



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

VINICIUS BAMPI DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DA APLICAÇÃO E VALORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

ERECHIM

2021

VINICIUS BAMPI DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DA APLICAÇÃO E VALORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS –
Campus Erechim, como requisito para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf

ERECHIM

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Silva, Vinicius Bampi da
Caracterização e estudo da aplicação e valoração de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto de uma instituição de ensino / Vinicius Bampi da Silva. -- 2021.

65 f.:il.

Orientador: Dr. Eduardo Pavan Korf

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Erechim, RS, 2021.

1. Recuperação de áreas degradadas. 2. Biossólido. 3. Condicionador de solo.. I. Korf, Eduardo Pavan, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

VINICIUS BAMPI DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DA APLICAÇÃO E VALORAÇÃO DE LODO DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS –
Campus Erechim, como requisito para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

20/05/2021

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf

UFFS – Erechim

M^a. Suzana Fatima Bazoti

UFFS – Erechim

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann

UFFS – Erechim

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ele ter permitido que eu conseguisse alcançar este momento ao qual eu tanto pedi em orações.

Não poderia deixar de agradecer a minha dinda, Maria Bampi, ao qual sou muito grato por todo amor e ensinamentos para enfrentar todos os obstáculos do dia-a-dia.

Ezequiel Bampi da Silva, tu me deste a oportunidade de ouro quando espontaneamente me inscreveu no caminho da ciência, sou muito grato pelo presente ao qual estou inserido.

Helena Ribeiro Meirelles Sales e Luana Gomes da Silva, minhas grandes amigas, vocês marcaram de uma forma gigantesca neste ciclo que se encerra. Jamais esquecerei todos nossos roles regado a muito estudo e comida.

Gostaria de agradecer ao meu orientador professor Dr. Eduardo Pavan Korf por ter visionado este projeto, além de ter financiado, por meio de recursos aprovados em projeto de pesquisa, os reagentes necessários e as análises laboratoriais externas desta pesquisa.

Quero agradecer ao meu amigo Rodrigo Burin e a organização KEMIA tratamento de efluentes por terem me reinserido no mercado de trabalho, possibilitando um aprendizado contínuo sobre este ramo da engenharia.

Para finalizar gostaria de agradecer a todos os professores que contribuíram no meu caminho evolutivo e a Universidade Federal da Fronteira Sul que me acolheu e deu suporte para que a graduação se torna-se algo real.

“Se cheguei até aqui foi por que me apoiei no ombro dos gigantes”. (ISAAC NEWTON)

RESUMO

Nos dias atuais existe um receio em ascensão devido a notável ampliação da produtividade de lodos oriundos dos tratamentos aplicados nos esgotos domésticos, originando um importante questionamento envolvendo o aprimoramento de alternativas diferentes da simples disposição final em aterros sanitários. Levando em consideração este tema, este trabalho propõe realizar a caracterização do lodo do tratamento de esgoto originado pela Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim e avaliar sua aplicação para fins agrícolas e/ou na recuperação de áreas degradadas. A caracterização deste lodo foi executada frente aos parâmetros da qualidade como o potencial agronômico, estabilidade, substâncias inorgânicas tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos as quais são abordadas na legislação brasileira. Os resultados da análise demonstraram que o lodo de esgoto é estável e rico em macronutrientes primários, mas possui baixos de teores quanto a macronutrientes secundários, o que não inviabiliza o uso. A análise química e bacteriológica do material revelou que o mesmo não tem potencial para ser utilizado como fertilizante agrícola, entretanto mostrou-se viável de ser utilizado como condicionador de solos sendo classificado como biossólido classe 2B. Desta maneira, pode-se verificar que é viável a utilização deste lodo do tratamento de esgoto como material condicionador de solos degradados e não-degradados.

Palavras-chave: Recuperação de áreas degradadas. Biossólido. Condicionador de solo.

ABSTRACT

Nowadays, there is a rising concern due to the notable increase in the productivity of sludge from sewage treatment, giving rise to an important question involving the development of alternatives other than the simple final disposal in landfills. This work aims to characterize the sewage treatment sludge from the Federal University of Fronteira Sul – Campus Erechim and to evaluate its application for agricultural purposes and or in the recovery of degraded areas. The characterization of this sludge was performed through the quality parameters such as agronomic potential, stability, toxic inorganic substances, bacteriological indicators and pathogens, according to Brazilian legislation. The results of the analysis showed that the sewage sludge is stable and rich in primary macronutrients, but hat low levels of secondary macronutrients, which does not unviable the use. The chemical and bacteriological analysis of the material revealed that it has not potential for use as an agricultural fertilizer, however it proved to be feasible to be used as a soil conditioner being classified as a class 2B biosolid. In this way, it can be verified that it is feasible to use this sewage sludge as material to recover non-dregraded and degraded areas.

Keywords: Recovey of degraded areas. Biosolid. Soil conditioner.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de lodo ativado por aeração prolongada	20
Figura 2- Detalhes e microscopia de um típico floco biológico.....	22
Figura 3 - Hidrograma das vazões médias, mínimas e máximas da UFFS campus Erechim .	39
Figura 4 - Carga afluyente há ETE UFFS campus Erechim	40
Figura 5 - Mapa de Localização da ETE pertencente a UFFS campus Erechim	41
Figura 6 - Tratamento aplicado no esgoto bruto da UFFS – campus Erechim	44
Figura 7 - Quarteamento aplicado no lodo da ETE da UFFS – Campus Erechim.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração limite de lançamento abordada na legislação brasileira	16
Tabela 2- Considerações observadas nas ETE's do século XXI	18
Tabela 3 - Métodos de destinação: proveitos e contraposições.....	25
Tabela 4 - Garantias exigidas em lodos de esgoto para a utilização agrícola	33
Tabela 5 - Máxima concentração e acúmulo de aplicação de bio sólido classe 1 em solo agrícola.....	33
Tabela 6 - Classes de Lodo de Esgoto ou Produto Derivado	34
Tabela 7 - Máxima concentração, acúmulo e taxa anual de aplicação de bio sólido classe 2 em solos	37
Tabela 8 - População Contribuinte na origem do Efluente Bruto em 2019	38
Tabela 9 - Dados para determinação da vazão de esgoto na UFFS – campus Erechim	39
Tabela 10 - Dados para a determinação das cargas no esgoto da UFFS – campus Erechim ...	40
Tabela 11 - Concentração dos despejos no esgoto bruto da UFFS campus Erechim.....	40
Tabela 12 - Detalhes dos Reatores Aeróbios empregados na UFFS - Campus Erechim	42
Tabela 13 - Lodo de esgoto mensalmente coletado.....	45
Tabela 14 - Critérios para determinação do potencial agrônomico no lodo de esgoto.....	46
Tabela 15 - Critérios para a determinação de indicadores microbiológicos e patógenos	47
Tabela 16 - Critérios para a determinação de substâncias inorgânicas.....	47
Tabela 17 - Resultados referentes ao potencial agrônomico e estabilidade do lodo	48
Tabela 18 - Resultados referentes as substâncias químicas inorgânicas e agentes patogênicos	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 ESGOTO DOMÉSTICO	15
3.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE).....	17
3.3 SISTEMA DE LODOS ATIVADOS	19
3.4 LODO DO TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO.....	21
3.5 DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....	24
3.5.1 Aterro Sanitário	26
3.5.2 Compostagem	28
3.5.3 Disposição superficial no solo (<i>landfarming</i>)	29
3.5.4 Incineração	30
3.5.5 Reciclagem agrícola.....	31
3.5.6 Recuperação de áreas degradadas.....	35
4 METODOLOGIA	38
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.1.1 Etapas do Tratamento de Esgoto.....	42
4.2 AMOSTRAGEM	44
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA REPRESENTATIVA DO LODO.....	46
5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	48
5.1 POTENCIAL AGRONÔMICO E ESTABILIDADE DO LODO.....	48
5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E BACTERIOLÓGICA	52
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	55

1 INTRODUÇÃO

Os esgotos sanitários são constituídos por uma variada gama de substâncias, e segundo Jordão e Pessoa (2011, p. 17) “existe hoje uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos esgotos, a sua consequência sobre o meio ambiente, a qualidade das águas, e usos benéficos”.

De acordo com Vesilind e Morgam (2015), as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) desenvolvem em seus processos um subproduto (biossólidos) contendo considerável potencial químico energético que pode causar grandes problemas a saúde pública, bem como agravar o ecossistema aquático quando descartados de forma inadequada. Bettiol e Camargo (2006) asseguram que este lodo resultante do esgoto tratado é abonado em nutrientes e Matéria Orgânica (MO), desta forma torna-se imprescindível o estudo de estratégias de valorização e reuso deste resíduo e redução da simples disposição final em aterros sanitários, visando a não conversão deste resíduo em um novo inconveniente ambiental.

Nos dias atuais existe um receio em ascensão das autoridades brasileiras, devido a notável ampliação da produtividade de lodos oriundos dos tratamentos aplicados nos esgotos domésticos, originando um importante questionamento envolvendo o aprimoramento de alternativas diferentes da simples disposição final. Em concordância com Damasceno e Campos (1998), a redução dos impactos ambientais causado pelos contaminantes e agentes patógenos presentes nos lodos podem ser alcançados a partir de um gerenciamento minucioso aplicado ao tratamento bem como na disposição final, ressaltando que sua aplicação na agricultura é considerada economicamente propícia e ambientalmente viável. Por outro lado, Lopes (2013, p. 16) salienta que “o lodo de esgoto é um produto de difícil disposição final não só devido à produção em grande quantidade, mas também devido à sua alta concentração de metais tóxicos e patógenos, assim o uso agrícola do lodo de esgoto é restrito a poucas culturas”.

No Brasil, a disposição final do lodo de esgoto frequentemente é realizada em aterros sanitários devido a sua simplicidade, contudo, Silva et al. (2011) afirma que se os solos destes locais não forem impermeabilizados podem apresentar impactos ambientais severos sobre as águas subterrâneas devido a percolação do líquido no solo, pois conforme Vesilind e Morgan (2015) a disposição inadequada de lodo de esgoto pode representar um problema crítico.

Neste trabalho é estudado o lodo da estação de tratamento de esgoto pertencente a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – campus Erechim. Este lodo atualmente não possui utilização, então propõe-se o estudo da alternativa de uso deste resíduo como

fertilizante na agricultura ou condicionante de solos degradados, observando legislações específicas de disposição no solo, justificando-se como uma forma de agregação de valor ao resíduo e redução de impactos ambientais.

Neste sentido, encontrou-se na literatura vários trabalhos que tratam desta utilização (DAMASCENO; CAMPOS, 1998; BEZERRA, 2006; PADOVANI, 2006; LIMA et al., 2008; MIRANDA, 2009; DE ARAUJO, GIL E TIRITAN, 2009; MESSIAS, 2010; SOARES; SARAIVA, 2011; SILVA et al., 2012; CORREIA, 2014; FREDDO, 2014; ONOFRE; ABATTI; TESSARO, 2015; ALMEIDA et al., 2017; ABREU et al., 2019) no entanto, não se encontrou trabalhos com o estudo de caracterização para a aplicação de lodo no solo, oriundo de efluentes sanitários gerados em universidades, o que caracteriza como o diferencial desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho propõe realizar a caracterização do lodo do tratamento de esgoto originado pelo tratamento biológico conhecido como sistema de lodo ativado na UFFS – campus Erechim e avaliar sua aplicação para fins agrícolas e na recuperação de áreas degradadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar caracterização físico-química e microbiológica do lodo;
- Confrontar os resultados obtidos frente as concentrações limites estipulada pela legislação em vigor e literatura;
- Enquadrar e classificar o lodo de esgoto para fins de aplicação no solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESGOTO DOMÉSTICO

A produção de efluentes domésticos gera consideráveis impactos ambientais, a qual está entrelaçada diretamente ao crescimento das cidades, atividades econômicas e seus desenvolvimentos tecnológicos. Segundo Moraes (2002), apenas 1% de toda água contemplada pelo globo terrestre é caracterizada como água doce e o território brasileiro dispõe aproximadamente de 8% deste montante. Contemporaneamente a poluição das fontes subterrâneas e superficiais de águas doces, bem como a degradação da qualidade da água é um fenômeno cada vez mais habitual pelo mundo. Este problema é derivado dos controles impróprios dos efluentes industriais, desmatamentos, práticas agrícolas inadequadas, posicionamento incorreto de unidades industriais, migração desenfreada da agricultura, extravio e desmantelamento das bacias de captação e o tratamento ineficaz dos esgotos domésticos.

De acordo com o parágrafo VII do art. 4º encontrado nas definições do capítulo I da resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), o esgoto doméstico é a denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcelas de efluentes industriais e efluentes não domésticos. Jordão e Pessôa (2011) explicam que os esgotos domésticos assim como os industriais são fontes pontuais clássicas de poluições urbanas, os mesmos aportam sólidos, organismos patogênicos, nutrientes, metais e inúmeras substâncias além de serem agentes que originam o esgotamento do oxigênio nos cursos de água. Por outro lado, Nass (2002) afirma que alguns impactos ambientais como a atenuação do teor de oxigênio originado por uma pequena carga de esgoto doméstico lançado em um rio não são considerados poluição, desde que não afete o ambiente dos peixes e dos seres que são consumidos pelos mesmos.

Jordão e Pessôa (2011, p. 37) definem que “os esgotos domésticos ou domiciliares provem principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas [...]. Compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, resto de comida, sabão, detergentes, águas de lavagens”.

O esgoto líquido quando não abrange parcelas de esgoto industrial é constituído por volta de 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não

sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas. Nuvolari et al (2011) explica que devido a enorme preponderância da água na constituição do esgoto, suas características físicas bem como sua reação as ações de forças externas devem ser consideradas as mesmas da água pura. Por outro lado, Mendonça (2016, p. 23) considera que “a poluição proveniente dos resíduos domésticos, [...] pode causar grandes danos aos ecossistemas, pois possui, em sua composição, matéria orgânica e micro-organismos patogênicos”.

As alterações nos estados da biota aquática, são originadas inúmeras vezes pelo lançamento *in natura* do esgoto doméstico em corpos hídricos receptores. A capacidade de depuração destes corpos é comprometida quando a carga poluidora do efluente no ambiente não atinge níveis admissíveis de lançamentos, desta forma, Silva et al. (2011) aborda que contemporaneamente sistemas aeróbios, anaeróbios, bem como físico-químicos são empregados como tecnologias de tratamento de esgotos. A tabela 1, apresenta a máxima concentração permitida no esgoto domésticos tratado ao serem lançados em corpos hídricos receptores.

Tabela 1 - Concentração limite de lançamento abordada na legislação brasileira

Parâmetros da qualidade do efluente tratado	NBR 13969 ¹	CONAMA 430	CONSEMA 355 ²
Coliformes termotolerantes [UFC.100 mL ⁻¹]	< 1000	-	-
Coliformes totais [UFC.100 mL ⁻¹]	-	-	-
DBO ₅ ²⁰ [mg O ₂ .L ⁻¹]	< 60	120	120
DQO [mg O ₂ .L ⁻¹]	< 150	-	330
Fósforo total [mg P.L ⁻¹]	< 1,6	-	4
Nitrogênio amoniacal [mg N-NH ₃ .L ⁻¹]	< 5	20	20
Óleos e graxas totais [mg.L ⁻¹]	< 50	100	10
Oxigênio dissolvido [mg O ₂ .L ⁻¹]	> 2	-	-
Potencial hidrogeniônico [pH]	6 < pH < 9	5 < pH < 9	6 < pH < 9
Sólidos sedimentáveis [mL.L ⁻¹]	< 1	1	1
Sólidos em suspensões totais [mg.L ⁻¹]	-	-	140
Temperatura da amostra [°C]	< 40	40	40

Fonte: Adaptação NBR n° 13969 (ABNT,1997), resoluções n° 430 (CONAMA, 2011) e n° 355 (CONSEMA,2017)

¹ Enquadramento da qualidade do efluente como classe d segundo item 5.5.1

² Enquadramento como vazão de efluente tipo 1 (Q < 200 m³.d⁻¹) utilizando vazão de lançamento de projeto

3.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)

Os fenômenos de deserção dos organismos aquáticos excêntricos bem como o aumento da mortandade envolvendo peixes nativos de um corpo hídrico receptor são consequências associadas a condições anaeróbias, estimuladas pelo depauperamento do Oxigênio Dissolvido (OD). Esse fenômeno é fomentado por ações antrópicas, ao promoverem no meio ambiente incessantes lançamentos de despejos sanitários não processados. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1985) alega que aspectos sociais, econômicos e sanitários são prejudicados, refletindo negativamente no corpo social quando as fontes de água potável apresentem traços anaeróbios, por outro lado, esta lesão pode ser diminuída ao empregar anteriormente ao seu lançamento métodos de tratamento que possibilitem a redução de sua carga poluidora.

Na perspectiva técnica contemporânea, são destacados diversos métodos que possibilitam de forma eficaz o tratamento dos esgotos. Segundo Nuvolari et al (2011), cada tratamento apresenta vantagens e desvantagens alusivas há área de implementação da ETE, eficiência atingida no processo, emprego ou não de dispositivos eletromecânicos e seu gasto energético, refinamento na fixação e operacionalidade e conveniência de operadores no processo. Além disso, as técnicas definidas para o tratamento do esgoto sanitário de uma pequena, média e/ou grande metrópole depende muito das peculiaridades envolvendo clima, valores das áreas habitacional, condições topográficas e particularidades do corpo hídrico receptor dos despejos tratados.

De acordo com a resolução nº 355 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA, 2017) as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) são agrupamento de unidades introduzidas com o escopo na diminuição das cargas poluidoras decorrentes do esgoto líquido bem como o enquadramento dos parâmetros fixados para o seu lançamento no ambiente. As mesmas são caracterizadas por serem pontos relevantes em meio líquido de solutos como o fósforo (P) e o nitrogênio (N), aos quais se metamorfoseiam em formas velozmente assimiláveis na diversificação e promoção de plantas aquáticas. Consoante com Chao (2006) esses nutrientes têm a potencialidade de estimular a eutrofização, desta forma é de suma importância a extração destes elementos químicos no tratamento de esgoto, objetivando em primeira instância a preservação da qualidade da água, o meio ambiente, bem como, a saúde pública.

Conforme Jordão e Pessoa (2011, p. 137), “não obstante, a escolha da ETE no novo milênio não se restringe apenas às exigências ambientais, de saúde pública, estéticas ou

legais. Considera igualmente exigências tecnológicas, exigências da economia, e mesmo os anseios da comunidade”.

A tabela 2, retrata as considerações primordiais que a ETE contemporânea deve atender.

Tabela 2- Considerações observadas nas ETE's do século XXI

Exigências Tecnológicas	Exigências da Economia	Anseios da Comunidade
Uso de novos materiais	Baixo consumo energético	Redução da área ocupada
Instrumentação e automação	Maior relação benefício/custo	Disposição final do lodo com segurança
Baixa produção de lodo	Otimização dos custos de investimentos e operacionais	Controle de odores
Operacionalidade	Menor custo de construção	Redução dos impactos ambientais
Maior eficiência na remoção de matéria orgânica	Menor custo de operação	Aceitação pelo público
Maior eficiência na remoção de nutrientes		Melhoria da qualidade do corpo receptor
Maior eficiência na remoção de organismos patogênicos		Melhoria nas condições de saúde
Simplicidade construtiva		
Simplicidade operacional		
Flexibilidade operacional		

Fonte: JORDÃO e PESSÔA, 2011, p. 136

Um dos métodos empregados anteriormente ao lançamento do esgoto sanitário processado ao meio ambiente é o tratamento biológico aerado, ao qual baseia-se replicando sinteticamente os meios de biodegradabilidade dos corpos hídricos receptores. A norma técnica L1.025 (CETESB ,1985) afirma que os processos de lodos ativados se enquadram entre os mais executados dentre os tratamentos biológicos aerados, sua operação utiliza fermentação aeróbia constante, reaproveitando a biomassa originada como subproduto aclimatado e inóculo permanente neste tipo de tratamento destinado ao esgoto bruto sanitário.

3.3 SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

Os tratamentos de esgoto que utilizam os sistemas biológicos atuam empregando aglomerados de microrganismos (bactérias heterotróficas) para degradar e estabilizar a matéria orgânica presente no efluente bruto. Silva et al. (2011) explica que a matéria orgânica quando modificada para massa celular, onde a bactéria é dependente de energia química, denomina-se como anabolismo, por outro lado, quando o produto estabilizado originado pela matéria orgânica libera energia para o sistema, conseqüentemente para as bactérias que atuam no anabolismo, denominam-se como processos catabólicos, aos quais podem ser de ordem fermentativas ou oxidativas.

O método popularmente conhecido como sistema de lodo ativado é uma técnica de ação biológica. Sua execução baseia-se amalgamando continuamente em tanques de aeração todo esgoto bruto que chega ao tratamento com o lodo ativado existente no sistema para posteriormente serem desassociados utilizando métodos de sedimentação em decantadores. Jordão e Pessoa (2011) afirmam que uma quantidade considerável do lodo biológico segmentado do esgoto tratado na sedimentação regressa para a fase aerada, em contra partida, o lodo em excesso é recolhido e encaminhado para um tratamento e disposição final. Segundo Nuvolari (2011, p. 264) “trata-se do sistema mais utilizado nas grandes ETE’s e apresenta inúmeras variações. O chamado sistema convencional é composto de diversas unidades, cuja finalidade principal é a remoção dos sólidos presentes no esgoto”.

Basicamente, o sistema é desenvolvido com tanques, aeradores, decantadores e bombas que façam com que o lodo em excesso possa recircular entre os compartimentos do mesmo. De acordo com Soares et al. (2014), a massa biológica degenera a matéria orgânica presente no esgoto sanitário bruto, conseqüentemente o mesmo desenvolve e aglutina biologicamente no interior do decantador, possibilitando estratificar os microrganismos em suspensão que retornam para a fase de aeração e o esgoto sanitário tratado.

Contemporaneamente, o tratamento abordando o sistema de lodo ativado em esgotos sanitários é o mais adotado em todo mundo devido a pouca área necessária para a implementação do mesmo, mas em especial ao fato de o sistema apresentar elevada eficiência degradante. Consoante com Bento (2005), o processo fundamenta-se utilizando oxidação bioquímica originada pelo trabalho de microrganismos em ambiente aeróbio sobre os constituintes orgânicos e inorgânicos exibido pelo esgoto a ser tratado.

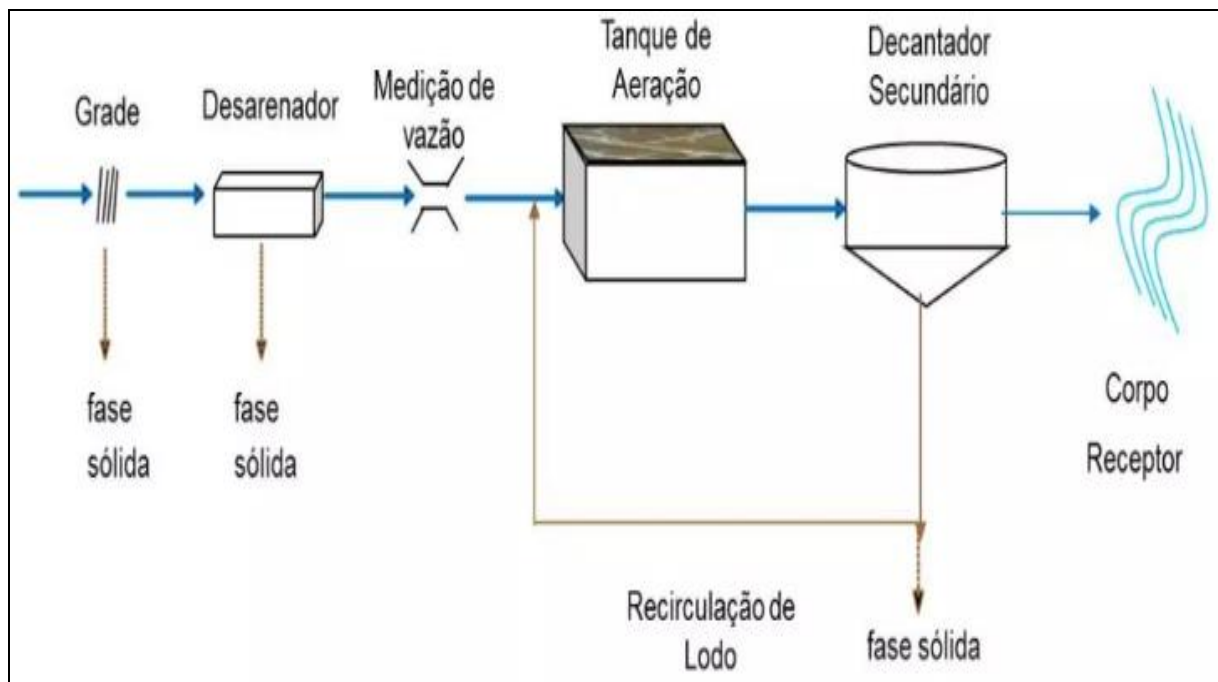
O sistema de lodo ativado quando processado de forma apropriada, apresenta grande predominância de bactérias de bastonetes Gram-negativos e bactérias filamentosas no floco da

biomassa assim como livres no tratamento. Segundo Cordi et al. (2008), a habilidade degradante apresentada pelos microrganismos em relação aos compostos orgânicos tóxicos é notória, em contrapartida, estes processos podem apresentar baixa eficiência em razão ao pouco monitoramento dos microrganismos que atuam na biodegradação do esgoto sanitário. Além disso, parâmetros de controle e monitoramento como a relação alimento/microrganismo (A/M), Índice Volumétrico do Lodo (IVL), análise da microbiota e físico-químicos (pH, temperatura, OD, SST e SSV) devem ser empregados ao sistema de lodo ativado.

A técnica de tratamento de esgoto sanitário embasado pelo sistema de lodo ativado denota circunstâncias favoráveis ao seu emprego e outras divergentes. Jordão e Pessôa (2011) afirmam que, entre as vantagens, destacam-se a maior eficiência de tratamento, flexibilidade de operação e menor área ocupada, em contrapartida, suas desvantagens aparecem por ter uma operação mais delicada, necessidade de completo controle laboratorial e custo de operação mais cara. Nuvolari (2011) explica que devido a inclusão de oxigênio a massa líquida e a recirculação do lodo pelas bombas fazem o método apresentar um alto consumo de energia.

A figura 1 apresenta detalhes de como é executado o tratamento por aeração prolongada do sistema de lodo ativado.

Figura 1 - Sistema de lodo ativado por aeração prolongada



Fonte: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-lodos-ativados/>

3.4 LODO DO TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO

O tratamento dos esgotos sanitários no atual panorama em que a população global está inserida é compreendido como uma forte e ponderosa forma de preservar o meio ambiente. Braga et al. (2005) afirmam que os corpos de água experimentam dinâmicas lesivas que afetam os peixes e inúmeras espécies aquáticas devido a matéria orgânica bem como as substâncias conduzidas pelos efluentes domésticos. Segundo Jordão e Pessôa (2011, p. 101), “o tratamento dos esgotos gera alguns sub-produtos, na forma sólida, semissólida, ou líquida, que devem receber um tratamento específico antes de sua disposição final”.

Uma característica marcante nos processos de tratamentos de esgoto é a capacidade de originar subprodutos sólidos como os materiais gradeados, areias, escumas, lodos primários, secundários, além de lodos químicos quando se tem a aplicação de fases físico-químicas no procedimento e consoante com Von Sperling (2005), o tratamento utilizado na fase líquida do efluente é fundamental para o surgimento do lodo.

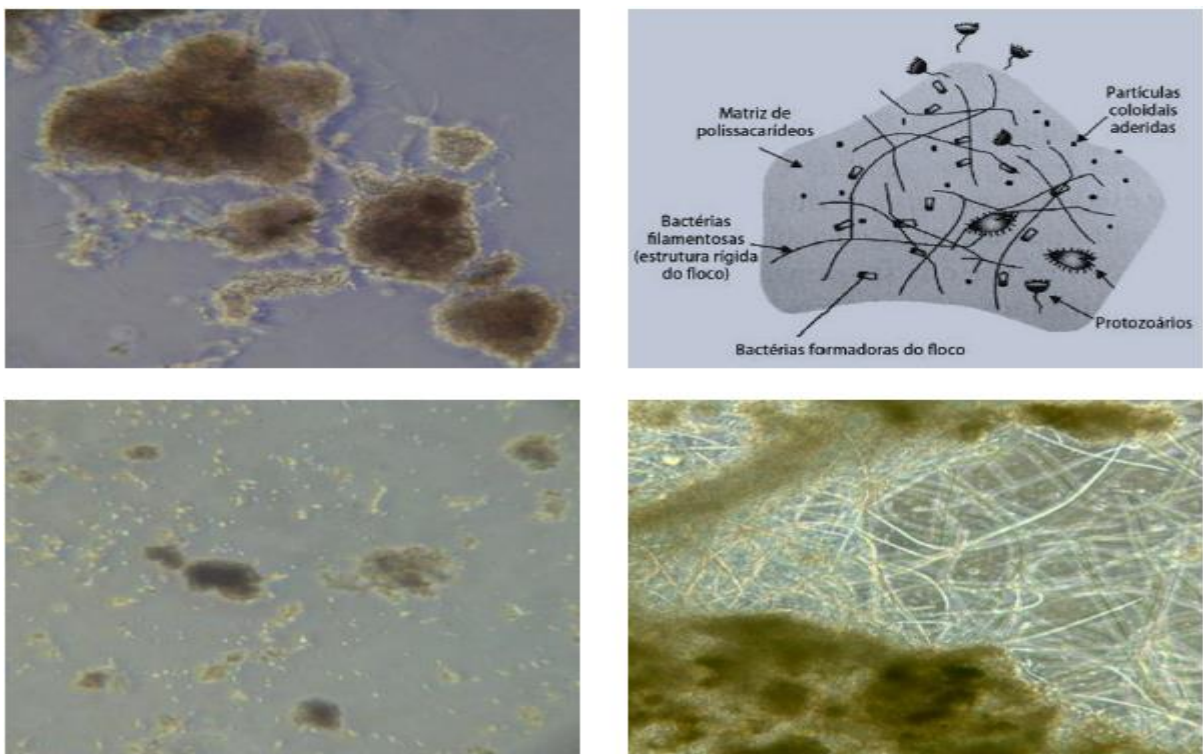
Segundo a resolução nº 375 (CONAMA, 2006), o lodo de esgoto é conceituado como todo resíduo gerado nos tratamentos dos esgotos sanitários. Lopes (2013, p. 14) define que o lodo de esgoto “é composto basicamente de biomassa e nutrientes [...] e pode conter potenciais constituintes nocivos tais como: microrganismos patogênicos, metais pesados e componentes sintéticos”. As ETE’s que manipulam processos de lodo ativado, segundo Nuvolari (2011), apresentam formação per capita de 82 g.d⁻¹ de sólidos secos, sendo que esta peculiaridade tende a ser amplificada de forma contínua devido ao aumento dos seres humanos no planeta, promovendo uma problemática de solução envolvendo a disposição final dos lodos de esgoto.

Em concordância com Von Sperling (2005), os lodos primários são constituídos por sólidos sedimentáveis oriundos do esgoto bruto processados em decantadores primários. Nos decantadores primários, os lodos primários são removidos como sólidos que sedimentaram no seu interior. Conforme Nuvolari (2011) esse material é exageradamente viscoso, odor surpreendentemente hostil, coloração acinzentada e teores de sólidos totais variando entre 1 a 7% (93 a 99% de água) e apresenta uma enorme porcentagem de matéria orgânica putrescível (não estabilizada) enquanto que Jordão e Pessôa (2011, p. 107-108) caracterizam que “o lodo primário, ou bruto, é o lodo retirado dos decantadores primários; pode apresentar características variáveis, [...], o lodo de boa qualidade pode ter de 4 a 10% de sólidos secos, sendo 5% um valor típico”.

O lodo secundário é a massa biológica (em excesso) removida do esgoto tratado na fase de clarificação empenhado pelos decantadores secundários. Sua exclusão do sistema é possível devido ao fenômeno de floculação, originando agrupamentos granulares que precipitam por gravidade de forma floculenta. Segundo Horan (1990) e Von Sperling (1993b), apud Nuvolari (2011), o equilíbrio entre os organismos formadores de floco e os organismos filamentosos é minucioso e categórico na qualidade dos bio sólidos. Quando existe harmonia entre as bactérias, o lodo apresenta adensabilidade e decantabilidade ótimas, por outro lado, quando há hegemonia das bactérias formadoras de floco ocorre o crescimento pulverizado (pin-point flocc) onde os flocos biológicos são fracos e pequenos, apresentando uma decantabilidade ruim e pouca rigidez e quando há predomínio das bactérias filamentosas ocorre o intumescimento do lodo (sludge bulking), o floco ocupa volume excedente, diminuindo a qualidade do efluente já tratado.

Na figura 2, o primeiro quadrante apresenta a configuração típica de um floco biológico, no segundo quadrante um floco biológico ideal ($80 \text{ mL.g}^{-1} < \text{IVL} < 120 \text{ mL.g}^{-1}$), já no terceiro quadrante um pin-point flocc ($70 \text{ mL.g}^{-1} < \text{IVL}$) e no quarto quadrante um floco com problema de bulking filamentoso ($150 \text{ mL.g}^{-1} > \text{IVL}$).

Figura 2- Detalhes e microscopia de um típico floco biológico



Fonte: Adaptação de PIEDADE, [s.d]; ROSA e BAZZANELLA, 2013

O procedimento de descarte do lodo excedente é regido pela Idade do Lodo (IL), também conhecido por tempo médio de detenção celular ou tempo médio de residência dos organismos. De acordo com Jordão e Pessoa (2011) esta variável é reconhecida como crucial na sedimentação dos biossólidos e na qualidade do esgoto tratado. Evidências nos processos de lodos ativados convencionais exibem variações da IL entre $4 < \text{dias} < 15$ e acima de 18 dias para sistemas de lodo ativado com aeração prolongada. Os mesmos alegam que a concentração do teor de sólidos é de 0,2 a 0,4% se removido direto no tanque de aeração e de 0,75 e 1,5% ($7.500 < \text{mg.L}^{-1} < 15.000$) se eliminado do sistema exatamente na linha de recirculação do lodo biológico.

Os biossólidos excluídos dos decantadores secundários em sistemas convencionais ostentam aspectos floculentos e podem apresentar uma coloração marrom clara conjuntamente com um inócuo odor de terra úmida, característicos de um lodo biológico fresco e bem aerado ou apresentar uma coloração marrom mais escura associado a um asqueroso cheiro de matéria em putrefação, característicos de um lodo biológico com condições propínquas às sépticas. Em concordância com Metcalf e Eddy (1991), apud Nuvolari (2011), estes lodos apresentam uma variação de sólidos totais entre 0,5 a 1,5% e devem ser digeridos antes de terem seu destino final, contudo o lodo secundário derivado da metodologia de aeração prolongada expõe peculiaridades distintas da metodologia convencional, evidenciando teores de sólidos totais entre 0,8 e 2,5% já digeridos aerobiamente.

Em alguns sistemas, o lodo secundário é tratado juntamente com parcelas de lodo primário, originando os lodos mistos. Por outro lado quando o sistema apresenta etapas físico-químicas visando o aperfeiçoamento na etapa de decantação primária e/ou lapidação do esgoto já tratado é produzido o lodo químico. Von Sperling (2005, p. 360) explana que “este lodo é usualmente resultante da precipitação química com sais metálicos ou com cal. A preocupação com odores é menor que com o lodo primário, embora estes possam ocorrer [...]. A taxa de decomposição do lodo químico nos tanques é menor que a do lodo primário”.

Antes de estipular o devido destino do lodo de esgoto é necessário que o mesmo passe por uma etapa de higienização. De acordo com Andreoli e Pinto (2001) as três alternativas de higienização mais econômicas são designadas pelos processos de caleação (ascensão do pH acima de 12), compostagem (elevação da temperatura através da biodegradação da matéria orgânica) e tratamento térmico utilizando energia alternativa (energia solar e/ou biogás).

3.5 DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

As possibilidades de destino final do lodo de esgoto são numerosas, entretanto o direcionamento destes resíduos sólidos é determinado pelo tipo de tratamento facultado aos mesmos. Segundo Correia (2014) o desleixo ao gerenciar os biossólidos pode acarretar o surgimento de impactos negativos como a atenuação na eficiência tecnológica das estações de tratamento de esgoto devido ao amontoamento do lodo nos leitos de secagem, exercendo a proliferação de vetores que atuam como agentes de doenças infecciosas e parasitárias. Outro importante problema em lodos de tratamento de esgoto é a concentração de metais pesados, ao qual pode ser muitas vezes significativa, podendo conter de 50 e 80% da quantidade de metais do esgoto bruto (DAMASCENO e CAMPOS, 1998, p. 2, apud LESTER et al., 1983).

No Brasil, o tratamento dado aos lodos oriundos de ETE's surge com grande ênfase devido à amplificação do número de instalações destes locais. Outro grande problema é o dever de atender os requisitos ambientais, fazendo com que o destino final do lodo residual seja uma atividade complexa e de alto custo, além de ser um enorme problema ambiental para as empresas de saneamento, seja ela pública ou privada. De acordo com Pedroza et al. (2010, p. 3) “o tratamento da fase sólida de uma ETE aeróbia representa, aproximadamente, 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e 90% dos problemas operacionais”.

Em virtude do enorme acréscimo na geração de lodo de esgoto, a problemática envolvendo o tratamento e destinação final vem surgindo como uma apreensão de nível global. Algumas possibilidades para o destino destes resíduos no ambiente como a incineração, disposição oceânica, reuso industrial e o encaminhamento para aterros sanitários já são utilizados de forma extensiva. No ponto de vista de Messias et al. (2010) os lodos são providos de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes, podendo aprimorar características produtivas quando aplicados aos solos como condicionante agrícola. Além disso torna as plantas mais resistentes, reduzindo os gastos com a aquisição de pesticidas. Por outro lado, Lopes (2013) argumenta que a disposição final do lodo de esgoto é difícil devido as grandes concentrações de patógenos e de metais pesados apresentado pelos mesmos, por este motivo o gerenciamento e a caracterização preliminar do lodo transfiguram-se imprescindível para que desta forma não seja prejudicado os benéficos ambientais e sanitários previstos com o tratamento dos esgotos sanitários.

A disposição final do lodo de esgoto doméstico no território brasileiro é um transtorno ordinário em diversos municípios e o seu reaproveitamento como insumo para a obtenção de

novos materiais é considerado um exemplo de inovação sustentável. Em conformidade com Hirata et al. (2015), os biossólidos empregados como insumo agrícola não tem forte disseminação no Brasil, contudo, já é parte integrante de programas nacionais de controle de impactos ambientais (agricultura sustentável) da Agenda 21 e a eficácia desta prática tem sido abordada em diversas pesquisas devido ao acúmulo de alguns poluentes no ar, águas superficiais e subterrâneas, além de entrarem na cadeia alimentar uma vez adicionados sobre o solo. Em países como a Alemanha, Espanha e Japão a utilização de lodos de ETE's como matéria-prima na indústria da cerâmica vem sendo adotada devido à redução máxima dos riscos ambientais ao processar os mesmos em fornos com altas temperaturas.

O retrato da disposição final dos biossólidos na União Europeia (UE) revela que 27 países utilizam como principal alternativa o emprego agrícola e leve e gradual avanço da difusão de lodos de compostagem diretamente ao solo. No Brasil, Castro et. al (2015) mapearam as principais tendências do uso e disposição do lodo utilizando a metodologia Mapping Study, tendo como embasamento os trabalhos técnico-científicos publicados entre 2004 e 2014 no Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Scientific Eletronic Library Online (SciELO) Brasil. Este mapeamento indicou que 276 (91,7%) artigos tratam da utilização do lodo de esgoto no solo (agricultura, produção silvícola, recuperação de áreas degradadas e produção de espécies ornamentais) e 25 (8,3%) artigos como aplicação industrial (obtenção de energia térmica ou elétrica, mistura para a fabricação de artefatos cerâmicos e emprego na construção civil).

A tabela 3 apresenta as vantagens e desvantagens de algumas disposições finais.

Tabela 3 - Métodos de destinação: proveitos e contraposições

Alternativa de destinação	Vantagens	Desvantagens
Aterro Sanitário	Baixo custo; Acelera processo de biodegradação.	Necessita de grande área; Desperdício da matéria orgânica; Distante de centro urbano; Solo deve ser impermeável; Produção de gases e lixiviado; Dificuldade e demora para a recuperação da área pós

		encerramento do aterro.
		Possível acumulação de metais pesados e/ou elementos de difícil decomposição no solo;
		Possível contaminação do lençol freático;
		Provoca mau odor;
		Atração de vetores;
		Dificuldade de reintegração da área.
		Alto custo;
		Gerenciamento das cinzas;
		Poluição atmosférica;
		Destruição da matéria orgânica.
		Limitações referentes a composição do lodo e a taxa de aplicação;
		Contaminação do solo;
		Contaminação dos alimentos;
		Possível patogenicidade;
		Liberação de maus odores.
		Destino ambientalmente seguro;
		Alteração nos processos.
		Liberação de maus odores;
		Limitação de composição do lodo para tal uso;
		Possível contaminação da biota e do lençol freático.
Disposição Superficial no Solo (landfarming)	Baixo custo; Disposição de grandes volumes por unidade de área.	
Incineração	Redução drástica de volume; Esterilização.	
Reciclagem Agrícola	Grande disponibilidade de áreas; Efeito positivo sobre o solo; Solução a longo prazo; Potencial como fertilizante; Resposta positiva das culturas em que é utilizado.	
Reciclagem Industrial	Destino ambientalmente seguro; Preservação das jazidas.	
Recuperação de áreas degradadas	Alta taxa de aplicabilidade do lodo; Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e flora.	

Fonte: Adaptação de Lee e Santos, 2011; Hirata et al., 2015

3.5.1 Aterro Sanitário

A disposição final de lodo de ETE no Brasil correntemente é o aterro sanitário. Hirata et al. (2015) aborda que esta modalidade tem alto custo, podendo chegar a 50% do custo de

operação, além de tornar mais grave a problemática de manipulação e controle dos resíduos sólidos urbanos quando encaminhado aos aterros sanitários lodos com alta carga orgânica. Em todo país é uma prática comum a codisposição do lodo em aterros sanitários, contudo, existe uma carência de estudos geotécnicos relacionado a melhor opção operacional ou que reflexionem a codisposição no projeto. Bringhenti et al. (2018) apresenta que a gradativa introdução de lodos de esgoto em aterros sanitários pode promover a instabilidade dos taludes, conseqüentemente, a segurança operacional é comprometida devido ao aumento da poropressão causada pelos baixos parâmetros de resistência ao cisalhamento e a grande quantidade de líquido inserido no maciço sanitário, fazendo com que os gestores de aterros sanitários resistam a aceitação de lodo bruto em função da possível instabilização na massa do resíduo, acréscimo no desenvolvimento de chorumes e agravos aos aspectos ambientais que originam efeitos a saúde.

A NBR n° 8419 (ABNT, 1992) define aterro sanitário como disposição dos resíduos sólidos urbanos ao solo, onde utiliza-se conceitos da engenharia para confinar ao menor volume permissível na menor área possível os resíduos domiciliares, promovendo a diminuição dos impactos ambientais. Aterros sanitários são apontados como uma das estratégias mais eficiente de disposição dos resíduos sólidos urbanos devido ao controle seguro e eficaz do procedimento, apresentando bom custo-benefício, além de recepcionar e acondicionar uma ampla gama de resíduos urbanos distintos. De acordo com Elk (2007), o aterro sanitário atua como um reator dinâmico pelos quais são originados biogás, lixiviados e resíduos mineralizados (húmus) devido a deterioração da matéria orgânica ao longo de reações químicas e biológicas.

Em países como os Estados Unidos, Canadá, Itália, Noruega, China, Austrália e África do Sul são aplicados os lodos de esgoto em coberturas de aterros sanitários. Pimentel et al. (2012) abordam que esta metodologia de disposição final é exercida preferencialmente quando o bio-sólido não apresenta as qualidades imprescindíveis para uma utilização mais nobre. Neste caso, benefícios como o melhoramento da qualidade dos lixiviados, aceleração da decomposição dos resíduos e a intensificação na produção de metano (CH₄) são originados quando aplicado como cobertura diária, além de favorecer o aproveitamento dos nutrientes no crescimento da vegetação quando aplicado sobre a cobertura final, promovendo a repreensão da erosão e de chorumes.

Pimentel et al. (2012) em sua dissertação utilizou o lodo de esgoto originado em sistema de tratamento por lodo ativado, modalidade aeração prolongada, como cobertura, chegando à conclusão que no traço (solo:lodo) 1:1 com 30% de cal é aconselhável para

coberturas finas em camadas superficiais e o traço (1:2,33) com 30% de cal para coberturas diárias e intermediárias, além de o traço 1:1 com 45% de cal para coberturas finais e intermediárias, favorecendo a camada vegetativa e a redução da erosão e infiltração da água da chuva, conseqüentemente, enfraquecendo o potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

3.5.2 Compostagem

A compostagem é definida pela resolução nº 481 do CONAMA (2017, p. 1) como “processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuada por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem”. Além disso a NBR nº 13591 (ABNT, 1996) explica que o método é processado empregando fases de degradação ativa (estabilização) e maturação.

O processo tem grande relevância no panorama ambiental, seu potencial na reciclagem de materiais e energia fazem com que o método tenha um enorme destaque na destinação final dos resíduos sólidos orgânicos, porém, sua aplicação no Brasil é restringida por apresentar investimentos altos e problemas operacionais. Segundo Scoton (2012), a compostagem é facultada devido a ação de microrganismos, originando um produto estável similar ao solo, que pode ser utilizado como adubo devido a sua marcante presença de nutrientes minerais para as raízes das plantas, assim como húmus que otimiza as peculiaridades físico-químicas e biológicas da leiva ou solo que receberá o composto.

Ao decorrer da técnica a matéria orgânica do biossólido utilizado juntamente com o material estruturante são convertidos em água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), biomassa e o composto estabilizado devido a ação degradante dos microrganismos aeróbios presentes no sistema. Miki (2008) aponta que as vantagens da compostagem em relação a outros tratamentos são a obtenção de um produto final armazenável com potencial para a venda, além disso o método pode ser combinado a outras abordagens. Por outro lado, suas desvantagens são relacionadas a predisposição na formação de bioaerossóis e maus odores, necessidade de grandes áreas e custo muito elevado quando comparado com a sobreposição diretamente ao solo.

Um produto uniforme que realize a nutrição agrônômica apresentando características inodoras e quimicamente estáveis tem relação direta com os insumos adotados no processo, Ribeiro (2018) argumenta que fatores como a relação carbono/nitrogênio, aeração, teor de

nutrientes, bem como de umidade e temperatura influenciam o índice de respiração (estabilidade) e o índice de germinação (maturidade) aos quais são adotados como qualidades do composto. Além disso, sinaliza em seus estudos que ao misturar lodo de esgoto com bagaço de cana-de-açúcar e casca de eucalipto originou-se compostos com relação C/N menor que 20, pH inferior a 6, umidade abaixo de 70%, temperatura superior a 55 °C em 15 dias e fraca concentração de metais pesados. Desta forma, foi possível utilizar os compostos como fertilizantes na agricultura.

3.5.3 Disposição superficial no solo (*landfarming*)

O tratamento conhecido como *landfarming* é executado acomodando resíduos sólidos sobre a superfície do solo (zona de tratamento). Este procedimento visa a degradação por trabalho biológico de toda matéria orgânica e íons metálicos da massa aplicada na zona reativa do mesmo, tendo como regulamentação a NBR n° 13.894 (ABNT, 1997). Rigo et al. (2014) explica que neste tipo de abordagem uma área é utilizada com a finalidade unicamente a este fim, onde a matéria orgânica e os nutrientes de lodos não são utilizados como desfechos férteis em meios de culturas agrônomicas, mas sim empregados ao solo puramente visando a degradação do lodo de esgoto através do trabalho microrrgânico exibido pelo solo. Pereira (2012) condizendo com Lee e Santos (2011) reiteram o baixo custo do tratamento envolvendo a degradação microbiana, assim como o alto volume de aplicação por fragmento de área como benefícios desta técnica, em contrapartida, as desvantagens apresentam-se devido a eventuais poluições sobre o lençol freático encontrado na localidade, tendência de maus odores, bem como propensões de vetores epidemiológicos e extensos danos devido à dificuldade de reabilitação da região receptora do lodo de esgoto posteriormente seu cessamento operacional.

O gerenciamento abordando o *landfarming* como tratamento e destino final do lodo de esgoto, segundo Castro (2000), é apontado por muitos como desfavorável devido sua característica peculiar de incorporar ao solo os metais pesados presentes nos resíduos acrescidos sobre a camada reativa, no entanto, verificam-se melhorias na mineralização e ação degradante do solo sobre os poluentes, além de amplificar consideravelmente a proporção nutritiva de nitrogênio e fósforo ao admitir uma gama diversificada de organismos microscópios suplantando lodo de esgoto sobre o solo.

Castro (2000) aponta que a biorremediação esperada neste tratamento pode ser expandida acrescentando oxigênio e elementos nutritores no revolvimento (aradura) do local onde o *landfarming* é desenvolvido, além do mais, demonstrou ser possível tratar o lodo de

esgoto nesses sistemas ao apresentar um deterioramento aproximado de $13.569 \text{ ton.}(\text{ha.ano})^{-1}$, equivalente a $5,02 \text{ ton.}(\text{m}^3.\text{ano})^{-1}$ de lodo de esgoto na camada reativa, ao qual corresponde $0,52 \text{ ton.}(\text{m}^3.\text{ano})^{-1}$ e proporcional a $117,71 \text{ ton.}(\text{ha.mês})^{-1}$ de matéria orgânica degradada, alcançando melhores respostas de biodegradação quando comparadas as células do tratamento que não receberam o lodo de esgoto.

Sob outra perspectiva, Paula et al. (2006) fundamenta que o *landfarming* está sendo substituído por técnicas como o co-processamento e a dessorção térmica e plasma devido elas apresentarem tratamento e destinação ambientalmente correta, além de apresentar melhores resultados na extração de compostos recalcitrantes e tóxicos.

3.5.4 Incineração

A incineração foi conceituada em 2009 pelo Fórum Econômico Mundial (FEM) como um setor emergente para o tratamento de resíduos sólidos empregando tecnologia limpa. Gutberlet (2011) argumenta que esta técnica vem sendo compreendida como uma possibilidade economicamente efetiva, devido à baixa exigência por operários e forte retorno financeiro estimulado pelos créditos de carbono, em contrapartida, a implementação de técnicas como logística reversa, consumo responsável e a co-participação dos agentes originários de resíduos são bloqueadas, inibindo a conscientização social e prejudicando a sustentabilidade global. Segundo Pasquini (2014) a incineração é uma forte tendência global para o destino final de resíduos sólidos distintos (domiciliar, agrícola, industrial, lodos sanitários e industrial), devido ao desenvolvimento energético e mitigação dos impactos ambientais proporcionado pela queima dos mesmos.

A destinação do lodo de esgoto para processos de incineração é extremamente utilizada, tendo como mérito principal do procedimento a queima de resíduos sólidos sem intervenção química e/ou biológica como forma de tratamento. Consoante com Lee e Santos (2011) a diminuição no volume do lodo bem como sua esterilização são apontadas como suas principais vantagens, por outro lado, exhibe alto custo de operação, além de contribuir com a poluição atmosférica, desenvolvendo gases ácidos, dioxinas, furanos e óxidos de nitrogênio como desvantagens básicas. Silva et al. (2011) aponta que os reagentes advindos do lodo são o carbono, enxofre e o hidrogênio, encontrados como proteínas, carboidratos e gorduras, originando em sua combustão produtos como vapor de água, dióxido de carbono, enxofre e por fim cinzas inertes.

Cinzas originadas no processo de incineração apresentam grandes aflitos envolvendo seu destino, por este motivo existem diversas explorações científicas em torno do mesmo. Consoante com Pereira (2012), as cinzas de lodos são utilizadas na construção civil como materiais pozolânicos, onde são acrescentadas em diversos materiais como o concreto, argamassas, cimentos, tijolos, concreto asfáltico, entre outros. Em relação ao poder energético, Silva et al. (2011) apresenta em sua pesquisa um poder calorífico de $16,2 \text{ MJ.kg}^{-1}$, enquanto Lee e Santos (2011, p. 9) alegam em seu estudo que “o poder calorífico do lodo seco apresentou valores em torno de 16 MJ/kg , muito próximos aos de biomassa diversas como a madeira, 18 MJ/kg , tornando-o viável para o uso como combustível para recuperação de energia”.

3.5.5 Reciclagem agrícola

Uma das questões mais significativas no gerenciamento das águas residuárias é o descarte dos lodos de esgoto. Dentre as várias possibilidades, o aproveitamento como fertilizante agrícola é o mais conveniente, econômico e ambientalmente adequado. Consoante com Freddo (2014), o lodo de esgoto pode ser convertido em insumo para a agricultura, desta forma colaborando com a reciclagem agrícola ao fornecer matéria orgânica ao solo e cessar o ciclo bioquímico de nutrientes minerais, além de colaborar com a problemática do efeito estufa ao aprisionar o carbono em forma de um composto estável.

No território brasileiro as expectativas de expansão de áreas para cultivo é de aproximadamente 15,5 milhões de hectares, fazendo com que seja cada vez maior o emprego de corretivos e fertilizantes nos solos das lavouras, a partir da sua utilização como fertilizantes orgânicos, fazendo com que esses subprodutos obtenham valor agregado. De acordo com Da Silva (2011), substâncias naturais, sintéticas, minerais ou orgânicas que viabilizem para as plantas nutrientes são definidas como fertilizantes e atualmente chegam a US\$ 15 bilhões os gastos brasileiros com a importação destes insumos devido à sua baixa produção no país.

O lodo de esgoto é aplicado vigorosamente como condicionador e fertilizante do solo na agricultura, sendo que essa metodologia de disposição final é propiciada devido a constituição destes resíduos sólidos. De acordo com Silva et al. (2011), o reprocessamento da matéria orgânica e a contribuição de nutrientes no solo apresentam-se como ganhos alcançados, aprimorando os caracteres físico-químico, biológico e de produtividade agrícola dos mesmos. Damasceno e Campos (1998) explicam que atualmente o lodo pode ser visualizado como um resíduo oportuno, apresentando inúmeros proveitos como o suprimento

de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) que servem como nutrientes para a vegetação, amplificação de micronutrientes como Zinco (Zn), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Molibdênio (Mo), além de melhorar a contenção da água bem como o ordenamento do solo quando aplicado como adubo orgânico na sua disposição final.

Freddo (2014) aborda que o lodo de esgoto pode ser aplicado como adubo granulado que aglomera no mesmo grânulo sais e fertilizante minerais ou orgânicos e sua aplicação como fertilizante na agricultura seria capaz de reduzir 60% do consumo com fertilizantes fosfatados. Almeida (2017) reitera que a utilização do lodo de esgoto como fertilizante agrícola proporciona a majoração do pH, diminuição da acidez potencial do solo, além de ser uma solução de longo prazo para os biossólidos, por outro lado, Lee e Santos (2011, p. 2) abordam que “a destinação para a agricultura, apesar de ser a melhor forma atual de gerenciamento de lodo, também é problemática no sentido da necessidade de um tratamento extremamente rigoroso da qualidade do lodo, pois este pode conter substâncias químicas tóxicas e agentes patogênicos, que são prejudiciais a biota e a saúde humana”.

A utilização descontrolada do lodo de esgoto na agricultura pode promover a contaminação do solo, águas superficiais, lençol freático e das plantas através de processos de absorção, lixiviação e escoamento superficial. Consoante com Onofre et al. (2015) a aplicabilidade sem controle e caracterização preliminar dos biossólidos pode restringir o rendimento dos solos, danificar a qualidade dos produtos agrícolas consumidos pelo homem e ao mesmo tempo soltar odores, fazendo com que vetores epidemiológicos sejam atraídos, além disso o manejo do lodo como fertilizante agrícola deve considerar a concentração de metais pesados, acúmulo máximo permitido, quantidade acumulada, condições regionais do solo, condições climáticas e a topografia do local. De maneira geral, os impactos do lodo de esgoto na extensão do solo utilizado bem como a sua qualidade ao ser originado no tratamento de esgoto são importantes parâmetros e devem ser examinados frequentemente, por este motivo, é que estudos são necessários anteriormente à aplicação direta no solo, possibilitando a caracterização o resíduo.

Os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto originados em estações de tratamento de esgotos sanitários e seus produtos derivados são definidos pela resolução n° 375 (CONAMA, 2006). No art. 7° é estabelecido que a caracterização dos biossólidos a ser utilizado como fertilizante agrícola deve abranger as particularidades referentes ao potencial agrônômico, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e os agentes patogênicos e pôr fim sua estabilidade.

O potencial agrônômico do lodo de esgoto deve ser caracterizado determinando a concentração de parâmetros físico-químicos como carbono orgânico total, fósforo total, nitrogênio (Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito), pH em água (1:10), potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade e sólidos (voláteis e total).

A Instrução Normativa (IN) n° 25 (MAPA, 2009) aborda alguns requisitos e recomendações para a utilização de lodos de esgoto (catalogado como classe D) como fertilizantes destinados a agricultura, as quais estão detalhadas na tabela 4.

Tabela 4 – Requisitos e recomendações exigidas em lodos de esgoto para a utilização agrícola

Garantia	Misto/composto por classe			
	A	B	C	D
Cálcio (mínimo) [%]	1	1	1	1
Carbono Orgânico (mínimo) [%]	15	15	15	15
Enxofre (mínimo) [%]	1	1	1	1
Magnésio (mínimo) [%]	1	1	1	1
Nitrogênio total (mínimo) [%]	0,5	0,5	0,5	0,5
Potencial Hidrogeniônico (mínimo)	6	6	6,5	6
Relação C:N (máxima)	20	20	20	20
Umidade (máxima) [%]	50	50	50	70

Fonte: Adaptação IN n° 25 (MAPA, 2009)

A caracterização química quanto a presença de substâncias inorgânicas do lodo de tratamento de esgoto sanitário é determinada levando em conta os limites máximos de concentração dos elementos listados na tabela 5 e sua aplicação no solo agrícola não deve ultrapassar a carga acumulada teórica apontada na mesma tabela.

Tabela 5 - Máxima concentração e acúmulo de aplicação de biossólido classe 1 em solo agrícola

Substâncias químicas inorgânicas	Valor máximo no biossólido [mg.kg ⁻¹]	Carga acumulada permitida [kg.ha ⁻¹]
Arsênio (As)	41	30
Bário (Ba)	1300	265

Substâncias químicas inorgânicas	Valor máximo no biossólido [mg.kg ⁻¹]	Carga acumulada permitida [kg.ha ⁻¹]
Cádmio (Cd)	39	4
Chumbo (Pb)	300	41
Cobre (Cu)	1500	137
Cromo (Cr)	1000	154
Mercúrio (Hg)	17	1,2
Molibdênio (Mo)	50	13
Níquel (Ni)	420	74
Selênio (Se)	36	13
Zinco (Zn)	2800	445

Fonte: Adaptação das resoluções n° 375 (CONAMA, 2006) e n° 498 (CONAMA, 2020)

Organismos patogênicos que acometem a saúde humana como bactérias, vírus, protozoários e os helmintos estão incorporados nos biossólidos e suas densidades variam com o quadro epidemiológico do corpo social local, bem como o tratamento executado no esgoto sanitário e seu subproduto. De acordo com Correia (2014), a existência desses agentes infecciosos nos biossólidos utilizados como fertilizante na agricultura não expressa instantânea propagação de doenças e sim um risco potencial, no entanto coparticipações de condições como a resistência de patógenos ao tratamento e ambiente, dose infectiva, patogenicidade, susceptibilidade e a intensidade do foco de transmissão sobre o humano retrata reais riscos de contaminação através do lodo de esgoto. A utilização do lodo de esgoto como um insumo agrícola é viável quando o mesmo apresenta baixa concentração do teor de micro-organismos patogênicos. A caracterização quanto a presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos deverá ser analisada conforme apresenta a tabela 6.

Tabela 6 - Classes de Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Indicadores Bacteriológicos e Agentes Patogênicos	Concentração de Patógenos
Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Tipo A	
Coliformes Termotolerantes	<10 ³ NMP.(g de ST) ⁻¹

Indicadores Bacteriológicos e Agentes Patogênicos	Concentração de Patógenos
Ovos Viáveis de Helmintos	$<0,25 \text{ ovo} \cdot (\text{g de ST})^{-1}$
Salmonella	Ausência em 10 g de ST
Vírus	$<0,25 \text{ UFP e/ou UFF} \cdot (\text{g de ST})^{-1}$
Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Tipo B	
Coliformes Termotolerantes	$<10^6 \text{ NMP} \cdot (\text{g de ST})^{-1}$
Ovos Viáveis de Helminto	$<10 \text{ ovos} \cdot (\text{g de ST})^{-1}$

Fonte: Adaptação da resolução n° 375 (CONAMA, 2006)

O lodo de esgoto para comércio e utilização agrícola só poderá ser manipulado quando a relação entre os sólidos voláteis e sólidos totais for abaixo de 0,70, ou seja, considerado estável. Por outro lado, a resolução n° 498 (CONAMA, 2020) estabelece que a fração orgânica estabilizada do biossólido deve ser inferior a 0,65 e ser originário de processo de tratamento de esgoto sanitário como reator tipo UASB (reator de fluxo ascendente e manta de lodo) e filtro anaeróbio, lagoas de estabilização, lodos ativados com idade do lodo igual ou superior a 18 dias (ou relação A/M igual ou inferior a $0,15 \text{ kg DBO}_5 \cdot (\text{kg SSVTA})^{-1}$, digestão aeróbia e anaeróbia e estabilização química do lodo (de acordo com as normas técnicas em vigor) ou sistemas alagados construídos.

Lee e Santos (2011) apontam que as vantagens em aplicar biossólidos na reciclagem agrícola aparecem como respostas positivas nas culturas em que são utilizadas, efeitos positivos sobre o solo, potencial como fertilizante, além de trazer uma solução de longo prazo, por outro lado as suas desvantagens são prováveis contaminação dos solos e alimentos quando empregados descontroladamente, possível patogenicidade e liberação de maus odores.

3.5.6 Recuperação de áreas degradadas

Um dos assuntos mais discutidos no nicho da agricultura é a utilização do lodo de esgoto, devido aos prejuízos que pode causar a saúde humana, meio ambiente e a economia quando aplicado de forma errônea. Bonini, Alves e Montanari (2015) enfatizam que o lodo de esgoto deve encontrar-se com condições de qualidade para ser empregado como material de reciclo na agricultura, por outro lado, a utilização deste material com a finalidade de recuperar áreas degradadas resultam no estabelecimento e crescimento da vegetação, reduzindo

despesas com adubação mineral, fazendo com este método seja mais uma alternativa para a disposição final do lodo de esgoto.

Ao longo dos anos houve uma dilatação considerável no surgimento de áreas degradadas no território brasileiro, acarretando incontáveis danos ao meio ambiente. Sampaio et al. (2012) aborda que área degradada é todo o ambiente transformado por processos erosivos acentuados ou mesmo por ação da engenharia, fazendo com que se tenha modificações nas peculiaridades naturais além do ponto de recuperação do solo, ocasionando manifestações antrópicas para a sua restauração. A recuperação de áreas degradadas tem uma metodologia relativamente lenta e que se apresenta elencado diretamente ao potencial de restabelecimento do solo. Neste processo a matéria orgânica oriunda do lodo de esgoto é utilizada com o propósito de melhorar atributos físicos do solo como a densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração da água.

A recuperação de área degradada é definida pela resolução n° 498 (CONAMA, 2020 p. 2) como “recuperação da integridade física, química e/ou biológica e da capacidade produtiva de uma área, seja para a produção de alimentos e matérias-primas ou na prestação de serviços ambientais”. Devido as características das áreas degradadas de não fornecer as condições de desenvolvimento e estabilização da vegetação por falta de matéria orgânica, nutrientes e trabalho biológico, o lodo de esgoto aparece como uma alternativa de insumo que atua como um condicionador da área em tratamento.

Alamino (2010) aborda que a presença de matéria orgânica promove o melhoramento na agregação das partículas do solo, reduz sua densidade, intensifica a aeração bem como seu potencial na troca de cátions, proporciona a elevação do pH, diminuição da acidez potencial e do alumínio trocável, além de suprir as deficiências de macro e micro nutrientes. A dose de aplicação de lodos nos solos degradados depende diretamente da qualidade da matéria orgânica e dos nutrientes fundamentais para que o solo suporte a vegetação e assume uma variação entre $7 < t.ha^{-1} < 450$, sendo a dose típica de $112 t.ha^{-1}$.

A resolução n° 498 (CONAMA, 2020) foi publicada recentemente pelo Diário Oficial da União (DOU) e classifica os bio sólidos como classe 1 ou 2 de acordo com as concentrações máximas de substâncias químicas presentes na amostra representativa do lote analisado (apresentado na tabela 7), além disso, define padrões para a classificação dos bio sólidos como A ou B através do limite máximo de *Escherichia coli* presente por grama de sólidos totais e seus devidos processos de redução de patógenos, bem como o atendimento de critérios de redução de atratividade de vetores.

Tabela 7 - Máxima concentração, acúmulo e taxa anual de aplicação de biossólido classe 2 em solos

Substâncias químicas inorgânicas	Valor máximo permitido [mg.kg ⁻¹]	Carga máxima acumulada [kg.ha ⁻¹]		Taxa máxima anual [kg.(ha.ano) ⁻¹]
		Solo degradado	Solo não degradado	
Arsênio (As)	75	20	41	2
Bário (Ba)	1300	130	260	13
Cádmio (Ca)	85	19	39	1,9
Chumbo (Pb)	840	150	300	15
Cobre (Cu)	4300	750	1500	75
Cromo (Cr)	3000	1500	3000	150
Mercúrio (Hg)	57	8,5	17	0,85
Molibdênio (Mo)	75	6,5	13	0,65
Níquel (Ni)	420	210	420	21
Sênio (Se)	100	50	100	5
Zinco (Zn)	7500	1400	2800	140

Fonte: Adaptação da resolução n° 498 (CONAMA, 2020)

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A amostra do lodo coletado originou-se como sub produto do efluente tratado na ETE pertencente a UFFS, localizada na ERS 135 – km 72, n° 200, município de Erechim – RS. A tabela 8 evidencia a população variante e total que contribuiu na origem do esgoto bruto bem como a formação do resíduo sólido do seu tratamento.

Tabela 8 - População Contribuinte na origem do Efluente Bruto em 2019

Cursos/Setores/Terceirizados	População	Matutino	Vespertino	Noturno
Agronomia	255	255	255	-
Arquitetura e Urbanismo	251	251	251	-
Ciências Sociais	99	-	-	99
Engenharia Ambiental e Sanitária	169	169	169	-
Filosofia	93	-	-	93
Geografia (Bacharelado)	8	-	-	8
Geografia (Licenciatura)	105	-	-	105
História	172	-	-	172
Interdisciplinar em Educação do Campo	143	143	143	-
Pedagogia	228	-	-	228
Ciência e Tecnologia Ambiental	44	-	44	-
Geografia	5	-	5	-
Interdisciplinar em Ciências Humanas	38	-	38	-
Profissional em Educação	40	-	40	-
Docentes	125	55	125	70
Técnicos	85	70	85	15
KEMIA tratamento de efluentes	1	1	1	-
Serviço de Vigilância MW (12x36)	16	3	3	5
Serviços múltiplos INTERSEPT	22	21	22	1
PRATOMIL serviços de RU	10	7	10	3
Panificadora DELICATA serviço de cantina	4	2	4	2
Valdecir GNAZ serviço de reprografia	1	-	1	1

Cursos/Setores/Terceirizados	População	Matutino	Vespertino	Noturno
População Total [hab]	1914	977	1196	802

Fonte: Coordenação Administrativa UFFS - campus Erechim

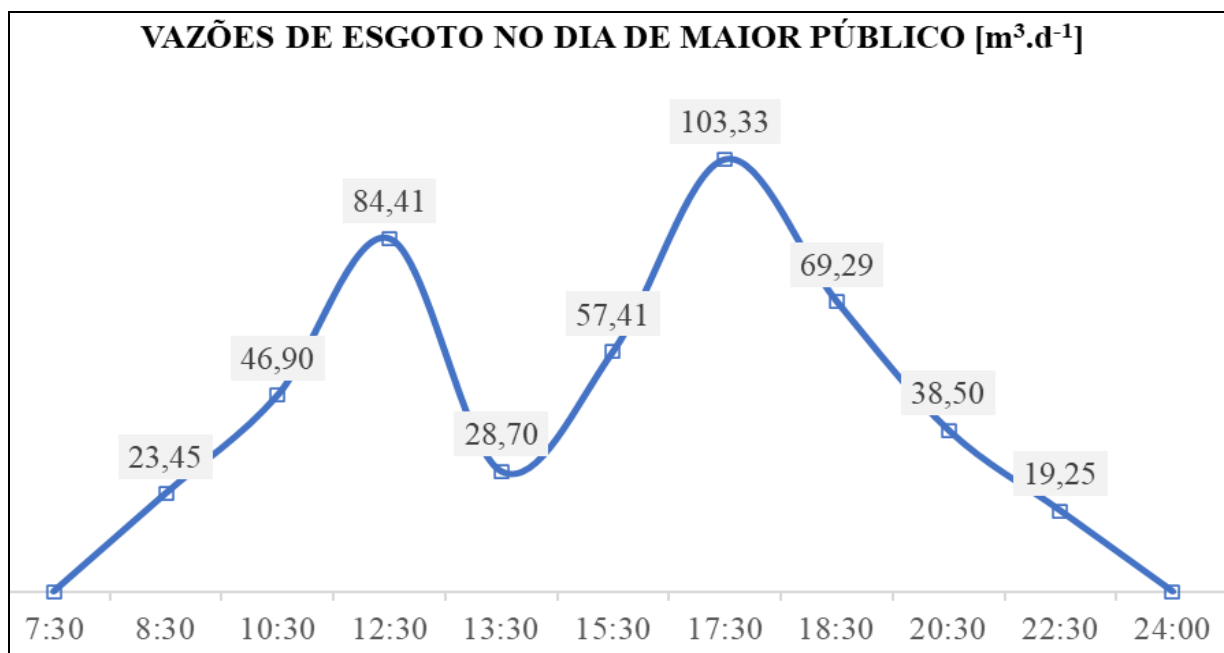
Com a população total em cada período juntamente com os dados considerados e apresentados na tabela 9 e 10, foi possível determinar as vazões domésticas médias, mínimas e máximas (figura 3), as cargas em cada (figura 4) e as concentrações de despejos (tabela 11).

Tabela 9 - Dados para determinação da vazão de esgoto na UFFS – campus Erechim

Preliminares	Valores
Coefficiente do dia de maior consumo (K_1)	1,20
Coefficiente da hora de maior consumo (K_2)	1,50
Coefficiente da hora de menor consumo (K_3)	0,50
Coefficiente de retorno (R) [%]	0,80
Quota Per Capita (QPC) [L.(hab.d) ⁻¹]	60,00

Fonte: Adaptação de VON SPERLING, 2005

Figura 3 - Hidrograma das vazões médias³, mínimas⁴ e máximas⁵ da UFFS campus Erechim



Fonte: Autoria própria

³ Q médias = (População total.QPC.R)/1000

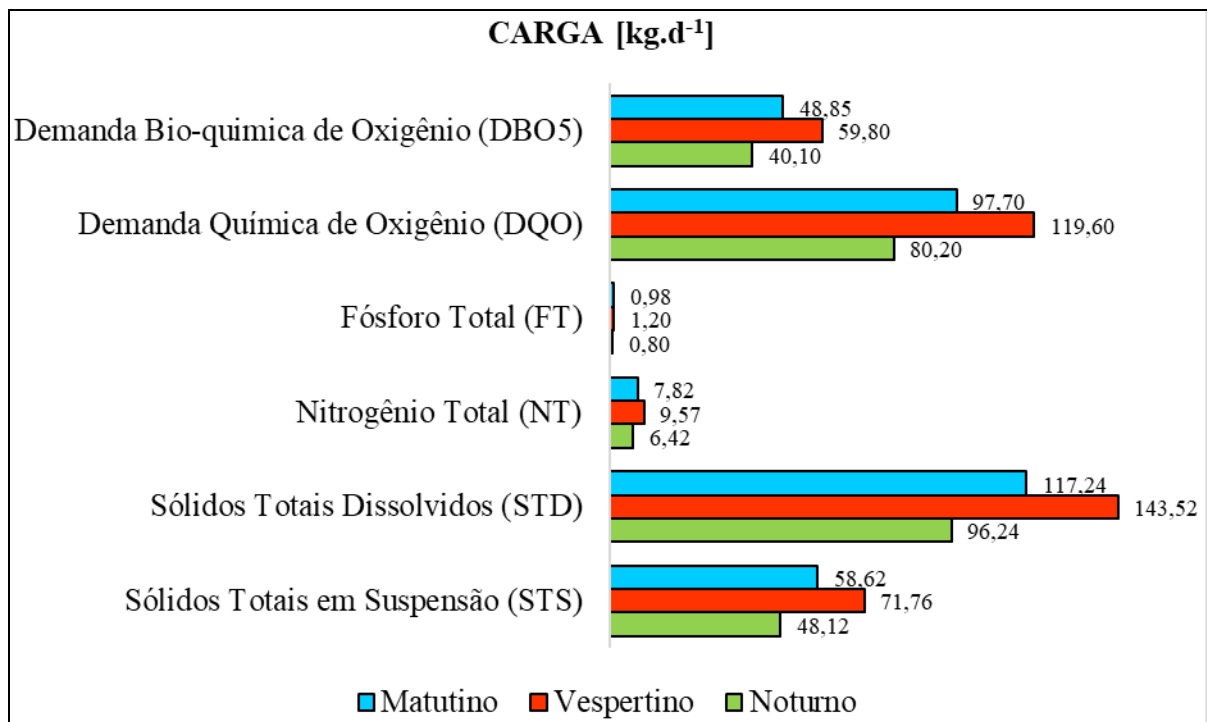
⁴ Q mínimas = Q média.K₃

⁵ Q máximas = Q média.K₁.K₂

Tabela 10 - Dados para a determinação das cargas no esgoto da UFFS – campus Erechim

Parâmetros	Contribuição Per Capita [g.(hab.d) ⁻¹]
Demanda Bio-química de Oxigênio (DBO ₅)	50,00
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	100,00
Fósforo Total (FT)	1,00
Nitrogênio Total (NT)	8,00
Sólidos Totais Dissolvidos (SDT)	120,00
Sólidos Totais em Suspensão (STS)	60,00

Fonte: Adaptação de VON SPERLING, 2005

Figura 4 - Carga⁶ afluyente há ETE UFFS campus Erechim

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Concentração⁷ dos despejos no esgoto bruto da UFFS campus Erechim

Parâmetros	Concentração mínima [g.m ⁻³]	Concentração média [g.m ⁻³]	Concentração máxima [g.m ⁻³]
DBO ₅	578,70	1041,67	2083,33

⁶ Carga = População total.Contribuição Per Capita

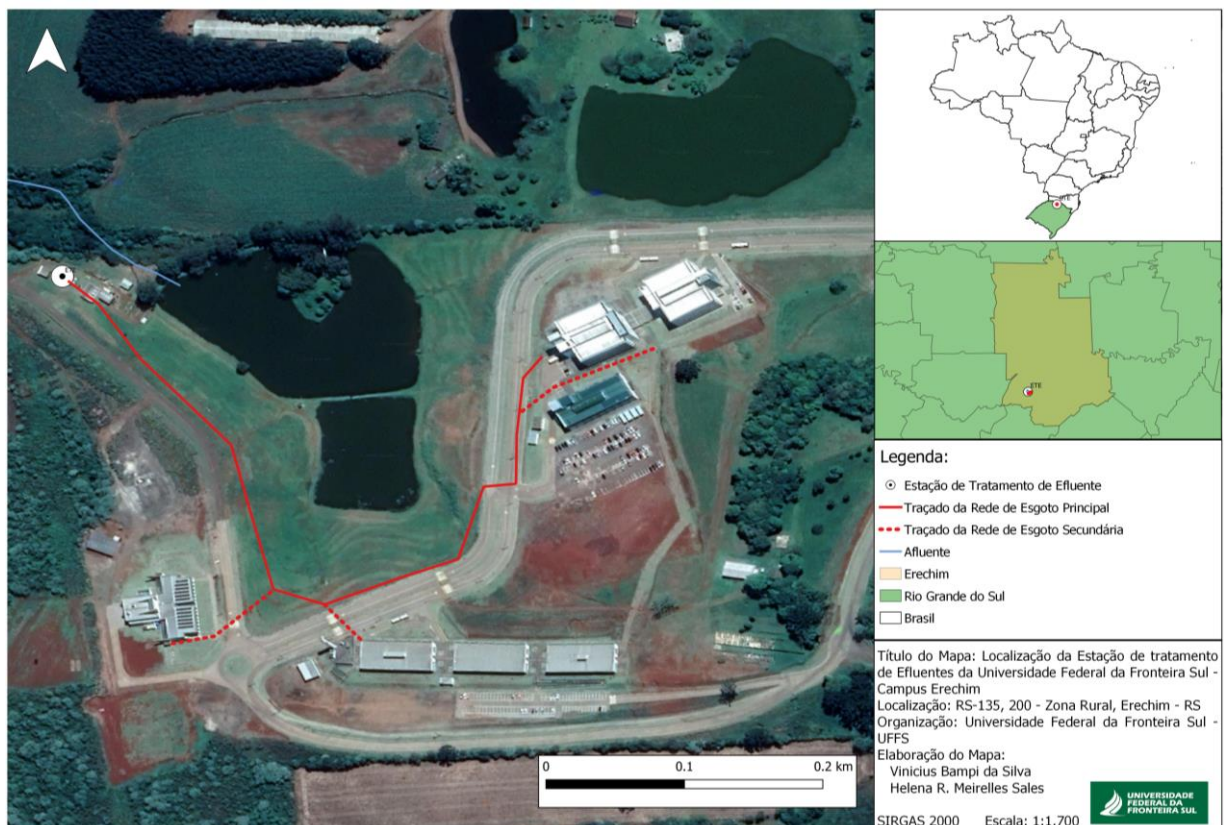
⁷ Concentração = (Carga.1000)/Q

Parâmetros	Concentração mínima	Concentração média	Concentração máxima
	[g.m ⁻³]	[g.m ⁻³]	[g.m ⁻³]
DQO	1157,41	2083,33	4166,67
FT	11,57	20,83	41,67
NT	92,59	166,67	333,33
STD	1388,89	2500,00	5000,00
STS	694,44	1250,00	2500,00

Fonte: Autoria própria

O hidrograma da figura 3, a carga afluyente da figura 4 e as concentrações de despejos da tabela 9 são características do esgoto bruto que recebe tratamento por Lodos Ativados (funcionamento contínuo e aeração prolongada) na ETE estabelecida pela UFFS nas coordenadas geográficas 27°43'35,59" S e 52°17'16,92" W (figura 5).

Figura 5 - Mapa de Localização da ETE pertencente a UFFS campus Erechim



Fonte: Autoria própria

Na figura 5, a linha vermelha contínua representa a rede principal de abastecimento do esgoto bruto da ETE, as linhas tracejadas em vermelho retratam as redes secundárias de

abastecimento do esgoto bruto que chega para o tratamento e a linha contínua em azul configura o corpo hídrico receptor do efluente líquido tratado pela UFFS.

4.1.1 Etapas do Tratamento de Esgoto

Ao chegar na ETE da UFFS, o esgoto sanitário bruto é recepcionado por um tratamento preliminar caracterizado por gradeamento com área útil e total de 0,00375 m² e 0,00574 m², respectivamente, apresentando uma eficiência de projeto para remoção dos sólidos grosseiros de 70,26%. A extração dos sólidos grosseiros no pré-tratamento é destinada há salvaguardar os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) do efluente bruto destinado aos processos empregados na ETE, proteger os dispositivos de tratamento (aeradores) bem como a remoção fragmentada da carga poluidora e consoante com Jordão e Pessôa (2011) sua utilidade central é condicionar o esgoto sanitário bruto para posterior tratamento.

Subsequente, o efluente líquido é encaminhado para uma caixa de desarenação com canal duplo de dimensões de 0,196 m de largura, 2,09 m de comprimento e área total de 0,41 m². A remoção de areia (desarenação), segundo Jordão e Pessôa (2011), é aplicada nos processos das ETE's com o intuito de impossibilitar abrasões nos equipamentos e tubulações, diminuir as obstruções nos componentes do tratamento e favorecer a manipulação e movimentação das fases líquidas e sólidas ao longo da ETE.

Após receber o tratamento preliminar, o efluente é encaminhado para um reservatório (tanque de equalização) conhecido como elevatória de esgoto, nesta etapa o tratamento conta com duas bombas de recalque Schneider modelo BCS C5 0,5 CV submersas, aos quais tem a finalidade de elevar o nível do esgoto até o tanque de distribuição onde o efluente é dividido igualmente e distribuídos para os reatores aeróbios que realizarão o tratamento do efluente bruto pré-tratado.

O tratamento realizado pelos reatores aeróbios tem embasamento na tecnologia de lodo ativado de ação contínua, ao qual a aeração do efluente processado é mantida de forma prolongada. As características dos reatores aeróbios são detalhadas na tabela 12.

Tabela 12 - Detalhes dos Reatores Aeróbios empregados na UFFS - Campus Erechim

Capacidade Total	70 m ³
Composição dos Reatores Aeróbios	Fibra de Vidro
Comprimento	9,57 m

Data de Fabricação	22 de março de 2013
Diâmetro	3 m
Peso Cheio	72.570 kg
Peso Vazio	2.570 kg
Pressão Máxima de Operação	Ambiente
Temperatura Máxima de Operação	35 °C

Fonte: Fibratec Engenharia

O processamento de lodos ativados é completamente biológico e de acordo com Jordão e Pessôa (2011) neste processo o esgoto e o lodo ativado são estreitamente amalgamados por agitação em unidades denominadas tanques de aeração, logo após esta etapa o lodo e o efluente tratado resultante do processamento aplicado são estratificados por mecanismos de sedimentação em decantadores secundários do tipo Dortmund com fundo cônico e inclinação de 60°. Esta etapa do tratamento, os decantadores apresentam 7,30 m² de área superficial para decantação e capacidade de armazenar um volume de 21,75 m³ de efluente tratado.

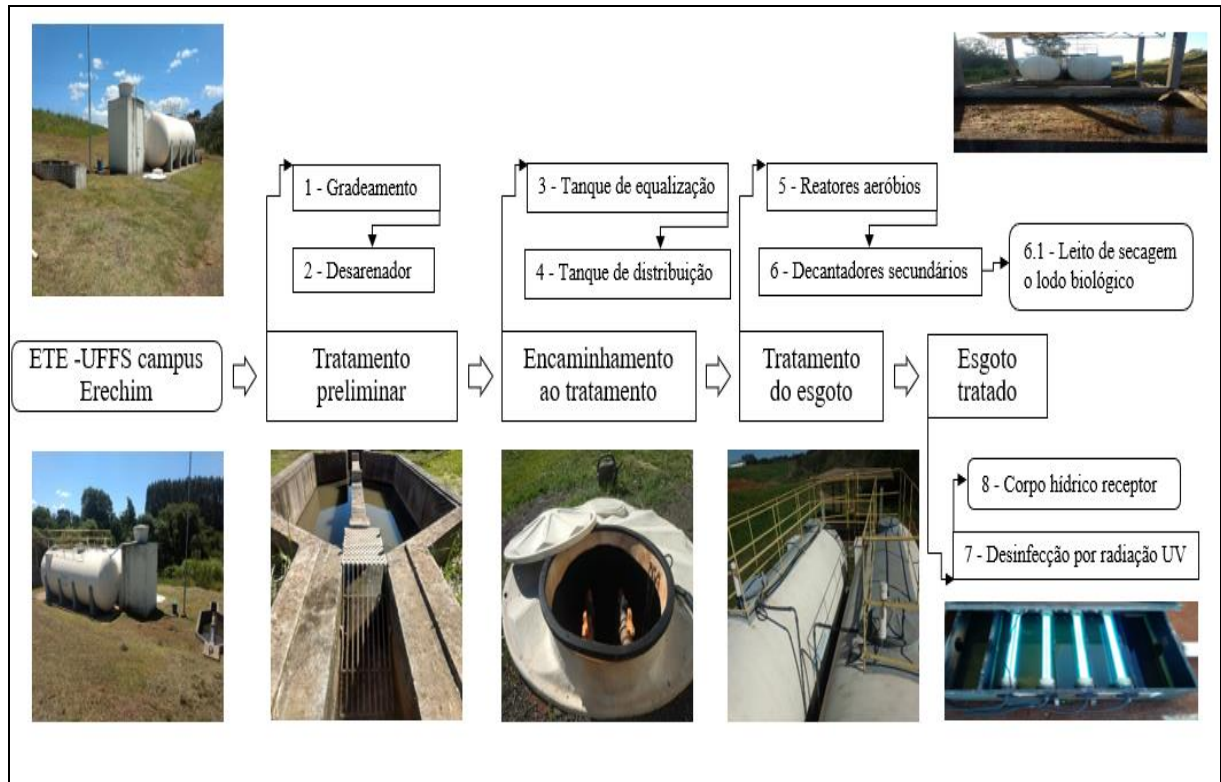
A grande maioria do lodo ativado que foi separado por sedimentação do efluente tratado volta para o processo empregando-se bombas centrífugas horizontais nos decantadores, fazendo recircular os resíduos sólidos gerados no tratamento e uma pequena porção é retirada do sistema, sendo encaminhados para um leito de secagem de 6,8 m de comprimento e 2,4 m de largura. No leito de secagem é empregado um processo de desaguamento e secagem onde a camada filtrante do leito retém o lodo sólido ao mesmo tempo em que o efluente tratado conduzido juntamente com o lodo volta para o sistema ao fluir pela soleira drenante do mesmo.

O efluente tratado resultante dos processos nos reatores aeróbios é, por fim, encaminhado para a etapa de desinfecção utilizando 4 lâmpadas ultravioleta de 95 W e 28 % de potência efetiva. Jordão e Pessôa (2011, p. 893) abordam que “recentemente se tem observado muitos avanços com a prática da desinfecção com radiação ultravioleta. A energia ultravioleta é absorvida pelos microrganismos causando alterações estruturais no DNA que impedem a reprodução. Ocorre assim a inativação dos microrganismos”.

Após o tratamento de desinfecção, o efluente tratado é lançado com uma vazão aproximada de 52,8 m³.d⁻¹ em um corpo hídrico receptor sem nome que verte nas proximidades da ETE pertencente a UFFS.

O tratamento efetuado no esgoto bruto da Universidade Federal da Fronteira Sul é detalhado no fluxograma alocado na figura 6.

Figura 6 - Tratamento aplicado no esgoto bruto da UFFS – campus Erechim



Fonte: Autoria própria

4.2 AMOSTRAGEM

A amostra do resíduo caracterizado neste trabalho, foi constituída pelo lodo em excesso, resultante de processo de lodo ativado para tratamento de esgoto descrito no item 4.1.1. A amostra foi coletada do leito de secagem de lodo, da estação de tratamento da UFFS. Foi constituída uma amostra composta, de lodo resultante do processo de tratamento que ocorreu de agosto de 2019 a abril de 2020, período que refletiu atividades de 1 semestre letivo completo mais o período de férias letivas. A quantidade total produzida neste período foi de 23,37 kg como detalhado na tabela 13.

Tabela 13 - Lodo de esgoto mensalmente coletado

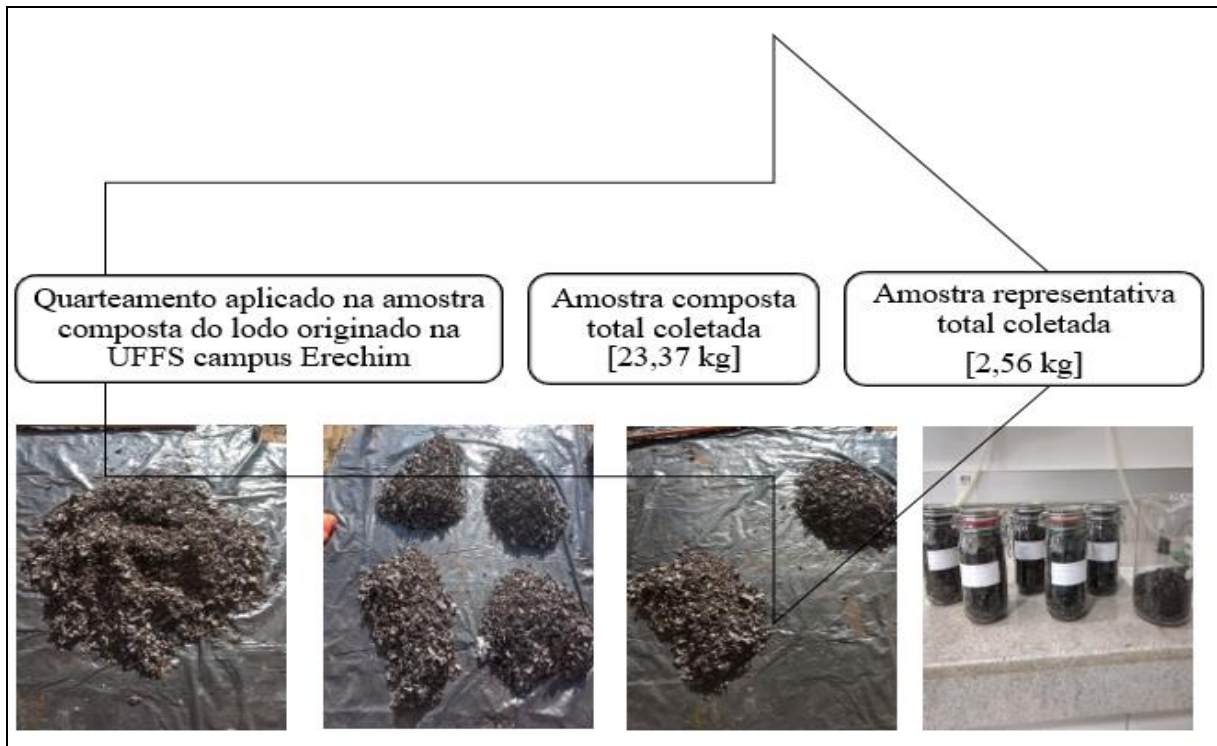
Período	Massa bruta do lodo [kg]
Agosto de 2019	10,42
Setembro de 2019	4,17
Outubro de 2019	4,83
Novembro de 2019	0
Dezembro de 2019	0
Janeiro de 2020	0,76
Fevereiro de 2020	1,41
Março de 2020	1,23
Abril de 2020	0,55
Quantidade Total	23,37

Fonte: Autoria própria.

A amostra composta e representativa de lodo utilizada para este estudo de caracterização foi produzida conforme a NBR 10.007 (ABNT, 2004), realizando o procedimento de quarteamento. O processo de quarteamento tem como objetivo a homogeneização de amostras de resíduos sólidos compostas, dividindo as mesmas em quatro partes iguais para posteriormente obter 50% da sua quantia inicial, realizando o descarte das partes opostas adquiridas no fracionamento. Esse procedimento é feito até que se adquira o volume pretendido, ou seja, até que se alcance uma amostra representativa.

O processo de quarteamento foi realizado até obter-se uma amostra representativa de 2,56 kg de lodo de esgoto, o necessário para a realização de todas as análises de caracterização para este estudo. A amostra foi armazenada em frascos de vidro com tampas herméticas e conservadas em refrigerador do laboratório de Resíduos da UFFS. A figura 7 apresenta detalhes da execução da coleta amostral.

Figura 7 - Quarteamento aplicado no lodo da ETE da UFFS – Campus Erechim



Fonte: Autoria própria

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA REPRESENTATIVA DO LODO

A caracterização da amostra foi realizada de acordo com os parâmetros e métodos mencionados pela resolução n° 375 (CONAMA, 2006) e avaliados também frente a IN n° 25 (MAPA, 2009) e resolução n° 498 (CONAMA, 2020). As tabelas 14, 15 e 16 expõem os critérios de análise e os métodos exigidos pela legislação citada e os utilizados neste trabalho.

Tabela 14 - Critérios para determinação do potencial agronômico no lodo de esgoto

Parâmetro analisado	Métodos exigidos	Métodos utilizados
Cálcio total (Ca)	U.S. EPA SW-846	MAPA, 2017
Carbono orgânico total (COT)	BIGHAM, 1996	MAPA, 2017
Enxofre total (S)	U.S. EPA SW-846	MAPA, 2017
Fósforo total (P)	KUO, 1996	MAPA, 2017
Magnésio total (Mg)	U.S. EPA SW-846	MAPA, 2017
Nitrogênio amoniacal	BREMMER, 1996	TEDESCO et al., 1995
Nitrogênio kjeldahl	APHA et. alii, 2005	TEDESCO et al., 1995

Parâmetro analisado	Métodos exigidos	Métodos utilizados
Nitrogênio nitrato/nitrito	MULVANEY, 1996	TEDESCO et al., 1995
pH em água (1:10)	U.S. EPA SW-846	MAPA, 2017
Potássio total (K)	U.S. EPA SW-846	MAPA, 2017
Sódio total (Na)	U.S. EPA SW-846	-
Sólidos voláteis	APHA et. alii, 2005	MATOS, 2015
Sólidos totais	U.S. EPA SW-846	MATOS, 2015
Umidade	U.S. EPA SW-846	MATOS, 2015

Fonte: Adaptação de CONAMA 375/2006

Tabela 15 - Critérios para a determinação de indicadores microbiológicos e patógenos

Parâmetro analisado	Métodos exigidos	Métodos utilizados
Coliformes termotolerantes	CETESB, 1992	Determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos, adaptado de APHA et al., 2017
Ovos viáveis de helmintos	EPA, 2003	-
Salmonella	EPA, 2003	Determinação qualitativa pela técnica de presença/ausência
Vírus entéricos	EPA, 2003	-

Fonte: Adaptação de CONAMA 375/2006

Tabela 16 - Critérios para a determinação de substâncias inorgânicas

Parâmetro analisado	Métodos exigidos	Método utilizado
Arsênio (As)		O preparo das amostras foi realizado utilizando digestão nítrico-perclórica segundo
Bário (Ba)		EMBRAPA, citado por MATOS
Cádmio (Cd)		(2015). As leituras dos
Chumbo (Pb)		parâmetros inorgânicos foram
Cobre (Cu)	U.S EPA SW-846	realizadas em equipamento
Crômio (Cr)	métodos 3050 e 3051	Espectrômetro de Emissão por
Mercúrio (Hg)		Plasma (ICPE PLASMA) na
Molibdênio (Mo)		Central Analítica da UFFS
Níquel (Ni)		Campus Erechim
Sênio (Se)		
Zinco (Zn)		

Fonte: Adaptação de CONAMA 375/2006

5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

5.1 POTENCIAL AGRONÔMICO E ESTABILIDADE DO LODO

Os resultados referentes ao potencial agronômico e estabilidade do lodo, estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Resultados referentes ao potencial agronômico e estabilidade do lodo

Analitos	Concentração	Concentração	Data da análise
	[%]	[g.kg ⁻¹]	
Cálcio total (Ca)	0,52	5,20	02 jun. 2020
Carbono Orgânico Total (COT)	35,98	359,80	01 jun. 2020
Enxofre total (S)	0,30	3,00	04 jun. 2020
Fósforo total (P)	1,77 ⁸	7,73	04 jun. 2020
Magnésio total (Mg)	0,16	1,60	04 jun. 2020
Nitrogênio amoniacal	12,72	127,2	22 abr. 2021
Nitrogênio kjeldahl	12,85	128,5	22 abr. 2021
Nitrato (NO ₃ ⁻)/Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,35	3,5	22 abr. 2021
pH em água (1:10)		6,28 _(1:5)	01 jun. 2020
Potássio total (K)	0,15 ⁹	1,25	03 jun. 2020
Sólidos voláteis (SV)	63,49	631,90	04 set. 2020
Sólidos totais (ST)	99,52	995,20	04 set. 2020
Umidade	0,48	4,8	03 set. 2020
Estabilidade do lodo		0,63	04 set. 2020

Fonte: Autoria própria

O resultado do parâmetro Cálcio total (0,52%) é muito próximo aos obtidos por Miranda (2009) ao caracterizar o lodo de esgoto originado na ETE-Chapecó/SC e Lima et al. (2008) ao realizar a tipificação do lodo oriundo da ETE-Marcílio de Noronha/ES, contudo se mostra inferior ao teor total mínimo (1%) recomendado pela IN n° 25 (MAPA, 2009). Este elemento é incorporado ao lodo biológico através do óxido de cálcio (CaO), oriundo da cal

⁸ Teor total em pentóxido de fósforo (P₂O₅)

⁹ Teor total em óxido de potássio (K₂O)

virgem, utilizado como insumo para corrigir o pH para o tratamento. Segundo Miranda (2009) é esperado que a concentração deste valor seja quase insignificante e não atinja nem o valor típico (1,5%) para lodos digeridos. Isto também vai ao encontro com Kiehl (2010) asseverando que este elemento é disponibilizado para plantas a partir dos minerais provenientes do solo, sendo muito baixa a parcela deste macronutriente disponibilizado pela matéria orgânica. Santos (2001, p. 106) aborda que “a influência do cálcio na poluição tem, normalmente, um significado bastante reduzido, ou mesmo nulo. Assim, não afecta a qualidade dos produtos vegetais”.

A análise do parâmetro Carbono Orgânico Total (35,98%) apontou resultados similares aos encontrados por Pimentel et al. (2012) que estudou o lodo de esgoto proveniente da ETE-Insular/SC, dando indícios que é uma concentração alta para um lodo originário de uma instituição de ensino. Este resultado é bem superior ao valor mínimo (15%) recomendado pela IN n° 25 (MAPA, 2009) e pode ser explicado devido a elevada Idade do Lodo ao qual a ETE estava operando, fazendo com que o COT acumule, repercutindo no valor obtido. Santos (2011) salienta que elementos como o carbono, oxigênio e hidrogênio geralmente não são ponderados na nutrição vegetal das plantas, além disso, Kiehl (2010, p. 31) observa que “a legislação não inclui como macro nutriente primário carbono, hidrogênio e oxigênio, pelo fato de o ar e a água fornecer esses nutrientes em quantidades imensuráveis”.

O parâmetro Enxofre total (0,30%) exibiu uma concentração quase correspondente ao estudo efetuado e correlatado por Padovani (2006) em amostras de lodo provindo da ETE-Mogi Guaçu/SP. Segundo a autora, este elemento é classificado como macronutriente secundário que pode atender as necessidades de grande parte dos cultivos agrônômicos, ainda que a aplicação do lodo de esgoto seja pequena. O valor obtido para este elemento está abaixo do teor mínimo (1%) recomendado pela IN n° 25 (MAPA, 2009). Pinheiro (2007) considera que o enxofre presente no lodo é oriundo de fontes como as fezes humanas, surfactantes e a precipitação atmosférica (chuva ácida) e Kiehl (2010, p. 40) destaca que “a relação nitrogênio/enxofre (N/S) é semelhante a relação nitrogênio/fósforo (N/P) o que significa que a quantidade de enxofre no solo é mais ou menos igual à do fósforo”.

O valor para o indicador Fósforo total (0,77%) foi também bem semelhante a alguns valores obtidos por Correia (2014) ao estudar as características do lodo de esgoto produzido pela ETE-Contorno/Ba. A concentração deste elemento se mostrou bem acima do esperado, indicando uma possível incorporação ao lodo originada através dos detergentes utilizados pelo Restaurante Universitário (RU), sabonetes líquidos dispostos nos banheiros para a higienização das mãos, descartes indevidos de reagente contendo fósforo nas pias dos

laboratórios e/ou somatório das três hipóteses. Segundo Correia (2014, p. 19) “o fósforo do tratamento de esgoto provém dos dejetos, de células de microrganismos que atuam no tratamento de esgoto e de detergentes e outros produtos utilizados para a limpeza doméstica que utilizam fosfatos na sua composição”. Matos (2015, p. 103) também aborda que “grandes quantidades de fosfatos condensados, constituintes de muitos detergentes e sabão comercializados, podem ser adicionados à água de lavagem ou higienização de unidades [...] ou outras atividades”.

A concentração para o analito Magnésio total (0,16%) apresentou resultado muito próximo ao realizado por De Araujo, Gil e Tiritan (2009) no lodo de esgoto da ETE-Franca/SP. Este resultado é menor que o teor mínimo (1%) recomendado pela IN n° 25 (MAPA, 2009), estando abaixo do esperado. A incorporação deste elemento ao lodo biológico se origina através do óxido de magnésio (MgO), proveniente da cal virgem. Consoante com Cincotto, Quarcioni e John (2007) a cal virgem é prevalentemente formada de óxidos de cálcio (cal) e de magnésio (periclásio), onde o tipo dolomítico apresenta uma relação CaO.MgO^{-1} inferior a 1,5. Kiehl (2010) destaca que o magnésio e cálcio são adsorvidos pelos colóides ou estão inseridos no solo onde são absorvidos como cátions (Mg^{+2} e Ca^{+2}) pelas raízes, salientando que a matéria orgânica tem grande importância como matriz destes elementos. Neste sentido, Santos (2001, p. 108) disserta que “a essencialidade do magnésio para as plantas reside sobretudo no fato de, para além de ser ativador de diversas enzimas, ser um constituinte da clorofila”.

O Nitrogênio amoniacal (12,72%) apresentou uma elevada concentração quando comparado com o Nitrogênio kjeldahl (12,85%), revelando que quase 99% dos elementos nitrogenados apresenta-se na forma molecular amoníaca (NH_4^+), além de uma pequena fração de Nitrato somado a Nitrito de (0,35%). Este resultado é superior frente ao teor mínimo (0,5%) de nitrogênio total recomendado pela IN n° 25 (MAPA, 2009). A introdução do nitrogênio pode ser proveniente das fezes humanas, por outro lado, acredita-se nas mesmas hipóteses levantadas para o parâmetro fósforo total, devido a elevada concentração denotada por estes elementos no resíduo orgânico analisado. Os nitrogênios minerais na forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) são as espécies mais absorvíveis pelas plantas (SANTOS, 2001). Os nitrogênios penetram nos arranjos vitais das plantas, manifestando benefícios agrônômicos exuberantes nas vegetações, por outro lado, quando se trata de poluição do solo e/ou das águas o NO_3^- apresenta-se muito mais poluente. Além disso, a relação Carbono/Nitrogênio (C:N) calculada e observada no analito foi de (2,8C:1N), ou seja, há uma associação muito baixa entre estes elementos, ao qual está inferior há relação máxima

(20C:1N) determinada pela IN n° 25 (MAPA, 2009), demonstrando um aspecto positivo, quanto à estabilidade do resíduo. Kiehl (2010) menciona que a decomposição dos fertilizantes orgânicos no solo é favorecida quando o mesmo é abonado em nutrientes e/ou quando são reduzidas as relações C:N e C:P.

Neste mesmo viés, Matos (2015) descreve que esta relação é de primordial importância na estabilização e mineralização no solo, visto que uma relação alta destes elementos pode ocasionar escassez de nitrogênio em plantas, ocasionando decréscimo na atividade de culturas agrícolas.

O potencial hidrogeniônico (6,28) mostrou-se muito parecido aos resultados obtidos por pesquisadores como Miranda (2009), De Araujo; Gil e Tiritan (2009), Pimentel (2012), Correia (2014) e Almeida et al. (2017). Este resultado está levemente superior ao pH mínimo (6,0) indicado na IN n° 25 (MAPA, 2009) e demonstra uma suave acidez no lodo, o que já era o esperado, em virtude da oxidação biológica do cátion amônio (NH_4^+), porém este ponto não é considerado um problema e algo preocupante. Benatto (2012, p. 39) cita que “nos reatores aeróbios ocorre a nitrificação do esgoto. Este processo é desejável, porém causa a redução do pH do meio, pois consome alcalinos da água residuária”. O pH ótimo para grande parte das bactérias geralmente é entre 6,0 e 7,5 e para fungos entre 5,5 e 8,0, Santos (2001) explana que as plantas sobrevivem a variações de pH entre 4 e 8 sem sofrerem desconcertos nutricionais. Matos (2015, p. 24) enfatiza que “em resíduos sólidos orgânicos estabilizados o pH apresenta-se, geralmente, na faixa de 6,0 a 8,0. [...], compostos orgânicos e fertilizantes organominerais, para serem comercializáveis deverão apresentar valor de pH maior que 6,0”.

O Potássio total (0,125%) mostrou-se condizente com os valores obtidos por Bezerra (2006) ao explorar as características do lodo da ETE-Etar-Apoio/RJ. Este valor demonstra-se inferior às concentrações apresentadas nos esterco de galinha e bovinos, além de compostos de resíduos sólidos urbanos, os quais são utilizados como adubos. Segundo Damasceno e Campos (1998), os lodos comumente são pobres em potássio devido a perda deste macronutriente em solução no esgoto tratado. Matos (2015, p. 108) realça dizendo que “cátions monovalentes, como o potássio e o sódio, por não se associarem ao material orgânico, ficam predominantemente em solução, sendo dificilmente removidos com o uso de técnicas convencionais de tratamento de águas residuárias”. Este elemento exibe um comportamento intermediário entre os macronutrientes primários, assim Santos (2001) alega que ele não tende a lixiviar quando os solos demonstram coloides orgânicos e minerais como no caso de solos predominantemente argiloso.

Os sólidos voláteis (63,49% ST) não corresponderam com similaridade em nenhum trabalho de caracterização de lodo de esgoto investigado na literatura. O resultado revela que mais da metade da massa total do lodo originado no tratamento é constituída por material orgânico. Esta resposta é considerada alta e dá indícios que o lodo pode não estar muito bem digerido.

Jordão e Pessôa (2011, p. 328) aludem que “o lodo bem digerido tem uma concentração de sólidos voláteis em torno de 45% dos sólidos totais” e para Freddo (2014) este parâmetro é o mais usual na estipulação dos teores de matéria orgânica e seu valor em lodos digeridos transita entre 30 a 60% dos sólidos totais.

Os sólidos totais (99,52%) e o teor de água (0,48%) se mostraram dissemelhantes às pesquisas encontradas na literatura como Damasceno e Campos (1998), Bezerra (2006), Padovani (2006), Miranda (2009), De Araujo; Gil e Tiritan (2009), Silva et al (2012), Pimentel (2012), Correia (2014), Abreu et al. (2019). Por outro lado, o teor de água é inferior ao teor máximo (70%) definido pela IN n° 25 (MAPA, 2009). Este efeito pode decorrer através da evaporação da umidade, devido a radiação solar ao qual o lodo é exposto no leito de secagem. Os sólidos totais juntamente com os sólidos voláteis são utilizados como parâmetros para o monitoramento do estágio de estabilização da matéria orgânica. De acordo com Freddo (2014) este indicador é alusivo com a aptidão que o lodo de esgoto tem de gerar odores ofensivos e indução de vetores que difundem doenças (ratos, aves e insetos). A matéria orgânica exibida no lodo pode ser apresentada em condições de concentração de sólidos (mg.L^{-1}), em porcentagem de sólidos secos e/ou pela associação entre sólidos voláteis/sólidos totais ($\% \text{SV.ST}^{-1}$). Assim, conforme Batista (2015) os padrões relativos aos lodos de ETE's variam entre $75 < \% \text{SV.ST}^{-1} < 85$, superior ao encontrado neste trabalho.

A estabilidade do lodo ($63\% \text{SV.ST}^{-1}$) mostrou-se fora da faixa típica para lodos oriundos de ETE's, contudo está dentro do valor máximo estipulado pela resolução n° 375 (CONAMA, 2006), podendo-se especular o aproveitamento agrícola de lodo de esgoto devido a sua estabilidade. Esta característica também obedece a quantidade absoluta da fração orgânica estabilizada abordada pela resolução n° 498 (CONAMA, 2020), dando indícios da sua viabilidade como insumo orgânico de serventia ao solo.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E BACTERIOLÓGICA

Os resultados referentes as substâncias químicas inorgânicas e bacteriológicas (patógenos), estão apresentados na tabela 18.

Tabela 18 - Resultados referentes as substâncias químicas inorgânicas e agentes patogênicos

Analitos	Concentrações	Data da análise
Arsênio (As)	15,22 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Bário (Ba)	33,69 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Cádmio (Cd)	0,84 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Chumbo (Pb)	13,51 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Cobre (Cu)	16,93 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Cromo (Cr)	13,06 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Mercúrio (Hg)	45,62 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Molibdênio (Mo)	4,45 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Níquel (Ni)	9,77 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Sênio (Se)	32,98 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Zinco (Zn)	87,59 mg.kg ⁻¹	09 abr. 2021
Coliformes termotolerantes	1.300,00 NMP.g ⁻¹	18 mai. 2020
Salmonella	Ausência.(10 g) ⁻¹	21 mai. 2020

Fonte: autoria própria

Ao analisar os resultados relativos as substâncias químicas frente aos requisitos mínimos de qualidade do lodo exigidos pela resolução n° 375 (CONAMA, 2006) para o destino agrícola, verifica-se que todos os elementos denominados metais pesados estão dentro dos limites máximos de concentração, com exceção do mercúrio, contudo, quando confrontados com os valores máximos de substâncias químicas abordado na resolução n° 498 (CONAMA, 2020) para aplicação no solo, constata-se que o lodo em estudo poderia ser considerado um biossólido classe 2, ou seja, atende a todos os valores pré-estabelecidos. A partir deste contexto, o resíduo sólido do tratamento de esgoto realizado pela UFFS poderia ser utilizado como condicionador de solos para aplicação em áreas degradadas, assim como em solos de áreas não degradadas, desde que seja respeitada a carga máxima acumulada e a sua taxa anual de aplicação. De acordo com Santos (2001) os metais pesados não são espécies básicas para as plantas, com exceção do cobre e zinco, por outro lado existem indícios de que

os mesmos podem efetuar compensações nas culturas quando assimilados em baixas proporções.

O parâmetro coliformes termotolerantes ($1.300 \text{ NMP.g}^{-1} \text{ ST}$) demonstrou-se um pouco a cima da concentração máxima fixada pela resolução nº 375 (CONAMA, 2006) para um lodo de esgoto classe A, contudo, o mesmo ainda obedece aos limites para ser classificado como um lodo de esgoto classe B, tanto por este aspecto como também pelo resultado do parâmetro salmonella (ausência em 10 g ST). Observa-se que os valores obtidos quando comparados frente ao disposto (*Escherichia coli.g*⁻¹ ST) na resolução nº 498 (CONAMA, 2020) também são superiores, no entanto, ainda apresenta uma concentração para ser classificado como biossólido classe B após receber tratamento por processo de redução de patógenos por estabilização com cal. Os critérios de redução de atratividade de vetores para a utilização do biossólido em solo foram atendidos, uma vez que a fração orgânica estabilizada do biossólido (0,63) é inferior ao limite abordado na legislação, além disso, o mesmo é originário de processos com Idade do Lodo excedente a 18 dias, como é o caso do tratamento de esgoto empregado pela UFFS ao qual utiliza a metodologia de lodos ativados por aeração prolongada.

Em relação ao emprego do lodo de esgoto como condicionador de solos, existem relatados na literatura diversos trabalhos sobre este assunto. Teran et al. (2020) é um exemplo, ao utilizar o lodo originado nas ETE's do Distrito Federal para recuperar área de cascalheira rajadinha, impulsionando o melhoramento dos nutrientes do solo local. Neste mesmo foco, Moreira et al. (2019) realizaram uma investigação relacionada ao uso de lodo processado em áreas degradadas, constatando o melhoramento significativo nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos que receberam tratamento com o material.

Gonçalves (2019) examinou as taxas de mineralização e recuperação de nutrientes em diversas texturas de solo, concluindo que a utilização do material promoveu acréscimos de macronutrientes (P, Ca e Mg), além de um estoque de N na fração úmida disponibilizado pelo lodo de esgoto. Maia et al. (2018) em suas pesquisas averiguou o melhoramento da densidade, porosidade total e microporosidade de um Latossolo Vermelho distrófico ao ser recuperado com lodo de esgoto. Artico (2018) estudou a substituição do solo de cobertura por lodo de esgoto integrado ao rejeito de mineração do basalto, exibindo um crescimento vegetal (*A. strigosa*) três vezes maior quando comparados com o solo de cobertura, viabilizando o lodo de esgoto como recuperador de áreas degradadas.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O lodo de esgoto da ETE da UFFS Campus Erechim apresenta alto teor de macronutrientes primários (N e P) e de matéria orgânica, além disso, o mesmo se mostrou fisicamente (relação SV.ST⁻¹) e quimicamente (relação C:N) estável e adequado com os requisitos e recomendações vigentes. Contudo possui concentrações baixas de macronutrientes secundários (Ca, S e Mg), não atendendo às recomendações de teores mínimos sugeridos na IN n° 25 (MAPA, 2009), o que não impossibilita a aplicação do resíduo orgânico como insumo agrícola ou mesmo para a recuperação de áreas degradadas, pois não se trata de uma contaminação.

O resíduo orgânico quando analisado frente a resolução n° 375 (CONAMA, 2006) não atendeu aos requisitos de qualidade, sendo descartada a possibilidade do seu emprego como fertilizante orgânico. Por outro lado, quando examinado frente a resolução n° 498 (CONAMA, 2020) pode ser enquadrado como um biossólido classe 2B, demonstrando ser viável o seu emprego como condicionador de solo degradado e não degradado, conseqüentemente agregando valor frente a este método de disposição final.

Recomenda-se como temáticas futuras a investigação relacionada a agregação do biossólido aplicado para restauração de solo degradado. Além disso, sugere-se que os próximos lotes de lodos originados no tratamento de esgoto da Universidade sejam caracterizados e analisados frente aos mesmos critérios de qualidade, desta forma possibilitando o monitoramento e aprimoramento dos mesmos, visando alcançar um biossólido com características de serventia na aplicação como fertilizantes agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.
Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2584>>
Acesso em: 28 ago. 2020
- _____. **NBR 10007:** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.
Disponível em:
<<https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2020.
- _____. **NBR 13591:** Compostagem. Rio de Janeiro, 1996. 4 p.
Disponível em:
<<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-13.591-Compostagem.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2020.
- _____. **NBR 13894:** Tratamento no solo (landfarming). Rio de Janeiro, 1997. 10 p.
Disponível em:
<<https://pt.scribd.com/doc/273643302/ABNT-1997-NBR-13894-Tratamento-no-solo-landfarming-pdf>> Acesso em: 06 ago. 2020.
- _____. **NBR 13969:** Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.
- ABREU, Alan Henrique Marques de et al. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.
Disponível em: <Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi (scielo.br)>
Acesso em: 25 mar. 2021
- ALAMINO, Renata de Carvalho Jimenez. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados:** Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais. Rio de Janeiro, 2010. Xxi, 221 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
Disponível em: <A UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais (ufrj.br)>
Acesso em: 25 fev. 2021.
- ALMEIDA, Verediana Fioretin Rosa de et al. Caracterização química como alternativa de destinação ao uso agrícola do lodo da estação de tratamento de esgoto do Município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 87-98, 2017.
Disponível em: <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v4n7/v04n07a09a.html>>
Acesso em: 28 jul. 2020.

ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos. 273p. **Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.**

Disponível em: <Iniciais.p65 (finep.gov.br)>

Acesso em: 26 abr. 2021.

ARTICO, Maila. **Recuperação de áreas degradadas através do uso integrado de lodo de esgoto e rejeito de mineração de basalto como substituto ao solo de cobertura.** Porto Alegre, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia na modalidade acadêmica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2018.

Disponível em: <Recuperação de áreas degradadas através do uso integrado de lodo de esgoto e rejeito de mineração de basalto como substituto ao solo de cobertura (ufrgs.br)>

Acesso em: 29 abr. 2021.

BATISTA, Lucilene Ferreira. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final.** Brasília, 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília. 2015.

Disponível em: <2015_LucileneFerreiraBatista.pdf (unb.br)>

Acesso em: 17 abr. 2021.

BENATTO, Natalia Cristina Borges. **Controle de oxigênio dissolvido e pH para aplicação em sistemas de tratamento de esgoto.** São Carlos, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

Disponível em: <UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (usp.br)>

Acesso em: 13 abr. 2021.

BENTO, Alessandra Pellizzaro et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.

Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/esa/v10n4/a09v10n4.pdf>>

Acesso em: 20 jul. 2020.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BEZERRA, Flávio Barbosa et al. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

Disponível em: <Lodo de esgoto em revegetação de área degradada (scielo.br)>

Acesso em: 26 mar. 2020.

BONINI, Carolina SB; ALVES, Marlene C.; MONTANARI, Rafael. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.

Disponível em: <Sewage sludge and mineral fertilization on recovery of chemical properties of a degraded soil (scielo.br)>

Acesso em: 24 fev. 2021.

BRAGA. Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2º ed. São Paulo: Pearson, 2005. 319 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa nº 25/2009**. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados a agricultura. Brasília, 2009.

Disponível em: <BiogásFert+-+Instrução+Normativa+25,+normas+sobre+fertilizantes+destinados+à+agricultura.pdf (embrapa.br)>

Acesso em: 25 abr. 2021.

_____. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2017. 230 p.

Disponível em: <manual-de-metodos_2017_isbn-978-85-7991-109-5.pdf (www.gov.br)>

Acesso em: 03 mai. 2020.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. **Resolução nº 355 de julho de 2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 19 de julho de 2017.

Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padros-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>

Acesso em: 02 fev. 2020.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 375 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimento, para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF, 2006.

Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>

Acesso em: 14 fev. 2020.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 430 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 92, 16 de maio de 2011. Seção 1, p. 89.

Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>

Acesso em: 02 fev. 2020.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 481 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências, Brasília, DF, 03 outubro de 2017.

Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>>

Acesso em: 16 jun. 2020.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 498 de agosto de 2020**. Define critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 161, 21 de agosto de 2020. Seção 1, p. 265.

Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>>

Acesso em: 20 ago. 2020.

BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 891-899, 2018.

Disponível em: <Co-disposal of sewage sludge in Brazilian sanitary landfills: technical considerations and minimal criteria for application (scielo.br)>

Acesso em: 15 fev. 2021.

CASTRO, Alfred Luciano Fábio Gomes de; SILVA, Orlando Rodrigues; SCALIZE, Paulo Sérgio. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

Disponível em:

<Repositório da Universidade Federal de Goiás: Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014 (ufg.br)>

Acesso em: 01 fev. 2021

CASTRO, Rodrigo Azevedo. **Tratamento de lodo de esgoto urbano no solo com microorganismos de "Landfarming" e substrato oleoso**. Curitiba, 2000. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2000.

Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/28153>>

Acesso em: 04 jun. 2020.

CHAO, Iara Regina Soares. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14122006-145950/en.php>>

Acesso em: 21 set. 2019.

CINCOTTO, Maria Alba; QUARCIONI, Valdecir Ângelo; JOHN, Vanderley Moacyr. Cal na construção civil. In: Geraldo C. Isaia. (Org). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. v.1 p. 695-726. São Paulo: IBRACON, 2007.

Disponível em: <Capítulo 2 (usp.br)>

Acesso em: 12 abr. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1985. **L-1.025: Manual técnico da microbiologia para sistemas de lodos ativados operando com esgotos domésticos**. São Paulo, 1985.

CORDI, Livia et al. Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. **Rev Eng Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 97-115, 2008.

Disponível em: <[https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-](https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Montagem%2C+partida+e+opera%C3%A7%C3%A3o&btnG=)

BR&as_sdt=0%2C5&q=Montagem%2C+partida+e+opera%C3%A7%C3%A3o&btnG=>

Acesso em: 25 jul. 2020.

CORREIA, Joelande Esquivel. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONTORNO. FEIRA DE SANTANA, BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 2, n. 2, 2014.

Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/12789>>

Acesso em: 27 jul. 2020.

DA SILVA, Paulo R. das D.; LANDGRAF, Maria D.; REZENDE, Maria Olímpia O. Avaliação do potencial agrônômico de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 565-575, 2011.

Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/1190/119021237003.pdf>>

Acesso em: 26 jul. 2020.

DAMASCENO, Simone; CAMPOS, José Roberto. Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola [CD-ROM]. **Anais**. Lima: AIDIS, 1998.

Disponível em: <ReP USP - Detalhe do registro: Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola [CD-ROM]>

Acesso em: 06 mai. 2020.

DE ARAUJO, Fabio Fernando; GIL, Fábio Carmona; TIRITAN, Carlos Sérgio. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, p. 1-6, 2009.

Disponível em: <LODO DE ESGOTO NA FERTILIDADE DO SOLO, NA NUTRIÇÃO DE *Brachiaria decumbens* E NA ATIVIDADE DA DESIDROGENASE | Pesquisa Agropecuária Tropical (ufg.br)>

Acesso em: 26 mar. 2021.

ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos**: redução de emissões na disposição final. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

Disponível em:

<https://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf> Acesso em: 28 ago. 2020.

FREDDO, Alessandra. **Caracterização físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região oeste do Paraná**. Medianeira, 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4475>>

Acesso em: 24 mai. 2020.

GONÇALVES, Paula Wellen Barbosa. **Mineralização de carbono e nitrogênio e recuperação de nutrientes em solos com distintas texturas adubados com lodo de esgoto**. Montes Carlos, 2019. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) – Programa de pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Carlos, 2019.

Disponível em: <Repositório UFMG: Mineralização de carbono e nitrogênio e recuperação de nutrientes em solos com distintas texturas adubados com lodo de esgoto>

Acesso em: 30 abr. 2021.

GUTBERLET, Jutta. O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em detrimento da sustentabilidade. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-16, 2011. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820736.pdf>>

Acesso em: 31 mai. 2020.

HIRATA, Delmar et al. O uso de informações patentárias para a valorização de resíduos industriais: o caso do lodo de tratamento de esgoto doméstico. **Revista de Ciências da Administração**, v. 17, n. 43, p. 55-71, 2015.

Disponível em: <Redalyc.O USO DE INFORMAÇÕES PATENTÁRIAS PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS: O CASO DO LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO>

Acesso em: 12 fev. 2021

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 6° ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KIEHL, Edmar José. **Novo Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Desgaspari, 2010. 247 p.

LEE, Erich Shen Higa; SANTOS, F. J. Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético. In: **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS, Londrina, PR**. 2011. p. 1-9.

Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/X-001.pdf>>

Acesso em: 06 mai. 2020.

LIMA, M. de F. et al. **Caracterização do lodo de esgoto para utilização como insumo agrícola no cultivo da goiabeira no Sul do Espírito Santo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA, 20°, 2008, Vitória.

Disponível em: <(Microsoft Word - 20080925_000024_CHARACTERIZA\307\3030 DO LODO DE ESGOTO PARA UTIL\205) (incaper.es.gov.br)>

Acesso em: 25 mar. 2021.

LOPES, Heyder Monteiro. **Caracterização química e física de biocarvão de lodo de esgoto sob diferentes temperaturas de pirólise**. Brasília, 2013. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

Disponível em:

<https://bdm.unb.br/bitstream/10483/7657/6/2013_HeyderMonteiroLopes.pdf>

Acesso em: 31 mai. 2020.

MAIA, Fabiana Carvalho Vilela et al. Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 345-351, 2018.

Disponível em: <QUALIDADE FÍSICA DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO | Nativa (ufmt.br)>
Acesso em: 30 abr. 2021.

MATOS, Antonio Teixeira. **Manual de Análises de Resíduos Sólidos e Águas Residuárias**. Viçosa: UPF, 2015. 149 p.

MENDONÇA; Sérgio Rolim, MENDONÇA; Luciana Coêlho. **Sistemas Sustentáveis de Esgotos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2016. 348 p.

MESSIAS, Adriano Sousa. **Caracterização química do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto-ETE's da cidade de Aracaju-SE**. São Cristóvão, 2010. Dissertação (Mestre em Química) – Núcleo de pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Sergipe. São Carlos, 2010.

Disponível em: <<https://ri.ufs.br/jspui/handle/123456789/6077>>
Acesso em: 28 jul. 2020.

MIKI, Marcelo Kenji et al. Compostagem através de leiras revolvidas da ETE Limoeiro/Presidente Prudente como alternativa de tratamento do lodo. **Revista DAE**, 2008.

Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=compostagem+atraves+de+leiras+revolvidas+&btnG=>>

Acesso em 19 jul. 2020.

MIRANDA, Anderson Rodrigo et al. **Caracterização do lodo gerado na Estação de Tratamento de Chapecó/SC: Um estudo de caso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 25°, 2009.

Disponível em: <III-147 - 25° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (locaweb.com.br)>

Acesso em: 26 mar. 2021.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 370-374, 2002.

Disponível em:

<https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S003489102002000300018&script=sci_arttext&tlng=em>

Acesso em: 10 abr. 2020.

MOREIRA, Samya de Freitas et al. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 3, p. 1564-1585, 2019.

Disponível em: <O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas / ETE sludge as an alternative to soil recovery in degraded areas | Moreira | Brazilian Applied Science Review (brazilianjournals.com)>

Acesso em: 29 abr. 2021.

NASS, Daniel Perdigão. O conceito de Poluição. **Revista eletrônica de ciências**, v. 1, n. 13, 2002.

Disponível em:

<<http://files.professoramirtes.webnode.com/200000113738c57486a/O%20conceito%20de%20poluição.pdf>>

Acesso em: 29 set. 2019.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto Sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2º ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

ONOFRE, Sideney Becker; ABATTI, Dirceu; TESSARO, Amarildo Antonio. **Propriedades Físico-Químicas e Microbiológicas do lodo de esgoto produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto de Toledo – Paraná – Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6º, 2015, Porto Alegre.

Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/IX-009.pdf>>

Acesso em: 29 jul. 2020.

PADOVANI, Vera Cristina Ramalho et al. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. Campinas, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

Disponível em: <Repositorio da Producao Cientifica e Intelectual da Unicamp: Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de arvores nativas e exoticas>

Acesso em: 26 mar. 2021.

PASQUINI, Nilton Cesar. Uso potencial como fonte de energia de lodo proveniente de esgoto doméstico e industrial. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 1, 2014.

Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/2925/2351>>

Acesso em: 31 mai. 2020.

PAULA, Alessandra M. de; SOARES, Cláudio RFS; SIQUEIRA, José O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos em solo de "landfarming" de resíduos petroquímicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 448-455, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662006000200028&script=sci_arttext>

Acesso em: 08 jun. 2020.

PEDROZA, Marcelo Mendes et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 147-158, 2010.

Disponível em: <Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão | Pedroza | Revista Liberato>

Acesso em: 04 fev. 2021.

PEREIRA, Kiev Luiz de Araujo. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. Natal, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1484>>

Acesso em: 01 jun. 2020.

PIEIDADE, Ana Luiza Fávoro. **Microbiologia de lodos ativados – uma ferramenta fundamental no gerenciamento das ETEs**. [s.d].

Disponível em: <<http://acquaconsulting.com.br/material/microbiologia.pdf>>

Acesso em: 11 set. 2020.

PIMENTEL, Francisco José Guedes. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário**. Florianópolis, 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Programa de pós-Graduação de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

Disponível em: <Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário (ufsc.br)>

Acesso em: 13 fev. 2021.

PINHEIRO, Cyntia Helena Ravena. **Zn, Ni, Cr, Fe e S em lodo de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento**. São Paulo, 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Disponível em: <Zn, Ni, Cr, Cu, Fe e S em lodo de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta... (usp.br)>

Acesso em: 11 abr. 2021.

RIBEIRO, Livia Cristina. **Compostagem de lodo de esgoto: caracterização e bioestabilização**. Botucatu, 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2018.

Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153225>>

Acesso em: 18 jul. 2020.

RIGO, Michelle M. et al. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Souza15/publication/278026813_Destinacao_e_reuso_na_agricultura_do_lodo_de_esgoto_derivado_do_tratamento_de_aguas_residuarias_domesticas_no_Brasil/links/5579c39308ae7521587178bd.pdf>

Acesso em: 03 jun. 2020.

ROSA, Sérgio Augusto Silveira; BAZZANELLA, André. Microbiologia dos Lodos Ativados. **TAE: Especializada em tratamento de água & efluentes**, 15^o ed. 2013.

Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/539/microbiologia-dos-lodos-ativados>>

Acesso em: 11 set. 2020.

SAMPAIO, Thalita Fernanda et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, 2012.

Disponível em: <Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo (scielo.br)>

Acesso em: 24 fev. 2021.

SANTOS, J. Quelhas dos. **Fertilização e ambiente**: Reciclagem agro-florestal de resíduos e efluentes. Lisboa: Publicações Europa-América, 2001. 264 p.

SCOTON, Edvaldo José. **Avaliação do método respirométrico pelo acompanhamento e controle de processo de compostagem de lodo de esgoto**. Bauru, 2012. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2012.

Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/93039>>

Acesso em: 18 jul. 2020.

SILVA, Jader de Oliveira. **Caracterização do potencial energético e estudo físico-químico do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto do DMAE-Uberlândia-MG**. Uberlândia, 2011. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

Disponível em:<<http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/17347/1/d.pdf>>

Acesso em: 07 mai. 2020.

SILVA, Noely Bochi. **Avaliação química e ecotoxicológica de lodos e esgoto visando à utilização na agricultura**. Campinas, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

Disponível em: <Repositorio da Producao Cientifica e Intelectual da Unicamp: Avaliação química e ecotoxicológica de lodos e esgoto visando à utilização na agricultura>

Acesso em: 26 mar. 2021.

SOARES, Juliana Ferreira et al. Caracterização do Floco Biológico e da Microfauna em Sistema de Lodos Ativados. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 1, p. 1-10, 2014.

Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546939001.pdf>>

Acesso em: 21 jun. 2020.

SOARES, Wilson Costa; SARAIVA, Vanda Maria. **Gerenciamento do lodo gerado na ETE/UFRN: Processo, Caracterização e Descarte Final**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 26°, 2011.

Disponível em: <[http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-](http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento19/TrabalhosCompletoPDF/III-104.pdf)

[EasyArtigos/Site/Uploads/Evento19/TrabalhosCompletoPDF/III-104.pdf](http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento19/TrabalhosCompletoPDF/III-104.pdf)>

Acesso em: 29 jul. 2020.

TEDESCO, Marino José et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2° ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS. 1995, 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TERAN, Francisco Javier Cuba et al. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 3243-3255, 2020.

Acesso em: <Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal / Assessment of the recovery of degraded areas by exploration of lateritic gravel by the incorporation of sewage sludge. Case study in the Federal District | Cuba Teran | Brazilian Journal of Development (brazilianjournals.com)>

Acesso em: 29 abr. 2021.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à Engenharia Ambiental**.

Tradução da 2° ed. norte-americana. São Paulo: CENGAGE Learning, 2015. 438 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**.

3° ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.