

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE LODO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NITERÓI

TECHNICAL FEASIBILITY STUDY FOR INSTALLING A SLUDGE TREATMENT SYSTEM AT THE NITERÓI WATER TREATMENT STATION

Lucas Rolim Braun¹
Adriano Schorr²

RESUMO

A água é um dos recursos naturais mais necessários para a sobrevivência do ser humano, e para isso, faz-se necessário o tratamento correto. Este processo, apesar de ser amplamente difundido, ocasiona na produção indesejada de uma massa sólida popularmente conhecida como lodo. O artigo em questão visou estudar meios de tratamento deste resíduo em uma Estação de Tratamento de Água da cidade de Canoas, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, pois foi constatada que por ser uma estrutura bastante antiga, ainda não possuía um meio adequado de tratamento de lodo, ocasionando no descarte e assim, impactando negativamente o meio ambiente. Para este estudo, foram analisados os principais meios de tratamento utilizados, os quais dividem-se entre sistemas mecânicos (que necessitam de um equipamento) e os sistemas naturais (que dependem apenas de fatores climáticos e tempo). Dentre todos os estudados, notou-se que alguns sistemas não são aplicáveis devido ao espaço disponível na ETA, ou pelo fato de serem destinados a outras aplicações que não ao tratamento do lodo, como é o caso dos leitos de secagem e o filtro à vácuo. Por fim, optou-se pela escolha de uma centrífuga como método, devido às suas principais vantagens - principalmente em relação ao espaço necessário - e seu custo reduzido quando comparado a outros meios, além de também possibilitar uma remoção do lodo tratado de um jeito mais facilitado.

Palavras-chaves: Efluentes. Meio Ambiente. Saneamento.

ABSTRACT

Water is one of the most necessary natural resources for human survival, and for that, correct treatment is necessary. This process, despite being widespread, leads to the unwanted production of a solid mass popularly known as sludge. The article in question aimed to study ways of treating this waste in a Water Treatment Plant in the city of Canoas, in the province of Rio Grande do Sul, Brazil, as it was found that as it is a very old structure, it still did not have an adequate means of sludge treatment. , causing disposal and thus negatively impacting the environment. For this study, the main means of treatment used were analyzed, which are divided between

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade La Salle, lucas.braun1021@unilasalle.edu.br.

² Prof. Me. em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade La Salle, adriano.schorr@unilasalle.edu.br.

mechanical systems (which require equipment) and natural systems (which only depend on climatic factors and time). Among all those studied, it was noted that some systems are not applicable due to the space available at the ETA, or because they are intended for applications other than sludge treatment, such as drying beds and vacuum filters. Finally, a centrifuge was chosen as the method, due to its main advantages - mainly in relation to the space required - and its reduced cost when compared to other means, in addition to allowing for a more efficient removal of the treated sludge more easily.

Keywords: Effluents. Environment. Sanitation.

1 INTRODUÇÃO

Devido à necessidade básica do ser humano para sua sobrevivência, é notável a importância da água e seu tratamento para utilização. Tendo como principal fim o seu consumo, tem outras aplicações amplamente utilizadas tais como o uso para higiene pessoal, cozinhar alimentos, limpeza do ambiente, entre outros. Para isso, se fez necessário criar um meio de tratar a água disponível na natureza, principalmente pelo fato de que nem sempre a mesma é totalmente potável. Conforme o site da Corsan, “Do total da água existente no planeta, 97,5% corresponde à água salgada e o restante (2,5%) à água doce. Destes, 68,9% estão nas calotas polares, 29,9% nos reservatórios subterrâneos, e apenas 1,2% disponíveis como águas superficiais.” Apesar de o tratamento de água já ser algo bem estruturado em todos os países, somente há alguns anos descobriu-se que o tratamento da água produz resíduos decorrentes dos reagentes e das impurezas advindas do afluente, e devido a isso, surgiu a principal questão: o que fazer com o resíduo que é gerado? Como evitar o descarte de uma matéria orgânica, podendo ela ser consideravelmente agressiva ao meio ambiente?

Baseada nestes questionamentos e na necessidade de um cuidado cada vez maior com a natureza, foram desenvolvidos métodos que permitem que este resíduo sólido - usualmente chamado de lodo - pudesse ser tratado e, após seu tratamento, a escolha devida sobre seu destino, podendo ser descartado em lugares apropriados ou até mesmo aproveitados em outras aplicações.

Como o tratamento de água é um processo ininterrupto, a produção de lodo também é contínua, e isso requer uma análise aprofundada de meios possíveis de se recolher este resíduo, executar seu tratamento e poder ser destinado conforme sua necessidade.

2 TRATAMENTO DE ÁGUA

2.1 Processo de Tratamento

Para realizar o tratamento, é necessário seguir um procedimento padrão que permite a correta preparação dos reagentes químicos e promove a potabilidade ideal da água. O processo é feito seguindo as seguintes etapas:

- **Captação:** Retirada de água bruta do manancial;

- **Adução:** Caminho percorrido pela água bruta até a Estação de Tratamento de água;
- **Mistura Rápida:** Adição de um coagulante para remoção das impurezas;
- **Floculação:** Etapa de aglutinação das impurezas;
- **Decantação:** Etapa em que os flocos sedimentam no fundo de um tanque;
- **Filtração:** Retenção dos flocos menores em camadas filtrantes;
- **Desinfecção:** Adição de cloro para eliminação de micro-organismos patogênicos;
- **Fluoretação:** Adição de compostos de flúor para prevenção de cárie dentária;
- **Bombeamento:** Distribuição da água tratada à população.

Figura 1 - Fluxograma do Tratamento de Água



Fonte: SAE Ituiutaba - MG

Com a finalidade de que a água tratada esteja dentro dos parâmetros de potabilidade descritos pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, a Corsan conta com 341 laboratórios físico-químicos e 171 laboratórios microbiológicos, e ainda um laboratório central que complementa a execução das análises exigidas. Este laboratório é acreditado pelo INMETRO conforme os critérios da ISO 17025, que garante sua rastreabilidade (Site da Corsan).

2.2 Resíduos Resultantes

Todo o processo de tratamento de água tem como consequência a geração de resíduos, que, por muitas vezes, não possuem destino certo, tanto para descarte como para aproveitamento em outros fins. Este resíduo sólido, formado por matéria orgânica, é formado na fase de decantação dos flocos onde os mesmos se depositam no fundo e criam esta massa, popularmente conhecida como lodo.

3 O LODO COMO RESÍDUO SÓLIDO

3.1 Características Gerais

Por definição, lodo é descrito como:

Qualquer material sólido, ou corrente com concentração elevada de sólidos não dissolvidos, produzido nos processos primário, secundário ou avançado de tratamento de efluentes, que não tenham sido submetidos a nenhum processo de redução de patógenos ou atração de vetores. (METCALF & EDDY, 5ª Ed., 2016, p. 1423).

Para que este resíduo seja tratado, é muito importante obter informações quanto à sua composição química, podendo a mesma variar conforme o tipo de produto utilizado para a potabilização da água. Neste estudo, foi possível obter dados referentes aos produtos químicos utilizados no tratamento de água na ETA Niterói. Estes dados são analisados diariamente, sendo coletados de hora em hora para verificação e ajuste das quantidades necessárias.

3.2 Quantificação de Lodo Produzido

Uma das etapas mais importantes do tratamento de lodo em si é a importância de sabermos a quantidade de lodo produzida no decorrer do tratamento. De acordo com Cleverson Andreoli (2001), a quantidade de lodo produzida em uma ETA depende de determinados fatores, dentre eles podemos citar os principais:

- A quantidade de partículas presentes na água bruta;
- Eficiência da sedimentação;
- Tempo de permanência do lodo nos tanques;
- Forma de limpeza do local de acondicionamento;
- A concentração de produtos químicos aplicados.

A seguir, são descritos os produtos utilizados, sua função e as respectivas dosagens:

- Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$): Um sal, utilizado como coagulante para tratamento de água;
- Cloro (Cl): Um elemento químico utilizado para desinfecção e no intuito de manter a água distribuída a níveis aceitáveis de potabilidade (cloro residual);
- Ácido Fluorsilícico (H_2SiF_6): Uma solução utilizada para fluoretar a água, promovendo assim a prevenção de cáries na população;
- Ortopolifosfato (coagulante): Outro coagulante, porém menos usual e também relativamente mais caro.

Quadro 1 - Dosagem de componentes de tratamento

Quantidade	Sulfato de Alumínio Líquido	Cloro Líquido		Ácido Fluossilícico	Ortopolifosfato Líquido
	ppm (µl/L)	ppm pré (µl/L)	ppm pós (µl/L)	ppm (µl/L)	ppm (µl/L)
Mínimo	22	1,16	4,20	2,5	2,0
Médio	22	1,16	4,26	2,8	2,0
Máximo	22	1,16	4,41	3,2	2,0

Fonte: Dosagens coletadas in loco

Estas dosagens foram utilizadas para o tratamento de água para uma vazão média de 800 L/s na ETA Niterói. Este valor representa, aproximadamente, 69120 m³ de água tratada em 24 horas.

A utilização desses componentes químicos impacta diretamente na composição final do resíduo sólido gerado, variando conforme a dosagem e tipos de tratamento adotado.

3.2.1 Cálculo de estimativa de massa

Por se tratar de um processo comum mas com bastante variação entre as estações de tratamento, foram formulados muitos meios de estimar a quantidade de lodo gerado, porém o método mais prático é apresentado a seguir³:

$$S = \frac{(0,2C + k_1 T + k_2 D)}{1000}^4$$

Onde:

- S = Massa de sólidos secos precipitada em quilogramas por metro cúbico de água tratada;
- C = Cor da água bruta, uH (unidade Hazen/Escala platina-cobalto);
- T = Turbidez da água bruta, UNT (Unidade Nefelométrica de McFarland);
- D = Dosagem de coagulante, mg/L.

O coeficiente k1 representa a relação entre sólidos suspensos totais e a turbidez, tendo uma variação usual entre 0,5 e 2,0. A turbidez pode ser medida

³ RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001, p. 1.

⁴ Id., 2001, p. 10.

utilizando-se da Escala Nefelométrica de McFarland, possibilitando construir um gráfico que evidencia a relação entre os fatores.

O coeficiente k_2 corresponde à relação estequiométrica do precipitado, estando relacionado diretamente com o coagulante utilizado, conforme a tabela 1:

Tabela 1 - Valores de K_2

Coagulante	K_2
Sulfato de Alumínio - $Al_2(SO_4)_3$	0,26
Cloreto Férrico - $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	0,40
Sulfato Férrico - $Fe_2(SO_4)$	0,54

Fonte: Carlos A. Richter (2001)

3.2.2 Cálculo de massa de sólidos

Posterior ao cálculo de massa de resíduo sólido produzida, é necessário saber o rendimento da unidade de processamento de lodo e quanta massa sólida, em kg/s, é removida do local onde o mesmo é depositado. Para isso, utiliza-se uma fórmula simples, em que a quantidade de massa produzida é multiplicada pelo rendimento da unidade, como demonstrado a seguir:

$$M_s = \eta * S * Q^5$$

Onde:

- M_s = Massa de sólidos removida por unidade de tempo, em kg/s;
- η = Rendimento da unidade de remoção de lodo, em percentual decimal;
- S = Quantidade de massa, em kg;
- Q = Vazão de água tratada, em m^3/s .

Esta fórmula é necessária para que seja conhecida a massa de lodo precipitada, ou seja, quanto de lodo há em massa de sólidos seca.

3.2.3 Cálculo de massa de lodo

A etapa seguinte é o cálculo de quanto, em massa, há de lodo na massa sólida produzida. Para tanto, utiliza-se a fórmula:

$$M_L = \frac{M_s}{C}^6$$

Onde:

⁵ RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001, p. 11.

⁶ Id., 2001, p. 12.

- M_L = Massa de lodo, em kg/s;
- M_s = Massa de sólidos, em kg/s;
- C = Concentração de sólidos, em percentual.

O resultado dessa fórmula nos permite obter o valor de massa de lodo, necessário para realizar os cálculos de densidade do lodo, uma importante informação para estimar o volume produzido.

3.2.4 Densidade do lodo

Para obter o último dado necessário para calcular o volume, é preciso que se descubra a densidade do lodo, que pode ser determinada pela equação a seguir:

$$\delta_L = \frac{1}{\frac{C}{\delta_s} + \frac{1-C}{\delta}}$$

Onde:

- δ_L = Densidade do lodo, em kg/m³;
- δ_s = Densidade dos sólidos, em kg/m³;
- δ = Densidade da água, em kg/m³;
- C = Concentração de sólidos, em percentual.

Obtendo a densidade do lodo, o próximo passo, efetivamente, é determinar a quantidade de lodo produzida na estação de tratamento.

3.2.5 Volume de Lodo

Tendo todas as informações, pode-se jogá-las na fórmula de volume de lodo:

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

Onde:

- V_L = Volume de Lodo por unidade de tempo, em m³/s;
- M_L = Massa de lodo, em kg/s;
- δ_L = Densidade do lodo, em kg/m³.

Com esta fórmula final, é possível estimar o volume de lodo produzido e assim, facilita a escolha de qual método de tratamento mais apropriado para tratar o lodo gerado.

3.3 Tratamento de Lodo

⁷ Id., 2001, p. 12.

No intuito de promover um controle tecnológico e ambiental mais rígido, e estar em conformidade com as normativas vigentes no mundo, foram pensados alguns meios de tratamento do lodo produzido nas Estações de Tratamento de Água. Para que esse controle e tratamento seja realizado corretamente, se faz necessário seguir um procedimento para caracterização do lodo em questão. Conforme José Caetano Filho et. al. (2012), existem quatro principais etapas para realizar o correto tratamento do lodo. São elas:

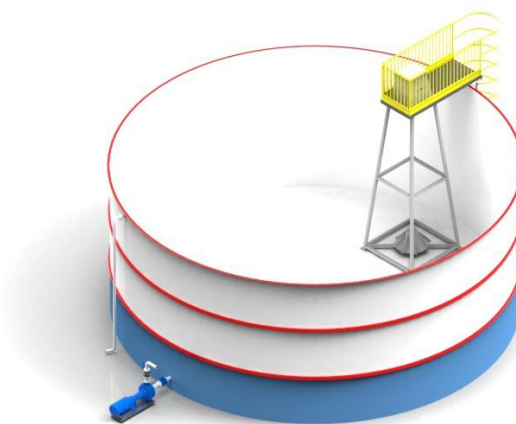
- Equalização e Regularização;
- Condicionamento e Adensamento;
- Desaguamento;
- Secagem e Incineração (alguns casos apenas).

Dependendo do método de tratamento escolhido e sua eficiência, se for o caso, há a possibilidade de a água recuperada no processo ser reaproveitada no tratamento de água, gerando assim uma economia maior e uma vantagem ao meio ambiente.

3.3.1 Equalização e Regularização

A primeira etapa do processo consiste em reunir todo o lodo produzido em um único recipiente, normalmente um tanque, cujo é denominado de Tanque de Equalização. Sendo equipado com um misturador, promove a homogeneização do lodo, e, após seu preparo, pode ser encaminhado às etapas subsequentes.

Figura 2 - Tanque de Homogeneização



Fonte: Sulmetax®

Este tanque costuma ser fabricado em aço inox ou aço carbono, dependendo da necessidade do projeto em questão (DheyTécnica, 2021).

3.3.2 Condicionamento e Adensamento

3.3.2.1 Condicionamento

Após a homogeneização do lodo a ser tratado, é necessário promover um condicionamento adequado, para que haja sucesso no adensamento e desaguamento posterior, especialmente em casos de utilização mecanizada. É importante ressaltar que o condicionamento não se faz necessário se forem adotadas como método de tratamento os leitos de secagem e as lagoas de lodo.

Figura 3 - Leitos de Secagem

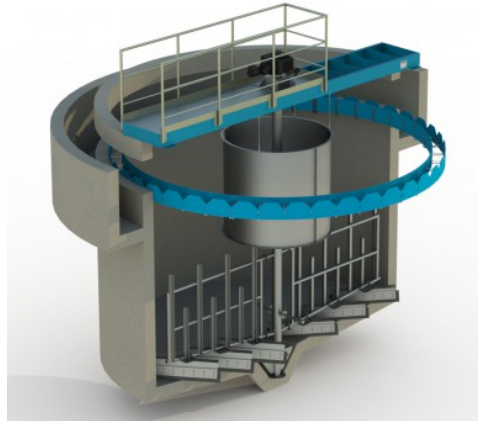


Fonte: Revista TAE

3.3.2.2 Adensamento

Etapa seguinte ao condicionamento, tem por objetivo promover a remoção de umidade do lodo antes de sua desidratação final. Conforme Sabogaz Pal et. al. (2003), a correta concepção do sistema de adensamento é de vital importância para o sucesso operacional da Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR), pois garantem uma concentração de sólidos superior a 20g/L, necessária para o funcionamento da unidade desaguadora. É também importante para se extrair o subproduto clarificado no intuito de reciclá-lo na ETA.

Figura 4 - Adensador de Lodo



Fonte: Temes Ambiental

3.3.3 Desaguamento

Tem como principal objetivo o aumento da concentração de sólidos e a redução de volume do lodo a ser tratado. Para este processo, estão disponíveis dois principais sistemas, divididos em:

- Sistemas Mecânicos;
- Sistemas Naturais.

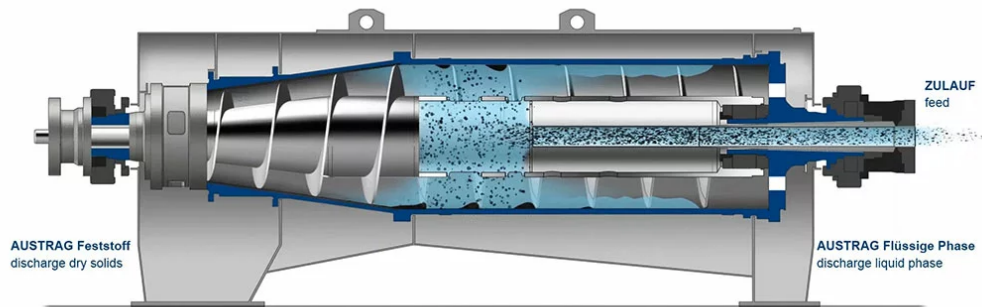
A seguir são apresentados os processos de cada sistema, evidenciando suas propriedades principais, tais como vantagens e desvantagens de cada método.

3.3.3.1 Sistema Mecânico

Este sistema funciona por meio de aplicação de máquinas e equipamentos para que se haja o desaguamento forçado. Por haver uma intervenção em um processo que possa ocorrer naturalmente, são desenvolvidos diferentes métodos de aplicação, no intuito de promover um meio mais ágil e que garanta maior economia para o sistema. Dentre os sistemas mecânicos, os mais comuns são apresentados a seguir:

- Centrífuga: O lodo adensado é conduzido para um tanque de armazenamento, onde há um misturador submersível ou agitador tipo turbina. Nesta etapa, as partículas de sólidos ainda presentes são segregadas do líquido por meio da alta rotação da turbina, promovendo assim uma separação mais eficiente do lodo adensado. A Flottweg, uma fabricante referência no ramo de máquinas e sistemas de separação mecânica líquido-sólido, possui outros modelos semelhantes e com tecnologias mais avançadas, tais como o Tricanter® e o Sedicanter®.

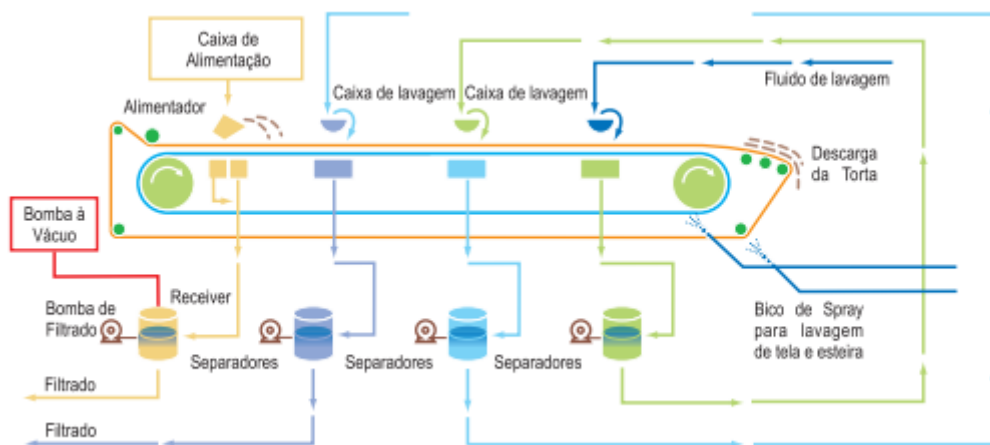
Figura 5 - Centrífuga tipo Turbina Decanter



Fonte: Site Flottweg®

- Filtro de Esteira: método que combina a drenagem e pressão mecânica para desaguamento do lodo condicionado. Conforme o fabricante Filtres Phillipe®, o processo de filtração tem início na deposição do resíduo heterogêneo sobre uma esteira que transporta a massa pelo percurso, onde passa por processos contínuos de secagem por estágios, até a obtenção de um determinado teor de umidade previamente estabelecido.

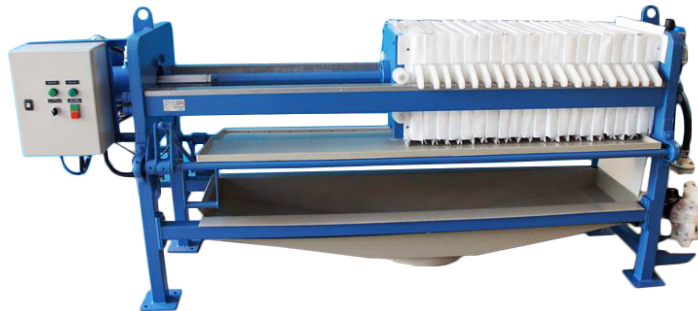
Figura 6 - Funcionamento do Filtro por Esteira



Fonte: Catálogo Oretec – Filtres Phillipe®

- Filtro Prensa de Placas: consiste num filtro composto de placas-membrana, dispostas verticalmente a fim de promover a filtração do resíduo sólido. Seu meio de funcionamento se dá por um bombeamento do lodo contra as placas, permitindo uma filtração dos resíduos sólidos. Ao final do processo, é obtido uma massa uniforme de baixa umidade.

Figura 7 - Filtro Prensa de Placas



Fonte: Site Bombetec®

- Filtro à vácuo: seu funcionamento se dá por meio de um tambor posicionado horizontalmente dentro de um compartimento que armazena lodo. Este cilindro rotaciona, succionando o resíduo em diferentes compartimentos, o qual consegue separar a água da massa sólida, e assim, esta mesma massa é removida por raspadores posicionados ao fundo do equipamento.

Figura 8 - Filtro à Vácuo



Fonte: Valdemir Alves - LinkedIn

Apesar de haver métodos variados para realizar o desaguamento do resíduo, deve-se levar em conta que tais métodos, por serem automatizados, consomem energia elétrica e requerem atenção quanto à sua funcionalidade, como por exemplo a limpeza da máquina e manutenções que podem ser necessárias.

3.3.3.2 Sistema Natural

A principal característica deste meio é a possibilidade de promover um desaguamento totalmente independente de gasto energético. Por não haver um maquinário, descarta-se a necessidade de manter um aparelho automatizado funcionando ininterruptamente, dispensando custos de energia elétrica e gastos de manutenção.

Dentre os principais sistemas naturais de desaguamento, são listados a seguir:

- Lagoa de Lodo: Seu princípio de funcionamento é bastante simples, onde o lodo gerado é depositado no fundo de um local já preparado, formando uma “lagoa”, e neste local ocorre a secagem do lodo por meio dos processos biológicos existentes. Esta técnica costuma ser bastante viável, principalmente em lugares onde a taxa de evaporação é superior à de precipitação, evitando assim o acúmulo excessivo de água no resíduo.

Figura 9 - Lagoa de Lodo



Fonte: Sabesp

- Filtração em Geotêxtil: Este método de desaguamento funciona por meio do acondicionamento do resíduo sólido dentro de geotecidos. Após o seu condicionamento, o funcionamento ocorre por meio de expulsão da água presente nesta massa, através de microporos ao longo do tecido, promovendo uma redução do volume de massa. Sua principal desvantagem é a de haver a necessidade de remoção manual do lodo contido dentro do geotecido.

Figura 10 - GeoTube®



Fonte: Allonda Ambiental

- **Leito de Drenagem e Secagem:** Este método consiste na deposição da matéria orgânica em leitos previamente preparados, permitindo que este composto tanto possa ser drenado por um leito filtrante (mantas geotêxteis), quanto possa ser seco por meio da evaporação.

Figura 10 – Leitos de Drenagem/secagem



Fonte: BRK Ambiental

3.4 Comparativo entre meios de tratamento

Projetar um meio aplicável para tratar o lodo requer um estudo aprofundado sobre os meios, e é importante que os mesmos sejam comparados entre si, levando em conta a viabilidade de sua instalação, suas vantagens e desvantagens, aplicabilidade e o fim que se deseja obter. A seguir, é apresentado um quadro comparativo para exemplificar as diferenças entre os métodos apresentados anteriormente, e assim evidenciar com clareza a melhor escolha para utilização.

Quadro 2 - Comparação das características de uma UTR e respectivos equipamentos

Características	Equipamentos								
	Condicionamento	Adensamento	Centrífuga	Filtro			Filtração em Geotêxtil	Lagoa de Lodo	Leito de Secagem e Drenagem
				Prensa Esteira	Prensa Placas	À Vácuo			
As unidades são mais compactas		X							
Necessita de menor área de implantação		X	X	X	X	X	X		
Apresenta baixo custo de operação		X							
Não depende de condições meteorológicas			X	X	X	X			
Não tem consumo de energia elétrica								X	X
Apresenta baixo consumo de energia elétrica		X		X					
Requer baixo investimento inicial e é indicado para pequenas ETAs									X
Necessita de maiores áreas de implantação		X						X	
A operação e manutenção apresentam gastos elevados		X							
Os gastos de implantação podem ser altos		X					X		

A limpeza e manutenção das telas apresentam dificuldades		X		X					
Requer a lavagem com abundância de água			X						
Apresenta elevado consumo de energia elétrica			X			X			
É indicado para ETAs de médio e apresenta altos gastos com implantação e operação			X						
Requer pessoal qualificado para a operação				X	X	X			

Fonte: José Caetano Moreira Filho, 2012

Este quadro possibilita uma melhor visualização dos meios de tratamento disponíveis, além de demonstrar suas principais vantagens e desvantagens, facilitando na hora de escolher um método de tratamento.

3.5 Implantação

Para este estudo de viabilidade técnica, a ETA Niterói foi selecionada por meio de alguns critérios, sendo os principais: (1) Localização e (2) Meio de descarte de lodo.

3.5.1 Localização e Infraestrutura

Localizada na Rua Oliveira Lima, nº 875, bairro Niterói no município de Canoas - Rio Grande do Sul, a ETA Niterói abastece os bairros Fátima, Niterói, Rio Branco, Centro, Igara e Parque Universitário. Possui uma área de aproximadamente 15.000 metros quadrados, onde estão localizadas as diferentes instalações pertinentes à uma estação de tratamento de água.

Figura 11 - Localização Geográfica e área da ETA



Fonte: Google Earth

Tendo as informações sobre a localização e a quantidade de espaço disponível, o passo seguinte é a informação sobre a quantidade de água tratada que a ETA produz, o qual é aproximadamente 800 litros por segundo.

3.5.2 Dimensionamento de Tratamento de Lodo

Tendo os dados e informações disponíveis, os mesmos servirão para análise de qual método de tratamento utilizar, baseado nas informações coletadas até então, tais como o volume de lodo produzido, os métodos disponíveis e quais são os mais adequados levando em conta todos os critérios.

A primeira informação necessária é a estimativa de quanto lodo é produzido pela ETA ao longo de 24 horas. Para obter este resultado, foram utilizadas as fórmulas descritas no item 3.2.1, com os seguintes dados (média do ano de 2020):

- Cor da Água Bruta: 52 uH;
- Turbidez: 23 UNT;
- Dosagem de Coagulante: 24 mg/L;
- $k_1 = 1,3$;
- $k_2 = 0,26$.

$$\text{Sólidos Precipitados} = \frac{(0,2 \cdot 52 + 1,3 \cdot 23 + 0,26 \cdot 24)}{1000} = 0,04 \text{ kg/m}^3$$

Tendo o resultado de sólidos precipitados, é possível calcular a massa de sólidos:

- Rendimento do raspador de lodo: 0,9;
- Quantidade de massa: 0,04 kg;
- Vazão de água tratada: 0,8 m³/s

$$M_s = 0,9 * 0,04 * 0,8 = 0,0288 \text{ kg/s}$$

Após a obtenção da quantidade de massa de sólidos, calcula-se a massa de lodo:

- Massa de sólidos: 0,0288 kg/s;
- Concentração de lodo: 0,03 (3%);

$$M_L = \frac{0,0288}{0,03} = 0,96 \text{ kg/s}$$

A última informação necessária é a densidade do lodo, a qual é obtida pelos seguintes dados:

- Densidade dos sólidos (obtido da literatura): 1800 kg/m³;
- Densidade da água: 1000 kg/m³;
- Concentração de lodo: 0,03 (3%);

$$\delta_L = \frac{1}{\frac{0,03}{1800} + \frac{1-0,03}{1000}} = 1013,51 \text{ kg/m}^3$$

Sabendo a densidade do lodo, resta somente o cálculo de volume de lodo produzido:

- Massa de lodo: 0,96 kg/s;
- Densidade do lodo: 1013,51 kg/m³.

$$V_L = \frac{0,96}{1013,51} = 0,0009472 \text{ m}^3/\text{s} = 3,41 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como resultado, tem-se em média aproximadamente 3,41 metros cúbicos de lodo produzidos por hora na ETA Niterói. Este valor é importante para definir o método mais adequado de tratamento, visto que é necessário tratar um valor maior ou igual ao encontrado, evitando assim o acúmulo de lodo no decantador.

3.5.3 Disponibilidade e custo de implantação

O passo final busca-se avaliar as estimativas de custo para implantar os métodos possíveis. Visto que os processos são bastante diversificados entre si, possuem suas particularidades que implicam num aumento ou diminuição do valor total a ser investido para o tratamento. Os processos usualmente de maior valor são os leitos de secagem e lagoas de lodo, devido à sua grande área necessária e a obrigação de uma obra civil para ser implantada, porém, por se tratar de um sistema natural, a longo prazo pode vir a ser interessante pois não necessita de manutenções recorrentes como nos sistemas mecanizados. É importante ressaltar que o método de geotêxtil apresenta uma vantagem econômica em relação aos leitos, pois sua instalação é mais simples e menos complexa, devido seu meio de tratamento.

Quanto aos métodos mecânicos, sua implantação usualmente é mais econômica se comparado aos sistemas naturais, pois requerem um espaço reduzido e o preço de maquinário é comumente inferior à uma obra mais complexa. Tratando-se a longo prazo, os sistemas mecânicos requerem maiores cuidados, necessitando em alguns casos de operadores para as máquinas, manutenções e o gasto de energia elétrica para seu funcionamento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do meio de tratamento foi analisada minuciosamente, devido às principais características, tanto dos meios disponíveis quanto o local de instalação. Levando-se em conta a área disponível da ETA Niterói, pode-se de imediato descartar as opções de leitos de secagem e lagoas de lodo, visto que requerem uma área suficientemente grande para garantir o tratamento da quantidade prevista de lodo. Assim como os leitos e lagoas, a opção de tratamento por filtro à vácuo também foi desconsiderada, pois no estudo realizado, é possível notar que este método é amplamente utilizado para indústrias e, por ser muito complexo e de grande escala, torna-se inviável do ponto de vista econômico. A opção de filtração por geotêxtil foi descartada num segundo momento, visto que a remoção e o tratamento de lodo necessitam de uma logística mais complexa, tanto para implantação quanto para remoção da matéria orgânica acumulada, além de não apresentar uma estética tão agradável se comparada a outras alternativas. Dentre as últimas três alternativas, foi optado o tratamento de lodo por meio de uma

centrífuga, pois é um equipamento bastante simples se comparado aos outros meios, além de não utilizar tanto espaço físico e não requerer um operador para manusear o equipamento. Este método escolhido pode tranquilamente resolver o problema de descarte de lodo na ETA Niterói, principalmente por não ser necessário tanto investimento inicial, e o custo de manutenção pode ser facilmente adaptado de acordo com a necessidade.

REFERÊNCIAS

Adensador de lodo. Disponível em:
<<http://www.temes.com.br/produto/adensador-de-lodo>>. Acesso em: 14/04/2021

Decantador Decanter - Flottweg. Disponível em:
<<https://www.flottweg.com/pt/linha-de-produtos/decanter/funcionalidade-do-decanter/>>. Acesso em: 30/03/2021

Filtro de Esteira a Vácuo. Disponível em:
<<http://www.oretex.com.br/pdf/espessamento-filtragem/filtro-esteira-vacu.pdf>>.
Acesso em: 30/03/2021.

Fluxograma do Tratamento de Água. Disponível em:
<<https://www.sae.com.br/agua/fluxograma>>. Acesso em: 25/02/2021

LEGNER, Carla. **Desidratação e Secagem do Lodo Proveniente de ETA e ETE.** Disponível em:
<<https://www.revistatae.com.br/Artigo/248/desidracao-e-secagem-do-lodo-proveniente-de-eta-e-ete>>. Acesso em: 09/05/2021

METCALF E EDDY AECOM. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5ª Ed. 2016.

MOREIRA FILHO, José Caetano; VIANNA, Marcos Rocha. **Tratamento de rejeitos de estações de tratamento de água: métodos de tratamento utilizados e destino do lodo produzido.** CONSTRUINDO, v. 4, n. 01, 2012.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001.

Tratamento de Água. Disponível em:
<<https://www.corsan.com.br/tratamentodeagua>>. Acesso em: 22/03/21.

VITÓRIO ANDREOLI, Cleveson. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** 1. ed. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.