



Universidade Federal
de São João del-Rei

ERIKA CARVALHO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ÁGUA E APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Ouro Branco

2021

ERIKA CARVALHO PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

Orientadora: Profa. Dra. Isabel Cristina Braga Rodrigues

Ouro Branco

2021

Erika Carvalho Pereira

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.

Orientadora: Profa. Dra. Isabel Cristina Braga Rodrigues

Ouro Branco, 16 dezembro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. – Brenner Magnabosco Marra (UFSJ)

Prof. Dra. - Flávia Donária Reis Gonzaga (UFMG)

Profa. Dra. Isabel Cristina Braga Rodrigues
Orientadora

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!”

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

Antes de começar um novo capítulo é preciso encerrar o atual. Desprender-se. Deixar ir embora. No início, a jornada parece mais árdua até chegar ao final e perceber que só se tornou mais simples de entender, o porquê de cada detalhe de cada momento. Encerro esta jornada com a mesma persistência e dedicação que foi no começo e com a mesma esperança de dias melhores e de reconhecimento a todo o esforço de uma trajetória construída através de quebras constantes de paradigmas para mostrar que nós mulheres negras de periferia podemos ser o que quisermos e sermos o ponto inicial das mudanças em nossas famílias.

Sou grata a Deus por ter cuidado de mim nos mínimos detalhes pelo fortalecimento da fé nas horas difíceis, pois eu creio “*Tudo posso naquele que me fortalece*” (Fl 4:13). Como exercício diário aprendi como ser resiliente, persistente e perseverante graças também a minha família que me deu todo apoio e compreensão durante essa jornada e aos amigos e irmãos que me deram forças para continuar com palavras de ânimo, aos professores por todo conhecimento passado e assim “Combati o bom combate, acabei a corrida e guardei a fé” (2Tm 4:7). Serei a primeira engenheira da família e digo “Eu gosto do impossível, porque lá a concorrência é menor” (Walt Disney).

RESUMO

As abordagens com a gestão sustentável dos processos vem de encontro à crescente preocupação com o aumento da geração de resíduos inerentes ao avanço do desenvolvimento industrial. O lodo de estação de tratamento de água (ETA) gerado nos decantadores é enquadrado como resíduo sólido pela NBR 10.004/2004, mas pouco tem sido feito para destinação correta deste resíduo no Brasil. Órgãos ambientais estão exigindo a definição de alternativas adequadas de disposição final, logo conhecer a composição desse sólido poluente pode trazer vantagens econômicas, ambientais e sociais. Este trabalho teve como objetivo avaliar e analisar os resultados da caracterização físico-química do lodo fornecido por uma empresa situada na região do Alto Paraopeba em Minas Gerais, Brasil, para propor possíveis alternativas de destinação. Para a realização deste estudo foram utilizados os resultados da caracterização do lodo seco do processo de desaguamento (*bag*) da ETA. A partir desta caracterização foram utilizados dados da literatura para comparação dos resultados e busca de alternativa viável para sua destinação. Com base nos resultados foi verificado que dois parâmetros avaliados não atenderam às legislações vigentes e que a ETA, sendo esse resíduo classificado como Classe II A (não perigoso e não inerte), de acordo com a referida norma. Este trabalho concluiu que a melhor aplicação do lodo gerado na ETA, será na construção civil, isto é, na fabricação de produtos cerâmicos, tijolos ou cimentos, uma vez que os contaminantes observados em excesso (nitrato e manganês) não constituem risco potencial neste tipo de material. Este volume de lodo produzido é melhor escoado para este tipo de aplicação, já que na região onde se localiza a ETA não haveria demanda para aplicação agrícola e os custos de transporte seriam inviáveis.

Palavra chave: resíduo sólido; lodo de ETA; tijolos ecológicos; água potável

ABSTRACT

Sludge generated in Brazilian water treatment plants (ETAs), classified as solid waste by NBR 10.004/2004, has had its correct destination frequently neglected. This article evaluates the results of physical-chemical characterization of a sludge sample and proposes possible alternatives for its disposal. To carry out this study, the results of the characterization of the dry sludge were used to compare against reference literature data. The results came as two evaluated parameters that did not meet the current legislation and that the ETA produces large volumes of sludge. The study also ponders that the best application for the sludge generated at the ETA would be in civil construction as opposed to agriculture, as there is no demand in the region and transport costs would make it unfeasible.

Keywords: solid waste; ETA sludge; sludge composition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Processo convencional de tratamento de água de abastecimento.....	18
Figura 3.2: Esquema de estação de tratamento de água (ETA)	18
Figura 3.3: Modelo esquemático dos processos de coagulação e floculação, com a utilização de coagulante seguida da adição de um c.	20
Figura 3.4: Análise Jar test para definição da dosagem de coagulante e/ou floculante.	20
Figura 3.5: Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional.....	21
Figura 3.6: Alternativas de redução do volume de lodo	23
Figura 3.7: Desidratação ou deságue do lodo utilizando Geotubos (BAG).....	23
Figura 5.1: Quantificação do lodo da ETA de 2019	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Características comuns e faixa de concentrações típicas de um lodo de ETA tratado com sulfato de alumínio.....	16
Tabela 3.2: Características comuns e faixa de concentrações típicas de um lodo de ETA tratado com sulfato férrico.	16
Tabela 3.3: Concentração de metais presentes em lodos de três diferentes ETAs.....	17
Tabela 3.4: Tipos de mídias utilizadas na etapa de filtração.....	21
Tabela 5.1: Características gerais do lodo seco.....	29
Tabela 5.2: Testes de Periculosidade exigidos pela NBR 10004/2004 para o lodo da ETA em estudo.	29
Tabela 5.3: Dados de preparo do resíduo sólido da ETA estudado para os ensaios de lixiviação, segundo NBR10005/2004.	30
Tabela 5.4: Parâmetros inorgânicos obtidos para o resíduo sólido da ETA estudada obtidos pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.	30
Tabela 5.5: Análise de pesticidas presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.	31
Tabela 5.6: Contaminantes orgânicos presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.....	31
Tabela 5.7: Dados de preparo do resíduo sólido da ETA estudado para os ensaios de solubilização, segundo NBR10006/2004.	32
Tabela 5.8: Parâmetros inorgânicos obtidos para o resíduo sólido da ETA estudada obtidos pelos ensaios de solubilização segundo NBR 10006/2004.....	32
Tabela 5.9: Contaminantes orgânicos presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de solubilização segundo NBR 10006/2004.	33
Tabela 5.10: Estudos brasileiros que propuseram aplicação do lodo de ETA na construção civil, características observadas e relevância desta aplicação.	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AWA – American Water Works Association

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BAG – Bolsa Geotêxtil

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ETA – Estação de Tratamento de Água

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Técnica Brasileira

NTU – Unidade de Turbidez Nefelométrica

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Uc – Unidade de Cor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 Resíduos sólidos (lodo) de ETA	15
3.2 Processo de tratamento de água e etapas de geração de lodo	17
3.2.1 Captação/Coagulação/Floculação	19
3.2.2 Decantação/Sedimentação	20
3.2.3 Filtração	21
3.2.4 Cloração/Fluoretação/Distribuição	22
3.3 Tratamento e disposição do lodo gerado na ETA.....	22
4. METODOLOGIA	26
4.1 Ponto de Amostragem do lodo de estação de tratamento de água.....	26
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	27
5.1 Quantificação da Geração de Lodo na ETA	27
5.2 Caracterização físico-química do lodo e classificação de acordo com a NBR 10004/2004	28
5.3 Perspectivas para aplicação do lodo da ETA estudada.....	34
5.3.1 Utilização do lodo como matéria prima na construção civil.....	34
5.3.2 Aplicação do lodo na agricultura	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente há uma crescente preocupação com o aumento da geração de resíduos, consequentemente tem-se abordado cada vez mais o tema de gestão sustentável como a “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, onde o plano indica dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas (ODS, 2015). Um destes objetivos está em promover de forma eficiente o uso de recursos naturais e energéticos abrangendo metas sustentáveis e de acesso a serviços básicos descritas no ODS 12, no qual estão incluídas as indústrias geradoras de resíduos, incluindo as estações de tratamento de água (ETAs), para reduzir substancialmente a disposição destes resíduos na natureza por meio da reciclagem e reuso (ONU,2015).

Com o crescimento populacional, consequentemente aumenta-se a necessidade de abastecimento de água, aumentando também a quantidade de lodo produzido nas estações de tratamento de águas. Existem cerca de 7.500 estações de tratamento de água no Brasil e em sua maioria projetadas com os sistemas concencionais que geram resíduos nas operações dos decantadores e filtros (CORDEIRO,1999). Poucos estudos abordam tratativas do manejo e disposição destes lodos que são gerados em larga escala pelas ETAs, a maioria das estações em funcionamento lança seus resíduos de lodo em corpos d’água, agindo em não conformidade com as legislações vigentes, além de provocar impactos ambientais como o assoreamento de rios (ACHON et al, 2013).

As consequências da falta de gestão dos resíduos de lodo provindo de ETAs, tendo como prática comum seu lançamento em corpos d’água ou em solos variados sem nenhum tratamento prévio, podem ser, segundo Molina (2010): (i) mudanças na composição química do corpo receptor devido ao aumento da concentração de metais como o alumínio e ferro; (ii) aumento da concentração da sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, turbidez e cor nos corpos hídricos; (iii) alteração no ciclo de nutrientes presentes no solo devido ao aumento nos teores de fosfato, nitrogênio, (iv) assoreamento nos corpos receptores e contaminação do lençol freático.

No Brasil, as diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos devem atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que institui como responsabilidade de empresas públicas ou privadas o desenvolvimento de ações e gestão de seus resíduos considerando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição em aterro, para isso deve-se conhecer quais as características e o tipo de resíduo a ser gerenciado adequadamente respeitando regulamentos e normas já estabelecidas (BRASIL, 2010).

Os tipos de resíduos sólidos produzidos no Brasil são classificados pela Norma Brasileira ABNT NBR 10004/2004, que considera o processo que deu origem ao resíduo e classifica-os como resíduo de classe II A, ou resíduo não perigoso e não inerte, aqueles que não apresentam periculosidade, possuem características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. E os resíduos de classe II B, ou resíduos inertes, aqueles que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. A classificação é baseada exclusivamente na identificação do processo produtivo e ao enquadramento do resíduo nos parâmetros estabelecidos e adotado, abrangendo também resíduos de lodo oriundos de estações de tratamento de águas (ETA) (NBR 10.004/2004).

A disposição final do lodo de estações de tratamento de água é uma alternativa de gestão de resíduos sólidos para promover a recuperação de áreas degradadas. Há vários benefícios relacionados a um bom gerenciamento de resíduos, mas os mais destacados são as possibilidades de redução dos custos para encaminhar grandes quantidades em aterros, preservação do meio ambiente e corpos de água, lucratividade na venda de resíduos como insumos beneficiando outros processos produtivos e para o desenvolvimento sustentável (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

Avaliar as características dos resíduos gerados é fundamental para o planejamento de sua destinação final tanto para setores públicos quanto para privados que possuem sistemas de tratamento de águas de médio a grande porte e geram grandes volumes de resíduo sólido (lodo) e, portanto, devem ser tratados e dispostos conforme exigências dos órgãos reguladores vigentes (CORDEIRO, 1999).

Neste sentido, sabendo dos impactos negativos que o lodo de ETA pode gerar e a relevância econômica e ambiental que pode ser alcançada a partir da gestão correta deste resíduo, o objetivo deste trabalho é propor soluções para este problema considerando as diversas características do lodo gerado e a importância de promover melhores alternativas de disposição.

2. OBJETIVO

2.1 *Objetivo geral*

Avaliar as propriedades físicas e químicas do lodo gerado em estação de tratamento de água para propor alternativas de utilização, agregando valor a este resíduo sólido.

2.2 *Objetivos específicos*

- Levantamento da caracterização físico-química de amostras de lodo de estação de tratamento de água.
- Avaliação da adequação dos dados de caracterização obtidos com a legislação ambiental vigente.
- Comparar os resultados da caracterização do lodo com os obtidos na literatura para proposição de possíveis aplicações deste resíduo.
- Proposta das aplicações para o lodo gerado em uma ETA de indústria localizada da região do Alto Paraopeba, Minas Gerais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Resíduos sólidos (lodo) de ETA*

No processo de tratamento da água bruta realizado nas estações de tratamento de água, há geração de resíduos sólidos devido à presença de impurezas na água captada dos mananciais por estas estações, sendo o principal objetivo de todas as operações unitárias envolvidas retirar a maior parte das impurezas por meio da aplicação de processos físicos e químicos. O resíduo sólido gerado (lodo) é uma massa sólida pastosa que contém alto teor de umidade e possui em sua constituição uma complexa mistura de materiais inorgânicos e orgânicos não digeridos como celulose, resíduos vegetais, areia, resíduos alimentares, óleos, micro-organismos (incluindo patógenos), contaminantes orgânicos tóxicos, sais solúveis e até metais pesados, sendo esta composição diretamente relacionada às características físicas e químicas da água bruta que foi tratada, bem como do processo de tratamento empregado (FIJALKOWSKI et al, 2017).

A maior parte dos resíduos sólidos originados em uma ETA provém dos processos de decantação e filtração e sua composição majoritária depende do produto químico aplicado nas etapas de coagulação/floculação, neste caso, o coagulante utilizado em maior concentração no início do tratamento para precipitar as partículas consideradas impurezas. Na maioria dos casos, são utilizados coagulantes a base de sulfato de alumínio ou coagulantes férricos. Geralmente o sulfato de alumínio é o coagulante mais utilizado pelas ETAs, devido a seu baixo custo, facilidade de manuseio e transporte (FRANCO, 2009), além de ter eficiência comprovada e normatizada de acordo com o padrão de potabilidade do ministério da saúde (BRASIL, 2017). Segundo Richter (2009) “o lodo de sulfato de alumínio é considerado um líquido não newtoniano, gelatinoso, cuja fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, coloides de cor e outros resíduos orgânicos, incluindo micro-organismos ou mesmo organismos pluricelulares removidos nos processos de coagulação”, as características comuns deste tipo de lodo estão resumidas na tabela 3.1.

A principal diferença do lodo de ETAs que utilizam o sulfato de alumínio para o lodo de ETAs que utilizam coagulantes férricos está na faixa de pH, o sulfato de alumínio gera lodos com pH entre 6 e 8, como mostrado na tabela 3.1 e o sulfato férrico gera lodos com pH entre 7,4 e 9,5, como mostrado na tabela 3.2. A classificação do lodo é de acordo com o coagulante utilizado durante o tratamento da água e cada um possui composições diferentes como descritos nas tabelas citadas, essa diferença pode impactar significativamente a destinação de cada tipo de lodo (RICHTER, 2009).

Tabela 3.1: Características comuns e faixa de concentrações típicas de um lodo de ETA tratado com sulfato de alumínio.

Características	Concentração
Sólidos totais (%)	0,1- 4
Coagulante (%)	15- 40
Inorgânicos (%)	35 -70
Matéria orgânica (%)	15 - 25
pH	6 - 8
DBO (mg/L)	30 - 300
DQO (mg/L)	30 - 5.000

Fonte: RICHTER (2009)

Tabela 3.2: Características comuns e faixa de concentrações típicas de um lodo de ETA tratado com sulfato férrico.

Características	Concentração
Sólidos totais (%)	0,25 -3,5
Fe (%)	4,6 - 20,6
Voláteis (%)	5,1 - 14,1
pH	7,4 - 9,5

Fonte : RICHTER (2009)

Além dos tipos de produtos químicos utilizados no tratamento da água bruta, a forma de limpeza dos decantadores, entre outros fatores podem impactar diretamente na disposição final do lodo. Assim, as características dos sólidos presentes no lodo que podem variar consideravelmente, devido a isso é necessário analisar cada resíduo de lodo de forma individualizada para saber seu potencial de causar impactos ambientais e para definir a destinação final mais adequada (CORDEIRO, 1993).

O estudo de Cordeiro determinou a concentração de metais presentes nos sólidos dos lodos gerados em decantadores de três ETAs de diferentes cidades localizadas no estado de São Paulo, é mostrado na tabela 3.3 que compara as concentrações de metais presentes nos lodos. O estudo de Cordeiro foi somente de comparação para demonstrar a concentração de metais predominantes na fase sólida do lodo, porém ao comparar com a norma regulamentadora (NBR 10.004/2004), pode-se verificar que para a maioria destes resultados os metais se encontram muito acima do que é exigido pela norma brasileira, provavelmente por ineficiência de coagulação, o que também não foi demonstrado no estudo, por se tratar somente de comparações dos componentes químicos nos particulados das ETAs.

Tabela 3.3: Concentração de metais presentes em lodos de três diferentes ETAs.

Metais	ETA 01	ETA 02	ETA 03
Alumínio (mg/L)	3965	391	325
Bário (mg/L)	-	0,22	0,18
Cádmio (mg/L)	0,14	0,02	0,02
Cálcio (mg/L)	142	-	0,08
Chumbo (mg/L)	2,32	0,2	0,3
Cloreto (mg/L)	-	35	36,3
Cobre	1,47	0,12	0,2
Cromo Total	3,82	0,06	0,09
Ferro Total	3381	129	166
Ferro Solúvel	-	6,14	0,12
Magnésio	27	2,87	1,38
Manganês	1,86	7,8	3,44
Manganês Solúvel	-	4,57	1
Merúrio	-	-	-
Níquel	2,7	0,14	0,12
Potássio	49,97	7,37	7,55
Sódio	311	29,3	63
Zinco	2,13	0,7	0,98

Fonte: Adaptado de Cordeiro, 1993.

3.2 *Processo de tratamento de água e etapas de geração de lodo*

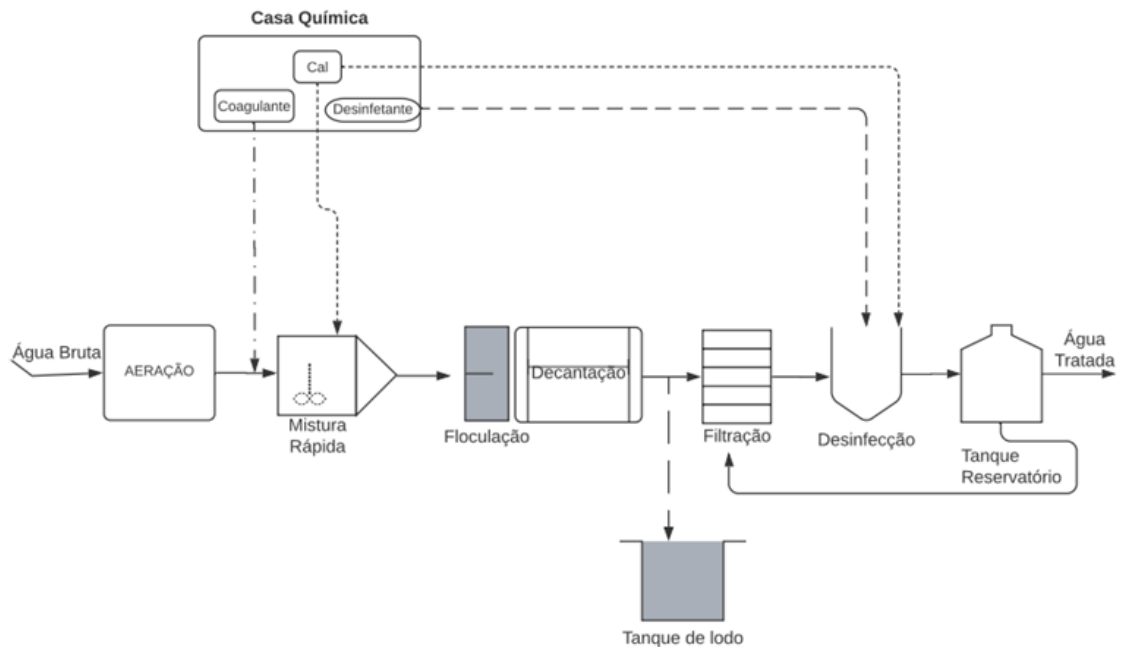
Nas estações de tratamento de água brasileiras são realizados, comumente, tratamentos físicos e químicos convencionais para a remoção de impurezas presentes na água bruta e há geração de resíduos sólidos em algumas etapas. As etapas que exigem a utilização de reagentes químicos passam por controles rigorosos nas dosagens destes produtos, de forma a atender os padrões de qualidade exigidos nas legislações. As fases de um processo de tratamento de água convencional (Figuras 3.1) são seguidas por coagulação, floculação, decantação/flotação e filtração que têm por objetivo clarificar a água. Quando se trata de água potável para consumo, exige-se, ainda, processos de desinfecção e fluoretação (TSUTIYA e HIRATA, 2001). O lodo é proveniente principalmente da etapa de sedimentação/decantação, como mostrado na figura 3.2 (DI BERNARDO, 2005). Adiante será dada uma breve explanação sobre cada uma das etapas do tratamento convencional de águas de abastecimento, citando, ainda, algumas características da ETA estudada neste trabalho e, serão especificadas as etapas nas quais o lodo é gerado.

Figura 3.1: Processo convencional de tratamento de água de abastecimento.



Fonte: SABESP

Figura 3.2: Esquema de estação de tratamento de água (ETA)



Fonte: Próprio autor.

3.2.1 Captação/Coagulação/Floculação

A captação da água bruta é realizada pelo vertente de um lago situado na região do Alto Paraopeba que por gravidade é transferida por adutora até a estação de tratamento de água, onde se iniciam as fases do tratamento físico-químico para remover partículas em suspensão.

A coagulação é o processo de aglutinação das partículas presentes na água que, posteriormente, formarão flocos que possam ser separados na fase de sedimentação e filtração (RICHTER, 2009). Nesta etapa é realizada a agitação rápida da água juntamente com os produtos químicos coagulantes. Os coagulantes comumente usados são o sulfato de alumínio e o sulfato férrico, podendo ainda serem utilizados sulfato ferroso, cloreto férrico, aluminato de sódio e os polieletrólitos. Os produtos de hidrólise de ferro e alumínio desempenham um papel significativo no processo de coagulação, neutralizando as cargas negativas das partículas em suspensão. Assim, as partículas ficam eletricamente desestabilizadas possibilitando a aglomeração das mesmas e formação de flocos (RICHTER, 2009). A empresa estudada optou por utilizar sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, devido ao seu forte poder de coagulação.

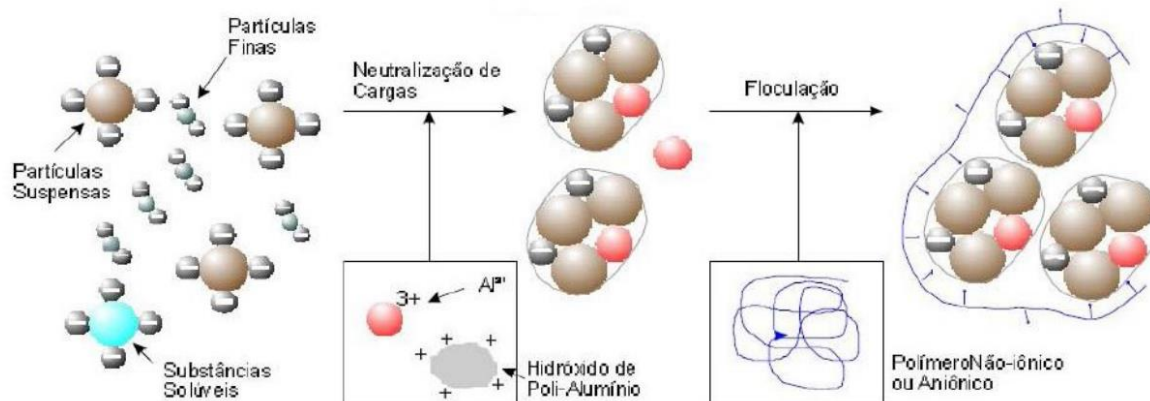
Durante a coagulação, o pH variado ou instável afeta a carga superficial das partículas, sendo que a solubilidade mínima do floco geralmente é alcançada entre pH 6 a 7, já para coagulantes de ferro a faixa de pH ideal é mais ampla entre 5 e 11. Assim, produtos alcalinos como o óxido de cálcio, carbonato de sódio, hidróxido de sódio e polieletrólitos são utilizados como auxiliares na coagulação (SANTOS et al, 2001).

Após a coagulação, segue-se para uma etapa de agitação lenta que irá promover a união destas partículas ou sujidades, gerando flocos, sendo esta a etapa de floculação (SABESP, 2021). Nesta etapa poderão ser adicionados produtos químicos que possuem polieletrólitos que irão promover o aumento dos flocos após a coagulação. O termo polieletrólitos (PE) refere-se a todos os polímeros orgânicos solúveis em água com grupos ionizáveis ao longo da cadeia, podem ser classificados em aniônicos e catiônicos de acordo com seu grupo funcional que geram pontes entre as partículas já coaguladas e as cadeias do polímero, obtendo flocos com maior diâmetro, como representado na figura 3.3 (VON SPERLING et al, 2001).

Uma análise de *Jar test* (Figura 3.4) pode ser realizada para medir a velocidade de sedimentação das partículas de acordo com seu diâmetro/densidade e a velocidade de decantação que pode ser determinada através de equações empíricas. Essa análise é importante em qualquer ETA, pois o teste de bancada visa uma melhor quantificação e eficiência da dosagem de coagulante e/ou polímero visto que com os resultados do teste é possível ter um

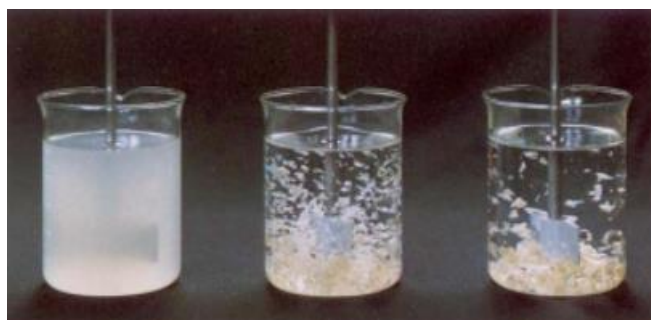
melhor agrupamento dos flocos e formação do lodo (DI BERNARDO, 2005). As mesmas condições físico-químicas do processo devem ser aplicadas no experimento para manter a agitação e a dispersão do produto químico no meio (KURITA (Brasil), 2013).

Figura 3.3: Modelo esquemático dos processos de coagulação e floculação, com a utilização de coagulante seguida da adição de um c.



Fonte: PASTOR et al., 2004.

Figura 3.4: Análise Jar test para definição da dosagem de coagulante e/ou floculante.

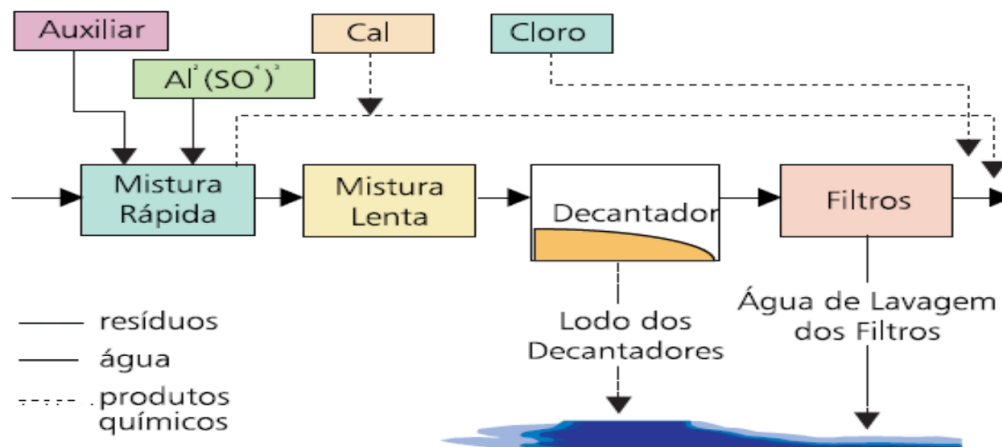


Fonte: Kurita, 2013.

3.2.2 Decantação/Sedimentação

Como dito anteriormente, a agitação lenta auxilia na agregação dos flocos e, posteriormente, nos tanques de decantação, a água retida é mantida estática, permitindo que os sólidos em suspensão ou flocos de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo do decantador por ação da gravidade. Essa etapa constitui a última fase da clarificação, na qual os flocos formados irão constituir o lodo, como mostrado na figura 2.5, principal resíduo sólido de uma ETA e foco de estudo deste trabalho (SANTOS et al, 2001).

Figura 3.5: Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional



Fonte: Cordeiro, 1999.

3.2.3 Filtração

Na etapa de filtração, a água é enviada para tanques menores onde em sua parte inferior se encontram camadas de pedras, areia, carvão antracito e a granada (meio granular) que são considerados meios filtrantes responsáveis por reter material particulado residual do processo da decantação (RICHTER, 2009). Esta etapa é dita filtragem multimídia, pois são usadas, tipicamente, camadas (mídias) compostas por antracito, areia e granada que possuem diferenças de densidade e granulometria e variam de acordo com as partículas que precisam ser capturadas. O antracito é mais leve do que a areia e mais eficiente nas operações que requerem a remoção de grandes quantidades de sólidos suspensos na água, já a granada é um mineral com espessura maior que a areia, devido ao seu alto peso específico consegue filtrar particulados maiores (Tabela 3.4) (MANUAL, 2019)

Tabela 3.4: Tipos de mídias utilizadas na etapa de filtração

Mídia	Tamanho efetivo, mm (in.)	Gravidade específica
Antracito	0.7-1.7 (0.03-0.07)	1.4
Areia	0.3-0.7 (0.01-0.03)	2.6
Granada	0.4-0.6 (0.016-0.024)	3.8

Fonte: Adaptado de (MANUAL, 2019).

Em períodos programados, os filtros são lavados para remoção das partículas retidas e a água de lavagem dos filtros retorna ao processo na fase inicial de tratamento, sendo essas partículas removidas no processo de decantação e sendo incorporadas ao lodo da ETA (SILVA, 2005).

3.2.4 *Cloração/Fluoretação/Distribuição*

Ao finalizar a etapa de filtração a água clarificada, passa pela etapa de desinfecção (cloração) para eliminação de micro-organismos antes da distribuição para consumo descritos na Portaria de Consolidação nº 5, 2017 (BRASIL, 2017). Já a fluoretação é a última etapa do tratamento, sendo uma exigência da legislação brasileira da Portaria nº 635/GM/MS de 26 de dezembro de 1975, para promover a redução do índice de cárie na população e devem atender a normas e padrões. Ambos tratamentos não são obrigatórios se a água não for destinada para consumo humano (TSUTIYA e HIRATA, 2001)..

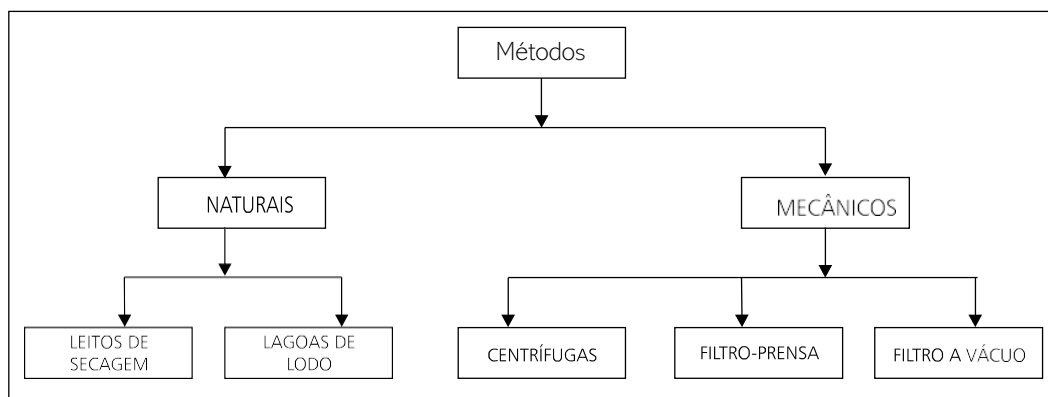
Após finalizado o processo de tratamento, a água é armazenada em reservatórios de distribuição e, em seguida, é transportada para redes de distribuição através das adutoras até chegar ao consumidor final (DI BERNARDO, 2005).

3.3 *Tratamento e disposição do lodo gerado na ETA*

O lodo gerado nos decantadores é destinado a etapas de desaguamento e adensamento, para redução de volume e posterior disposição ou aproveitamento. O desaguamento pode ser feito de forma natural ou mecanizada, como resumido na figura 3.6 (BIDONE et al, 2001). Na ETA estudada, nesta etapa, é utilizada uma tecnologia de geotubos (BAGs) que será explicada adiante.

No processo de adensamento do lodo tem-se a opção de aplicação de polímero catiônico ou aniônico, que atua como floculante adicional aglutinando ainda mais as impurezas, por meio de interações elétricas e adsorção física. O ideal é utilizar um polímero que mantenha sua estabilidade nas mesmas condições do sistema sem reatividade ou interações seletivas com as espécies presentes no meio (SILVA, 2005). Assim a estrutura das partículas potencializa a separação entre a fase sólida e líquida, estes flocos podem, então, ser enviados para dispositivos tubulares de geotêxtil (*bags*) com alta resistência mecânica e abertura dos poros, que garantem a filtragem do material bombeado através da retenção da parte sólida no seu interior e a passagem da fase líquida entre seus poros, como demonstrado na figura 3.7 (TEIXEIRA et al., 2006). Neste sistema, a desidratação do lodo leva de três a seis meses.

Figura 3.6: Alternativas de redução do volume de lodo



Fonte: Adaptado (BIDONE et al, 2001).

Figura 3.7: Desidratação ou deságue do lodo utilizando Geotubos (BAG)



Fonte: HUESKER Ltda, 2021.

Após o deságue, a fração líquida (clarificado) deste processo pode ser descartada ou retornada para o processo inicial de tratamento, sendo reaproveitada. A fração de massa seca (lodo), atualmente, é disposta legalmente em aterros sanitários pela empresa estudada, sendo produzidos em torno de 18,5 toneladas de lodo mensalmente. O sistema de desaguamento do lodo usando *bags* é considerado mais econômico, quando comparado a processos mais robustos como métodos mecânicos de filtros prensas e de eficiência comparável, fornecendo uma torta de lodo com alto teor de sólidos. O desaguamento além de viabilizar seu transporte, devido a redução do volume, também permite que este lodo seja matéria prima para diversas aplicações (BIDONE et al, 2001).

Estações de tratamento de água geram grandes quantidades de lodo e o lançamentos inadequados em corpos d'água causam impactos à vida aquática, devido à elevação dos sólidos totais que contribuem para o assoreamento dos corpos hídricos, alteram a cor natural da água,

aumenta a turbidez devido às elevadas concentrações de sólidos não dissolvidos, além de aumentar a quantidade de matéria orgânica o que reduz o teor de oxigênio dissolvido nesses ambientes. Além disso, esses lodos normalmente possuem componentes como metais tóxicos que podem ocasionar asfixia e mortandade dos peixes, possibilidade de contaminação do lençol freático e aspecto visual desagradável (OLINGER et al,2001).

A disposição de lodo deve ser realizada atendendo às normas e legislações regulamentadas no Brasil para redução de riscos ambientais, a NBR 10004/2004 propõe a classificação dos resíduos sólidos de acordo com o processo que deu sua origem em perigoso ou não perigoso, inerte ou não inerte e a NBR 10007/2004 informa os procedimentos de amostragem destes resíduos para sua classificação. Além disso, a resolução CONAMA 313/2002 determina o inventário nacional de resíduos sólidos industriais que inclui os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e todos aqueles gerados em equipamentos e instalações que precisam de controle da poluição gerada pelas indústrias do país. Segundo a resolução é necessário todas as informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos em estados sólido, semi-sólido, líquido que possuem componentes inviáveis para o seu lançamento em corpos hídricos ou em redes públicas de esgoto que requerem soluções técnicas e de viabilidade econômica. Por fim, o processo de disposição final empregado deve estar de acordo com a Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) que conceitua e diferencia resíduos e rejeitos, a qual define o lodo proveniente de sistemas de tratamento de água como resíduo sólido e, entre outras diretrizes proíbe a destinação ou disposição final destes através do lançamento em quaisquer corpos hídricos, abordando também práticas sustentáveis, trazendo a responsabilidade a todos fabricantes, distribuidores e vendedores a destinar seu resíduo gerado corretamente. Assim, de acordo com estas normas, algumas formas de disposição de lodo podem ser citadas:

- **Aterro Industrial:** é uma alternativa de destinação de resíduos em que são utilizadas técnicas que permitem a disposição controlada destes no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública.
- **Incineração:** é uma alternativa de destinação em que os resíduos sofrem processo de decomposição sob alta temperatura e sob ação do oxigênio, com o objetivo de tornar o resíduo menos volumoso, menos tóxico ou atóxico, ou eliminá-lo. Aplica-se, principalmente, para os resíduos de maior grau de periculosidade. Há a necessidade de

tratamento dos gases gerados na queima.

- **Co-processamento:** é a alternativa que gera o menor impacto ambiental e agrega valor ao resíduo, pode ser definido como o reaproveitamento de resíduos em outros processos produtivos, no qual este resíduo será considerado como matéria-prima ou insumo para a fabricação de outro produto.

Atualmente um dos maiores problemas está na redução da geração de resíduos, reaproveitamento e destinação adequada de acordo com as legislações vigentes que regulamentam o potencial poluidor destes resíduos, assim como o controle dos impactos ambiental e econômico que são gerados (CORDEIRO,1999).

Diversos estudos referentes às alternativas de disposição e reaproveitamento desses resíduos têm sido realizados para utilização na fabricação de tijolos ecológicos e materiais cerâmicos, recuperação de área degradada ou aplicação como insumo na agricultura (AWWA, 1978; RAIJ et al, 2001; SANTOS et al., 2001; TOBIASON, 2003; ANDRADE, 2005; MEGDA et al, 2005; MOTTA et al., 2005; TEREZA et al., 2005; PAIXÃO et al, 2008; COSTA e COSTA, 2011; BITTENCOURT et al., 2012; AKAMATSU e ROSS 2017). É de suma importância a caracterização do lodo para determinar os componentes químicos, granulometria para atender seu destino final. Assim, este trabalho irá avaliar as características do lodo gerado em uma ETA industrial da região do Alto Paraopeba (MG) e, de acordo com levantamentos da literatura, propor aplicações adequadas e que agreguem valor a este resíduo sólido.

4. METODOLOGIA

4.1 Ponto de Amostragem do lodo de estação de tratamento de água

A amostra de lodo foi coletada da estação de tratamento de água de uma empresa situada na região do Alto Paraopeba/MG, as análises foram realizadas no resíduo sólido seco, provinda do sistema de tratamento realizado na ETA, no qual a primeira etapa é a coagulação que utiliza sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, na forma líquida, como coagulante. Todo o decantado é retido nos decantadores que são enviados para o tanque de lodo por gravidade, posteriormente são bombeados a uma vazão entre 120 e 150 m^3/h para os BAGs geotêxtil que são mantidos por 6 meses expostos ao sol até a completa remoção da água restando somente o lodo seco.

A empresa responsável pelos ensaios de caracterização do lodo utilizou metodologias de análise segundo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater American Public Health Association* (2005). Para estas análises utilizou-se o lodo seco (massa bruta) oriundo da etapa de desidratação no sistema geotêxtil. Estes resultados foram fornecidos pela empresa geradora do lodo. Este trabalho avaliou a adequação e classificação deste resíduo de acordo com as seguintes referências normativas:

- ABNT NBR 10004:2004 – Classificação dos resíduos sólidos.
- ABNT NBR 10005:2004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, ou seja, análise de substâncias perigosas que são extraídas com líquido extrator adequado e pré-determinado na norma para condições específicas de geração do resíduo sólido.
- ABNT NBR 10006:2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, ou seja, análise de substâncias perigosas que se dissolvem em água após contato do sólido com água nas condições determinadas pela norma.
- ABNT NBR 10007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos.

Para a realização do quantitativo de lodo resultantes no tratamento de água que representa o volume de lodo gerado pela ETA, utilizou-se as informações do monitoramento da água bruta tratada, fornecido pela empresa geradora do lodo.

Após a classificação do resíduo, foi feito levantamento da literatura pertinente, utilizando a ferramenta de busca “Periódicos CAPES” para comparação dos dados obtidos e proposição de soluções de aplicabilidade deste resíduos com o objetivo de agregar valor ao mesmo e reduzir seus potenciais impactos ambientais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 *Quantificação da Geração de Lodo na ETA*

O lodo gerado em ETA pode ser quantificado para um melhor planejamento durante sua fase de projeto para levantar variáveis e estimar o que pode interferir no processo de produção do lodo (DI BERNARDO, 2005). Diante disso, fórmulas empíricas foram desenvolvidas para se ter uma aproximação do quanto de lodo é gerado, considerando a vazão, resultados de turbidez da água bruta na entrada da ETA e a dosagem de produtos químicos, neste caso, o coagulante sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Um dos cálculos encontrados na literatura e mais comumente usado é o de CORNWELL (1987), como mostrado na equação 5.1. Realizado com base nos dados fornecidos pela empresa geradora, para estimar a produção de lodo em kg/dia e t/mês, durante o ano de 2019 em que foi realizado sua caracterização.

$$W = 0,0864 \times Q \times (0,44 \times D + 1,5 \times T) \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde:

W = quantidade de lodo (Kg/dia)

T = turbidez da água bruta (NTU)

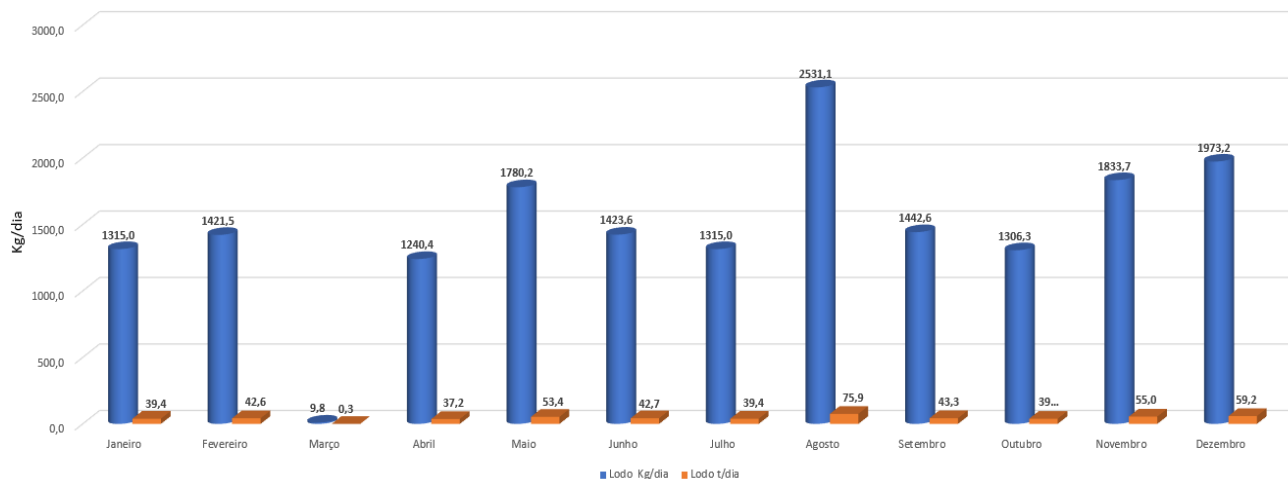
D = dosagem de coagulante (mg/L)

Q = vazão da água bruta (L/s)

A partir dos dados mensais de turbidez, dosagem de coagulante e vazão de água bruta do ano de 2019, fornecidos pela empresa geradora do lodo, foi possível estimar a produção de lodo utilizando a fórmula descrita na equação 5.1, nos quais os resultados estão representados graficamente pela figura 5.1, onde observa-se que a maior produção de lodo foi em agosto com 2531,1 kg/dia e 75,9 t/mês. Já os resultados do mês de março foram significativamente baixos sendo 9,8 kg/dia e 0,3 t/mês, por fatores não explicados pela empresa. Não foi possível comparar o resultado de 2019 da produção do lodo com o cálculo empírico do modelo de Cornwell, pois a empresa não recolheu as informações da geração de lodo para o ano em estudo. Entretanto, foram fornecidos os dados do mês de maio, abril e junho para o ano de 2020, fazendo uma média desses meses, têm-se 44 toneladas de lodo produzido em 2020, calculando a média para o mesmo período de tempo do lodo gerado em 2019, têm-se 42,7 toneladas, demonstrando que

os valores quantificados pela formula empírica foram próximos ao valor real fornecido pela empresa geradora de lodo.

Figura 5.1: Quantificação do lodo da ETA de 2019



5.2 Caracterização físico-química do lodo e classificação de acordo com a NBR 10004/2004

Os resultados da caracterização do lodo seco removido do processo de desidratação que ocorreu por etapas de drenagem no decantador e evaporação natural em *bags*, foram fornecidos pela empresa geradora do lodo. A caracterização geral da massa bruta deste lodo seco estão descritas na tabela 5.1. Observa-se que o lodo se enquadra nos limites permitidos pela NBR 10004/2004 e que esse lodo é rico em nitrogênio Kjeldahl (NTK), ou seja, nitrogênio orgânico e amônia, característica interessante para aproveitamento deste nutriente sem os riscos de toxicidade das altas concentrações de nitrito e nitrato (VON SPERLING et al, 2001).

A tabela 5.2 mostra os testes de periculosidade exigidos pela norma mostrando que este resíduo não é inflamável, não é corrosivo, nem reativo, nem tóxico e nem patogênico, enquadrando-se como resíduo não perigoso classe II (NBR 10.004/2004).

Tabela 5.1: Características gerais do lodo seco.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	NBR 10004:2004	Método de Referência
N-Kjeldahl	mg N/L	5859	---	SM22 4500-Norg B/4500-Norg C
Nitrogênio Total	mg/L	5868	---	SM22 4500-Norg B/4500-NO-2 B/4500- NO-3 E
Nitrito	mg N/L	0,041	---	SM22 4500-NO2 B
Nitrato	mg N/L	8,97	---	SM22 4500-NO3 E
Teor de Sólidos	g/g	0,7666	---	SM22 2540 B
Matéria Orgânica	g/Kg	156	---	SSSA Cap.34
Fósforo	mg P/Kg	538	---	EPA 6010 C
pH em água (1:1)	---	5,25	entre 2 e 12,5	EPA 9045 D
Cianetos (HCN liberável)	mg/Kg	0,49	Inferior a 250	EPA 9013:1992 / 9213:1996
Sulfetos (H ₂ S liberável)	mg/Kg	< 0,039	Inferior a 500	SM22 4500 S ²⁻ D
Óleos e Graxas Minerais (%)	% m/m	< 9,9 x 10 ⁻³	De acordo com a origem do resíduo	SM22 5520 F

Tabela 5.2: Testes de Periculosidade exigidos pela NBR 10004/2004 para o lodo da ETA em estudo.

Parâmetros	Resultados analíticos	NBR 10004:2004	Método de Referência
Teste de inflamabilidade	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Característica de corrosividade	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Material gera gases, vapores ou fumos tóxicos	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Característica de reatividade	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Presença de substâncias listadas no anexo C (avaliada pelas informações de pré-caracterização)	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Material instável	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Característica de toxicidade	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Presença suspeita de microorganismos ou toxinas (informações de pré caracterização)	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004
Característica de patogenicidade	Ausente	Ausente	ABNT NBR 10004:2004

Uma das exigências para classificação do resíduo sólido como perigoso (classe I) ou não perigoso (classe II) é a obtenção de extrato lixiviado deste resíduo com agentes extratores definidos pela NBR 10005/2004. Esse processo de lixiviação é definido como a determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas do resíduo sólido para o meio extrator (NBR 10.005/2004). A tabela 5.3 mostra os dados de preparo das amostras e as tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 mostram os resultados destas análises para contaminantes inorgânicos, pesticidas e outros contaminantes orgânicos respectivamente. Analisando estas tabelas fica clara a classificação desse resíduo como não perigoso, uma vez que todos os contaminantes tiveram concentrações abaixo do limite máximo exigido pela NBR 10004/2004.

Tabela 5.3: Dados de preparo do resíduo sólido da ETA estudado para os ensaios de lixiviação, segundo NBR10005/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	NBR 10004:2004	Método de Referência
Teor de Sólidos Secos (%)	% m/m	76,7	---	NBR 10.005
pH para a escolha da solução extratora	---	5,2	---	NBR 10.005
Volume de Lixiviado Obtido	mL	2000	---	NBR 10.005
Tempo de Lixiviação	horas	18	---	NBR 10.005
pH Final do Extrato Lixiviado	---	4,95	---	NBR 10.005

Tabela 5.4: Parâmetros inorgânicos obtidos para o resíduo sólido da ETA estudada obtidos pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	Limite máximo no lixiviado	Método de Referência
Arsênio	mg/L	< 0,005	1	SM22 3120 B
Bário	mg/L	0,98	70	SM22 3120 B
Cádmio	mg/L	< 0,005	0,5	SM22 3120 B
Chumbo	mg/L	0,086	1	SM22 3120 B
Cromo Total	mg/L	< 0,005	5	SM22 3120 B
Fluoretos	mg/L	0,065	150	SM22 4500-F C
Mercurio	mg/L	< 0,00017	0,1	EPA 7470 A
Prata	mg/L	< 0,005	5	SM22 3120 B
Selênio	mg/L	< 0,005	1	SM22 3120 B

Tabela 5.5: Análise de pesticidas presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	Limite máximo no lixiviado	Método de Referência
Aldrin e Dieldrin	mg/L	< 0,000001	0,003	EPA 8270 D
Clordano (isômeros)	mg/L	< 0,000001	0,02	EPA 8270 D
2,4-D	mg/L	< 0,000010	3	EPA 8270 D
DDT (p,p-DDT + p,p-DDE + p,p-DDD)	mg/L	< 0,000001	0,2	EPA 8270 D
Endrin	mg/L	< 0,000001	0,06	EPA 8270 D
Heptacloro e seus epóxidos	mg/L	< 0,000001	0,003	EPA 8270 D
Lindano (g BHC)	mg/L	< 0,000001	0,2	EPA 8270 D
Metoxicloro	mg/L	< 0,000001	2	EPA 8270 D
Pentaclorofenol	mg/L	< 0,000010	0,9	EPA 8270 D
Toxafeno	mg/L	< 0,000002	0,5	EPA 8270 D
2,4,5-T	mg/L	< 0,000002	0,2	EPA 8270 D
2,4,5-TP	mg/L	< 0,000010	1	EPA 8270 D

Tabela 5.6: Contaminantes orgânicos presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de lixiviação segundo NBR 10005/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	Limite máximo no lixiviado	Método de Referência
Benzeno	mg/L	< LQ	0,5	EPA 8260 C
Benzo(a)pireno	mg/L	< 0,000002	0,07	EPA 8270 D
Cloreto de vinila	mg/L	< LQ	0,5	EPA 8260 C
Clorobenzeno	mg/L	< LQ	100	EPA 8260 C
Clorofórmio	mg/L	< LQ	6	EPA 8260 C
o-Cresol	mg/L	< 0,000010	200	EPA 8270 D
m+p-Cresol	mg/L	< 0,000010	---	EPA 8270 D
Cresol Total	mg/L	< 0,000010	200	EPA 8270 D
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	< LQ	7,5	EPA 8260 C
1,2-Dicloroetano	mg/L	< LQ	1	EPA 8260 C
1,1-Dicloroetileno	mg/L	< LQ	3	EPA 8260 C
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	< 0,000010	0,13	EPA 8270 D
Hexaclorobenzeno	mg/L	< 0,000001	0,1	EPA 8270 D
Hexaclorobutadieno	mg/L	< LQ	0,5	EPA 8260 C
Hexacloroetano	mg/L	< 0,000010	3	EPA 8270 D
Metiletilcetona	mg/L	< LQ	200	EPA 8260 C
Nitrobenzeno	mg/L	< 0,000010	2	EPA 8270 D
Piridina	mg/L	< 1,00	5	EPA 8015 D
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	< LQ	0,2	EPA 8260 C
Tetracloroetileno	mg/L	< LQ	4	EPA 8260 C
Tricloroetileno	mg/L	< LQ	7	EPA 8260 C
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,00091	400	EPA 8270 D
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	< 0,000010	20	EPA 8270 D

Nota: LQ = limite de quantificação.

Para classificação do resíduo sólido como não perigoso e não inerte (classe II A) ou não perigoso e inerte (classe II B) são feitos ensaios de solubilização em água, conforme a NBR 10006/2004. A tabela 5.7 mostra os dados de preparo da amostra e as tabelas 5.8 e 5.9 mostram os resultados destas análises para contaminantes inorgânicos e contaminantes orgânicos respectivamente.

Tabela 5.7: Dados de preparo do resíduo sólido da ETA estudado para os ensaios de solubilização, segundo NBR10006/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	NBR 10004:2004 ¹	Método de Referência
Teor de Umidade (%)	%	23,3	---	NBR 10.005
pH Final do Extrato Solubilizado	---	6,39	---	SM22 4500-H ⁺ B

Tabela 5.8: Parâmetros inorgânicos obtidos para o resíduo sólido da ETA estudada obtidos pelos ensaios de solubilização segundo NBR 10006/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	Limite máximo no solubilizado	Método de Referência
Alumínio	mg/L	< 0,005	0,2	SM22 3120 B
Arsênio	mg/L	< 0,001	0,01	POP 81142
Bário	mg/L	0,32	0,7	SM22 3120 B
Cádmio	mg/L	< 0,0002	0,005	SM22 3113 B
Chumbo	mg/L	0,004	0,01	SM22 3113 B
Cianetos	mg/L	0,015	0,07	SM22 4500-CN ⁻ F
Cloretos	mg/L	5,68	250	SM22 4500-Cl D
Cobre	mg/L	0,0096	2	SM22 3120 B
Cromo Total	mg/L	< 0,005	0,05	SM22 3120 B
Ferro	mg/L	< 0,005	0,3	SM22 3120 B
Fluoretos	mg/L	< 0,05	1,5	SM22 4500-F C
Manganês	mg/L	1,66	0,1	SM22 3120 B
Mercúrio	mg/L	< 0,00017	0,001	EPA 7470 A
Nitrato (como N)	mg/L	28,3	10	SM22 4500-NO3 E
Prata	mg/L	0,0089	0,05	SM22 3120 B
Selênio	mg/L	< 0,002	0,01	SM22 3113 B
Sódio	mg/L	3,73	200	SM22 3120 B
Sulfato (expresso como SO ₄ ²⁻)	mg/L	2,61	250	SM22 4500-SO4 E
Surfactantes	mg/L	0,27	0,5	SM22 5540 C
Zinco	mg/L	0,044	5	SM22 3120 B

Tabela 5.9: Contaminantes orgânicos presentes no resíduo sólido da ETA estudada obtido pelos ensaios de solubilização segundo NBR 10006/2004.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos	Limite máximo no solubilizado	Método de Referência
Aldrin e Dieldrin	mg/L	< LQ	$3,0 \times 10^{-5}$	EPA 8270 D
Clordano (isômeros)	mg/L	< LQ	$2,0 \times 10^{-4}$	EPA 8270 D
2,4-D	mg/L	< LQ	0,03	EPA 8270 D
DDT (isômeros)	mg/L	< LQ	$2,0 \times 10^{-3}$	EPA 8270 D
Endrin	mg/L	< LQ	$6,0 \times 10^{-4}$	EPA 8270 D
Fenóis Totais	mg/L	0,0062	0,01	EPA 420.1
Heptacloro e seu epóxido	mg/L	< LQ	$3,0 \times 10^{-5}$	EPA 8270 D
Hexaclorobenzeno	mg/L	< LQ	$1,0 \times 10^{-3}$	EPA 8270 D
Lindano (gBHC)	mg/L	< LQ	$2,0 \times 10^{-3}$	EPA 8270 D
Metoxicloro	mg/L	< LQ	0,02	EPA 8270 D
2,4,5-T	mg/L	< LQ	$2,0 \times 10^{-3}$	EPA 8270 D
2,4,5-TP	mg/L	< LQ	0,03	EPA 8270 D
Toxafeno	mg/L	< LQ	$5,0 \times 10^{-3}$	EPA 8270 D

Nota: LQ = limite de quantificação.

Analisando a tabela 5.8 nota-se que as concentrações de manganês e nitrato encontram-se acima do limite máximo permitido pela norma enquadrando o resíduo na classe II A, ou seja, resíduo não perigoso e não inerte.

Como já comentado, todos os resultados de caracterização do lodo da ETA da empresa em questão estão dentro dos limites permitidos pela NBR 10004:2004. Entretanto, dois parâmetros estão fora da faixa de controle nos testes de solubilização, o manganês com resultado de $1,66 \text{ mg L}^{-1}$ (a norma permite no máximo $0,1 \text{ mg L}^{-1}$). Já para o nitrato (como N) obteve-se um resultado de $28,3 \text{ mg L}^{-1}$ e o máximo permitido é 10 mg L^{-1} .

Tendo em vista que a água bruta da ETA provém de um rio próximo de várias cidades e que ao longo do rio existem atividades antropogênicas que podem ser fontes de poluição do corpo hídrico, além disso, para entender o alto nível de nitrato podemos considerar também fatores como as atividades agrícolas que normalmente adicionam fertilizantes nitrogenados ao solo, havendo uma perda dos ânions de nitrato que não é retido pelo mesmo, mas podem ser lixiviados como um íon livre do solo para a água. O nitrato como colóide de carga negativa atrai cátions, assim o nitrogênio na forma de nitrato tende a sofrer lixiviação mais facilmente, principalmente em locais de alta pluviosidade (RAIJ et al, 2001).

Vários fatores que afetam o solo são influenciados pela decomposição da matéria orgânica, profundidade do solo, vegetação nativa e tipos de culturas da região, adubação e precipitação. Sabendo que a água da chuva causa lixiviação ao passar pelo solo, causando a remoção de nutrientes básicos do solo que são substituídos por componentes acidificantes como o manganês, logo, quanto maior a pluviosidade neste solo maior sua acidez. Solos ácidos e de

baixa fertilidade podem ter maiores concentrações de manganês que podem atingir níveis tóxicos caso lixiviados para a água, porque sua solubilidade aumenta neste tipo de ambiente (RAIJ et al, 1986). Além disso, o manganês é o contaminante metálico mais comumente encontrado em efluentes líquidos em praticamente todas as operações de mineração (MIGUEL et al. 2015; PATIL et al. 2016), o que é condizente com a região mineradora na qual a ETA em estudo está inserida. A utilização de resíduo sólido com alta concentração de manganês precisa ser bem avaliada, uma vez que a contaminação de efluentes por este metal é regulada, devido a sua toxicidade e efeitos deletérios para águas de abastecimento caso este manganês não seja diluído (REIS et al., 2017).

5.3 Perspectivas para aplicação do lodo da ETA estudada

Diante das características do lodo estudado, foram levantadas possibilidades de aplicação útil do mesmo, como será exposto a seguir.

5.3.1 Utilização do lodo como matéria prima na construção civil

O lodo de ETA possui grandes quantidades de areia e argila em sua composição, no entanto deve-se conhecer o coagulante e outros produtos químicos usados durante o tratamento, como também identificar a matéria orgânica removida e o teor de sólidos necessários para esta aplicação. Os limites estabelecidos para fabricação de tijolo na construção civil devem atender aos requisitos da NBR 8.492 de 2012. A norma estabelece o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural (NBR 8.492, 2012).

A metodologia da NBR 8.492 foi adaptada em alguns trabalhos para a fabricação de tijolo ecológico que é realizado substituindo o solo pelo lodo desidratado de ETA, sendo usado basicamente na mistura das fases sólidas (solo, cimento e resíduo) e água para reorientar as partículas que passam pelo processo de homogeneização e prensamento (AKAMATSU e ROSS 2017).

Segundo MEGDA et al. (2005), normalmente utiliza-se o lodo desidratado seco na proporção de 10% para a mistura de sólidos. Para COSTA e COSTA (2011), essa mesma proporção de lodo em torno de 10% pode ser utilizado como agregado para compor o concreto utilizado para fazer calçadas com espessura de até 5 cm. Para Tobiasson (2003) se o teor de sólidos fosse de 60%, poderiam ser incorporados ao tijolo 45% de lodo e se fosse 25%, somente

10% da massa poderia ser constituída de lodo de ETA. As vantagens dos tijolos ecológicos é que sua aplicação não necessita de utilização de equipamentos ou maquinários extras ou além do que é utilizado comumente quando se usam argilas. Além disso a produção desse tipo de material é considerado processo limpo, pois gera menor quantidades de resíduos e entulhos devido a redução na quantidade de massa argilosa consumida e extraída (MEGDA et al., 2005).

Andrade (2005) descreve o lodo como fonte de menor custo de óxidos por obter os elementos: cálcio, silício, alumínio, ferro, magnésio, enxofre, sódio, potássio e manganês. Além de, possuir grandes quantidades de areia e argila em sua composição, o que amplia seu uso e aumenta a resistência estrutural de uma construção, como também a pouca umidade, a boa condução térmica e acústica. Além das vantagens de reduzir o consumo de argamassa de assentamento, ter condições mecânicas adequadas ao seu uso, englobando toda redução nos custos de fabricação (ANDRADE, 2005).

Por mais que alguns estudos mostrem a eficácia da utilização do lodo na fabricação de tijolos, ainda é necessário mais estudos relacionados a aplicação do lodo para a fabricação de produtos cerâmicos, uma vez que variações nas propriedades físicas e mecânicas do material interferem diretamente na absorção de água, resistência, tensão a ruptura e plasticidade (PAIXÃO et al, 2008).

A tabela 5.10 apresenta de forma sucinta, o resultado de 4 estudos brasileiros levantados acerca da destinação e reuso do lodo de ETA para a construção civil, adicionado das informações levantadas neste trabalho. Foram consideradas as características mais relevantes em cada trabalho para a disposição do lodo.

Tabela 5.10: Estudos brasileiros que propuseram aplicação do lodo de ETA na construção civil, características observadas e relevância desta aplicação.

Estudo	Características Observadas	Relevância	Referência
ETA Rio Manso, Brumadinho/MG: Aplicação do lodo na fabricação de cerâmicas.	A adição de 10% de lodo causou o aparecimento de partículas de lodo que atuaram como inclusões que favoreceram a fratura do corpo de prova causando diminuição dos valores de tensão de ruptura à flexão.	Recomenda a incorporação do lodo de ETA até um máximo de 5% de lodo na massa argilosa utilizada, para que as características físicas do corpo cerâmico não sejam fortemente degradadas. A disposição do lodo de ETA em aterro sanitário pode resultar na solubilização de parte dos metais contidos no lodo, devido ao fato de que os aterros sanitários são sistemas anaeróbios operando na fase ácida da fermentação, produzindo um lixiviado de pH entre 5,5 e 7,0.	PAIXÃO et al, 2008
Recomenda estudo de alternativas ao aterro sanitário para disposição do lodo de ETA, com ênfase na aplicação do lodo na construção civil.	O lodo pode ser utilizado como fonte de menor custo na fabricação de tijolos por possuir uma grande quantidade de areia e argila em sua composição.	Lodos contendo hidróxidos de ferro ou bário atribuem ao tijolo uma coloração avermelhada, desejada pelos fabricantes.	ANDRADE et al, 2005
Os lodos mais indicados para a fabricação de tijolos são compostos de argila, silte, areia, coagulantes e matéria orgânica removida durante o tratamento de água.	O lodo desidratado é transportado e aplicado na proporção de 10% na fabricação de tijolos. Não requerendo a utilização de equipamentos ou maquinários que são comumente utilizados na extração de argila.	Sugeriu a utilização de equipamentos mecânicos, tais como o triturador e misturador mecânico. Estes, além de aumentar a produtividade, aumentariam a qualidade das misturas.	MEGDA et al, 2005
Aplicação do lodo como substituto parcial do solo para fabricar tijolo, atendendo os limites estabelecidos pela norma (NBR 8492:2012).	Dificuldade em controlar a umidade nos tijolos devido a elevada absorção de água, em decorrência da sua porosidade.	Viabilidade de uso como agregado em concretos para recomposição de calçada, além de ter potencial para confecção de produtos em cerâmicas tijolos, blocos e cimentos.	AKAMATSU e ROSS, 2017
Volume elevado de lodo seco, considerado Classe II-A, resíduo não perigoso e não inerte de acordo com a NBR 10004/2004. Lodo com potencial para ser usado como matéria prima da construção civil.	A caracterização do lodo deste trabalho demonstrou ser atóxico, com baixa umidade o que torna mais fácil para misturas em processos e produtos destinados à construção civil.		Este trabalho

5.3.2 Aplicação do lodo na agricultura

A disposição no solo deve ser avaliada, de acordo com as características físicas e

químicas do lodo e para quais tipos de aplicações ou culturas este resíduo será adicionado. Uma vez que há na composição do lodo nutrientes benéficos a variadas culturas, mas também podem haver concentrações elevadas de metais que inviabilizam sua aplicação, por exemplo, o alumínio (Al) que tem o efeito de reduzir a disponibilidade de fósforo nas plantas, e em excesso, causa efeito tóxico nas plantas cultivadas (MOTTA et al., 2005).

Visando melhorias na fertilidade e capacidade de troca de absorção dos componentes disponíveis do lodo no solo, deve-se primeiramente conhecer tanto as características do resíduo (lodo) a ser disposto no solo como as características do solo e relevo, nível do lençol freático, distância de cursos d'água, dentre outros fatores. O lodo de ETA possui um alto teor de matéria orgânica visto que é oriundo de água bruta captada geralmente de rios próximos das localidades onde as estações de tratamento foram projetadas e implantadas. Os principais cátions trocáveis presentes no solo são H, Ca, Mg, K, Na e Al e os macro-nutrientes P, K, Ca e Mg que são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas (RAIJ et al, 2001). Os compostos em maior proporção no lodo de ETA, são os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, argilas silicatadas e matéria orgânica (AWWA, 1978).

Alguns estudos como o de Bittencourt et al. (2012), utilizaram o lodo da ETA para a produtividade do milho e nas características de fertilidade desse solo, onde concluiu-se que para o tratamento da fertilidade do solo usando o lodo de ETA não obteve-se resultados significativos, mas também não reduziu a quantidade de fósforo no solo, devido a alta presença de Al. Segundo Tereza et al. (2005) a incorporação do lodo em culturas agrícolas demonstrou uma eficácia no teor de macronutrientes e o valor de pH em solos degradados pela mineração, sua aplicação deve ser associada a outros tipos de resíduos orgânicos como compostos de serragem e esterco bovino ou mediante a outros tratamentos específicos para não aumentar a salinidade do solo com características químicas já impactadas. SANTOS et al. (2001) descreve principalmente o teor de carbono orgânico já afetado pela oxidação devido a intensidade de revolvimento do solo e a influência de aeração, umidade e temperatura em que este solo foi exposto.

Avaliando as características do lodo da ETA, propõe-se uma aplicação para o reaproveitamento em solos com baixa fertilidade como latossolos ou solos em processo de erosão, pois se trata de solos mineralizados que possuem faixas de pH ácidos entre 4,0 e 5,5 e necessitam da aplicação de níveis elevados de fertilizantes. Por se tratar de lodo com alto teor de nitrato em sua biomassa e baixa capacidade de retenção destes íons no solo uma solução para minimizar a perda do nitrato por lixiviação é realizar troca ânionica com compostos com

fontes de óxidos, facilitando a absorção pelas plantas. Segundo RAIJ et al. (1996), a cada kg/ha de N aplicado ao solo requer-se 3 kg/ha de CaCO_3 para neutralizar seu efeito acidificante

Entretanto, a caracterização do solo a ser aplicado o lodo se faz necessária para que não haja excesso de íons de nitrato e contaminação de águas subterrâneas, de forma a garantir a eficiência na fixação simbiótica para o crescimento das plantas. Sugere-se utilizar a técnica de compostagem do lodo para complementação e adequação do nível de N, aumentando assim o teor de sua matéria orgânica como a adição de resíduos alternativos que contenham fontes de fosforo e potássio, nutrientes secundários como cálcio, magnésio e enxofre. A qualidade do corretivo a ser aplicado é de extrema importância para absorção de nutriente pela planta e reduz os efeitos indesejáveis durante os cultivos (RAIJ et al, 2001).

Por outro lado o excesso de manganês presente no resíduo de lodo da ETA limita a disposição deste lodo em solos sem tratamento prévio, pois podem causar toxicidade se lixiviado para os corpos de água contaminando os lençóis freáticos. Sugere-se uma prática conhecida como calagem que visa a correção da acidez causada pelo excesso de manganês, possibilitando a neutralização desta acidez e melhoria na absorção de nutrientes, favorecendo a atividade microbiana ao dispor o lodo em solo. A quantidade de corretivo a ser utilizada varia de acordo com o pH característico do solo e do tipo de cultura que será cultivada utilizando o lodo como insumo, pois alguma culturas como o milho se desenvolve melhor em solos com pH próximo à neutralidade, tolerando melhor a acidez do solo. Por esta razão realizar a adequação do nível de manganês no lodo visando o sistema de produção que será implantado é recomendado para definir melhor a dosagem de cal em função da cultura. Uma análise do solo é indicado para saber a quantidade ideal do corretivo a ser aplicado de forma a garantir também o desenvolvimento das demais espécies (RAIJ et al, 1996).

Estudos utilizando o lodo de ETA como fertilizantes para recuperação de área degradada pode ser viável, por este resíduo conter determinados nutrientes para as plantas. Esta alternativa é possível quando comprovado a não existência de impactos negativos ao solo que irá receber o resíduo de lodo, por exemplo, devido a presença do alumínio que pode indisponibilizar o fósforo presente nas plantas (TEREZA et al, 2005). O estudo de Sabagg e Morita (2004) estipulou que para o lodo ser aplicado em solos deverá ter uma concentração de alumínio e ferro menor que 25%, pois ambos elementos podem combinar com o fósforo e causar a redução de nutrientes das plantas. Já Silva et al (2005) relatam que o critério para definir as doses de aplicação do lodo no solo não deve se basear na concentração de nitrogênio, uma vez que este componente se encontra em menores quantidades no resíduo de lodo. Logo avaliar suas

características antes de propor tratamentos para este lodo, no caso do interesse em utilizá-lo como insumo agrícolas é necessário para evitar a contaminação do solo e lençóis freáticos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados obtidos para a amostra, a classificação foi Classe II-A, resíduo

não perigoso e não inerte. Em relação à massa bruta os parâmetros analisados apresentaram valores e condições adequados às incações da NBR 10004/2004. A análise do lixiviado também não apresentou concentrações significativas de substâncias perigosas e na análise do solubilizado as concentrações de manganês e nitrato foram superiores às indicadas no anexo G da NBR 10004/2004 o que enquadrou esse resíduo como não inerte.

De acordo com as características estudadas neste trabalho considerando o grande volume do lodo e a alta concentração de mangânes que é tóxico quando lixiviados para a água. Propõe-se que a aplicação mais adequada para o lodo da ETA estudada seja na construção civil para fabricação de tijolos, cerâmicas ou misturas em cimentos, visto que vários trabalhos demonstraram que o lodo tem potencial para ser incorporado em massas argilosas, prática que diminui a necessidade de maiores quantidades de argila extraída da natureza, assim como a revalorização do resíduo de lodo que era destinado em aterros sanitários, diminuindo assim os impactos ambientais causados por ambos. Recomenda-se a continuidade de estudos para estimar a quantidade de lodo a ser utilizada nos processos de fabricação dos produtos na construção civil de acordo com a finalidade desejada para se obter um produto final com as qualidades requeridas por este setor.

Apesar deste resíduo conter componentes que não causam toxicidade quando disposto diretamente ao solo e possuir em sua composição macronutrientes que podem elevar a fertilidade do solo que associado a um resíduo orgânico como compostos de serragem e esterco bovino, entre outros resíduos que auxiliem na compostagem, ainda sim seria inviável sua reutilização como insumo agrícola devido ao grande volume produzido mensalmente pela ETA estudada, um vez que, não haveria demanda para aplicação agrícola na região de geração deste lodo e a logística de remanejamento deste lodo como custos com transporte, locais de armazenamento, maquinário, dentre outros seriam inviáveis comparado a utilização pela construção civil, onde as próprias empresas que produzem os materiais desejados podem buscar na ETA o lodo a ser usado, além de não precisarem de nenhum pré tratamento para utilizarem este resíduos em seus processos de fabricação. Além disso, na região onde a ETA se encontra estão presentes, pelo menos, duas fábricas de produtos relacionados à construção civil, para as quais o escoamento desse resíduo teria logística favorável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C.L.; CORDEIRO, J. S. Riscos da destinação de lodos de ETAs - Leis 9.605/1998 e 12.305/2010. In: **XVII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**. 43ª Assembleia nacional do ASSEMAE, de 19 a 24 de maio de 2013, Vitória, ES, Brasil, VII-28, 2013.

AKAMATSU, Claudio; ROSS, Natiéli Cristina Mendes. **Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos**. 2017. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

American Water Works Association – AWWA Committee Report: **Water Treatment Plant Sludges** – An Update of the State of the Art: part 2. J.AWWA, v. 70, n. 10, p. 548 – 554, 1978

ANDRADE P. S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso**, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 10004**:Resíduos Sólidos, 2004,77p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, 2004,16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, 2004,3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 10007**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, 2005,11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012, 5p.

BIDONE, F., SILVA, A. P., MARQUES, D. M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitos de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (coordenador). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final / Rio de Janeiro: RiMa, **ABES**, 2001. p. 215-244.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, 2012. v. 17, n. 3, p. 315-324, 25.out. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017**. Procedimento de Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. Diário Oficial da república, Brasília, 28/09/2017.

BRASIL. **Lei Nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010. Acesso em: 26/09/2021.

CORDEIRO, J. **Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETA's. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CORDEIRO, J.S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água**. São Carlos, 1993. 343p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CORNWELL, D.A, **Water Treatment plant management**. Denver, AWWA, Reseach Foundation, p.308, 1987.

COSTA, A. de F. S.; COSTA, A. N. **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Espírito Santo: Incaper, 2011.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. B – **Métodos e técnicas de tratamentos de água**. 2. ed. São Carlos, 2005: RiMa, p.1315.

FIJALKOWSKI, K.; R. AGNIESZKA; GROBELAK. A; J. KACPRZAK MALGORZATA. The presence of contaminations in sewage sludge - The current situation. **Journal of Environmental Management** n° 203 p.1126 – 1136, 2017. Disponível em:<

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717305418>>. Acesso em: 24 out. 2021.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo e estações de tratamento de Água**. Dissertação de mestrado. Universidade Ouro Preto. Ouro Preto-MG, 2009.

HUESKER Ltda (Brasil). Geossintéticos. In: HUESKER (Brasil). **Geotube SOILTAIN**. Disponível em: <https://www.huesker.com.br/referencias/>. Acesso em: 15 out. 2021.

KURITA (Brasil). **Tratamento Químico para Estação de Tratamento de Água: Coagulação**. [S. l.], 2013. Disponível em: <<https://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-quimico-para-estacao-de-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MANUAL de Tratamento de Água Industrial: **Capítulo 06 - Filtração**. SUEZ Water Technologies & Solutions, 6 fev. 2019. Disponível em: <https://www.suezwatertechnologies.com/handbook/chapter-06-filtration>. Acesso em: 15 out. 2021.

MEGDA, C. R, SOARES, L. V., ACHON, C. L, **Proposta de aproveitamento de lodo gerados em ETAs**, In CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005.

MIGUEL, M. G., BARRETO, R. P., PEREIRA, S. Y. Analysis of aluminum, manganese, and iron adsorption for the design of a liner for retention of the acid mining drainage. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 226, n. 3, p. 67, 2015.

MOLINA, T. Caracterização e tratamento de água de lavagem de filtros de ETA com uso de polímeros sintéticos e amido de batata. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.2.n.3,p. 28-44, 2010.

MOTTA, A.C.V.; HOPPEN, C.; ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; FERNANDES, C.V.S.; PEGORINI, E.S.; SOCCOL, V.T. (2005) **Parecer técnico**. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água. Curitiba. UFPR, 43 p.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, **Resolução CONAMA nº 313**,. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, Publicação - Diário Oficial da União - 22/11/2002. Acesso em: 02/11/2021.

OLINGER, C.; CARDOSO, M.; LAPOLLI, F. R. Caracterização e clarificação da água de lavagem do filtro de uma ETA que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º, 2001, João Pessoa: **Anais**. 2001.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Plataforma Agenda 2030**. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em:< <http://www.agenda2030.com.br/ods/17/>> . Acesso em: 9 de out. 2021.

PAIXÃO L. C. C, YOSHIMURA H. N., ESPINOSA D. C. R., TENORIO J. A. S., **Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa**, *Cerâmica* 54, p 63-76, 2008.

PASTOR, J. R.; CARVALHO, A. R. P. e ZIBORDI, G. **Tratamento Químico para Estações de Tratamento de Água**. KURITA DO BRASIL, 2004.

PATIL, D. S., CHAVAN, S. M. e OUBAGARANADIN, J. U. K. A review of technologies for manganese removal from wastewaters. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 468–487, 2016.

Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017. Disponível em https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html. Acesso 26/11/2021.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas:, Instituto Agrônomo/Fundação

IAC, 1996. 285p

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 285p. (Boletim Técnico nº 100)

REIS, F. D., CÂNDIDO, G. C., OLIVEIRA, L. F., DIAS, S. C. e LEÃO, V. A. Manganese (II) Removal from Aqueous Solutions by *Bacillus cereus*: an Optimization Study Using Experimental Design and Response Surface Methodology. **Water Air Soil Pollute**, v. 228, p. 433, 2017.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 333 p. ISBN 9788521204985.

SABAGG, M. G., MORITA, D. M. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em:< <http://site.sabesp.com.br/site/default.aspx>> Acesso em 24 Out. 2021.

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P.; CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1063-1071, 2001.

SILVA, E. T. da, MELO, W. J. de, TEIXEIRA, S. T. **Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges**. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), nov./dec. 2005, vol.62, no.6, p.559-563. ISSN 0103-9016.

SILVA, É. T.; MELLO, W. J.; TEXEIRA, S. T. Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 559-563, 2005.

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

TEREZA, S; W. J. De MELO; É. T. SILVA. **Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.1, p.91-94, jan. 2005.

TOBIASON, J.E. et al. Full-scale assessment of waste filter backwash recycle. **Journal AWWA**, v. 95, n. 7, p. 80-93, 2003.

TSUTIYA, M.T.; HIRATA, A.Y. (2001) Aproveitamento e disposição final de lodos de Estação de Tratamento de Água do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001. **Anais**. João Pessoa: ABES.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2001. cap. 2, p. 17-67.