

## **Quantificação de lodo de decantadores: um estudo de caso realizado na Estação de Tratamento de Água Seminário em Mariana/MG**

**Quantification of sludge from decanters: a case study carried out at the Seminary Water Treatment Plant in Mariana/MG**

**Cuantificación de lodos de decantadores: un estudio de caso realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Seminario en Mariana/MG**

Recebido: 11/11/2022 | Revisado: 29/11/2022 | Aceitado: 14/12/2022 | Publicado: 19/12/2022

### **Núbia Aparecida de Aguiar**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5452-940X>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: nubia.aparecida@ufvjm.edu.br

### **Elton Santos Franco**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5296-4790>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: elton.santos@ufvjm.edu.br

### **Roger Fernandes Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8674-2635>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: fernandes.roger@ufvjm.edu.br

### **Jakelyne Viana Coelho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5511-4158>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: jakelyne.coelho@ufvjm.edu.br

### **Myllena Trindade Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0911-316X>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: myllena.trindade@ufvjm.edu.br

### **Tamirys Eduarda Souza Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6127-963X>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: tamirys.eduarda@ufvjm.edu.br

### **Aurélia de Cassia Ferreira Hespagnol**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7225-6131>  
Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: aureliadecassia@gmail.com

### **Breno Alcântara Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9237-280X>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: brenosilvaecv@gmail.com

### **André Froede Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1986-0110>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: andre.froede@gmail.com

### **Thiago Alcântara Luiz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-0994>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: thiagoalcantara@ufvjm.edu.br

### **Resumo**

Objetivou-se quantificar a produção de sólidos no decantador da ETA Seminário, localizada em Mariana/MG. Para a estimativa de produção foram utilizadas equações da literatura que foram modeladas com parâmetros da própria estação em estudo. As equações utilizadas, apresentaram eficiência na quantificação, com cerca de 54 toneladas de lodo produzido apresentado na forma de sólidos. A estimativa de produção de lodo possibilita que a estação implante a técnica adequada para destinar os resíduos e espera-se estudos relacionados ao descarte correto desses resíduos seguindo a legislação ambiental vigente.

**Palavras-chave:** Lodo de decantadores; Quantificação; Estação de tratamento de água seminário.

### Abstract

The objective was to quantify the production of solids in the ETA Seminar decanter, located in Mariana/MG. Equations from the literature were used to estimate production, which were modeled with parameters of the station under study. The equations used showed efficient quantification, with about 54 tons of produced sludge presented in the form of solids. The estimate of sludge production allows the station to implement the appropriate technique to dispose of waste and studies related to the correct disposal of this waste are expected, following the current environmental legislation.

**Keywords:** Sludge from decanters; Quantification; Seminar water treatment plant.

### Resumen

El objetivo fue cuantificar la producción de sólidos en el decantador Seminario ETA, ubicado en Mariana/MG. Para estimar la producción se utilizaron ecuaciones de la literatura, las cuales fueron modeladas con parámetros de la estación en estudio. Las ecuaciones utilizadas mostraron una cuantificación eficiente, con cerca de 54 toneladas de lodos producidos presentados en forma de sólidos. La estimación de la producción de lodos permite a la estación implementar la técnica adecuada para la disposición de los residuos y se esperan estudios relacionados con la correcta disposición de estos residuos, siguiendo la legislación ambiental vigente.

**Palabras clave:** Lodos de decantadores; Cuantificación; Seminario planta de tratamiento de agua.

## 1. Introdução

As estações de tratamento de água (ETAs) utilizam diversos processos físicos, químicos e biológicos para tornar a água adequada para o consumo humano. Nas etapas iniciais de tratamento tem-se a adição de produtos químicos, dos quais geram resíduos após a coagulação, floculação e decantação das partículas. Este resíduo é acumulado e denominado como lodo de ETA, no qual o mesmo necessita de tratamento e disposição correta (Coelho *et al.*, 2015).

De acordo com a norma ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004), o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido com potencial de causar consequências negativas em caso de descarte inadequado, sendo a destinação final adequada um aspecto obrigatório. No Brasil, os resíduos são lançados em cursos d'água próximos às estações de tratamento, contrariando a legislação vigente e provocando danos ao meio ambiente (Achon, *et al.*, 2013). Estes resíduos são constituídos de água e de sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água captada, apresentam metais como alumínio e ferro, turbidez e demanda química de oxigênio, apresentam grande potencial tóxico, o que causa danos à saúde humana quando depositados incorretamente (Ribeiro, 2007).

O processo de coagulação é usado na maioria das estações de tratamento de água, este processo consiste na aplicação de coagulantes químicos para a precipitação dos compostos e partículas em solução, reduzindo as forças que as mantêm separadas para que posteriormente, sejam removidas. Este processo faz parte da clarificação da água, esta clarificação se torna mais difícil quando a turbidez adquire valores elevados e variações súbitas, que podem ser causados por chuvas torrenciais, quando isso acontece as fases seguintes do tratamento são afetadas devido a coagulação deficiente. A turbidez é resultante da presença de partículas em suspensão de natureza e tamanho variado (Richter, 2009).

Os coagulantes mais utilizados no Brasil pelas ETA são de origem inorgânica, com composição de sais de ferro e alumínio, tendo como o mais utilizado o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Estes componentes químicos são muito eficazes referente à remoção de vasta variedade de impurezas da água, abrangendo elementos orgânicos dissolvidos e partículas coloidais; por sua vez o sulfato de alumínio vem sendo utilizado a mais de 100 anos em todo o mundo em sistemas de tratamento (Coral, *et al.*, 2009). O tipo de coagulante define as características do lodo gerado, pois é basicamente o produto da coagulação da água bruta e, assim, tem uma composição aproximada daquela, acrescido dos produtos resultantes do coagulante utilizado (Richter 2001; Pereira 2011).

Projetos estão sendo realizados para a quantificação do lodo de ETA, tomando-se como parâmetro estimativas de produção de resíduos obtidas através de fórmulas empíricas, que relacionam a geração de resíduos à dosagem de produtos químicos e à quantidade de sólidos em suspensão afluentes à ETA. Devido aos altos custos dos testes em estações piloto e até mesmo dos ensaios em escala de laboratório, os modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos (Di Bernardo & Dantas, 2005).

Modelos como os de Kawamura (1991), CETESB (1987) e *American Water Works Association* (1996), utilizam como parâmetro para a quantificação a turbidez, a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e a dosagem do coagulante sulfato de alumínio ou cloreto férrico em dosagens compatíveis com o mecanismo de varredura. Modelagens desenvolvidas por Richter (2001) utilizam além dos parâmetros supracitados a cor da água bruta para a quantificação.

De acordo com a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) do estado de Minas Gerais nº 245 de 24 de março de 2022 estabelece que as ETAs que tem capacidade de tratamento superior a 20 L.s<sup>-1</sup>, devem formalizar, até julho de 2023, o processo de regularização ambiental da ETA com a Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR), que tem como objetivo inibir o descarte do lodo *in natura* (SEMAD, 2022).

A ETA Seminário, utilizada neste estudo, opera com vazão de 20 L.s<sup>-1</sup>, tornando-se obrigatório o tratamento e destinação correta de seus resíduos. Torna-se fundamental o conhecimento das características do lodo para definir os métodos de disposição final. Dentro deste contexto, objetivou-se neste estudo quantificar a produção de lodo na ETA Seminário, utilizando equações empíricas da literatura.

## 2. Metodologia

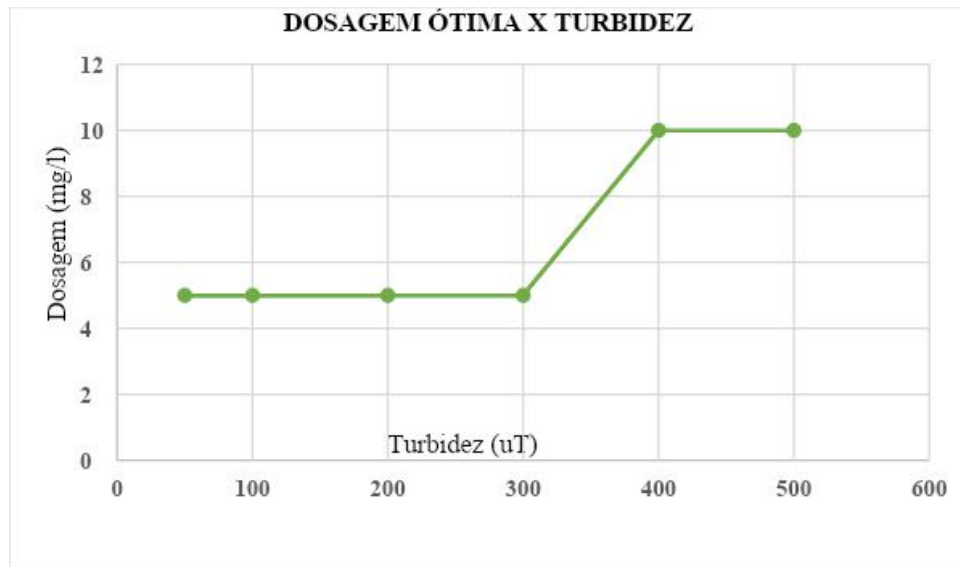
A cidade de Mariana/MG possui cerca de 61.830 habitantes e a ETA Seminário é uma das estações que abastece a cidade e pertence à autarquia Serviço Autônomo de Água e Esgoto Mariana (SAAE MARIANA). O manancial que abastece a estação é o córrego Seminário, que pertence à bacia hidrográfica do rio Doce. Essa estação adequa-se ao modelo padrão convencional de tratamento de água, empregando o sulfato de alumínio como principal coagulante químico (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022).

Com os dados operacionais fornecidos pela SAAE MARIANA, do ano de 2021 e, através de equações empíricas encontradas na literatura, foi possível estimar a produção de lodo, na forma de sólidos totais e voláteis, gerados no tratamento da água na ETA Seminário. Os dados de entrada foram dispostos em planilhas de controle e registros que contemplam a vazão de entrada da água, a dose do coagulante, a turbidez, a cor e o pH, tanto da água bruta como da água tratada, em intervalos de 2 horas.

A partir dos resultados dos estudos de Franco (2009) e de acordo com a Figura 1, foram feitas as estimativas das doses corretas do coagulante sulfato de alumínio. Os valores de turbidez utilizados neste estudo são da amostra da água bruta que foram aplicados nas equações descritas a seguir, e os resultados gerados foram multiplicados pela vazão horária correspondente. Assim, obteve-se uma produção de massa seca (sólidos totais) por unidade de tempo, e utilizou-se o intervalo para o cálculo de 2 horas, o que possibilitou realizar o somatório de cada dia e posteriormente para cada mês.

Utilizou-se o *software Excel 2021* e a ferramenta VBA (*Visual Basic for application*) para o desenvolvimento dos cálculos. A partir de um módulo criado no VBA foram desenvolvidas as equações apresentadas a seguir. Os resultados obtidos foram convertidos de unidade grama para tonelada.

**Figura 1** - Faixas de turbidez e suas respectivas doses ótimas do coagulante sulfato de alumínio para a ETA Seminário



Fonte: Adaptado de Franco (2009).

Para a quantificação do lodo na forma de sólidos totais, utilizou-se a Equação 1 que representa somente a turbidez como variável e a Equação 2 que apresenta a turbidez, a dose do coagulante sulfato de alumínio e o fator K (relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido) como variáveis. Tais equações estão descritas a seguir:

- Franco, 2009:
 
$$P = 0,8559 \times T^{1,0623} \quad \text{(Equação 1)}$$

- Franco, 2009:
 
$$P = 0,0056 \times T^2 + \frac{(-(K \times D) + 99,37) \times T + K \times D + 15335}{130} \quad \text{(Equação 2)}$$

As equações para a estimativa da quantidade de lodo gerado nos decantadores devem levar em consideração a volatilização da matéria orgânica. Para tal, as equações de Franco (2009), avaliam a quantidade de sólidos voláteis tendo a turbidez como único parâmetro (Equação 3). Em seguida, o autor desenvolveu também uma equação que engloba a turbidez, a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido e a dose do coagulante sulfato de alumínio (Equação 4).

- Franco, 2009:
 
$$P_{sv} = (0,0002 \times T^2) + (0,0729 \times T) + 9,827 \quad \text{(Equação 3)}$$

- Franco, 2009:
 
$$P_{sv} = 0,0014 \times T^2 + \frac{(-(K \times D + 40,1) \times T) + K \times D + 7282}{130} \quad \text{(Equação 4)}$$

Para as equações supracitadas, considera-se: P como a produção de sólidos expressa em toneladas (ton); T é a turbidez dada em unidade de turbidez (uT); K é a relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido que, para o sulfato de alumínio, é de 0,25; D é a dose do coagulante expressa em miligramas por litros (mg.L<sup>-1</sup>) e varia de acordo com o valor de turbidez, conforme Franco (2009) (para 0 < T ≤ 300, D=05; 300 < T ≤ 500, D=10); P<sub>sv</sub> é a produção de sólidos voláteis expressa em toneladas (t).

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 corresponde aos valores da produção do lodo em toneladas no ano de 2021. As equações usadas fornecem valores diferentes para a presença e a ausência do coagulante sulfato de alumínio. Podemos observar que a Equação 2, que utiliza a dose do coagulante como parâmetro, teve 885% superior a Equação 1 no ano em estudo, cerca de 87 toneladas superior de produção de lodo. Os elevados valores da produção de lodo também foram superiores aos outros meses estudados, com destaque para o mês de janeiro, em que a diferença de produção entre as Equações foi de 12,7 toneladas.

A Equação 4, que contabiliza os sólidos voláteis com dose do coagulante, teve 504 % superior a Equação 3 que não utiliza a dose, cerca de 35 toneladas superior de produção de lodo. A discrepância entre os outros meses nestas Equações não foi tão superior como nas Equações 1 e 2, janeiro continua sendo o mês com maior discrepância, cerca de 4,7 de toneladas entre a produção de lodo na aplicação da Equação 4, se comparando com a aplicação da Equação 3.

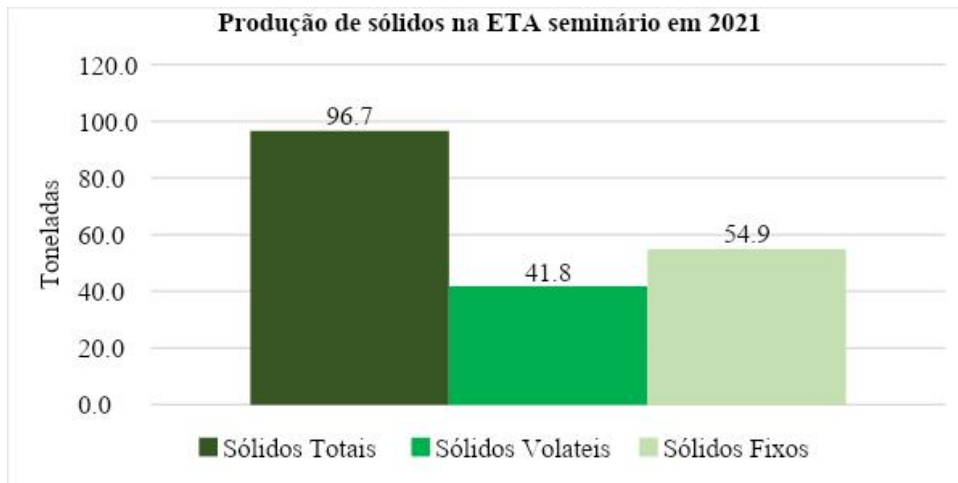
**Tabela 1** - Produção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) em toneladas no ano de 2021 na ETA

	2021			
	Eq 1 - Franco ST	Eq 2 - Franco ST	Eq 3 - Franco SV	Eq 4 - Franco SV
	(sd)	(cd)	(sd)	(cd)
Jan	2,8	15,5	0,8	5,5
Fev	1,7	8,8	0,6	3,6
Mar	0,6	6,8	0,5	3,2
Abr	0,4	6,8	0,6	3,2
Mai	0,2	6,7	0,6	3,2
Jun	0,2	6,5	0,5	3,1
Jul	0,1	6,8	0,6	3,2
Ago	0,1	6,9	0,6	3,3
Set	0,1	6,2	0,5	2,9
Out	0,6	6,6	0,5	3,1
Nov	1,4	8,7	0,6	3,5
Dez	1,7	10,5	0,6	4,0
<b>Total</b>	<b>9,8</b>	<b>96,7</b>	<b>6,9</b>	<b>41,8</b>

\* sd: sem dose de coagulante; cd: com dose de coagulante. Fonte: Autores (2022).

Para a quantificação da produção de lodo em forma de sólidos fixos totais as Equações 2 e 4 foram utilizadas, pois a Equação 2 apresenta os sólidos totais utilizando a dose de coagulante como parâmetro, visto que as ETAs convencionais aplicam o coagulante em seu tratamento e, a equação 4 que apresenta os sólidos voláteis, ou seja, toda matéria orgânica que é perdida por volatilização. As Equações 1 e 3 apresentaram valores relativamente baixos de produção, o que as tornam menos significante neste estudo, logo, são descartadas para quantificação. Com a subtração dos resultados de produção da Equação 4 pela 2 temos que na ETA Seminário produziu um total de 54,9 toneladas de lodo no ano em estudo, como apresenta a Figura 2.

**Figura 2** - Produção de lodo apresentada na forma de sólidos totais, voláteis e fixos na ETA Seminário no ano de 2021.



Fonte: Autores (2022).

Franco *et al.*, (2020), dimensionou uma URT para a ETA Funil, localizada na cidade de Ouro Preto/MG a partir de equações encontradas na literatura, dentre elas algumas desenvolvidas por Franco (2009) para a ETA Funil. Os autores concluíram que as equações desenvolvidas por Franco (2009), foram as que mais se aproximaram do modelo adequado para a ETA estudada por ser mais representativo para a análise quantitativa do lodo na forma de sólidos totais.

Santos, et al., (2021), verificou a produção de lodo em três ETAs localizadas na cidade de Aracaju/SE. Para esta análise os autores aplicaram equações encontradas na literatura que não foram desenvolvidas nas ETAS em estudo. Como resultados da aplicação, as variações entre os resultados mostram que a utilização de equações empíricas traz imprecisão, podendo causar incoerência com a realidade.

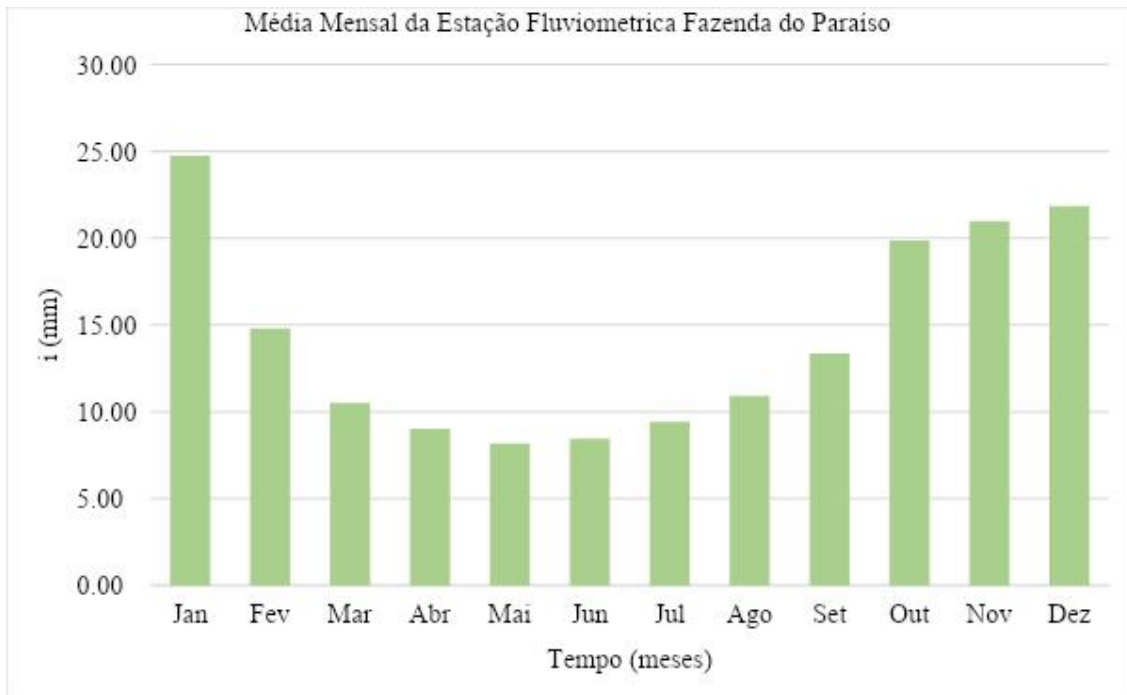
Ressalta-se a importância da utilização de equações que são modeladas para a própria estação que se deseja quantificar a produção de sólidos, como as aplicadas neste estudo, que são desenvolvidas na própria ETA Seminário. Assim, tem-se um estudo das características da água bruta a ser tratada e as modelagens de acordo com a realidade da estação.

Aguilar *et al.*, (2022), aplicou as equações utilizadas neste estudo e outras encontradas na literatura para estimar a produção de lodo na ETA Seminário do ano de 2020, como resultados, as equações de Franco (2009) foram as satisfatórias para a quantificação. A estação produziu cerca de 57 toneladas, resultado superior ao deste estudo. Segundo Katayama *et al.*, (2015), parte do apelo prático das fórmulas empíricas é esvaziada ao se eliminar a perspectiva do uso de correlações entre sólidos em suspensão e turbidez oriundas de amostragem da água bruta a ser tratada.

A produção de resíduos em decantadores é inversamente proporcional à qualidade da água bruta em termos de cor e turbidez. Assim, a partir do portal *HidroWeb*, que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, foi possível analisar o índice pluviométrico da cidade de Marina neste ano em estudo. Com os dados de vazões dos anos de 2012 a 2021 da série histórica da estação Fluviométrica Fazenda do Paraíso (localizada no município de Mariana/MG) foi traçado o gráfico de média mensal da precipitação, apresentado na Figura 3.

A partir dos dados da Figura 3, podemos observar que a alta produção de lodo no mês de janeiro se dá devido à alta precipitação ocorrida neste mês nos 10 anos analisados, que inclui 2021. A elevada precipitação acarreta em valores elevados de turbidez da água bruta, o que conseqüentemente, gerou maior adição de coagulante e elevado flocos na etapa de floculação.

**Figura 3** - Precipitação média mensal da Estação Pluviométrica Mariana Centro.



Fonte: Autores (2022).

A sub-bacia do córrego Seminário foi alvo de um vasto crescimento populacional nos últimos anos sem que haja planejamento do uso e ocupação do solo, as áreas erodidas também são predominantes. Sua área é marcada por solos desenvolvidos e por grande suscetibilidade à erosão (Costa & Paulo, 2006).

Além da precipitação, distribuição granulométrica de partículas é sujeita a variações significativas em diversas escalas de tempo, os impactos de intervenções antropogênicas no uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas podem resultar no enriquecimento ou empobrecimento da concentração de partículas em certas escalas de tempo, trazendo efeitos na relação entre turbidez e sólidos em suspensão (Van Hengstum *et al.*, 2006).

#### 4. Conclusão

As equações de Franco (2009), mostraram eficiência em suas aplicações, trazendo resultados precisos, visto que foram desenvolvidas para a ETA em estudo. Com os resultados da quantificação de lodo na ETA Seminário é possível fazer o dimensionamento da UTR, possibilitando que a estação esteja de acordo com a legislação vigente. Recomenda-se estudos aprofundados sobre as características destes resíduos gerados na estação, sua utilização é vasta, gerando subsídios a população e preservação dos corpos d'água.

#### Referências

- ABNT. (2004). NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- Achon, C. L., Barroso, M. M., & Cordeiro, J. S. (2013). Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Eng Sanit Ambient*, 18(2), 115-122.
- Aguiar, N. A., et al. (2022). Estimativa da produção de lodo de decantadores em uma estação de tratamento de água na região do Quadrilátero Ferrífero. In: *Anais do Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia*. Anais...Diamantina (MG) Online. (2022) <<https://www.even3.com.br/anais/cobicet2022/509590-ESTIMATIVA-DA-PRODUCAO-DE-LODO-DE-DECANTADORES-EM-UMA-ESTACAO-DE-TRATAMENTO-DE-AGUA-NA-REGIAO-DO-QUADRILATERO-FER>>.
- american water works association. (1999) Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. *McGraw-Hill*.



- CETESB. (1987). Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo. Indicadores de Qualidade das Águas. CETESB.
- Coelho, R. V., et al. (2015). Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 10(2), 11-22.
- Coral, L. A., Bergamosco R. B. R., & Bassettic. F. J. (2009). Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. In: *International Workshop / Advances In Cleaner Production*, 2.
- Costa, R. F., & Paulo, J. R. (2006). Áreas de risco áreas de risco ao uso/ocupação do solo na sub-bacia do córrego do Seminário, município de Mariana - MG. *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*.
- Di Bernardo, L., & Dantas, A. B. (2006). Métodos e técnicas de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11, 107-107.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/mariana.html>.
- Franco, E. S., et al. (2020). Produção Teórica de Lodo Utilizando o Coagulante Sulfato de Alumínio nos Decantadores da Estação de Tratamento de Água do Funil em Ouro Preto/MG. *Vértices (Campos dos Goitacazes)*, 22(1), 100-110.
- Franco, E. S. (2009). *Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água*. 2009.187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto.
- Kawamura, S. (1991) Integrated design of water treatment facilities. *Hoboken: Wiley*.
- Katayama, V. T., et al. (2015). Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, p. 559-569.
- Pereira, S. L. M. (2011). *Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA gramame*. 2011.71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Santos, L. A. R. A., Michelan, D. C. G. S., & JESUS, T. M. D. (2021). Verificação da produção de lodo de eta em função da quantidade e da qualidade da água bruta. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(2), 235-258.
- SEMAD. Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. COPAM estabelece novos prazos para regularização ambiental de ETAs em Minas. Belo Horizonte: SEMAD, 2022. <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/5143-copam-estabelece-novos-prazos-para-regularizacao-ambiental-de-et-as-em-minas>>.
- Ribeiro, F. L. de M. (2007). *Quantificação e Caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito, MG*. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Richter, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Edgard Blucher, 2001. 102 p.
- Van Hengstum, P. J., Reinardt, E. G., Boyce, J. I., & Clary, C. (2006) Changing sedimentation patterns due to historical land-use change in Frenchman's Bay, Pickering, Canada: evidence from high-resolution textural analysis. *Journal of Paleolimnology*, 37(4), 603-618