

FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO
FESPSP
MBA EM SANEAMENTO AMBIENTAL

FLÁVIA LEAL RAYMUNDO

**REAPROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO RESÍDUO GERADO NAS ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO:**

Utilização do Lodo de Esgoto como fertilizante

São Paulo

2022

FLÁVIA LEAL RAYMUNDO

**REAPROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO RESÍDUO GERADO NAS ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO:**

Utilização do Lodo de Esgoto como fertilizante

Projeto de Pesquisa apresentado à FESPSP -
Fundação Escola de Sociologia e Política de
São Paulo, como exigência parcial para
obtenção do título de Especialista em
Saneamento Ambiental sob a orientação do
professor Dr. Mário Sérgio Rodrigues.

São Paulo

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

RAYMUNDO, Flávia Leal.

Reaproveitamento agrícola do resíduo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos: Utilização do Lodo de Esgoto como fertilizante / Flávia Leal Raymundo – São Paulo, 2022. 33p.

Orientador: Prof. Dr. Mário Sérgio Rodrigues.

Projeto de Pesquisa para a FESPSP - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

1. Lodo de Esgoto 2. Fertilizante 3. Agricultura 4. Adubação 5. Compostagem

Flávia Leal Raymundo

Reaproveitamento agrícola do resíduo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos:
Utilização do Lodo de Esgoto como fertilizante

Projeto de Pesquisa apresentado à FESPSP -
Fundação Escola de Sociologia e Política de
São Paulo, como exigência parcial para
obtenção do título de Especialista em
Saneamento Ambiental sob a orientação do
professor Dr. Mário Sérgio Rodrigues.

Data de aprovação:

_____/_____/_____.

Banca examinadora:

Nome completo do/a Professor/a, titulação, Instituição e assinatura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, Mauro e Glória, que me proporcionaram a base de valores de uma educação individual, que tanto se aplicam a minha rotina.

Ao meu orientador, professor Dr. Mário Sérgio Rodrigues, pela dedicação, parceria e seriedade no acompanhamento do meu trabalho.

Aos meus filhos André, Beatriz e Bento pela paciência e compreensão.

Enfim, aos meus amigos e colegas de trabalho que me ajudaram e me acompanharam nestes últimos meses.

“Sem renovação não há transformação. Sem transformação não há evolução. Sem evolução não haverá nada”.

(Adriano Hungaro, 2011).

RESUMO

O objetivo desse projeto de pesquisa é avaliar os possíveis usos agrícolas de lodo de esgoto como fertilizante, do ponto de vista produtivo, para diminuição de seu descarte em aterros sanitários. Devido à quantidade de matéria orgânica, macro e micronutrientes contidos nele, o lodo de esgoto é considerado um excelente produto fertilizante, contribuindo para a diminuição do uso de fertilizantes químicos e, como consequência, reduzindo os custos de adubação. A reciclagem desse material para utilização na agricultura deve seguir normas estabelecidas que definem exigências de qualidade, ambientais, taxa de aplicação e exigências nutricionais das diferentes culturas. Para que esse resíduo tenha apelo comercial como fertilizante e melhorador do solo, são necessários estudos específicos que confirmem que seu uso é seguro ao meio ambiente e à saúde do ser humano.

Palavras-chave: Lodo de Esgoto. Fertilizante. Agricultura. Produto Agrícola. Adubação. Compostagem.

ABSTRACT

The objective of this research project is to evaluate the possible agricultural uses of sewage sludge as fertilizer, from a productive point of view to reduce its disposal in sanitary landfills. Due to the amount of organic matter, macro and micronutrients contained in it, sewage sludge is considered an excellent fertilizer product, contributing to the decrease in the use of chemical fertilizers and, as a consequence, reducing fertilization costs. The recycling of this material for use in agriculture must follow established norms that define quality, environmental, application rate and nutritional requirements of different cultures. For this residue to have commercial appeal as a fertilizer and soil improver, specific studies are needed to confirm that its use is safe for the environment and human health.

Keywords: Sewage Sludge. Fertilizer. Agriculture. Agricultural product. Fertilizing. Compost.

LISTA DE SIGLAS

APA	Áreas de Proteção Ambiental
APM	Áreas de Proteção de Manancial
APP	Áreas de Proteção Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCA	Faculdade de Ciências Agrônomicas
FESPSP	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira
POP	Poluente Orgânico Persistente
RC	Resolução CONAMA
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SSV	Sólido Suspenso Volátil
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de ETEs	18
Tabela 2. Valores máximos permitidos de substâncias químicas no biossólido a ser destinado para uso em solos agrícolas, segundo a Resolução CONAMA nº498/2020	21
Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos, segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020	22
Tabela 4. Comparação entre a Instrução Normativa DAS nº 27/2006 do MAPA em relação à Resolução CONAMA nº 498/2020	24
Tabela 5. Tratamentos propostos para a avaliação de campo	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	13
3 JUSTIFICATIVA	13
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
4.1. O LODO COMO FERTILIZANTE	15
4.2. TIPOS DE LODO	18
4.3. REQUISITOS DE QUALIDADE DE COMPOSTAGEM PARA O USO DO LODO NA AGRICULTURA	19
4.4. USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NO ESTADO DE SÃO PAULO, ATRAVÉS DE REGISTRO JUNTO AO MAPA	23
5 MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1. ETAPAS DA METODOLOGIA SUGERIDA PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA	26
6 CRONOGRAMA	27
7 RESULTADOS ESPERADOS	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A possível suspensão da exportação de fertilizantes produzidos na Rússia, como consequência da guerra com a Ucrânia, pode comprometer a produção agrícola nas safras do próximo ano. Quase 25% do produto utilizado no Brasil vêm da Rússia e Belarus, países que sofrem sanções econômicas após o ataque à Ucrânia (AZEVEDO, 2022).

Outro dado importante, segundo Azevedo, 2022, e que preocupa os agricultores brasileiros é que, de acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda), cerca de 85% dos fertilizantes utilizados na agricultura do Brasil vêm do exterior, a maior parte originada na Rússia, que é o maior exportador mundial de NPK – fertilizantes nitrogenados (N), fosfatados (P) e os de potássio (K). A participação do país europeu de todo NPK consumido no mundo está na ordem de 16%.

Com a crescente urbanização e a evolução das tecnologias de tratamento de esgotos, observa-se o aumento da geração do lodo de esgoto no Brasil. Segundo Barbosa & Tavares Filho (2006), quando o lodo é tratado e processado, obtêm características aceitáveis para o uso agrícola de maneira ambientalmente segura. Isso se deve ao fato de que os biossólidos possuem nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros essenciais às plantas, que são ricos em matérias orgânicas, além de atuarem como condicionadores de solo, melhorando sua estrutura. Sendo assim, a reciclagem de matéria orgânica e dos nutrientes presentes no lodo é o principal benefício para o meio ambiente, podendo substituir parcialmente o uso de adubos químicos (COSCIONE et al. 2010).

De acordo com Lyra (2018), este resíduo é gerado em maior quantidade nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e tem como destino final, quase sempre, os aterros sanitários. Esta disposição não é a melhor opção por vários aspectos: o elevado custo de disposição em aterros; a legislação a partir de 2014, que obriga a deposição em aterros específicos, portanto mais caros; o lodo de esgoto contém alta umidade e gera chorume que, deverá, por sua vez, ser contido e tratado; a elevada concentração de nutrientes para as plantas e matéria orgânica contidos no lodo, fazendo desse uma alternativa para utilização na agricultura como fertilizante e melhorador do solo; a possível estabilização do lodo de esgoto através da compostagem.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar a viabilidade da utilização do lodo como fertilizante agrícola, analisando, em parceria com o Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP, o composto produzido na unidade de compostagem localizada na Fazenda Experimental Lajeado em Botucatu/SP, estabelecida em parceria entre aquela Faculdade e a SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, quanto ao seu potencial agrícola e seu enquadramento na legislação e suas formas de utilização, a fim de minimizar os possíveis impactos ao meio ambiente.

3 JUSTIFICATIVA

As questões ambientais tornaram-se um dos assuntos mais discutidos no mundo. Com o grande crescimento populacional, o aumento no consumo per capita, e, conseqüentemente, maior geração de resíduos sólidos, faz-se necessário debater formas de reduzir a degradação ambiental, devolvendo ao meio ambiente o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos - ETEs já estabilizado e de forma qualitativa, bem como a adoção de ações para aprimorar a gestão operacional e o desempenho ambiental das estações que tratam o resíduo, promovendo o aproveitamento dos subprodutos gerados no processo – biogás, lodo e efluente líquido – como recursos sustentáveis (SABESP, 2022).

É preciso, então, buscar uma solução sustentável para o problema da geração de lodo em larga escala, avaliando a viabilidade do seu uso agrícola, que pode ser uma boa alternativa de disposição, dado que a agricultura demanda uma grande quantidade de nutrientes e sua oferta está potencialmente prejudicada em função da guerra na Ucrânia.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma das principais preocupações do mundo hoje está voltada ao futuro do meio ambiente, principalmente tendo o esgoto doméstico como um dos principais poluentes. O lançamento dos esgotos diretamente nas vias hídricas, provoca conseqüências diretas no ambiente aquático, afetando características químicas, físicas e biológicas, causando desequilíbrio das interações estabelecidas no ecossistema. Por esse motivo, é preciso tratar as águas residuárias e remover a matéria orgânica presente nela (MINGOTI, 2017).

A disposição dos resíduos diretamente no solo traz diversos problemas de contaminação para o próprio solo, às plantas e às águas superficiais e subterrâneas. As fases iniciais da degradação da matéria orgânica podem gerar compostos tóxicos para as plantas e poluentes para o ambiente, além da produção de gases e maus odores que se espalham no ar. A disposição de lodos em lixões ou em aterros controlados, também é uma solução inadequada e ilegal, segundo a legislação brasileira. Os resíduos lançados dessa forma acarretam problemas à saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças, odores desagradáveis e poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume, que é produzido a partir da decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos (FEAM, 2014).

Os esgotos domésticos são tratados e tem como resultado um produto heterogêneo e semissólido, rico em matéria orgânica e em nutrientes que chamamos de lodo de esgoto (BROSSI, 2008). Segundo Jordão & Pessoa (2005), o lodo adquire posição de destaque entre os resíduos gerados no processo de tratamento de esgoto, merecendo atenção especial não somente pelo seu potencial poluidor, mas, também, no que diz respeito à complexidade de seu tratamento e pelos custos do seu manejo adequado.

A reutilização do lodo gerado nas ETEs já é prática em alguns países e vem sendo alvo no mundo todo por estudiosos da área e gerando diversas pesquisas como de Tavares & Harbeli (2011), Teixeira (2012), Sedyama (2009) e Andrade (2012). No Brasil, na última década, por exemplo, vários títulos abordam a busca de solução para a disposição final do lodo de esgoto, como Alamino (2010); Corrêa & Fonseca (2007), Alves Filho (2014), entre outros.

Os resíduos de esgoto gerados são, normalmente, classificados como: domésticos, que tem sua origem em residências, edifícios comerciais, escolas e são despejados em águas pluviais; ou industriais, conforme a finalidade da indústria onde é utilizado a água para fins diversos. Segundo Gomes (2011), uma pessoa gera em torno de 0,15 litros de lodo, sendo 20% sólido desse total. Uma cidade do tamanho de São Paulo, por exemplo, pode chegar a gerar até 711 toneladas de lodo de esgoto diariamente (REZENDE, 2005).

Além da grande quantidade gerada, o Brasil ainda enfrenta a dificuldade em descartar o lodo proveniente das ETEs. O destino mais comum do resíduo são os aterros sanitários, contudo, já há pesquisas que apontam que a disponibilização do resíduo para solos com finalidades agrícolas, é a mais adequada nos dias de hoje. Os aterros sanitários movimentam grandes volumes de terra contribuindo, muitas vezes, para a degradação ambiental, por utilizarem solos provenientes de jazidas naturais. Entretanto, o lodo gerado na ETE ainda é um desafio grande para as empresas de saneamento (FARIA, 2007).

A prática de descarte dos efluentes urbanos nos mananciais de água é claramente repudiada pela sociedade, visto que causa um efeito desastroso contaminando os recursos hídricos, refletindo diretamente na vida da população que utiliza a mesma água para abastecimento. Desta forma, vemos o número de ETEs crescer de maneira acelerada no país, gerando necessidades do estabelecimento de normas específicas para a disposição final do lodo de esgoto produzidos nessas estações (MINGOTI, 2021).

4.1. O LODO COMO FERTILIZANTE

O lodo para ser utilizado na agricultura, deve apresentar características adequadas, podendo vir a ser utilizado no condicionamento do solo, disponibilizando nutrientes para o plantio e transformando um grande problema numa ótima solução. Composto por macro e micronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, o lodo de esgoto pode ser utilizado como complemento e solução econômica para plantio de culturas, bastando substituir parte ou a integridade do fertilizante mineral pelo composto orgânico (BETTIOL & CAMARGO, 1982).

Lodos são efluentes sólidos das estações de tratamento de esgoto que não foram introduzidos nos ciclos de recuperação e reciclagem. Já os biossólidos são os sólidos após adequação e tratamento, em qualquer forma, que são destinados ao uso agrícola (SPINOSA, 2007). No entanto, a expressão “lodo de esgoto” tem um largo uso na bibliografia sobre o assunto e, portanto, neste projeto não será feita a diferenciação entre os materiais.

Segundo Mingoti (2021), alguns estudiosos acreditam que o lodo de esgoto é um resíduo sólido não perigoso, dependendo de sua origem, e não inerte gerado no tratamento biológico de esgotos sanitários. A qualidade e as características dos lodos produzidos em ETEs são definidas, entre outros fatores, pela qualidade dos esgotos afluentes, pela maneira de tratamento utilizada e pela eficiência operacional do sistema pelo qual foi produzido. A sua composição é predominantemente orgânica, com 60 a 75% de matéria orgânica (base matéria seca). Na fração mineral, encontram-se partículas de areia fina, argila, silte e elementos químicos, como nutrientes de plantas e metais pesados (OLIVEIRA; CHIARADIA.; ABREU JUNIOR, 2021).

Segundo Alloway (1990); Tiller (1989) e Tdsadilas et al (1996), o lodo de esgoto é uma fonte alternativa potencial de nutrientes para as plantas devido aos elevados teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S). Contudo, a existência de metais pesados como Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Crômio (Cr), Cobre (Cu) etc faz necessário o cumprimento de requisitos para sua utilização. Os lotes

de lodo de esgoto e de produtos derivados para o uso agrícola devem respeitar os limites máximos de concentração de metais pesados e agentes patogênicos definidos na Resolução CONAMA, nº 498 de 19 de agosto de 2020. Para terem aplicação agrícola, os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, devem ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores (CONAMA, 2020).

Deste modo, a Resolução CONAMA nº 498/2020 exige o monitoramento das áreas onde o lodo de esgoto será aplicado, isto é, o gerador do resíduo, no caso as ETEs, deve ser capaz de identificar qual lote de lodo de esgoto foi aplicado em qual área agrícola, verificando a forma de aplicação, qualidade do lodo e outros fatores. E, para garantir a segurança, a reciclagem do lodo é recomendada quando existe um controle eficiente de sua estabilidade e seu conteúdo de contaminantes biológicos e químicos.

A sua reciclagem agrícola, é prática tradicional na Europa, Austrália, Canadá e Estados Unidos, tanto para o aproveitamento de nutrientes ou como condicionador de solos. No Brasil, embora seja tema de pesquisas desde o final da década de 1970, o seu uso só foi concretizado, em escala operacional, a partir do final da década de 1990, essencialmente nos estados de São Paulo, Paraná e no Distrito Federal. É uma prática relativamente nova no país, pois o grande desafio ainda é a coleta, afastamento e tratamento dos esgotos, evitando despejá-los in natura nos rios (MINGOTI, 2021).

As regras do uso do lodo como matéria-prima foram atualizadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa SDA Nº 61 de 08/07/2020 e, como resíduo, o seu uso direto no solo segue os critérios da Resolução CONAMA Nº 498 de 19 de agosto de 2020, versão atualizada e que revoga as Resoluções nº 375/2006 e 380/2009.

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 498/2020, mesmo o lodo sendo rico em matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio, fósforo e micronutrientes, sua utilização não pode ser feita diretamente no solo para cultivo agrícola, por conter organismos com potencial patogênico como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias (CONAMA, 2020).

Para aplicação em solo, o lodo deve passar por tratamento para redução desses patógenos. Esses processos podem incluir digestão aeróbia ou compostagem, digestão anaeróbia, estabilização alcalina e secagem térmica (QIN LU & STOFELLA, 2012).

Ainda, conforme o CONAMA nº 498/2020, a redução significativa de patógenos ocorre nas seguintes etapas:

- **Digestão Aeróbia** – termófila e na presença oxigênio, com tempos de residência de 10 dias, sob temperaturas de 55 a 60°;
- **Digestão Anaeróbia** – ocorre por um período mínimo de 15 dias a 35°- 55°C ou de 60 dias a 20°C;
- **Estabilização Alcalina** – é realizada a adição de cal a fim de elevar o ph, até pelo menos 12, por no mínimo duas horas;
- **Secagem Térmica** – redução da umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos;
- **Compostagem** – por qualquer método citado anteriormente desde que, a biomassa atinja temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos 5 dias, com oscilações de 55°C, por 4 horas ininterruptas durante o período.

O processo de compostagem é uma saída adequada para o problema do lodo, sendo uma opção viável, apresentando vários benefícios tanto do ponto de vista ambiental, como em fins econômicos. A partir desse processo, é possível obter um produto final denominado composto orgânico com alta qualidade, podendo vir a ser usado na agricultura, respeitando as normas sanitárias e ambientais (ANDREOLLI et al., 1999).

Neste processo biológico, a matéria orgânica é decomposta pela ação de microrganismos e enzimas, que levam a fragmentação e oxidação gradual de detritos (BUDZIAK et al., 2004). O processo de compostagem visa tratar e estabilizar resíduos orgânicos com o objetivo de produzir composto orgânico e para que ocorra é necessário que haja microrganismos e qualquer fator que afete a atividade microbiológica, sendo ele: aeração, temperatura, teor de umidade, teor de nutrientes e relação C/N (NOGUEIRA et al., 2007; VERAS e POVINELLI, 2004).

Os processos de compostagem ocorrem em duas fases distintas: estabilização e maturação. Primeiramente, microrganismos mesófilos se instalam e provocam a elevação da temperatura. Quando esta atinge entre 40°C e 45°C, ocorre diminuição da população mesofílica e aumento dos microrganismos termófilos, o que provoca elevação da temperatura até 70°C, levando a uma intensa degradação da matéria orgânica. Quando a temperatura abaixa e atinge valores próximos a temperatura ambiente, está concluída a fase de estabilização (FERNANDES et al., 1993; SILVA, 2007).

4.2. TIPOS DE LODO

Os processos de tratamento de esgotos podem dar origem a diversos tipos de lodo, variando conforme as tecnologias utilizadas, as etapas do processo, a opção de estabilização e o condicionamento do lodo. A compreensão da variedade de lodos existentes é relevante para a definição dos tratamentos mais adequados a cada tipo de lodo. Para cada um dos tratamentos, é preciso considerar as características esperadas para o lodo, os requisitos de qualidade exigidos, pensando sempre na destinação que será dada e a redução de volume do resíduo (von SPERLING & GONÇALVES, 2001).

Tabela 1. Classificação de lodos de ETEs

TIPO DE LODO	ORIGEM	CARACTERÍSTICAS
Lodo primário ou bruto	Proveniente do tratamento primário do esgoto e obtido, normalmente, por sedimentação.	Possui uma coloração acinzentada, é pegajoso, de odor desagradável e pode decompor-se facilmente.
Lodo digerido	Processos de estabilização de lodos.	Apresenta redução de SSV superior a 40%, dependendo do processo empregado. Quando bem digerido não possui odor ofensivo.
Lodo aeróbio não-estabilizado	Sistemas de lodos ativados e em reatores aeróbios com biofilmes – alta carga (von Sperling e Gonçalves, 2001).	Compreende a biomassa de micro-organismos aeróbios, gerada nos processos metabólicos de degradação da matéria orgânica, descartada do sistema. Necessita de processo de digestão complementar.
Lodo aeróbio estabilizado	Lodos ativados com aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilmes – baixa carga (von Sperling e Gonçalves, 2001).	Constitui o lodo excedente, resultante de respiração endógena prevacente, com um menor teor de matéria orgânica e maior quantidade de sólidos inorgânicos, não havendo necessidade de uma etapa posterior de digestão.
Lodo anaeróbio estabilizado	Processos de degradação da matéria orgânica, em condições anaeróbias. Ocorrência em reatores anaeróbios e no fundo de lagoas de estabilização.	Lodo com menor teor de matéria orgânica, quanto melhor a digestão, menor o potencial de geração de odor.
Lodo misto	Tratamento conjunto de lodos excedentes, de origem em tratamentos primário e secundário.	Suas características são uma composição dos lodos que lhe deram origem.
Lodo químico	Produzido em estações de tratamento onde se tem uma etapa físico-químico de tratamento da fase líquida.	

Fonte: Adaptado de von Sperling e Gonçalves (2001); Ferreira et al (1999).

4.3. REQUISITOS DE QUALIDADE DE COMPOSTAGEM PARA O USO DO LODO NA AGRICULTURA

A preocupação com compostos orgânicos está diretamente associada aos potenciais riscos à saúde humana e a qualidade de um produto desse tipo é fator preponderante para a saúde do sistema que liga o solo, a água, o ar e a planta.

A investigação em sistemas de esgotamento sanitário é relativamente recente, e as metodologias de análises não estão totalmente definidas. Essas metodologias servem para a identificação qualitativa e quantitativa dos compostos orgânicos perigosos e estão sendo desenvolvidas e padronizadas por meio de estudos das propriedades dos resíduos, assim como métodos de remoção (CESÁRIO SILVA et al., 2001).

Há controvérsias em relação a avaliação da maturação do composto orgânico. No que se refere ao período que se leva para a completa maturação do composto, Cravo et al. (1998) e Jahnel et al. (1999), definiram que oito semanas seriam suficientes para a realização da compostagem, utilizando critérios de pH, teores totais de P, N, matéria orgânica, temperatura interna da leira e evolução de CO₂. Entretanto, DeVleeschauwer et al. (1981) consideraram que quatro meses é o período mínimo de maturação. Provavelmente, essa diferença deve-se aos métodos de avaliação usados pelos pesquisadores.

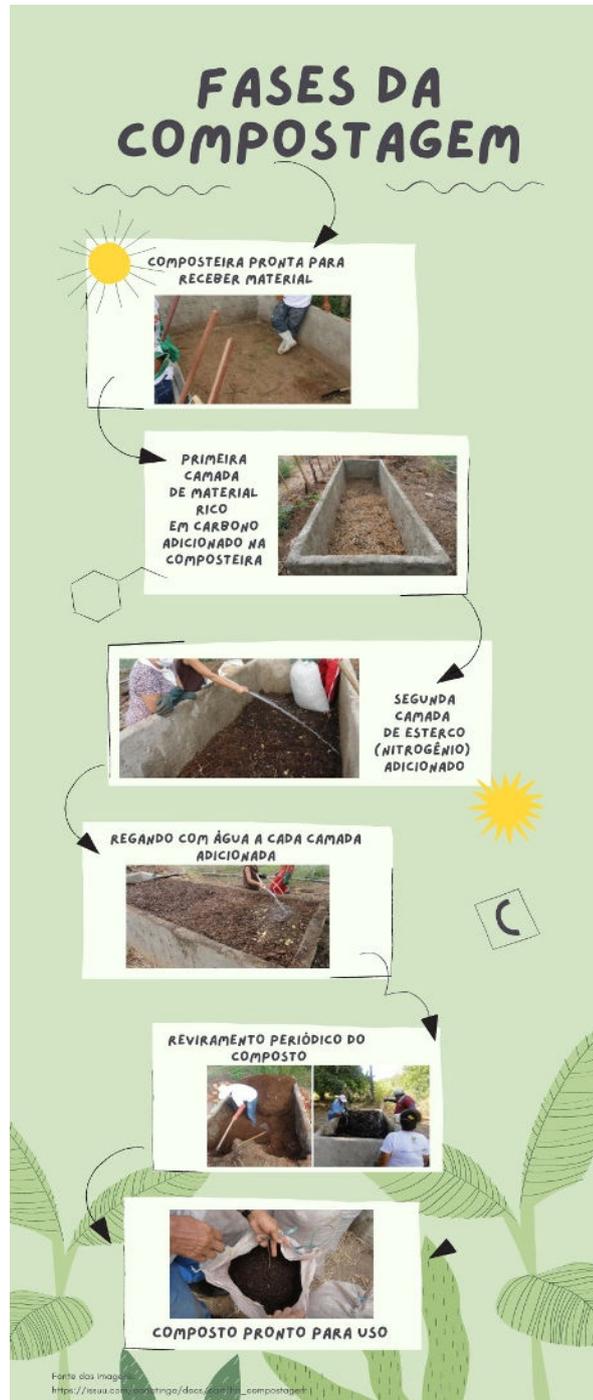
O uso do lodo na agricultura pode ser realizado por meio de duas abordagens distintas: diretamente como um resíduo sólido proveniente do processo de tratamento de esgoto, porém, nesse caso, depende de um processo de licenciamento junto ao órgão ambiental competente, no caso do estado de SP, a CETESB, ou como um produto agrícola que, nesse caso, depende de um processo de registro junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (DA SILVA, 2018).

De acordo com Lyra (2018), uma alternativa encontrada para o uso na agricultura do lodo de esgoto é proceder seu tratamento para que possa ser enquadrado como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D, de acordo com as normas do MAPA. A regulamentação de padrões de qualidade contribui para a produção de compostos de qualidade e fornece base para o comércio de produtos eficientes que não são considerados resíduos tóxicos.

A Resolução CONAMA nº 498/2020 estabelece que a caracterização do lodo de esgoto a ser aplicado na agricultura deve incluir, poluentes orgânicos persistentes – POPs e outras substâncias como benzenos clorados; ésteres de ftalatos; fenóis não clorados; fenóis clorados; hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. O lodo de esgoto ao ser misturado com

uma fonte de carbono permite a elevação da temperatura, o que possivelmente permitirá a desinfecção da massa, através da diminuição ou eliminação dos organismos patogênicos.

Figura 1. Fases da compostagem apresentada na Cartilha da Compostagem (2018)



Fonte: Cartilha da Compostagem (2018)

Nas tabelas 2 e 3, são apresentados os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado à agricultura, segundo a Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020.

Conforme o artigo 10, da RC nº498/2020, o biossólido para uso, em solos, será classificado em Classe 1 ou Classe 2, de acordo com os valores máximos permitidos de substâncias químicas, conforme apresentado na tabela 2, os quais não poderão ser ultrapassados em qualquer das amostras analisadas.

Também segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020, agora no Parágrafo único, o biossólido Classe 2 somente poderá ser aplicado em solos se a taxa máxima anual e a carga máxima acumulada de substâncias químicas não exceder os limites apresentados na tabela 2 (CONAMA, 2020).

Tabela 2. Valores máximos permitidos de substâncias químicas no biossólido a ser destinado para uso em solos agrícolas, segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020

Substâncias químicas	Valor máximo permitido no biossólido (mg/kg ⁻¹ ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1500	4300
Cromo	1000	3000
Mercurio	17	57
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2800	7500

Fonte: Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020.

Na Seção IV, da Resolução CONAMA nº498/2020, são definidas algumas restrições de Usos de Biossólido em Solos. O lodo de esgoto possui classificações de acordo com as suas especificações de uso como podemos ver a seguir, conforme CONAMA (2020).

- Classe A – poderão ser utilizados para quaisquer culturas, sempre respeitando as restrições determinadas na Resolução. Entretanto, a aplicação do biossólido Classe A não será restringido em casos de cultivo ou colheita de: I. Produtos alimentícios que não têm contato

com o solo; II. Produtos alimentícios que não são consumidos crus; III. Produtos não alimentícios. Não há restrições para aplicação em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas.

- Classe B – utilização restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos (respeitada algumas restrições da resolução). É proibida a utilização de biossólido Classe B no cultivo de produtos alimentícios que possam ser consumidos crus. Também não há restrições para aplicação em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas.

Não é permitida a aplicação de lodo em Áreas de Proteção Ambiental – APA, Áreas de Proteção Permanente – APP, assim como em Áreas de Proteção de Mananciais – APMs, entre outros locais que coloquem em risco o meio ambiente, bem como a saúde humana (CONAMA, 2020).

Também, para fins agrícolas, segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020, a concentração de patógenos no lodo de esgoto ou produto derivado, deve obedecer aos limites apresentados na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos, segundo a Resolução CONAMA nº 498/2020

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <math><10^3</math> NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos <math><0,25</math> ovo/g de ST Salmonella ausência em 10g de ST Vírus <math><0,25</math> UFP ou UFF/g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <math><10^6</math> NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos ,10 ovos/g de ST

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; FP: Unidade Formadora de Placa. Fonte: Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020.

4.4. USO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NO ESTADO DE SÃO PAULO, ATRAVÉS DE REGISTRO JUNTO AO MAPA

O uso agrícola do lodo é uma medida que vai ao encontro dos objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, principalmente quanto ao reaproveitamento de resíduos e seu uso benéfico. Contudo, o principal benefício desta prática é permitir que os nutrientes presentes no lodo de esgoto, especialmente o nitrogênio e o fósforo possam ser reciclados no solo, reduzindo a demanda da produção agrícola por fertilizantes sintéticos. Além disso, como alertam os especialistas, o fósforo é um recurso finito e suas reservas de exploração economicamente viáveis podem se esgotar em um período de 60 a 100 anos se mantivermos o mesmo ritmo de crescimento atual do consumo de alimentos (DA SILVA, 2017).

O processo de registro de lodo de esgoto junto ao MAPA, visando seu uso como fertilizante ou condicionador de solo é uma prática que vem sendo utilizada por algumas companhias de saneamento no país.

No MAPA, os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais, e os condicionadores de solo que utilizam em sua composição quaisquer quantidades de lodo de esgoto são classificadas como “Classe D”. Essa classificação não tem qualquer relação com o processo de higienização empregado para o lodo de esgoto, ou seja, não tem relação com a classificação “Classe A” e “Classe B” da Resolução CONAMA nº498/2020, que é utilizada para se referir à concentração de patógenos no lodo tratado (DA SILVA & MIKI, 2017).

A Instrução Normativa SDA Nº 27/2006 do MAPA (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016) estabelece limites de agentes fitotóxicos, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, condicionadores de solo e substrato para plantas.

Tabela 4. Comparação entre a Instrução Normativa SDA nº27/2006 do MAPA em relação à Resolução CONAMA nº498/2020

Contaminante	Res. CONAMA 498/2020				MAPA Valor máx. admitido SDA nº 27/2006
	Químicos		Microbiológicos		
	Classe 1	Classe 2	Classe A	Classe B	
Arsênio (mg/kg ST)	41	75			20
Bário (mg/kg ST)	1300	1300			
Cádmio (mg/kg ST)	39	85			3
Chumbo (mg/kg ST)	300	840			150
Cobre (mg/kg ST)	1500	4300			
Cromo (mg/kg ST)	1000	3000			
Cromo Hexavalente (mg/kg ST)					2
Mercúrio	17	57			1
Molibdênio	50	75			
Níquel	420	420			70
Selênio	36	100			80
Zinco	2800	7500			
Coliformes Termotolerantes – NMP/g de MS (m.s.)					1000
Escherichia coli por grama de sólidos totais (NMP/g de ST)			1000	1.000.000	
Ovos viáveis de helmintos – nº por Quatro gramas de sólidos totais (nº/4g ST)					1
<i>Salmonella sp</i>					Ausência em 10g de ms
<i>Vírus Entéricos</i>					
Materiais Inertes	Vidros, plásticos, metais > 2mm				
	Pedras > 5mm				

UFP: Unidade de Placas; UFF: Unidade Formadora de Foco.

Fonte: DA SILVA (2017).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento proposto será instalado em área da Fazenda Experimental Lajeado, da Faculdade de Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Fo.”, FCA/UNESP, com solo do tipo Latossolo Vermelho Distrófico. A planta utilizada para avaliação será a cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), variedade CTC4, com o espaçamento de 1,5m entre sulcos e 10cm entre plantas, e adubação conforme abaixo:

Tabela 5. Tratamentos propostos para a avaliação de campo

Tratamento	Doses de Aplicação	Repetições
Composto de Lodo de Esgoto	10 ton/ha	4
Composto de Lodo de Esgoto	20 ton/ha	4
Composto de Esterco Bovino	10 ton/ha	4
Composto de Esterco Bovino	20 ton/ha	4
Adubação Química Convencional	N = 100 kg/ha (sulfato de amônio) P = 80 kg/ha (superfosfato triplo) K = 80 kg/ha (cloreto de potássio)	4

No total, serão 20 parcelas de 6 x 10 metros, distribuídas inteiramente ao acaso. Todos os tratamentos receberão uma aplicação prévia de calcário (basicamente Carbonato de Cálcio) na dose de 2 toneladas/ha.

O composto de lodo de esgoto a ser utilizado será aquele produzido na Unidade de Compostagem de Lodo de Esgoto da ETE Lageado da Sabesp, localizada na Fazenda Experimental Lageado. O composto de Esterco Bovino será adquirido no mercado, de fornecedores registrados.

O solo e os compostos serão analisados no laboratório de análises químicas do Departamento de Ciência do Solo da FCA/UNESP em quatro momentos: T0 = pré plantio; T1 = após três meses; T2 = após seis meses e T3 = Colheita. Nos momentos T1, T2 e T3, serão colhidas amostras de planta para avaliação do desenvolvimento (altura e diâmetro) e estágio nutricional.

As análises de solo e compostos será concentrada na quantidade de macro e micronutrientes, além dos metais pesados cádmio, cobre, chumbo, cromo, mercúrio e níquel. Os métodos empregados serão conforme o “Manual de métodos de análise de solo” (TEIXEIRA, *et al.*, 2017).

A análise dos macro e micronutrientes se dará como segue: Carbono Total; Carbono Orgânico; Nitrogênio Total; Amônia (NH₄); Nitrato (NO₃-); Nitrito (NO₂-); Fosfato (PO₄); Potássio (K₂O); Micronutrientes Totais (boro, cloro, molibdênio, cobre, ferro, zinco e manganês). Será analisada apenas a forma móvel dos metais pesados, ou seja, aquelas passíveis de serem extraídas pelas plantas. Na colheita (T3), será avaliada a eventual acumulação de metais pesados pelas plantas, através da análise do tecido vegetal.

O estado nutricional das plantas será avaliado conforme Malavolta *et al.*, 1997.

Todos os resultados serão submetidos a análise estatística, constando de Análise de Variância e comparação de médias pelo Teste de Tukey.

5.1. ETAPAS DA METODOLOGIA SUGERIDA PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A amostragem dos resíduos será realizada conforme a NBR 10.007, Amostragem de Resíduos (ABNT, 2007). O lodo compostado será caracterizado de acordo com seus parâmetros biológicos e físico-químicos. O objetivo principal é conhecer os riscos sanitários e ambientais, como o grau de patogenicidade do lodo de esgoto, a concentração de metais, a variação do pH e o comportamento dos sólidos no processo de estabilização. Dessa forma, serão realizadas as análises com base na Resolução nº498 do CONAMA.

O projeto de pesquisa consta de:

1) Obtenção de composto de lodo, analisá-lo com profundidade, comparando com os requisitos da norma federal. Se estiver alinhado com o que é exigido pela norma, não possuir contaminantes ou os contaminantes existentes estiverem dentro de parâmetros aceitáveis, será aprovado para o uso agrícola. Caso o lodo de esgoto tratado não esteja de acordo com os requisitos para uso agrícola, será avaliado em que momento o processo falhou e indicadas quais as medidas precisam ser tomadas para correção das falhas e nova testagem;

2) Estabelecimento de um teste de campo, utilizando duas doses de composto de lodo, comparando com duas doses de composto de esterco bovino (ou de aves) disponível no mercado – em média, 10 e 20 toneladas/hectare; os dois serão comparados com a adubação química tradicional para cana-de-açúcar. Instalar parcelas de 2 X 10 metros, com quatro repetições para cada tratamento. Assim, teremos 2x4 + 2x4 + 1x4 = 20 parcelas. Serão analisados: os dois compostos; o solo; o solo em três amostragens após o plantio (3, 6, 12 meses) para avaliar a liberação de nutrientes e eventuais contaminantes no solo; as plantas (3,

6 e 12 meses), para avaliarmos a absorção dos nutrientes e o desenvolvimento das mesmas (peso seco e crescimento – altura e diâmetro).

6 CRONOGRAMA

ETAPAS	ABR/22	MAI/22	JUN/22	JUL/22	AGO/22	DEZ/22	JAN/23	ABR/23	JUL/23	JAN/24	FEV/24
Levantamento bibliográfico											
Instalação do experimento											
Início dos testes de campo											
1ª análise química do composto (pré-plantio)											
2ª análise química											
3ª análise química											
Colheita e 4ª análise											
Análise estatística dos dados obtidos e elaboração de um paper para publicação											

7 RESULTADOS ESPERADOS

O resultado final deve ser a avaliação do potencial agrícola que o lodo pode oferecer como fertilizante e permitir seu enquadramento na legislação e suas formas de utilização, a fim de minimizar os possíveis impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais.** 2010. 221 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2010.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils.** New York. John Wiley & Sons, 1990. 339p.
- ALVES FILHO, A. **Desinfecção de lodo de esgoto anaeróbio para fins agrícolas.** 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- ANDRADE, E. M. G.; SILVA, H. S.; SILVA, N. S.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; FURTADO, G. F. Aducação organomineral em hortaliças folhosas, frutos e raízes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 07-11, 2012.
- ANDREOLI, C. V. et al. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.
- ANDREOLI, C. V.; DE LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Soluções.** Curitiba: Sanepar: Finep, 1999. 288 p.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte, v. 6, 2. ed, Editora UFMG, 2014. 444 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 9648/86: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, p. 5. 1986a.
- AZEVEDO, A. Com a Guerra da Ucrânia vai faltar fertilizante. **Revista Exame.** São Paulo, 04 mar. 2022. Disponível em <<https://exame.com/brasil/com-a-guerra-na-ucrania-vai-faltar-fertilizante-no-brasil/>>. Acesso em 30 jul. 2022.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. **Uso agrícola do lodo de esgoto: força nas propriedades e físicas do solo, produtividade e recuperação das áreas degradadas.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 4, pág. 565-580, out./dez. 2006.
- BARREIRA, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. *Eng. sanit. ambient.*, v. 11, n. 4, p.385-393, 2006. - BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos.** Murilo Carlos M. Veras (Org.). Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2014. 220 p.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T. **Resíduo orgânico como fertilizante para a cultura do milho.** 1982a.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T. **Utilização do resíduo orgânico primário e fertilizantes organomineral IPT na cultura do milho.** 1982b.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. **Utilização do resíduo orgânico como fertilizante.** 1983.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.** Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 29 de agosto de 2006. 2006a.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 380, de 31 de outubro de 2006.** Retifica o anexo 1 da Resolução CONAMA nº 375/06. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 31 de outubro de 2006. 2006b.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020.** Revoga as resoluções nº 375/06 e nº 380/06. Ministério do Meio Ambiente - Conselho nacional do Meio Ambiente. Brasília, 31 de outubro de 2020. 2020. Disponível em <http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797>. Acesso em 31 jul. 2022.

BRASIL. MAPA. **Decreto Federal 4.954 de 14/01/2004, alterado pelos Decretos nº 8.059 de 26/07/13 e nº 8.384 de 29/12/14, e pelas Instruções Normativas nº 27 de 05/06/2006 e nº 25 de 23/07/09.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA. Diário Oficial da União. Brasília, 14 de janeiro de 2004. 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da 2 produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à três agriculturas, e dá outras providências. Poder Executivo. Brasília, 16 de dezembro de 1980. 1980.

BROSSI, M. J. L. **Ecotoxicologia de um sistema florestal de eucalipto tratado com lodo de esgoto.** 2008. 85p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura- Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. B. F.; MANGRICH, A. S. **Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira.** Quim. Nova, Universidade Federal do Paraná, Paraná, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/qn/a/MxQtjrrCky9dbhRhgsHLDNd/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 02 ago. 2022.

CESÁRIO SILVA, S.M. **Principais contaminantes do lodo**. In: VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2001.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios projeto e operação**. Diário Oficial Estado de São Paulo. 131 ed. CETESB, 29 de setembro de 2021. Manual Técnico P4.230. São Paulo, 2021. 53 p. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/P4.230_Aplicacao-de-lodo-de-sistema-de-tratamento-biologico-de-efluentes-liquidaos-sanitarios-em-solo-diretrizes-e-criterios-para-projeto-e-operacao-2a-Edicao-Maio-2021.pdf>. Acesso em 31 jul. 2022.

COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa**. 2001. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 278 f.

CORREA, R.S; FONSECA, Y.M.; CORREA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol. 11, nº. 4, p. 420-426, ago. 2007.

CRAVO, M.S.; MURAOKA, T. & GINÉ, M.F. **Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras**. R. Bras. Ci. Solo, 22:547-553, 1998. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KGMSzTdMSfKcF9ZBcXGKtK/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 31 jul. 2022.

DA SILVA, B. S.; MIKI, M. K. Análise crítica dos instrumentos legais do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA) para uso agrícola do lodo de esgoto. **Revista DAE**, São Paulo, pag. 54–70. nº 205, jan. 2017.

DeVLEESCHAUWER, D.; VERDONICK, O.; van ASSCHE, P. **Phytotoxicity of refuse compost**. Biocycle, 22:44-46, 1981.

FARIA L. C. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica**. 2007. 105p. Tese (Doutorado) - Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. Minas Gerais: 2014. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf> Acesso em: 1 ago. 2022.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Universidade de Londrina (UEL), Londrina, 1999. 84 p.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. **Estabilização de Lodo de Esgoto**. In: ANDREOLI, C.V. (Coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima; ABES, 2001.

GOMES, T. C. A. **Resíduos orgânicos no Processo de Compostagem e sua influência sobre a matéria orgânica do solo em cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 133 f. Tese de Doutorado – Curso: Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

JAHNEL, M.C.; MELLONI, R. & CARDOSO, E.J.B.N. **Maturidade de composto de lixo urbano**. Sci. Agric., 56:301-304, 1999.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 4ª ed., Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. Disponível em <https://www.abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Esgoto_CriseHidrica_Jordao.pdf>. Acesso em 01 ago. 2022.

KAJINO, L. K. **Estudo de Viabilidade de Implantação, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: uma abordagem econômica**. 2005. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Engenharia Industrial, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2005.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 288 p.

LYRA, R.V.B. **Relatório Científico Final - Compostagem do Lodo de Esgoto: Avaliação do Processo, do Produto Gerado e dos Custos**. Auxílio à Pesquisa – Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) – FAPESP, UNESP, Botucatu, 2018. 167 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARQUES, R. F. de P. V. **Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, 2011.

MINGOTI, J. Lodo de Esgoto: de resíduo a fertilizante orgânico. **Blog Tera Ambiental**. São Paulo, 05 ago. 2021. Disponível em <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/lodo-de-esgoto-residuo-a-fertilizante-organico>>. Acesso em 10 ago. 2022.

MINGOTI, J. Os problemas ambientais causados pela falta de tratamento de efluente. **Blog Tera Ambiental**. São Paulo, 04 mai. 2017. Disponível em <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/os-problemas-ambientais-causados-pela-falta-de-tratamento-de-efluente>>. Acesso em 09 ago. 2022.

MORETTI, SML. **Uso de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto com poda de árvore na cultura da cana-de-açúcar**. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FONSECA, I. M.; FERREIRA, C. S.; SANTOS, S. E.; FERREIRA, L. C.; GOMES, E.; FERNANDES, L. A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 331-338, 2007.

OLIVEIRA, F.C.; CHIARADIA, J. J.; ABREU JUNIOR, C. H. **Lodo de esgoto: De resíduo a fertilizante orgânico**. Citricultura Atual, Cordeirópolis, SP, Brasil, p. 28 - 30, 01 mai. 2021.

QIN LU, Z. L. H.; STOFFELLA, P.J. **Land Application of Biosolids in the USA: A Review**. Hindawi Publishing Corporation. v.2012. 11p.

RABELO, K. C. C. **Fertilizantes organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

REZENDE, C. I. O. **Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na seripilheira e no solo de um talhão de E. grandis**. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RUPPENTHAL, V.; CASTRO, A. M. C. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 145-150, fev. 2005.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo. **Tratamento de Esgoto**. São Paulo: 2020. Disponível em <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>>. Acesso em 19 jul. 2022.

SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; SANTOS, M. R.; SALGADO, L. T. Rendimento de pimentão em função da adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 294-299, set. 2009.

SOUZA, P.; MARQUES, M. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

SPINOSA, L. **Status and perspectives of sludge management**. In: Conference 196 Proceedings – Moving Forward – Wasterwater Biosolids Sustainability – Technical, Managerial and Public Synergy - 4^a Canadian Organic Residuals and Biosolids Conference. Moncton, New Brunswic, Canadá, p.24-27. 2007.

TAVARES, M. F. F.; HABERLI JUNIOR, C. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais**. Central de Cases, s. l., out. 2011. Disponível em: <<http://www2.espm.br/pesquisa/central-de-cases/banco-de-casos>>. Acesso em 31jul. 2018.

TEIXEIRA, N. T.; PAULA, E. L.; FAVARE, D. B.; ALMEIDA, F.; GUARNIERI, V. Adubação orgânica e orgânica-mineral e algas marinhas na produção de alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 07-11, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**, 3^a ed. rev. e amp. - Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p.

TILLER, K.G. **Micronutrients**. In: **Soils, an australian viewpoint**. London, Academic Press, 1989. p.365-388.

TSADILAS, C. D.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N.; DIMOYIANNIS, D. **Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions**. Commun. Soil Sci. Plant Anal., v. 26, n. 15-16, p. 2603-2619, 1995.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A. vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Eng. sanit. ambient.**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 218-224, jul/set 2004.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**, Belo Horizonte, v. 1, 2^a ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.