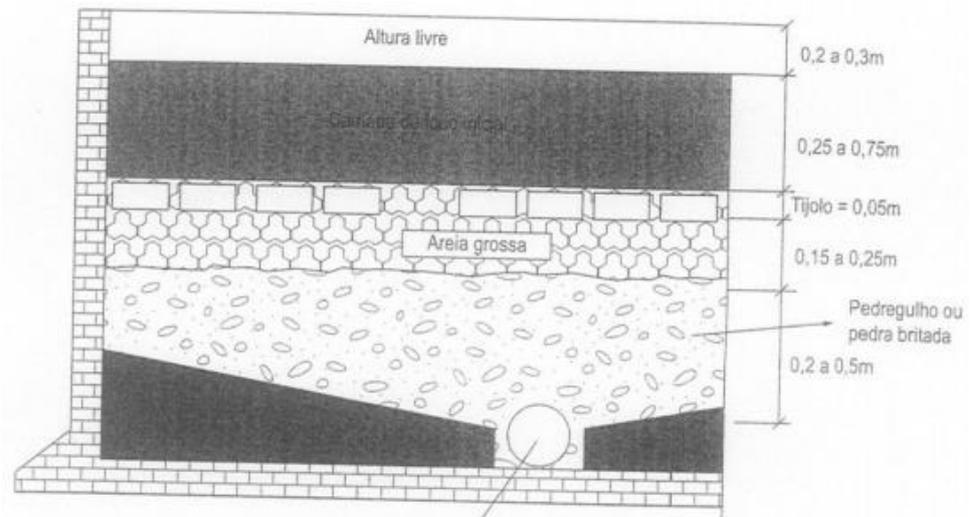
Os leitos de secagem tradicionais são constituídos de meio filtrante com camadas de areia de granulometria específica, apoiada sobre camada suporte de brita ou seixos rolado sendo que o tempo de remoção de água constitui-se na somatória do tempo de drenagem e de evaporação da água. As camadas são constituídas de três a quatro subcamadas, com pedras britadas de tamanho variando entre 25,4 a 3,2 mm e espessura variável de acordo com a declividade lateral. O maior tamanho está relacionado ao diâmetro dos orifícios da tubulação de coleta do filtrado. A camada de areia grossa possui espessura de 0,15 a 0,30 m, com grãos de 0,42 a 2,4 mm e tamanho efetivo de 0,5 a 0,6 mm. Em geral a largura é inferior a 10 m e a profundidade raramente excede 1,5 m. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Figura 6 - Ilustração das camadas de um leito de secagem tradicional



Fonte: Melo, 2006, p. 17.

Figura 7 - Ilustração das camadas de um leito de secagem tradicional

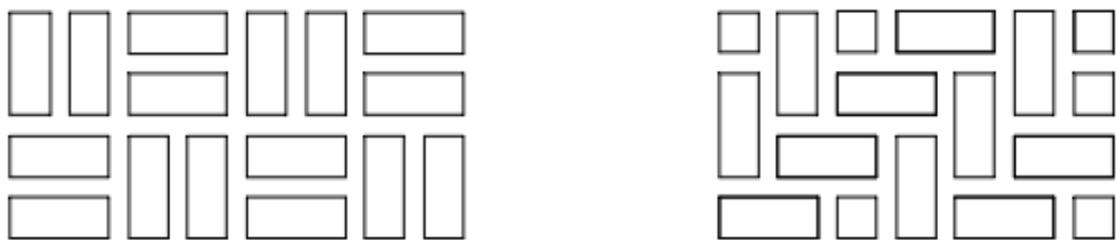


Fonte: Di Bernardo; Sabogal Paz, 2008, p. 1049.

Conforme observado a estrutura dos leitos de secagem na figura 6 e 7, a camada suporte tem a finalidade de suportar a camada de areia, manter a espessura do lodo uniforme, favorecer a percolação do filtrado em toda área e direcionar o líquido drenado para a tubulação de coleta.

A parte superior do leito é constituída por uma camada de tijolos, apoiada na soleira drenante do leito. A disposição dos tijolos constituintes da camada suporte pode ser disposta de acordo com a Figura 7 sendo a distância entre os tijolos de 2 a 3 cm. (MELO, 2006).

Figura 8 - Detalhe disposição dos tijolos que compõem a camada suporte superior



Fonte: Melo, 2006, p. 17.

Em sistemas que empregam coagulante a base de alumínio, a espessura da camada de lodo não deve exceder 0,75 m (recomenda-se 0,50m), quando tiver as condições de

insolação elevada, ausência de chuva e ventilação adequada nas quais favorecem ao desaguamento. Nessas condições, o líquido drenado geralmente apresenta concentração de SST e de Demanda Química de Oxigênio – DQO que raramente excedem a 30 % dos valores iniciais do lodo bruto, depois de 5 (cinco) dias de exposição. A adição de produtos químicos auxiliares como o polímero que é comumente aplicado em estações de tratamento de água em processos convencionais e em estações de tratamento de efluentes com dosagem de 1 a 3 g/kgSST pode contribuir para a redução de tempo de secagem para cerca de 2 (dois) a 3 (três) dias. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

O leito de secagem pode ser descoberto ou coberto, podendo a cobertura ser constituída por vidro, ou plástico, que servem para proteger o lodo da ação da chuva e, dependendo da configuração, a cobertura pode auxiliar na higienização do lodo, ocasionado por elevação da temperatura. Porém, isto só ocorrerá após a evaporação, devido à liberação da energia de vaporização que ocasiona num resfriamento na massa de lodo. (MELO, 2006, p.18).

Além das condicionantes supracitadas, o desaguamento depende também das condições de temperatura e umidade do ar, viscosidade do lodo e ação de ventos sendo assim, em locais com condições climáticas desfavoráveis, faz-se necessário a instalação dos leitos de secagem com cobertura.

2.5.1 Dimensionamento dos leitos de secagem

O dimensionamento de leitos de secagem para efluentes gerados em estações de tratamento de água não são normatizados. Normalmente considera-se dados simples tais como quantidade de lodo produzido, área de implantação dos leitos, transporte do lodo aos leitos de secagem, construção do leito, definição do destino do drenado, disposição final dos sólidos resultantes, operação e limpeza do sistema. (CORDEIRO *et al*, 2001).

De acordo com Richter (2001), o dimensionamento dos leitos de secagem pode ser realizado aplicando-se a seguinte expressão seguida dos passos descritos abaixo:

$$A = \frac{V}{n \times h} \quad (\text{Equação 11})$$

A = área dos leitos de secagem (m^2)

V = volume anual de lodos gerados na estação (m^3)

n = número de aplicações por ano

h = profundidade útil do leito (m)

O primeiro passo e o mais importante é estimar a quantidade de lodo produzido por ano. Os sólidos secos precipitados por metro cúbico de água tratada são calculados aplicando-se a equação 12.

$$S = \frac{0,2C + K_1T + K_2D}{1000} \quad (\text{Equação 12})$$

C = cor da água bruta (uC)

T = Turbidez da água bruta (NTU)

D = dosagem de coagulante ($\frac{mg}{L}$)

$K_1 = 1,3$ e $k_2 = 0,26$

Segundo passo tem-se que calcular o volume médio anual tratado pela estação de acordo com a equação 13.

$$V = 365 \times 86400 \times \frac{Q}{K} \quad (\text{Equação 13})$$

Q = vazão de tratamento da ETA ($\frac{m^3}{s}$)

$K = 1,25$ (coeficiente para o dia de maior consumo)

Terceiro passo é calcular a massa de sólidos e de lodos precipitadas por ano e a massa de lodos correspondentes.

$$M_S = S \times V \text{ (kg)} \quad (\text{Equação 14})$$

$$M_L = \frac{M_S}{c_o} \text{ (kg)} \quad (\text{Equação 15})$$

$C_o = \text{concentração de sólidos}$

Quarto passo é calcular o volume de lodos produzidos anualmente e o volume correspondente;

$$\delta_L = \frac{1}{\frac{c}{\delta_s} + \frac{1-c}{\delta}} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (\text{Equação 16})$$

$$\delta_s = 1.800 \frac{kg}{m^3}$$

$$\delta = \text{densidade da água} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$V_L = \frac{M_L}{\delta_L} (m^3) \quad (\text{Equação 17})$$

Quinto passo calcular a área necessária aplicando a equação 11.

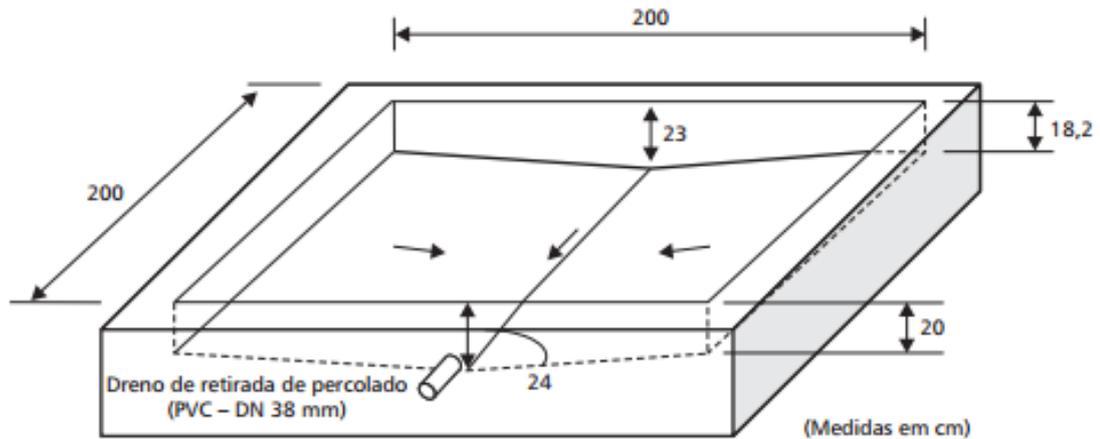
Sexto passo é calcular a dimensão de cada unidade de acordo com a área necessária calculada.

Sétimo passo deve-se calcular a carga de sólidos aplicada.

$$\frac{M_S}{A} = \left(\frac{kg}{m^2} \right) \quad (\text{Equação 18})$$

A figura 9 ilustra o esquema de um leito de secagem tradicional de lodos de estações de tratamento de água.

Figura 9 - Desenho esquemático de um leito de secagem



Fonte: Cordeiro *et al*, 2001, p. 233.

Após obtenção dos resultados os próximos passos estão relacionados a definições da área de implantação, transporte de lodo, custos do sistema e definição da disposição final do lodo desidratado.

2.5.2 Definição da área de implantação e transporte de lodo

A definição da área de implantação dos leitos deve ser avaliada de acordo com os aspectos relacionados a distância da ETA aos leitos, cotas relativas, proximidade de loteamentos e ocupações de áreas e disponibilidade de energia. Essas definições são de fundamental importância para facilitar a implantação bem como reduzir os custos operacionais do sistema sendo interessante que as áreas de possível implantação, estejam situadas em cotas mais baixas que os decantadores evitando a necessidade de bombeamento do lodo e, deve-se evitar a implantação em áreas sujeitas a inundações e terrenos com elevado nível freático. (CORDEIRO *et al*, 2001).

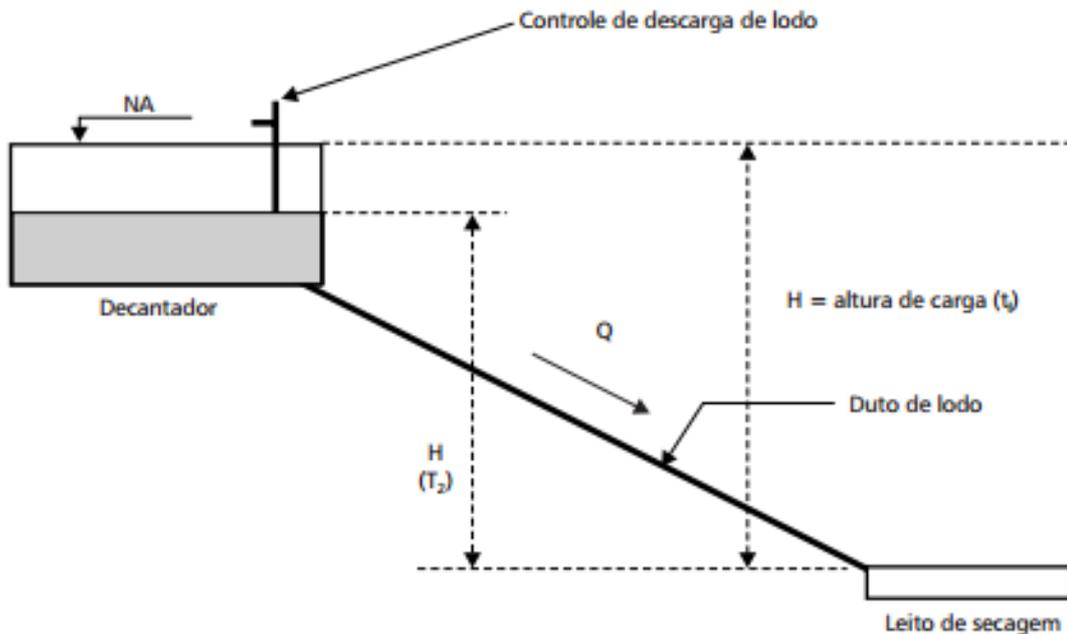
A área de uma unidade de leito de secagem ou de lagoa geralmente não ultrapassa 1.500 m². O número de unidades e, assim, o seu tamanho, deve ser definido pelo engenheiro em função da topografia local, procurando minimizar o movimento de terra. É desejável um maior número de unidades para aumentar a flexibilidade operacional. Recomenda-se um número mínimo de três unidades, porém é preferível

quatro. A forma geralmente é retangular, sendo recomendada uma relação comprimento/largura igual a 4:1 ou maior, entretanto a escolha da forma é livre para acomodar-se às características do terreno disponível. (RICHTER, 2001, p. 71).

O transporte dos lodos aos leitos de secagem deve ser realizado através de tubulações dimensionadas de modo a evitar sedimentação dos sólidos nos tubos e manter a perda em limites não prejudiciais ao escoamento.

O esquema da Figura 8, demonstra a possível condição de transporte do lodo considerando as condições ideais de cotas e área de implantação.

Figura 10 - Esquema de implantação dos leitos de secagem



Fonte: Cordeiro et al, 2001, p. 135.

Em caso de a área não possuir cotas suficientes para o transporte do lodo, este poderá ser transportado por bombas centrífugas cuja aplicação é restrita a lodos diluídos, bombas de deslocamento positivo que podem ser utilizadas com lodos diluídos, adensados ou desidratados e podem ser utilizados sistemas de transporte de sólidos tais como correias transportadoras ou transportadores tipo parafuso.

2.6 DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o aproveitamento e disposição final dos resíduos gerados no tratamento de água para as empresas de saneamento do Brasil, é uma das tarefas mais difíceis para o administrador pois, envolve custos elevadíssimos de transporte e restrições do meio ambiente sendo que estes, devem ser dispostos de forma compatível sem trazer danos ao meio. As alternativas viáveis para esta finalidade são: matéria prima para a fabricação de tijolos e blocos cerâmicos, produção de cimento, incorporação do lodo em matriz de concreto, melhoramento de solos agrícolas, recuperação de coagulantes e auxiliar na decantação de água com baixa turbidez. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

O critério básico para escolher a alternativa de disposição é o conteúdo de sólidos geralmente limitado como segue: • Descarga em curso de água < 1% a 8% • Descarga na rede de esgotos sanitário < 1% a 8% • Aplicação no solo 1% a > 15% • Aterro sanitário > 15% a > 25%. (RICHTER, 2001, p. 90).

Usualmente o destino dos resíduos das ETAs tem sido no Brasil, ao longo dos anos, os sistemas hídricos mais próximos das estações. Tal problemática de resíduos desses sistemas e seu destino final adequado ao controle ambiental técnico-legal da atualidade é uma questão a ser solucionada. O lançamento em rios pode ser feito em certas condições e dependendo de permissão das autoridades do meio ambiente em função das características e do volume do curso de água onde o lodo é descarregado. É o método mais barato de disposição e, usualmente se está desenvolvendo ao rio os materiais dele removidos nos processos de tratamento (OLIVEIRA; MACHADO; HOLANDA, 2004).

As principais restrições relacionadas ao lançamento de lodo nos corpos hídricos são “[...] atribuídas ao coagulante e outros produtos químicos aplicados que aumentam a sedimentabilidade destes resíduos e, assim, podem formar depósitos indesejáveis [...]” (RICHTER, 2001, p. 90) estando em inconformidade com as legislações vigentes.

Estações de tratamento de água com vazões de tratamento e turbidez da água a ser captada e tratada baixas, utilizam concentrações de produtos químicos menores e o lodo

gerado normalmente enquadra-se na Classe II Não Inerte. Sendo assim, a disposição em aterros Classe II é uma alternativa bem conhecida, sendo um método seguro para a saúde pública e ambiental quando corretamente projetado e executado, podendo ser viabilizada a partir de aterros existentes ou da implantação de aterros exclusivos. (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

Na seleção do aterro sanitário como método de disposição, deve-se considerar que as condições anaeróbicas geradas podem produzir ácidos voláteis, os quais diminuem o pH do meio, permitindo dissolução do alumínio e de outros metais presentes no lodo, os quais podem causar problemas à saúde pública e ao meio ambiente se houver infiltração no solo. Diversas pesquisas realizadas no Brasil indicam que o lodo da ETA é de classe II, conforme classificação da NBR 10004 (2004). Nesse caso, para evitar problemas sanitários, é conveniente a disposição dos resíduos das ETAs somente nesse tipo de aterros. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008, p. 1077).

A aplicação do lodo no solo, consiste em dispor no solo natural ou na agricultura podendo ser aplicado na forma líquida, semi-sólida ou sólida, dependendo do meio de transporte. O volume aplicado corresponde cerca de 2 a 4 cm/ano, conforme a necessidade, porém a taxa de aplicação que o solo pode assimilar deve ser devidamente determinada por pesquisas locais. (RICHTER, 2001).

O lançamento de lodo de ETA nas ETEs via rede coletora de esgoto é uma alternativa que eliminaria a implantação de um sistema de tratamento de lodo nas próprias ETAs. Porém essa alternativa deve ser criteriosamente analisada, pois segundo Ferranti (2006) essa atividade pode trazer alguns prejuízos as unidades da ETE, principalmente nos digestores de lodo e nos decantadores primários que irão receber a maior parte das impurezas desses resíduos. (SILVEIRA, 2012, p.54).

Em caso de ter-se a opção do descarte em redes coletoras de esgotos, as condições hidráulicas do sistema de coleta de esgotos sanitários e de suma importância, uma vez que a mesma deverá ser capaz de veicular as vazões de descargas da ETA, bem como ser operada de forma a não permitir que ocorra a sedimentação dos SST ao longo de suas partes constitutivas. (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

A utilização de lodos de ETAs na fabricação de cimento Portland também é uma opção viável e já é realizada com sucesso em empresas de saneamento nos EUA uma vez que, o cimento é composto de calcário xisto e argila. Cerca de 70 a 80% do material bruto utilizado é composto de calcário, porém, este possui baixas concentrações de sílica, ferro e alumínio.

Os lodos de ETAs convencionais, utilizam coagulantes no processo gerando o lodo com os elementos citados. Desta forma, o lodo é introduzido no processo de fabricação do cimento na fase de pré-homogeneização das matérias primas. O teor de sólidos necessário para esta aplicação é de no mínimo 50%, sendo que valores menores comprometem a qualidade do cimento. (GERVASONI, 2014).

A destinação de lodo para a fabricação de tijolos e/ou cerâmicos é uma alternativa de aproveitamento do resíduo. No entanto, a generalização dessa atividade deve ser precedida de estudos das características físico-químicas do lodo, junto com ensaios de moldagem e de queima, com o intuito de comprovar sua viabilidade técnica. O resíduo de matéria-prima, requer teor de sólidos superior a 30 %, embora muitos fabricantes exijam teor maior que 50%, segundo David e Santos (2004). O lodo de ETAs, quando contém principalmente argila e silte é indicado na fabricação de tijolos (a cal prejudica sua qualidade). Normalmente, o, lodo desaguado é aplicado na proporção de até 10% (em massa) de lodo na mistura com argila. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008, p. 1062).

Os lodos de ETAs secos podem ser utilizados em conjunto com resíduos de construção e demolição no preparo de argamassa e concretos não-estruturais. A adição de 3% de lodo possibilita a obtenção de concretos com resistência mecânica e absorção similares às do concreto natural. (SILVEIRA, 2012).

A recuperação do alumínio através da acidificação dos lodos produzidos na coagulação da água é uma solução que vem sendo estudada há algumas décadas, porém, o processo é um tanto complicado e foi implementado em poucas cidades dos Estados Unidos. (RICHTER, 2001).

Esta técnica consiste na solubilização de formas de alumínio ou ferro, que possuam potencial de coagulação, considerando o fato de que mais de 35% dos sólidos presentes no lodo de ETAs são hidróxidos. A solubilização envolve equações de equilíbrio entre o precipitado e as formas solúveis, para diferentes valores de pH. Na maioria dos casos, o lodo é exposto a pH inferior a 2 ou superior a 10. Teoricamente, 100% do alumínio pode ser solubilizado em pH igual na 2, porém, a porcentagem de alumínio recuperado irá depender da eficiência do processo de desaguamento do lodo. (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008, p. 1069).

Esta técnica mostra-se economicamente viável para sistemas que atendem cidades com população superior a 20.000 habitantes visto que, a recuperação acarreta na diminuição de gastos com coagulantes e menor geração de resíduos final. (GERVASONI, 2014).

Em sua maioria, as alternativas apresentadas requerem pesquisas e desenvolvimento de técnicas que as tornem economicamente atrativas para a realidade

brasileira, visto que o mesmo os sistemas mais simples de tratamento não são utilizados correntemente.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 PESQUISA METODOLÓGICA

Os critérios para a classificação dos tipos de pesquisa variam de acordo com o enfoque dado, os interesses, os campos, as metodologias, as situações e os objetos de estudo, podendo ser dividida em: metodológica, teórica, prática e empírica.

Quanto aos tipos de pesquisas e abordagem, essas são denominadas de pesquisa qualitativa e pesquisa quantitativa.

Sendo assim, as análises dos laudos laboratoriais, a topografia e avaliação do terreno, foram essenciais para a definição das tomadas de decisão e resultados alcançados.

3.2 TIPO DE PESQUISA

Para a efetivação deste trabalho, a investigação foi realizada pelo método quantitativo com o objetivo de avaliar os dados de forma que fosse possível o fornecimento de respostas para o problema proposto através de medidas precisas e úteis para as decisões mais acertadas.

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente. (FONSECA, 2002, p.20).

A pesquisa quantitativa, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana. (SILVEIRA; GERHARDT, 2009).

O método quantitativo permitiu a caracterização dos resíduos gerados na estação de tratamento de água possibilitando as tomadas de decisões.

3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Para a realização do presente trabalho, foi definido como população as empresas de saneamento com sistemas convencionais de tratamento de água que realizam secagem do lodo gerado na estação.

Como amostra, definiu-se a empresa de saneamento X, localizada na região litorânea do Sul de Santa Catarina para estudo a fim de solucionar o problema em questão.

3.4 A EMPRESA

A empresa a ser realizado o estágio é uma concessionária de saneamento localizada na região litorânea do Sul de Santa Catarina, tem como atividade a captação e tratamento de água para abastecimento público, sua matéria prima é água bruta na qual é tratada a uma vazão de 22 L/s. A fiscalização e regulação da concessão são exercidas pela Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS).

O empreendimento possui como missão prestar serviços de saneamento em água e esgotamento sanitário nos padrões de qualidade, contribuindo o desenvolvimento social, sustentável e econômico. Seus valores estão voltados ao respeito ao meio ambiente, ética, transparência e compromisso social.

Devidamente licenciada, a empresa X necessita avaliar e regularizar as condicionantes explícitas na Licença Ambiental de Operação que é de extrema importância no

que diz respeito ao tratamento dos efluentes gerados durante o processo de tratamento da água. Os parâmetros de lançamento destes resíduos para serem lançados sem tratamento prévio, devem estar de acordo com a legislação ambiental, para o lançamento de efluentes, os padrões de lançamentos a serem respeitados estão ditados pela Resolução do CONAMA N° 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes que complementa e altera a Resolução n° 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Em caso de descordo com os valores máximos permitidos de cada parâmetro estabelecida na legislação mencionada, necessita-se da implantação de um sistema de tratamento de lodo de ETA.

Para tal, faz-se necessário uma pesquisa com a finalidade de adquirir embasamento técnico suficiente para avaliar as condições de lançamento de efluentes bem como instruções suficientes para o dimensionamento e escolha adequada de implantação do sistema de secagem de lodo que melhor se adequa a situação em questão.

3.5 PROCESSO DESCRITIVO DAS ATIVIDADES

A empresa de saneamento X realiza o tratamento de água através da captação de água bruta de uma lagoa através de moto-bomba submersa de 15 CV e adutora de DN 150 mm com extensão de 200 metros até a estação de tratamento.

O processo de tratamento é do tipo convencional onde, inicialmente realiza-se a adição de oxidante diretamente na adutora com a finalidade de provocar a oxidação de matéria orgânica e metais que possam estar presentes na água bruta captada. Subsequente a este processo, na calha de mistura rápida adiciona-se o coagulante, e a água segue para o floculador hidráulico composto por chicanas. No floculador o fluxo da água é vertical, para cima e para baixo, alternadamente, até ser conduzida por canaletas aos decantadores onde ocorre a sedimentação de partículas da água floculada por processo gravitacional. Após a decantação, a água já clarificada, sobrenadante é bombeada por uma bomba de 15 CV para o filtro pressurizado, realizando o processo de filtração, com capacidade de filtragem de até 80 m³/h.

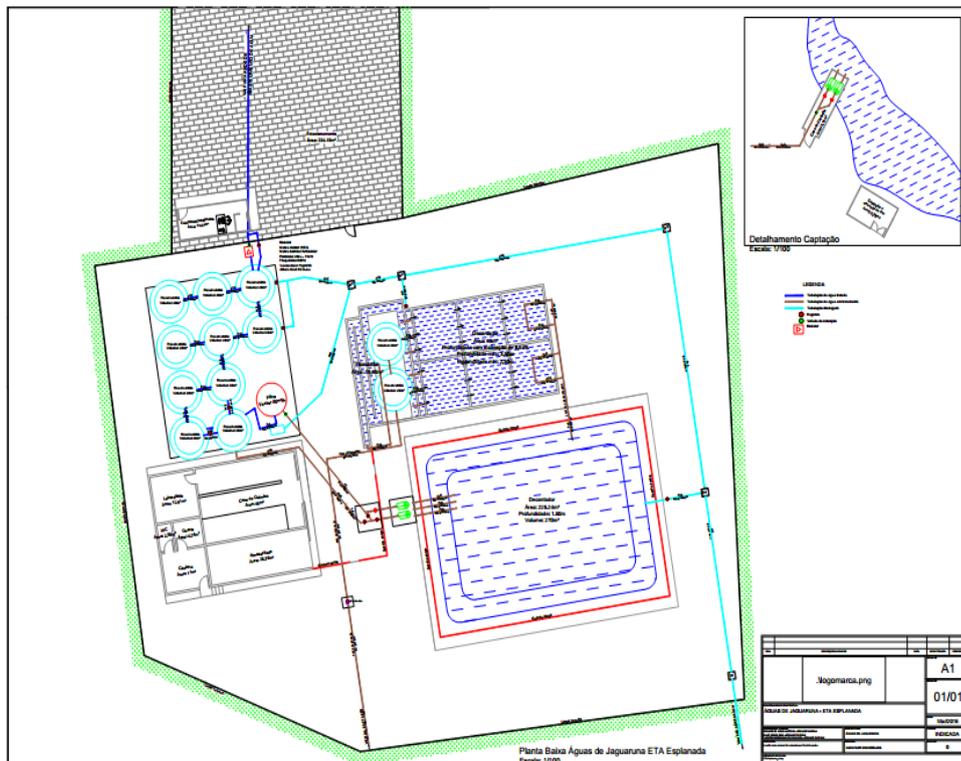
A água tratada e filtrada segue para um tanque de contato formado por 03 (três) caixas d'água de 20 m³ cada, onde é adicionado desinfectante, posteriormente é realizada a fluoretação e no terceiro tanque é adicionado alcalinizante para corrigir o potencial hidrogeniônico. Em seguida, a água já tratada está pronta para o consumo e é armazenada em 10 (dez) caixas de 20 m³ cada, totalizando uma reservação de 200 m³ (considerando as 3 caixas de contato).

Após passar pelo processo convencional, a água é direcionada para a rede de distribuição por adutora DN 150 mm.

Durante o processo de tratamento de água, por ser um sistema convencional e conforme explicitado na revisão de literatura, este tipo de processo consiste na geração de lodos que ficam retidos nos 3 (três) decantadores além do lodo gerado no processo de retrolavagem do filtro. Os decantadores e o filtro passam pelo processo de limpeza no qual o lodo gerado é lançado diretamente no corpo hídrico.

Uma melhor visualização do sistema de tratamento de água pode ser observada na planta baixa da empresa apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Planta baixa da empresa de saneamento X



Fonte: Arquivo interno da empresa, 2016.

Todo produto químico utilizado no tratamento da água que chega ao empreendimento é recebido e acompanhado pelo responsável técnico que encaminha o material ao local disponível e adequado para seu armazenamento.

Os produtos químicos utilizados no tratamento são:

- a) Hipoclorito de Sódio (12%), utilizado como oxidante e desinfectante;
- b) Policloreto de Alumínio (18%), utilizado como coagulante;
- c) Hidróxido de Sódio (50%), utilizado com alcalinizante;
- d) Ácido Fluossilícico, utilizado na fluoretação;
- e) Orto Polifosfato de Sódio, utilizado na proteção das redes de distribuição.

No ato do recebimento dos produtos químicos, é sempre conferido o certificado de análise de cada produto que é entregue pela empresa fornecedora. Os laudos ficam arquivados na empresa e podem ser solicitados para conferência em qualquer momento pelos órgãos competentes de fiscalização. Os fornecedores são devidamente licenciados.

A sala de química onde ficam armazenados os produtos químicos utilizados no tratamento da água, possui 48 m², é de acesso restrito e tem como controle ambiental uma bacia de contenção contra possíveis vazamentos.

Os produtos químicos são armazenados em containers com gradeamento e bombonas de 25-30 litros. Os vasilhames vazios são armazenados na casa de química e posteriormente devolvidos para os fornecedores.

A água bruta captada e aduzida ao sistema de tratamento é realizada na Lagoa X através de moto bomba submersa com capacidade de 80 m³/h. O monitoramento da lagoa é realizado semanal internamente e, mensal e semestral por laboratório terceirizado acreditado conforme CONAMA n° 357/2005 e Portaria de Consolidação N° 5 de setembro de 2017 – Anexo XX.

Em atendimento às exigências estabelecidas pela Portaria de Consolidação n° 5 de setembro de 2017, Anexo XX, a empresa X possui laboratório próprio na Estação de Tratamento de Água, com equipamentos eficientes e, ainda, dispõe de monitoramento realizado por laboratório terceirizado acreditado, para monitorar a série de parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde obtendo-se desta forma, confiabilidade nos resultados relativos à potabilidade da água. A equipe técnica do setor de controle de qualidade realiza diariamente o controle analítico em várias etapas do tratamento possibilitando o

monitoramento da eficiência do mesmo e determina a necessidade, ou não, da implementação de medidas preventivas e/ou corretivas.

Além do monitoramento da água tratada na saída do tratamento a empresa X realiza o monitoramento de qualidade da água distribuída efetuando coletas mensais de acordo com PRC N°5/2017 Anexo XX em pontos estratégicos na rede de distribuição.

Todos os laudos dos monitoramentos são encaminhados mensalmente a Vigilância Sanitária e Agência Reguladora.

Semanalmente é realizada a limpeza do filtro e trimestralmente a limpeza dos decantadores removendo todo o lodo contido nestes.

3.6 INSTRUMENTO DE COLETAS DE DADOS

A coleta de dados foi realizada através de amostragem do lodo produzido na estação de tratamento de água contido nos decantadores e retrolavagem do filtro, com o qual foi possível obter os quantitativos dos parâmetros de caracterização e lançamento de efluentes de acordo com as legislações vigentes, a fim de, avaliar se há indícios de irregularidade nos parâmetros do efluente no qual atualmente é lançado diretamente em corpo hídrico.

As coletas foram realizadas pela autora deste trabalho de conclusão de curso no qual é registrada ao Conselho Regional de Química da 13ª Região, portanto, habilitada para realizar a amostragem. As amostras foram encaminhadas à laboratório certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia Normalização Qualidade (INMETRO), Fundação do Meio Ambiente (FATMA) e *Organization of Standardization* (ISO) 17.025 a fim de obter laudos com maior confiabilidade nos resultados.

Através de pesquisas bibliográficas, foi possível identificar condições de dimensionamento de leitos de secagem nas quais identificaram-se as variáveis necessárias para a realização do dimensionamento bem como favoreceu comparar os dados obtidos com a literatura.

Para a realização dos cálculos foi extraído dos arquivos da empresa X dados de parâmetros físicos químicos da água bruta captada que dá origem aos lodos gerados na

estação de tratamento de água. A fim de comprovar os registros, foram realizados os controles analíticos da água bruta durante o período de estágio.

Outro dado importante observado e avaliado foi a localização do empreendimento e a disponibilidade de instalação do sistema de secagem de lodo visto que, leitos de secagem necessitam de grandes áreas.

A fim de minimizar os custos operacionais do sistema de secagem de lodo, foi solicitado a empresa, a realização de estudo topográfico do terreno com o intuito de avaliar as cotas e viabilizar o transporte do resíduo através de escoamento eliminando a necessidade de utilização de bombas.

4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para iniciar o trabalho, foi preciso conhecer o sistema de tratamento de água bem como sua localização para as possíveis instalações do projeto proposto. Neste primeiro momento, foram observadas as condições de trabalho da ETA, bem como acompanhamento da limpeza dos decantadores.

Atualmente, o lodo removido dos decantadores são lançados diretamente na Lagoa X de Classe 2 que é utilizada como fonte de captação de água bruta. O controle deste manancial, além do monitoramento diário dos parâmetros cor, turbidez, pH e ferro, mensalmente é monitorado a proliferação de Cianobactérias e Escherichia Coli conforme estabelece a Portaria de Consolidação nº 5/2017, Anexo XX.

A fim de avaliar o lançamento do efluente gerado na estação de tratamento, foram coletadas amostras do lodo e encaminhadas para laboratório qualificado que realizou os ensaios e emitiu os laudos conforme as legislações vigentes.

A figura 12 apresenta o lodo gerado nos decantadores dos quais foram coletadas as amostras encaminhadas ao laboratório. A amostragem permitiu realizar a caracterização do resíduo de acordo com a NBR Nº 10.004 e avaliar se os parâmetros de lançamento estavam em conformidade com a Resolução do CONAMA Nº 430/2011.

Figura 12 - Lodo gerado nos decantadores



Fonte: da autora, 2018.

As tabelas 5 e 6 apresentam os resultados da amostragem do lodo da ETA. De acordo com a NBR 10.004.

Tabela 5 - Relatório de ensaio amostra bruta do lodo dos decantadores

Parâmetros	Unidade	Resultado
Aspecto	-	Líquido
Corrosividade	-	Ausente
Inflamabilidade	-	Ausente
Patogenicidade	-	Ausente
Reatividade	-	Ausente
Cianeto total	Mg/kg	< 5
Estado físico	-	Líquido
Matéria orgânica	%	553,9
Odor	-	Típico
pH	-	6,11
Sulfeto	Mg/kg	Ausente
Teste de inflamabilidade	-	Ausente
Umidade	%	84

Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

Tabela 6 - Relatório de ensaio amostra lixiviada do lodo dos decantadores

Parâmetros	Unidade	Resultado
Arsênio Total	mg/L	< 0,01
Bário Total	mg/L	< 0,02
Cádmio Total	mg/L	< 0,002
Chumbo Total	mg/L	< 0,01
Cromo Total	mg/L	< 0,025
Fluoreto Total	mg/L	1,10
Mercúrio Total	mg/L	< 0,001
Prata Total	mg/L	< 0,03
Selênio Total	mg/L	< 0,01

Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

Tabela 7 - Relatório de ensaio amostra solubilizada do lodo dos decantadores

Parâmetros	Unidade	Resultado
Alumínio total	mg/L	< 0,005
Arsênio total	mg/L	< 0,01
Bário total	mg/L	< 0,02
Cádmio total	mg/L	< 0,002
Cgumbo total	mg/L	< 0,01
Cianeto total	mg/L	< 0,005
Cloreto	mg/L	452,11
Cobre total	mg/L	< 0,008
Cromo total	mg/L	< 0,025
Fenóis totais	mg/L	< 0,001
Ferro total	mg/L	1,337
Fluoreto total	mg/L	0,40
Manganês total	mg/L	0,735
Mercúrio total	mg/L	< 0,001
Nitrato	mg/L	1,2
Prata total	mg/L	< 0,03
Selênio total	mg/L	< 0,01
Sódio	mg/L	23,7
Sulfato total	mg/L	9,0
Surfactantes aniônicos	mg/L	< 0,10
Zinco total	mg/L	< 0,045

Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

De acordo com a normativa de classificação ABNT NBR 10.004/04 e avaliando os resultados dos ensaios realizados tem-se os seguintes pareceres:

- a) O resíduo é de origem conhecida sendo este, gerado na estação de tratamento de água convencional;
- b) O resíduo não consta nos anexos A ou B da NBR 10.004/04;
- c) De acordo com os resultados não possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou patogenicidade;

- d) Com as características acima, o resíduo é classificado como não perigoso Classe II;
- e) Não possui constituintes que são solubilizados em concentrações superiores ao anexo G da NBR 10.004/04.

Perante as avaliações, a amostra analisada pertence a CLASSE II A – RESÍDUO NÃO INERTE.

Para poder avaliar se o descarte do efluente está em conformidade com as legislações vigentes de lançamento de efluentes, uma nova amostra de lodo foi coletada e encaminhada ao laboratório para quantificar os parâmetros de acordo com a Resolução do CONAMA N° 430/11. A tabela abaixo apresenta os resultados da amostragem.

Tabela 8 - Relatório de ensaio da amostra do lodo do decantador

Parâmetros	Unidade	Resultado
pH	-	6,70
Arsênio	mg/L	< 0,010
Bário	mg/L	0,266
Benzeno	mg/L	< 0,002
Boro	mg/L	< 0,04
Cádmio	mg/L	< 0,0010
Chumbo	mg/L	0,075
Cianeto livre	mg/L	0,013
Cianeto total	mg/L	0,014
Clorofórmio	mg/L	< 0,005
Cobre dissolvido	mg/L	0,027
Cromo ⁺³	mg/L	< 0,03
Cromo ⁺⁶	mg/L	< 0,032
DBO	mg/L	68,20
Dicloeteno	mg/L	< 0,001
Estanho	mg/L	< 0,04
Estireno	mg/L	< 0,001
Etilbenzeno	mg/L	< 0,01

Fenol	mg/L	< 0,10
Ferro dissolvido	mg/L	18,962
Fluoreto	mg/L	< 0,25
Manganês dissolvido	mg/L	0,43
Materiais flutuantes	-	Ausência
Mercúrio	mg/L	< 0,0002
Níquel	mg/L	0,012
Nitrogênio amoniacal	mg/L	< 5,000
Óleos e graxas	mg/L	122,50
Óleos e graxas minerais	mg/L	25,0
Óleos e graxas vegetais e gorduras animais	mg/L	97,50
Prata	mg/L	< 0,010
Selênio	mg/L	< 0,010
Sólidos sedimentáveis	mL/L	857,1
Sulfeto	mg/L	19,152
Tetracloroeto de carbono	mg/L	<0,0005
Tolueno	mg/L	< 0,002
Tricloroeteno	mg/L	< 0,0005
Xilenos	mg/L	< 0,004
Zinco	mg/L	< 0,04

Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

Avaliando os resultados, a empresa X não será possível descartar o efluente diretamente no corpo receptor, pois, as condições e padrões do lodo analisado não atendem as exigências previstas na NBR 14.004/04.

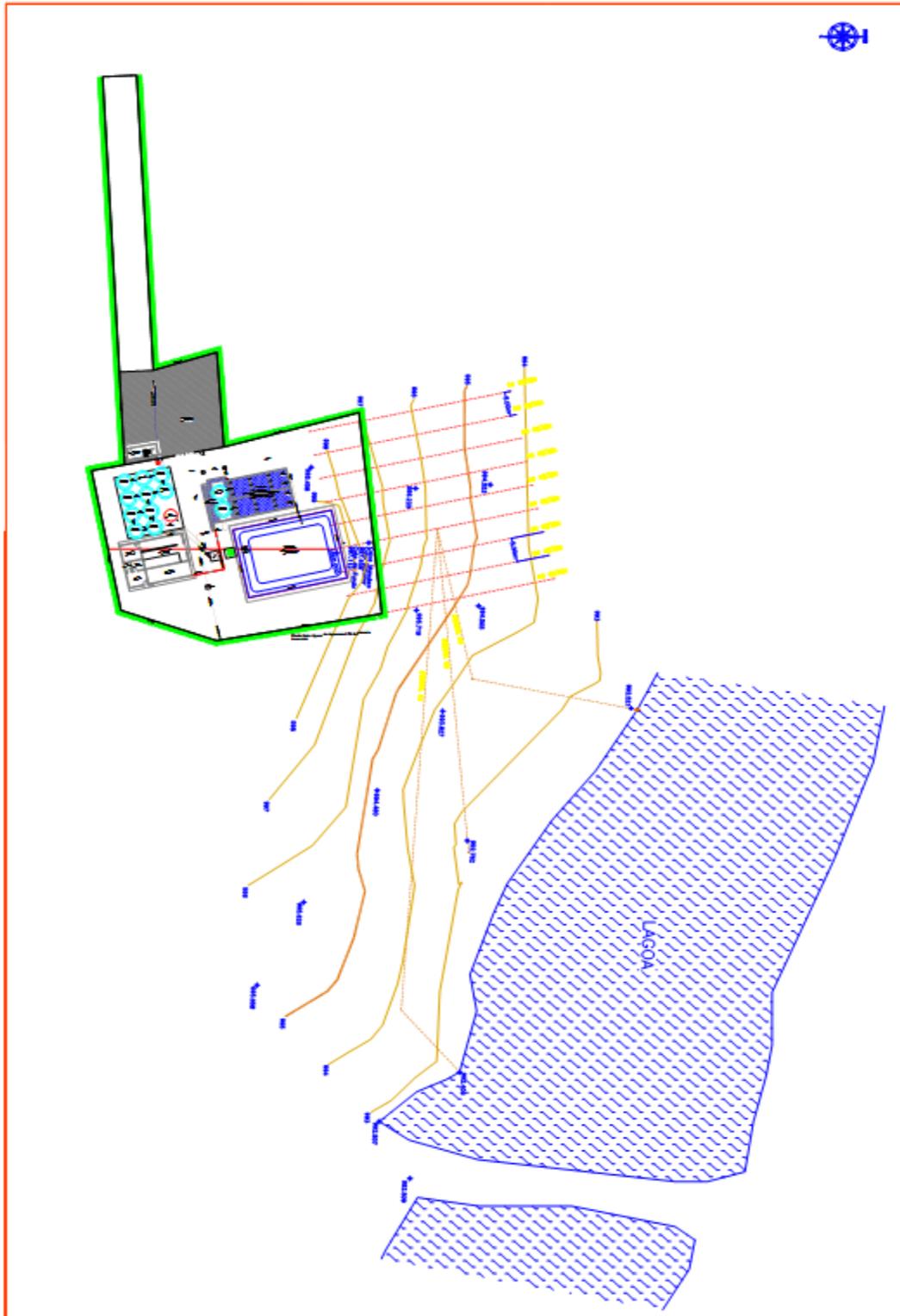
Os parâmetros DBO, ferro dissolvido, óleos e graxas, óleos e graxas minerais, óleos e graxas vegetais e gorduras animais, sólidos sedimentáveis e sulfeto, ultrapassam os limites de tolerância permitidos pela legislação para o lançamento direto de acordo com os limites da Tabela 4 apresentada no referencial teórico deste presente trabalho.

Visto que os parâmetros supracitados estão em desacordo com a legislação, se faz necessário atender aos requisitos das condicionantes estabelecidas na Licença Ambiental de Operação da empresa X na qual, requer o tratamento do lodo gerado na ETA. Em caso de não

atendimento as condicionantes, a empresa está submetida a suspensão e/ou renovação da licença.

Para dar prosseguimento ao trabalho e resolver o problema em questão, foi solicitado a realização de um estudo topográfico do terreno para poder avaliar a possibilidade de instalação de um sistema de secagem de lodo com redução de custos operacionais quando refere-se ao transporte do efluente até o local do tratamento. Na figura 13 é possível observar as cotas da topografia do terreno em que está localizada a estação de tratamento de água.

Figura 13 - Cotas da topografia do terreno a ser implantado o sistema de secagem de lodo

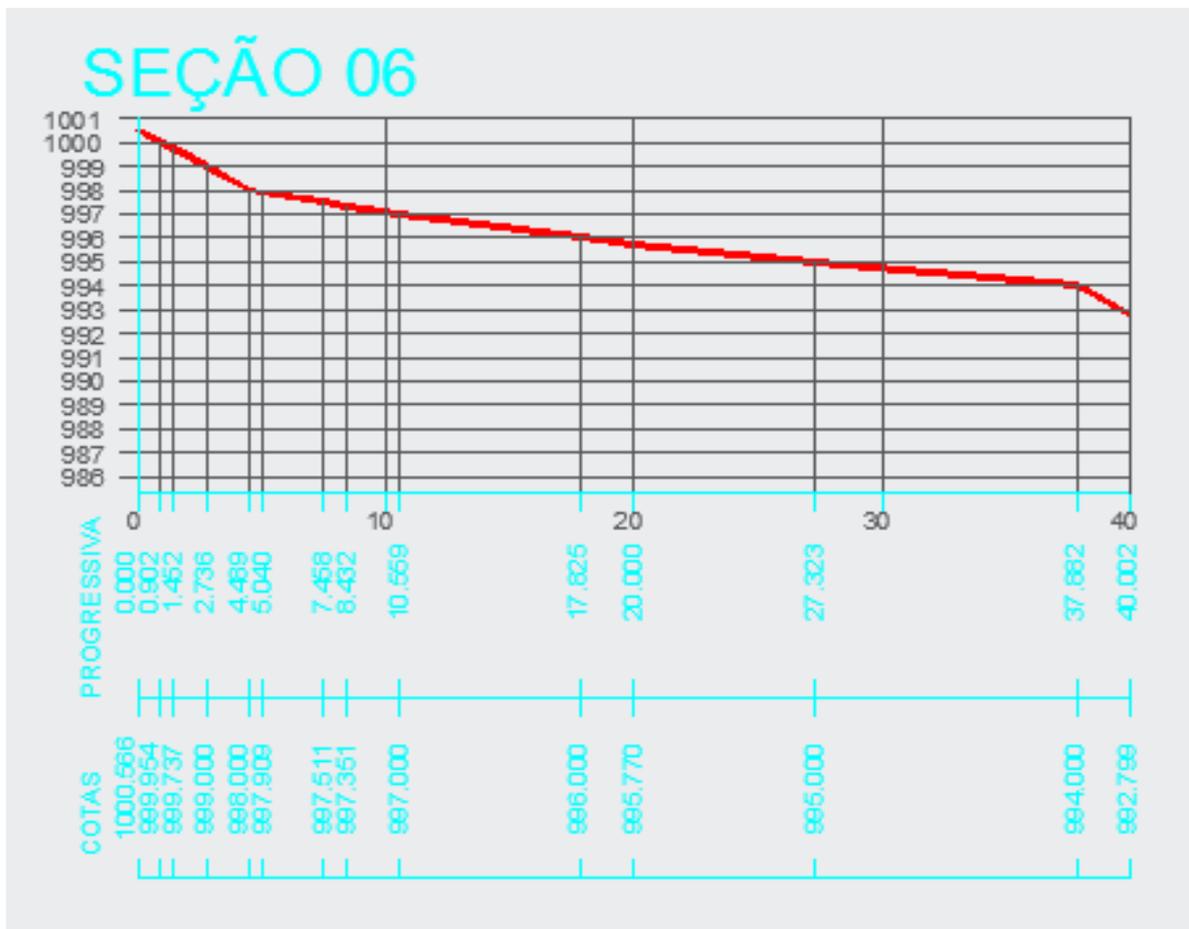


Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

No anexo A, encontra-se em detalhes as seções transversais e no Anexo B os perfis longitudinais obtidos da topografia do terreno.

Em análise dos dados obtidos na topografia, nota-se uma declividade do terreno. Considerando o ponto de localização da tubulação de descarga dos decantadores e o ponto de possível localização de instalação do sistema de secagem, de acordo com as cotas da seção 6 (Figura 13), tem-se uma altura de aproximadamente 2,5 metros. Levando em consideração a escavação do terreno a fim de nivelar no solo, este acarretará no aumento das cotas. Desta forma, as cotas do terreno são satisfatórias para a implantação do sistema de secagem com transporte do efluente através da vazão de escoamento da tubulação.

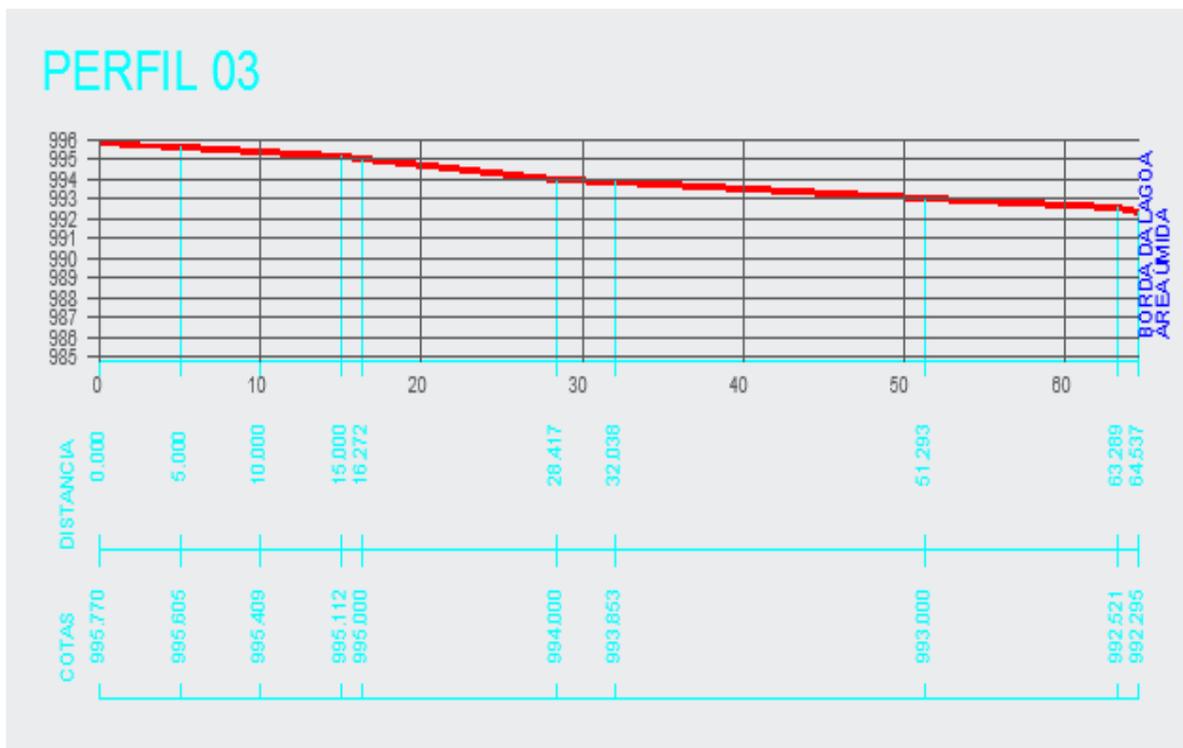
Figura 14 - Seção transversal da seção 06 da topografia do terreno



Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

A seção 3 do perfil longitudinal apresenta cota de aproximadamente 3 metros do ponto de instalação do sistema de secagem até o ponto de possível descarte da água drenada na secagem.

Figura 15 - Cotas da seção 3 do perfil longitudinal da topografia do terreno



Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

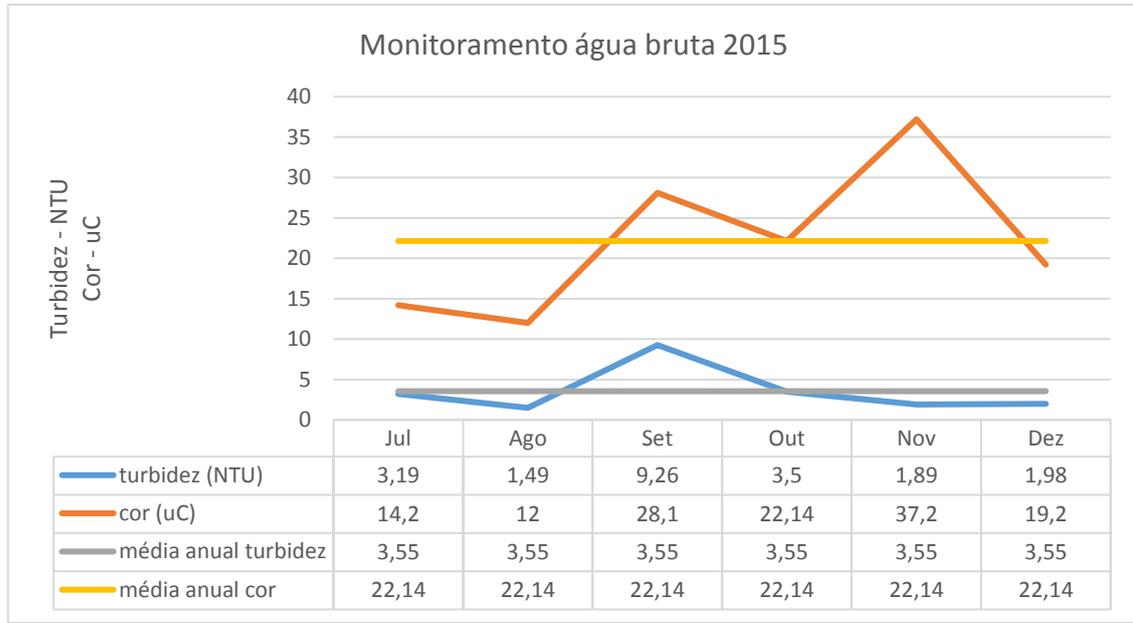
Para poder dar continuidade ao levantamento de dados, foi necessário obter as médias dos parâmetros de cor e turbidez da água bruta. O controle analítico realizado pela empresa X, permitiu levantar os dados da água bruta quanto aos parâmetros mencionados. Esses dados foram essenciais para poder realizar os cálculos de dimensionamento do sistema de secagem.

O controle de qualidade é realizado pelo laboratório interno da empresa no qual permite quantificar as análises físico-químicas da água bruta a ser captada e tratada, da água tratada na saída do tratamento e o controle da qualidade da água nas redes de distribuição.

De acordo com a literatura, os dados dos parâmetros supracitados para base de cálculos no dimensionamento, devem ser extraídos de um período mínimo de 3 (três) anos para poder ter-se confiabilidade dos resultados.

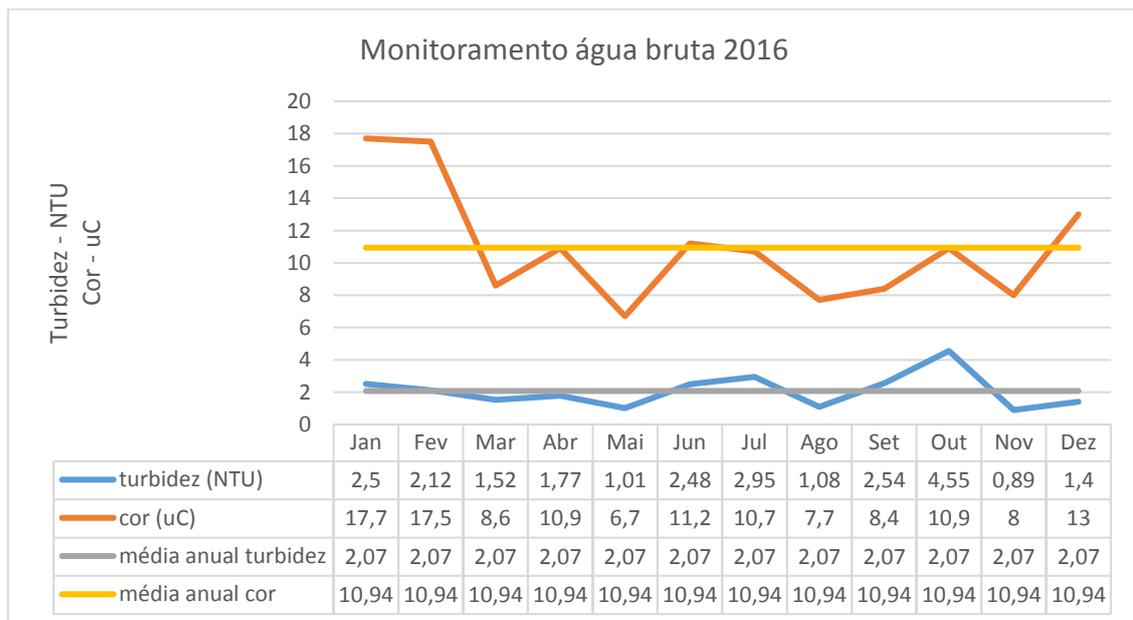
Os gráficos abaixo, apresentam as médias mensais dos anos de 2015, 2016 e 2017 dos parâmetros cor e turbidez da água bruta captada e tratada que dá origem aos resíduos gerados na estação de tratamento de água.

Gráfico 2 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2015



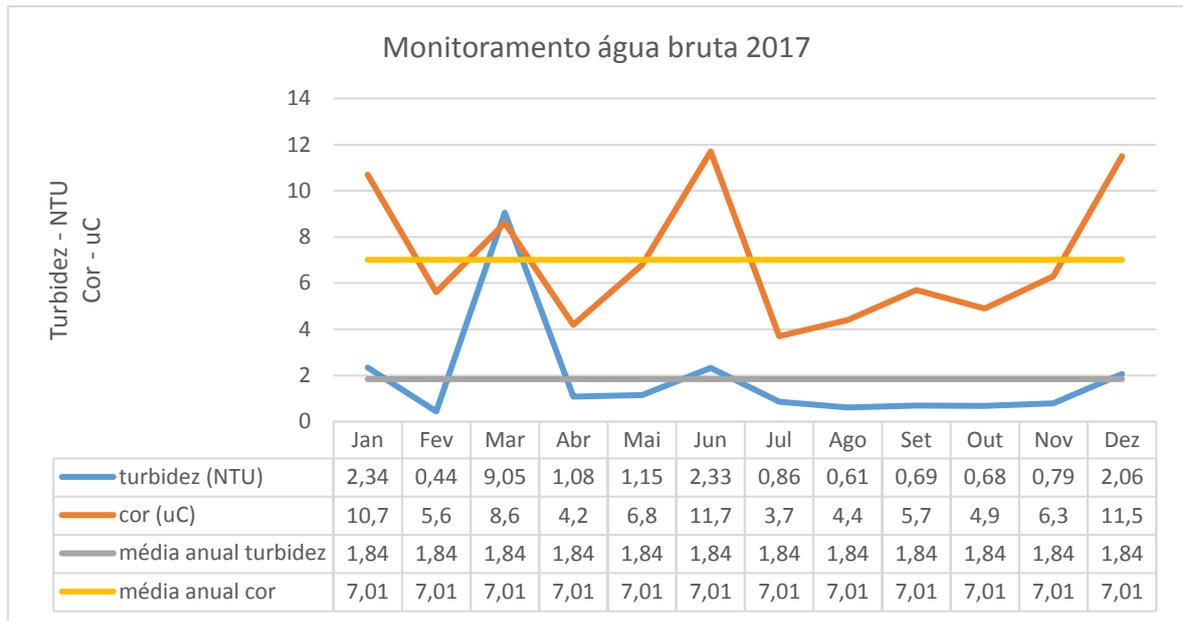
Fonte: da autora, 2018.

Gráfico 3 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2016



Fonte: da autora, 2018.

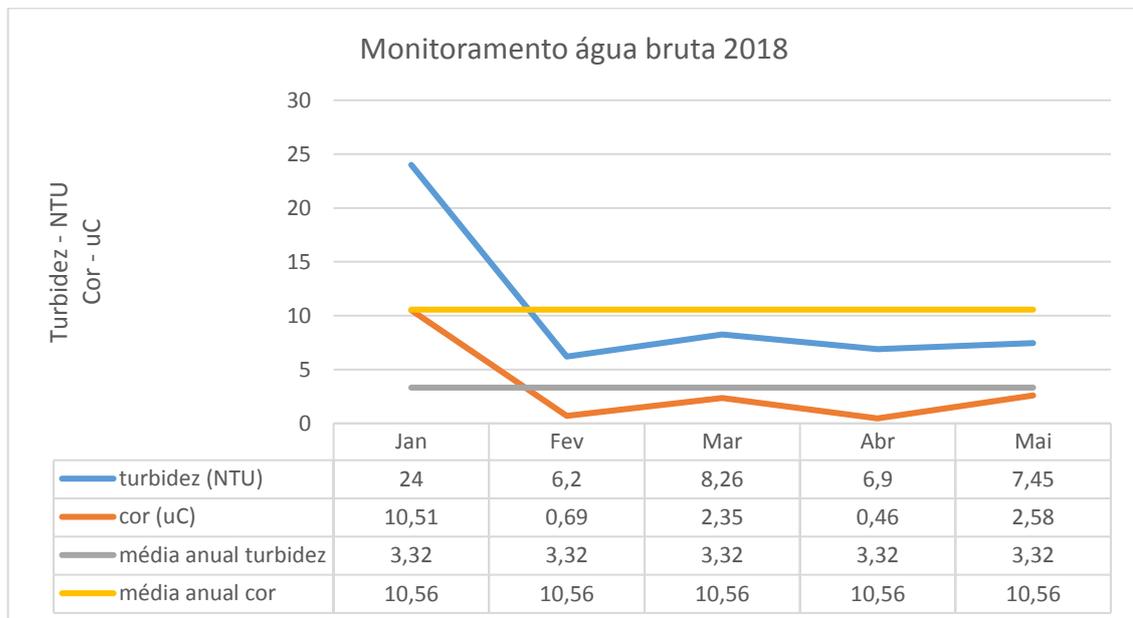
Gráfico 4 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2017



Fonte: da autora, 2018.

O Gráfico 5, apresenta os resultados dos ensaios laboratoriais dos parâmetros cor e turbidez da água bruta no ano de 2018 conforme plano de amostragem interno da empresa.

Gráfico 5 - Média dos parâmetros cor e turbidez da água bruta da Lagoa X no ano de 2018



Fonte: da autora, 2018.

Ao analisar os resultados atuais do ano de 2018, nota-se que a variação de cor e turbidez da água bruta está em coerência com os dados dos anos anteriores. Por se tratar de uma lagoa e estar localizada em área de preservação ambiental, as variações das características da água se dão de acordo com o clima e estações do ano, sendo perceptível que as variações são pequenas.

Para base de cálculo, a literatura sugere que sejam utilizados os dados de no mínimo 3 três anos, portanto, de acordo com os dados apresentados, o valor a ser utilizado de cor e turbidez no dimensionamento foram:

- Cor = 10,94 uC
- Turbidez = 2,07 NTU

Além dos parâmetros cor e turbidez, na pesquisa bibliográfica realizada e apresentada neste trabalho, para realizar o dimensionamento do sistema de secagem é necessário obter os dados de concentração de coagulante utilizado no tratamento da água, a vazão de tratamento e a concentração de sólidos no lodo gerado.

Nos arquivos internos na empresa X, extraiu-se a média de dosagem de coagulante utilizado no tratamento sendo este na concentração de 15 mg/L, a vazão do sistema conforme vazão das bombas utilizadas na captação de água bruta e confirmação de leituras no macro medidor de água é de 22 L/s. Para a determinação dos sólidos no lodo, uma nova amostra foi coletada e encaminhada ao laboratório. O resultado da concentração de sólidos determinada pelo laboratório X foi de 6,5 %.

Com os dados apresentados e de acordo com a necessidade de regularização das condicionantes contidas na Licença Ambiental de Operação da empresa X, foi dado início a uma investigação dos pontos influentes e escolha da metodologia aplicável para a regularização do tratamento do lodo gerado na ETA.

4.1 INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS INFLUENTES E ESCOLHA DA METODOLOGIA PARA REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DA EMPRESA X

A metodologia selecionada para proporcionar a regularização ambiental da empresa X se deu por meio da investigação do processo operacional.

- a) A Licença Ambiental de Operação da empresa X, contém condicionantes relacionadas ao tratamento de efluentes gerados no sistema operacional;
- b) O sistema de tratamento de água é por processo convencional ocasionando a geração de resíduos que ficam sedimentados nos decantadores e retidos no leito filtrante do filtro;
- c) O efluente gerado é lançado diretamente na Lagoa X na qual é utilizada como manancial de captação de água bruta para tratamento;
- d) O efluente não atende aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente;
- e) A não regularização da licença pode acarretar em multas ambientais e não renovação da mesma;
- f) A água bruta apresenta certa estabilidade nos parâmetros cor e turbidez;
- g) O empreendimento está localizado em terreno com grandes áreas disponíveis para implantação de novos sistemas;
- h) O terreno possui cotas favoráveis para transporte do efluente;
- i) A empresa necessita de sistemas operacionais com baixo custo de implantação e baixo custo operacional;

4.2 DADOS DO PROJETO PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DA EMPRESA X

A fim de evitar o lançamento inadequado dos resíduos gerados na estação de tratamento de água e solucionar a questão ambiental, será necessária a implantação de leito de secagem tradicional próximo a ETA. Este sistema é indicado para pequenas estações de

tratamento, usualmente com capacidade menores que 200 L/s e em locais com disponibilidade de área no terreno para sua instalação.

Com os instrumentos de coletas de dados apresentados e obtenção dos resultados, foi possível dimensionar a área requerida para a implantação do leito de secagem para desaguamento do lodo e destino ambientalmente correto.

Os cálculos do dimensionamento do leito estão apresentados no Apêndice A.

A água sobrenadante pré-tratada contida nos decantadores de 45 m³ cada, será retirada através de uma bomba centrífuga de 40 m³/h. A água bombeada será transportada para o decantador ao lado, sendo esta água mantida no processo evitando seu descarte desnecessário uma vez que, já passou pelo processo de tratamento e depende somente da última etapa de filtração e correções para torna-la potável.

A retirada da água sobrenadante do decantador de 270 m³, será realizada pela bomba de 80 m³/h já existente no local que tem a finalidade de captar a água decantada e transportar para o filtro pressurizado de 80 m³/h. Com a remoção da água sobrenadante, somente a camada de lodo será enviada para os leitos de secagem.

O lodo será transportado para os leitos por tubulação de 150 mm. A velocidade de escoamento do fluido na tubulação é de 0,794 m/s. Esta velocidade atende aos requisitos de escoamento sendo que a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s e a máxima de 3,5 m/s de acordo com a NBR 1221/94 da ABNT.

De acordo com os resultados dos cálculos do Apêndice A, a estimativa da quantidade de lodo produzida por ano na estação será de 0,008779 kg/m³. O volume médio anual tratado pela estação será de 555033,600 m³. A massa anual de sólidos precipitada será de 4872,640 kg e a massa de lodos correspondentes é de 74963,692 kg. O volume de lodos produzidos anualmente será de 1029,748 kg/m³ e o volume correspondente é de 72,798 m³.

A área total necessária para a secagem dos lodos da ETA de acordo com os cálculos aplicados será de 145,596 m². De acordo com a literatura, a área não ultrapassa de 1.500 m², sendo assim tem-se coerência no resultado obtido.

A carga de sólidos aplicáveis no leito será de 33,47 kg/m². Estas cargas podem variar de 10 a 60 kg/m².

A dimensão de cada unidade respeitará a literatura na qual recomenda a instalação de no mínimo 3 unidades, porém é preferível 4 para aumentar a flexibilidade operacional. A escolha da forma é livre para acomodar-se às características do terreno disponível. Sendo

assim, será instalado 4 unidades de igual área, com forma retangular e relação comprimento/largura de:

- a) Área de cada unidade = 36 m^2
- b) Largura = 3 m
- c) Comprimento = 12 m

As paredes que separam as unidades deverão ser construídas de concreto, podendo ser de alvenaria de tijolos em unidades de baixa altura, como os leitos de secagem. A altura livre acima do nível será de 30 cm e a camada de lodo será de 50 cm não devendo exceder 75 cm.

O meio filtrante deverá ser constituído de uma camada de areia grossa de 13 cm de profundidade sobre a camada suporte de areião de 8 cm e 15 cm de brita número 1. A camada suporte irá manter a espessura do lodo uniforme e favorecerá a percolação do filtrado em toda área e direcionará o líquido drenado para a tubulação de coleta. Acima da areia deverá ser posto os tijolos de forma amarrada com espaço de 2 a 3 cm a fim de facilitar a remoção do lodo após o desague. Os tubos de drenagem devem ter diâmetro de 110 mm com orifícios na tubulação.

O sistema de entrada de cada leito deverá conter uma válvula de gaveta que permitirá o descarregamento do lodo em uma estrutura de dissipação, que pode ser uma simples placa de concreto sobre a superfície do meio filtrante. Por serem leitos de pequenas áreas, não serão necessários outros pontos de entrada.

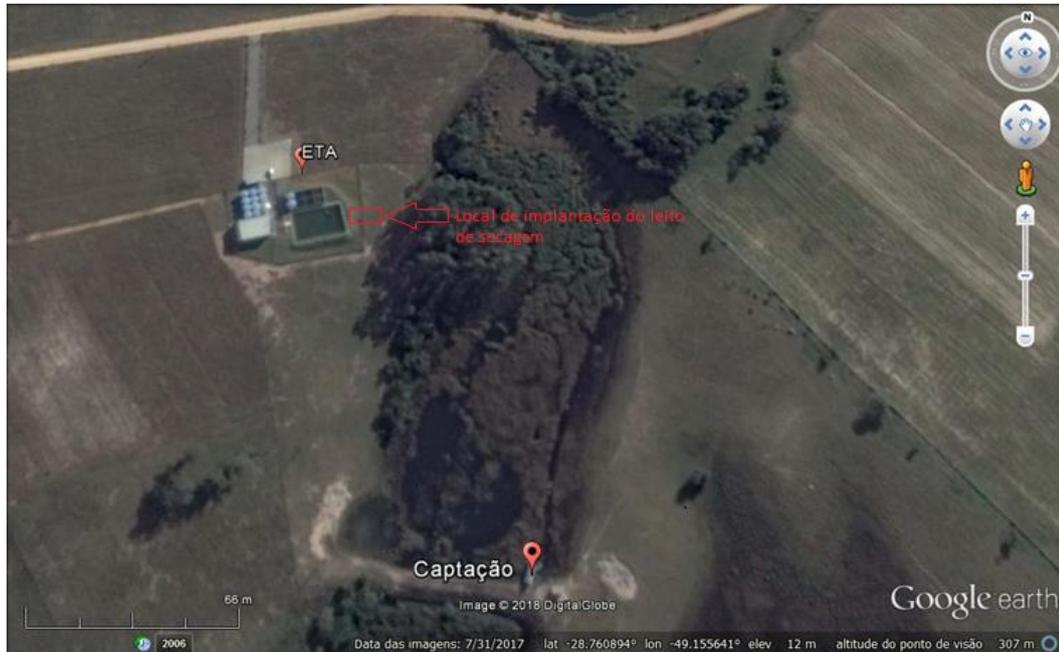
A velocidade mínima na canalização de alimentação deverá ser superior a 75 cm/s para evitar depósitos. Conforme os cálculos, a velocidade determinada foi de 0,794 m/s, sendo assim atende ao requerido e evitará o depósito nas tubulações de descarte.

A água filtrada gerada do desaguamento do lodo será drenada através de tubulação de 110 mm que lançará a água no ponto de captação de água bruta, conseqüentemente retornará para o processo de tratamento.

Os leitos serão cobertos com telhas translúcidas que permitirão a entrada de até 70% da luz que incide sobre o telhado, distribuindo a luminosidade natural por todo o leito. Desta forma terá condições favoráveis de insolação, ausência de chuva sobre o lodo e ventilação adequada. Nessas condições, de acordo com Di Bernardo; Sabogal Paz (2008), o filtrado geralmente apresentará concentração de SST e de DQO que raramente excedem 30% dos valores iniciais do lodo bruto, depois de 5 dias de exposição.

De acordo com o levantamento topográfico do terreno, os leitos deverão ser instalados próximo a ETA, na seção 3. A localização de instalação pode ser observada na figura 16.

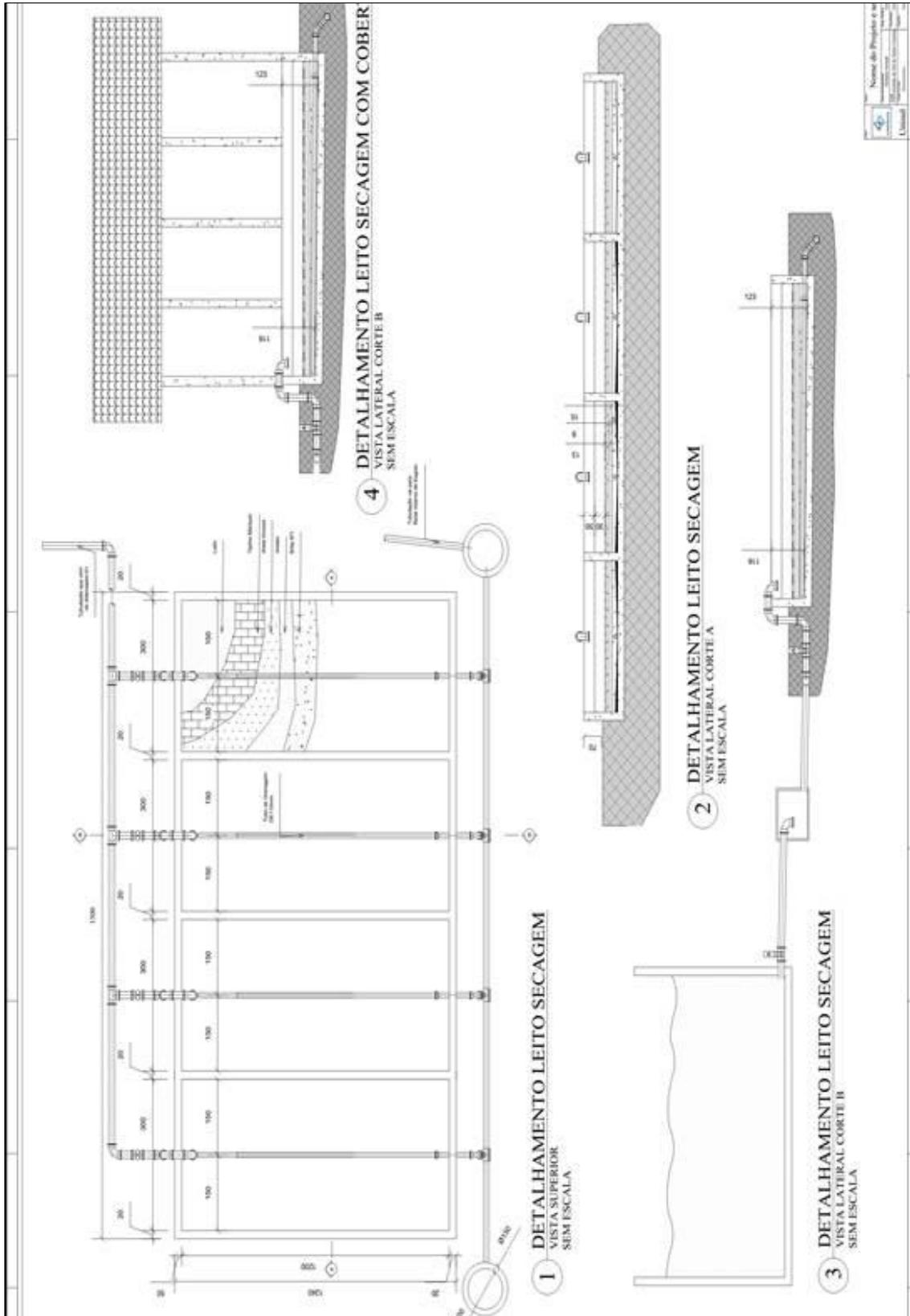
Figura 16 - Localização de implantação do leito de secagem



Fonte: da autora, 2018.

O projeto do leito de secagem pode ser observado na figura 17.

Figura 17 - Projeto leito de secagem da empresa X



Fonte: da autora, 2018.

Como se dispõe de 4 leitos a fim de flexibilizar a operação, 2 (dois) leitos serão utilizados para secar o lodo proveniente da limpeza do filtro que é realizada semanalmente e 2 (dois) leitos serão destinados a secagem dos lodos provenientes das limpezas dos decantadores, com esta é realizada trimestralmente e, após cinco dias o lodo já se apresenta com rachaduras, o tempo de permanência do lodo no leito será maior que cinco dias, sendo assim, facilitará a remoção e limpeza dos leitos.

Após a secagem, o lodo deverá ser removido do leito e armazenado em uma caixa de acúmulo. Esta deverá ser posta ao lado dos leitos e estar devidamente tampada para evitar que ocorra a umidificação do lodo causada por condições climáticas. Após ter um acúmulo significativo, este deverá ser destinado a aterros sanitários e/ou destinado a cerâmica vermelha.

4.3 SUGESTÕES

A empresa de saneamento X, além de captar, tratar e distribuir água para abastecimento público, realiza obras de manutenção nas redes de distribuição. Essas obras normalmente após realização do concerto necessitam de aterro para cobrir as redes e posteriormente executar a pavimentação do local.

O lodo seco deverá passar por processos de caracterização e avaliação técnica para possível aproveitamento deste nas obras de manutenção executadas.

Em caso de os resultados atenderem aos padrões das legislações, o lodo poderá ser utilizado pela própria empresa X geradora do lodo nos serviços que necessitam de aterro.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu avaliar as condições de lançamento de efluentes da empresa X gerado no processo de tratamento de água para abastecimento público por processo convencional.

As características e padrões do efluente em estudo apresentaram condições que não atendem a legislação vigente, tornando inviável a prática de lançamento direto em corpo hídrico. Esta prática, atualmente aplicada pela empresa, poderá estar sujeita a interdição da operação do sistema com a suspensão da Licença Ambiental de Operação (LAO) e ao regime de outorga podendo receber ou não autorização e, estar passível de punição civil, administrativa e criminal.

Atendo as condicionantes da LAO e avaliando todo o processo operacional de tratamento de água, o lodo gerado na ETA pertence a Classe II A – Resíduo não Inerte. De acordo com os padrões de lançamento da resolução do CONAMA N° 430/11, os parâmetros DBO, ferro dissolvido, óleos e graxas, óleos e graxas minerais, óleos e graxas vegetais e gorduras animais, sólidos sedimentáveis e sulfeto, ultrapassam os limites de tolerância permitidos pela legislação, fazendo-se necessário a instalação do sistema de secagem do lodo.

Com os dados analíticos do monitoramento da lagoa e resultados de ensaios laboratoriais, foi possível realizar o dimensionamento do sistema de secagem na ETA da empresa X no qual permitirá a regulamentação ambiental perante aos órgãos competentes.

O sistema de tratamento adotado foi leito de secagem tradicional, pois, estes sistemas normalmente requerem baixo investimento inicial, as atividades de operação e manutenção não requerem pessoal qualificado, não apresentam consumo de energia. Geralmente dispensam o uso de produtos químicos no tratamento, podem gerar uma alta concentração de sólidos se as características climáticas no momento da secagem forem favoráveis, permitem a recuperação de água clarificada, a qual pode ser utilizada no início do tratamento, são indicados para pequenas ETAs, com capacidade inferior a 200 L/s e as unidades têm baixa sensibilidade às variações quantitativas e qualitativas do lodo.

Quanto ao sistema de secagem, os parâmetros de projeto adotados foram 4 (quatro) leitos de 36 m² construídos de forma retangular. O lodo produzido por ano estimado será de 0,008779 kg/m³, o volume médio anual do lodo é de 555033,600 m³, a massa de

sólidos gerada é 4872,640 kg, a quantidade de lodo precipitado será de 74963,692 kg, o volume de lodo produzido anualmente será de 72,798 m³ sendo o volume correspondente de 72,798 m³. Com os dados calculados, a área total do leito de secagem será de 145,596 m² tendo uma carga de 33,47 kg/m² de sólidos aplicáveis. O resíduo aplicado após secagem será encaminhado inicialmente para aterros sanitários.

Portanto, o sistema de secagem descrito conta com a dimensões necessárias para a instalação e com a eficiência exigida para adequação da empresa X perante as legislações vigentes garantindo a sua regularidade operacional bem como contribuindo com a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de estação de tratamento de água. Vol. 13. Nº I - jan/mar 2008. 54-62 p.
- ALVES, Célia. Tratamento águas de abastecimento. Porto: Publindústria, Edições Técnicas, 2010. 400 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004. Resíduos sólidos – Classificação. 2004. 71 p.
- BARROS, Raphael T. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- BITTENCOURT, Simone; SERRAT, Beatriz Monte; AISSE, Miguel Mansur; MARIN, Lia Márcia Kugeratski de Souza; SIMÃO, Caio César. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. Curitiba: ABES. Vol. 17. Nº 3. jul/set 2012. 315-324 p.
- BOTERO, Wander Gustavo. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. 2008. 97 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília: FUNASA. 2014. 112 p.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. DOU, Brasília 2011.
- CORDEIRO, João Sergio; ANDREOLI, Cleverson Vitório. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p.
- DACACH, Nelson Gandur. Sistemas urbanos de água. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979. 314 p.
- DI BERNARDO, Luiz. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.
- DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: RiMa, 2005. 792 p.
- DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; FILHO, Paulo Luiz Centurione. Ensaio de tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: RiMa, 2002. 237 p.

DI BERNARDO, Luiz; SABOGAL PAZ, Lyda Patrícia. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008. 682 p.

FONTANA, Antônio Osmar 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. São Carlos: UFSCar, 2005. 161 p.

GERVASONI, Ronald. Caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo de estações de tratamento do estado do Paraná. 2014. 142 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná de Pós-graduação em Meio ambiente Urbano e Industrial. Curitiba, 2014.

GUIMARÃES, G. C. estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA – Brasília. 2007. 118 p. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

HAMMER, Mark J. Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 564 p.

HITCHER, Carlos A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Blucher, 2001. 102 p.

JANUÁRIO, 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. Vol. 12. Nº 2. abr/jun 2007 117-126 p.

LEME, Francilio Paes. Teoria e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: CETESB, 1979. 424 p.

MELO, Amilton Sales de. Contribuição para o dimensionamento de leitos de secagem de lodo. Dissertação de Mestrado – Universidade federal de Campina Grande. Campina grande, 2006. 74 p.

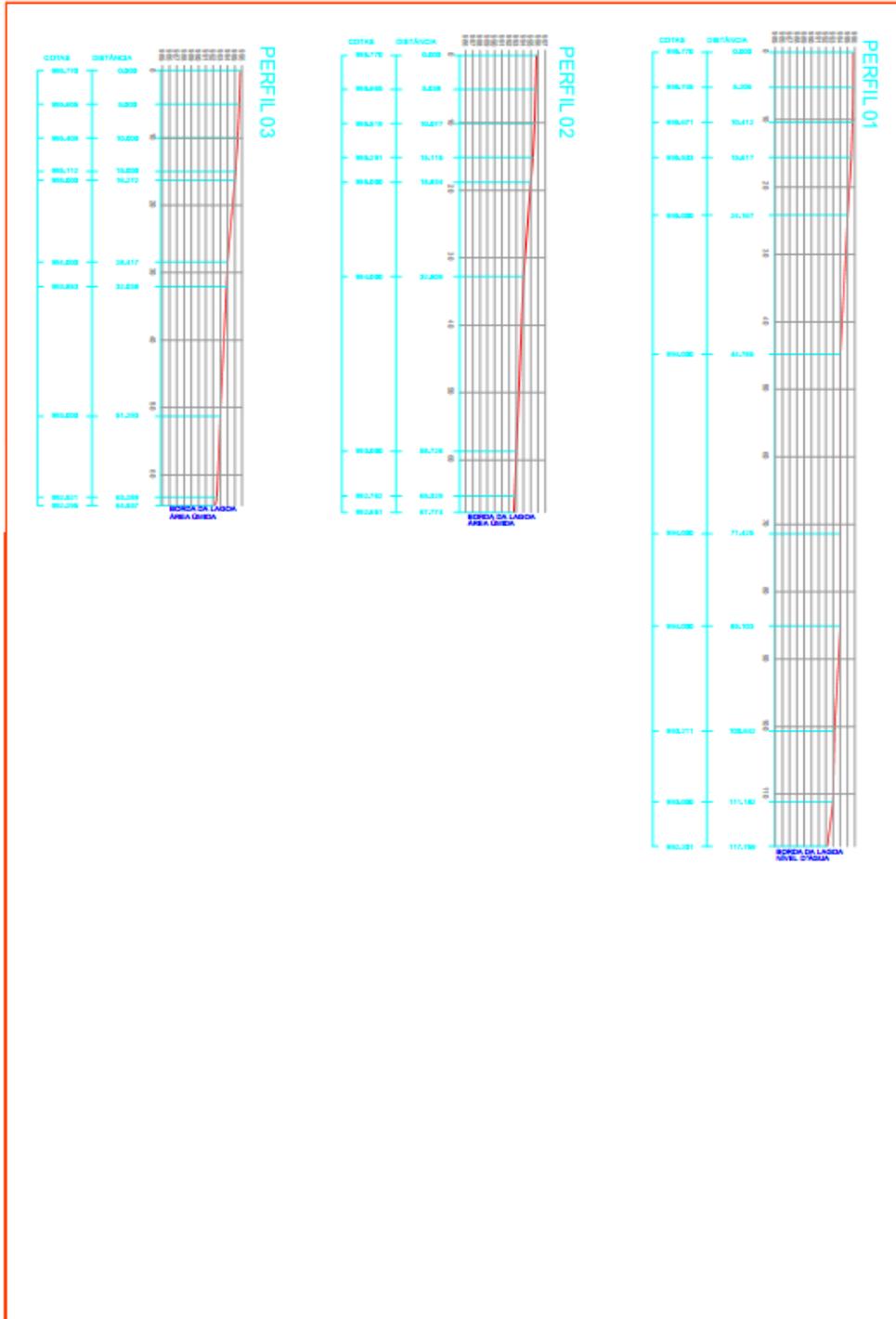
OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S.Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. Artigo Científico - Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, 2004. 324-330 p.

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.

SILVEIRA, Denise Tolfo; GERHARDT, Tatiana Engel. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p.

ANEXOS

ANEXO B – Seções longitudinais da topografia do terreno



Fonte: Arquivo interno da empresa X, 2018.

APENDICES

APENDICE A – Cálculo dimensionamento leito de secagem

Cálculo da quantidade de lodo produzida por ano:

Sendo $K_1 = 1,3$ e $K_2 = 0,26$ (constantes para coagulantes a base de alumínio obtidos da literatura).

$$S = \frac{0,2 \times C + K_1 \times T + K_2 \times D}{1000}$$

$$S = \frac{0,2 \times 30 + 1,3 \times 15 + 0,26 \times 15}{1000}$$

$$S = 0,008779 \text{ kg/m}^3$$

Volume médio anual tratado:

O coeficiente para o dia de maior consumo é $K = 1,25$ (dado retirado da literatura)

$$V = 365 \times 86.400 \times \left(\frac{Q}{K}\right)$$

$$V = 365 \times 86.400 \times \left(\frac{0,022}{1,25}\right)$$

$$V = 555033,6 \text{ m}^3$$

Massa de sólidos:

$$M_S = S \times V$$

$$M_S = 0,008779 \times 555033,6$$

$$M_S = 4872,640 \text{ kg}$$

Lodos precipitados:

Sendo $C_0 = 0,065$ (dado obtido do laudo da amostragem do lodo)

$$M_L = \frac{M_S}{C_0}$$

$$M_L = \frac{4872,640}{0,065}$$

$$M_L = 251045,967 \text{ kg}$$

Volume de lodo produzido anualmente:

A densidade dos lodos, considerando $\delta_s = 1.800 \text{ kg/m}^3$ e a densidade da água sendo $\delta = 1.000 \text{ kg/m}^3$ (Dados tabelados retirados da literatura).

$$\delta_L = \frac{1}{\left(\frac{C}{\delta_s}\right) + \left(\frac{1-C}{\delta}\right)}$$

$$\delta_L = \frac{1}{\left(\frac{0,065}{1.800}\right) + \left(\frac{1-0,065}{1.000}\right)}$$

$$\delta_L = 1029,748 \text{ kg/m}^3$$

Volume correspondente:

$$V_L = \frac{M_L}{\delta_L}$$

$$V_L = \frac{251045,967}{1029,748}$$

$$V_L = 72,798 \text{ m}^3$$

Área necessária do leito de secagem considerando:

Número de aplicações é $n = 1$ (3 meses de produção)

Profundidade útil do leito é $h = 0,50 \text{ m}$

$$A = \frac{V}{n \times h}$$

$$A = \frac{72,798}{1 \times 0,50}$$

$$A = 145,596 \text{ m}^2$$

Fazendo as unidades de igual área, com forma retangular e relação comprimento/largura = 4, resulta:

- Área de cada unidade $\approx 36 \text{ m}^2$
- Largura = 3 m
- Comprimento = 12 m

Carga de sólidos aplicáveis:

$$\frac{M_s}{A} = \frac{4872,640}{145,596} = 33,47 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo da velocidade de escoamento da tubulação de transporte do efluente:

- Diâmetro da tubulação = 150 mm
- Vazão = 80 m³/h

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,15^2}{4} = 0,0176 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{A}{Q} = \frac{0,0176}{0,022} = 0,794 \text{ m/s}$$