

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

LUANY ALMEIDA ALBARELO

**USO DE LODO DE ETE COMO REUSO EM ADUBAGEM PARA
CULTIVOS AGRICOLAS.**

VOLTA REDONDA, RJ

2023

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**USO DE LODO DE ETE COMO REUSO EM ADUBAGEM PARA
CULTIVOS AGRICOLAS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Aluna: Luany Almeida Albarelo

Orientador: Prof.^a. Ma. Joice Andrade de Araújo

**VOLTA REDONDA, RJ
2023**



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: USO DE LODO DE ETE COMO REUSO EM ADUBAGEM PARA CULTIVOS AGRICOLAS.

Elaborado por Luany Almeida Albarelo, matrícula: 201910476, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Ambiental.

Aprovada em 13 de novembro de 2023.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:



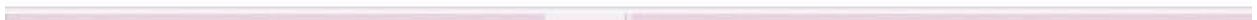
Prof.ª Orientadora Joice Andrade de Araújo, Mestra, UniFOA



Prof.ª Avaliadora Samantha Grisol da Cruz Nobre, Doutora, UniFOA



Prof.º Avaliador Marcus Vinicius Faria de Araújo, Mestre, UniFOA



DEDICATORIA

Papai,

O senhor para sempre será meu primeiro amor, meu exemplo de vida, de homem trabalhador e honesto

Mamãe,

Uma mulher forte, batalhadora, sábia, sua força que mantém nossa família!

A vocês dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força e proteção durante todos estes anos. Força para aguentar o ritmo diário de trabalho e estudo, e proteção na estrada durante 5 anos, sem que nada de mau acontecesse.

Agradeço ao meu Pai, que é minha força. Seu exemplo diário me inspira a continuar todos os dias, obrigada pelo seu amor e ensinamentos, sem eles eu não seria nada. Sua força e determinação em tudo que faz é maravilhoso. Obrigada por ter me dado a Agro Bio ela é meu orgulho de vida, o que eu amo fazer, meu trabalho.

Agradeço a minha Mãe, uma mulher trabalhadora que sempre foi a luta junto com o meu pai, construiu tudo que temos. Uma mulher sabia e forte, que mantém nossa família unida. Obrigada mãe, por ter persistido para eu aprender a administrar a Agro Bio, sem a senhora não saberia nada.

Agradeço ao meu noivo Jean, que nas semanas de prova mesmo cansado do trabalho me levava para eu poder voltar para casa mais cedo. Você é minha vida, Deus foi muito bom comigo.

À minha família, a vocês que sempre acreditaram em mim, divido com vocês as alegrias dessa vitória.

Agradeço ao corpo docente, técnico e ao Centro Universitário UniFOA pelo suporte e conhecimento adquirido ao longo de toda a minha formação acadêmica.

RESUMO

O lodo de esgoto é um resíduo gerado durante o processo de tratamento dos esgotos e consiste em um problema ambiental crescente, devido ao aumento das redes de coleta e tratamento desses efluentes. A disposição desse resíduo na agricultura vem se apresentando como a mais adequada, com efeitos positivos apontados por várias pesquisas. No entanto, existem critérios e procedimentos que devem ser contemplados para o gerenciamento legal do lodo. Nesse contexto, o objetivo deste estudo consiste em compreender e apresentar as principais diretrizes para utilização do lodo na agricultura, sua influência na fertilidade do solo, como condicionador de solo, e seu desempenho como substrato florestal, destacando os pontos positivos e negativos. Para tal, foi utilizada como base metodológica, pesquisa bibliográfica, no interm de 22 anos (2000-2022). Desse modo, pode-se concluir que o uso do lodo de esgoto na agricultura é uma prática promissora, desde que seja gerenciada de acordo com as diretrizes e procedimentos legais.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, Sustentabilidade, Legislação ambiental, Lodo de esgoto, Biossólidos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Problema abordado.....	11
1.2	Justificativa	12
1.3	Estratégias de pesquisa	13
1.4	Estrutura do projeto.....	14
1.5	Objetivo Geral	14
1.5.1	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Tratamento de esgoto	15
2.2	Lodo de Tratamento de Esgoto	21
2.3	Função dos fertilizantes orgânicos	25
2.4	O uso agrícola do Lodo de ETE e sua influencia.....	26
2.5	Produtividade e rentabilidade do lodo de esgoto como fertilizante	31
2.6	LEGISLAÇÃO	34
2.6.1	Política Nacional de Meio Ambiente	34
2.6.2	Política Nacional de Resíduos Sólidos	34
2.6.3	Lei de Saneamento Básico	35
2.6.4	Considerações sobre os limites de parâmetros químicos e microbiológicos fixados pela Resolução CONAMA 375, quanto a aplicação dos biossólidos.....	36
2.6.4.1	Substâncias Inorgânicas.....	37
2.6.4.2	Substâncias Orgânicas	39
2.6.4.3	Microbiológicos.....	40
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratégias para Definições das Soluções para Processamento e Destino Final de ETEs.	17
Figura 2 - Representação esquemática de um reator UASB.	18
Figura 3 - Lodo de ETE	22
Figura 4 - Plantação de Milho	28
Figura 5 - Plantio de eucalipto.....	29
Figura 6 - Pastagens na estação seca sem (A) e com (B) aplicação do lodo de esgoto da ETE Goiânia.....	30
Figura 7 - Imagens aéreas da mesma área de pastagem antes e depois da aplicação de lodo de esgoto e da implantação das técnicas de conservação do solo.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade atual de lodos utilizados para fins agrícolas no Brasil.	23
Tabela 2 - Principais características dos processos geradores dos lodos de esgoto nas estações, com destaque para o sistema de tratamento dos esgotos	23
Tabela 3 - Teores totais de C, N e P nos lodos de esgoto	24
Tabela 4 - Principais parâmetros de valor agronômico em lodos produzidos em diversas ETEs do Brasil.	27
Tabela 5 - Limites de substâncias químicas inorgânicas (metais pesados) para uso agrícola de biossólidos fixados pela regulamentação dos EUA.....	38
Tabela 6 - Concentrações máximas de patógenos, conforme classe de lodo, pela Resolução.....	40
Tabela 7 - Usos permitidos e respectivas restrições para lodos classe A.....	41
Tabela 8 - Usos permitidos e respectivas restrições para lodos classe B.	42

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Eficiência de diversos sistemas de tratamento de esgoto.....	20
--	----

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Níveis de tratamento de esgoto.....	16
--	----

LISTA DE SIGLAS

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CRF - Code of Federal Regulations (Código de Regulamentos Federais dos EUA).

CTER - Colônias Totais.

EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental).

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto.

EUA - Estados Unidos da América.

MO - Matéria Orgânica.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - Conselho Nacional de Pesquisa (nos EUA).

NMP - Número Mais Provável.

OMS - Organização Mundial da Saúde.

PRAP - Processo de Redução de Patógenos Adicionais.

SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

ST - Sólidos Totais.

UASB - Reatores de manta de lodo e fluxo ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

UFF - Unidades Formadoras de Foco.

UFP - Unidades Formadoras de Placas.

UK - Reino Unido.

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos EUA.

WEF - Water Environment Federation (Federação de Meio Ambiente de Água).

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o aumento populacional e as mudanças na legislação brasileira vêm se adotando cada vez mais, o uso de Estações de Tratamento de Esgoto para a adequação dos efluentes, com isso surge a necessidade de tecnologias que sejam capazes de transformar o potencial poluidor dos lodos resultantes desse processo. Dentre as alternativas para destinação do lodo, o uso na agricultura vem apresentando bons resultados. O efeito residual do lodo de esgoto é positivo sobre a fertilidade do solo, com aporte de diversos nutrientes, sendo uma alternativa à adubação convencional (Ferraz, 2013). De acordo com Vega *et al.* (2004), esse material apresenta em sua composição alto teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, além de micronutrientes. Santos *et al.* (2014) também destacam os benefícios da disposição agrícola do lodo de esgoto, haja vista a riqueza de nutrientes que apresenta, contudo, algumas restrições e cuidados são observados quando aplicado à horticultura.

1.1 Problema abordado

Mediante ao aumento da necessidade ambiental e da imposição legal quanto ao tratamento de esgoto, nasce a demanda por tecnologias capazes de mitigar os subprodutos do tratamento de esgoto, em particular, o denominado como lodo ou biossólido. Para o tratamento e disposição final do lodo, existem diversas tecnologias já consolidadas, tais como: biodigestor, desagüe e posterior disposição em aterro sanitário, incineração dentre outras. Contudo, técnicas que possuam um viés mais sustentável e de custo mais razoável se fazem cada vez mais necessárias.

É justamente, nesse contexto, que o presente estudo concentra seus esforços para responder: É possível a substituição parcial de fertilizantes sintéticos pelo lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto? E quais são os pré-requisitos impostos pela regulamentação vigente?

Biossólidos são resíduos orgânicos resultantes do tratamento de esgoto nas estações de tratamento de águas residuais. Eles são derivados da separação da matéria

orgânica da água, sendo posteriormente tratados para redução de patógenos e outros contaminantes. Quando devidamente tratados, os biossólidos podem ser fontes ricas em nutrientes, melhorando a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água. Em muitos países, são utilizados como alternativa aos fertilizantes comerciais na agricultura, sendo aplicados diretamente ao solo ou transformados em compostos. Contudo, seu uso é regulamentado para proteger tanto a saúde humana quanto o meio ambiente, devido a preocupações com possíveis contaminantes. A controvérsia em torno dos biossólidos reside principalmente nas questões ambientais e de saúde, exigindo tratamento rigoroso antes da aplicação ao solo.

1.2 Justificativa

O lodo proveniente do processo de tratamento de águas residuais é uma consequência cada vez mais significativa à medida que o saneamento básico se integra mais profundamente na estrutura social. Para viabilizar sua utilização na agricultura, é imprescindível que esse resíduo exiba atributos apropriados. Isso permite que ele desempenhe um papel crucial no aprimoramento das condições do solo, proporcionando nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, transformando, assim, um desafio em uma solução altamente benéfica (Bettiol; Camargo, 2000).

Rico em elementos como nitrogênio, fósforo e potássio, o lodo de esgoto demonstra potencial como uma alternativa complementar e economicamente viável para a fertilização de culturas. Uma abordagem simples envolve substituir parte dos fertilizantes minerais tradicionais por esse composto orgânico. Um método eficaz para lidar com o dilema do lodo é a compostagem, que se apresenta como uma solução apropriada. Além de ser uma alternativa viável, ela traz consigo uma série de vantagens, tanto no aspecto ambiental quanto no econômico. Por meio desse processo, é possível obter um produto final conhecido como composto orgânico, caracterizado por sua qualidade superior. Esse produto pode ser empregado na agricultura de acordo com os padrões sanitários e ambientais estabelecidos (Andreolli *et al.*, 1994).

1.3 Estratégias de pesquisa

O trabalho consta de uma revisão bibliográfica, que utiliza como base material previamente elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. A pesquisa bibliográfica pode ser entendida como um processo que envolve etapas: escolha do tema, levantamento bibliográfico preliminar, formulação do problema, elaboração do plano provisório de assunto, busca de fontes e leitura do material (GIL, 2002). Quanto aos objetivos, trata-se de um estudo exploratório, o qual segundo Gil (2002 p. 41) deve [...] proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Os estudos exploratórios são utilizados em investigações preliminares da situação com o mínimo de tempo e custo, auxiliando o pesquisador a conhecer minuciosamente o assunto de interesse (Kinear; Taylor, 1987). Segundo Malhotra (1993 p. 156), este modelo de revisão tem como finalidade promover uma compreensão inicial do conjunto do problema da pesquisa.

No presente estudo, foram utilizadas várias fontes de pesquisa, com enfoque para livros, teses, dissertações e monografias, bem como artigos científicos e técnicos relacionados ao tema “Ação do lodo de esgoto como adubo em plantações agrícolas”. Quanto aos artigos, destaca-se aqueles publicados de 2000 a 2022, com consulta em bases de dados, em especial do *Web of Science* e Google Acadêmico, além dos sítios da EMBRAPA e CETESB, usando como palavras de busca: “lodo de esgoto”, “adubo”, “controle biológico”, “solo supressivo”, “*organic sludge*”, “*biological control*” e “*suppressive soil*”. Num primeiro levantamento, foram selecionados os textos de interesse, dos quais foram extraídos os resultados, discussões e principais conclusões. O material, então foi compilado e organizado na forma de uma revisão sobre o uso de lodo de esgoto como fator de supressão de micro-organismos patogênicos de plantas.

1.4 Estrutura do projeto

A estrutura deste estudo se dá pelo delineamento do trabalho, intitulada como Introdução; Revisão Bibliográfica a respeito do destino final do lodo, riscos associados, higienização do lodo, planejamento para o uso agrícola do lodo; Conclusão e Sugestões para trabalhos futuros.

1.5 Objetivo Geral

Desenvolver uma revisão bibliográfica que analise a possibilidade da substituição parcial de fertilizantes sintéticos pelo lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto, frente aos apontamentos sobre a regulamentação vigente.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Apresentar os benefícios e desafios no que diz respeito ao uso do lodo de esgoto;
- Salientar a aplicação do lodo de esgoto em plantações florestais e na agricultura;
- Estudar a viabilidade da aplicação do lodo como adubo;
- Identificar o arcabouço legal da aplicação do lodo de ETE na agricultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

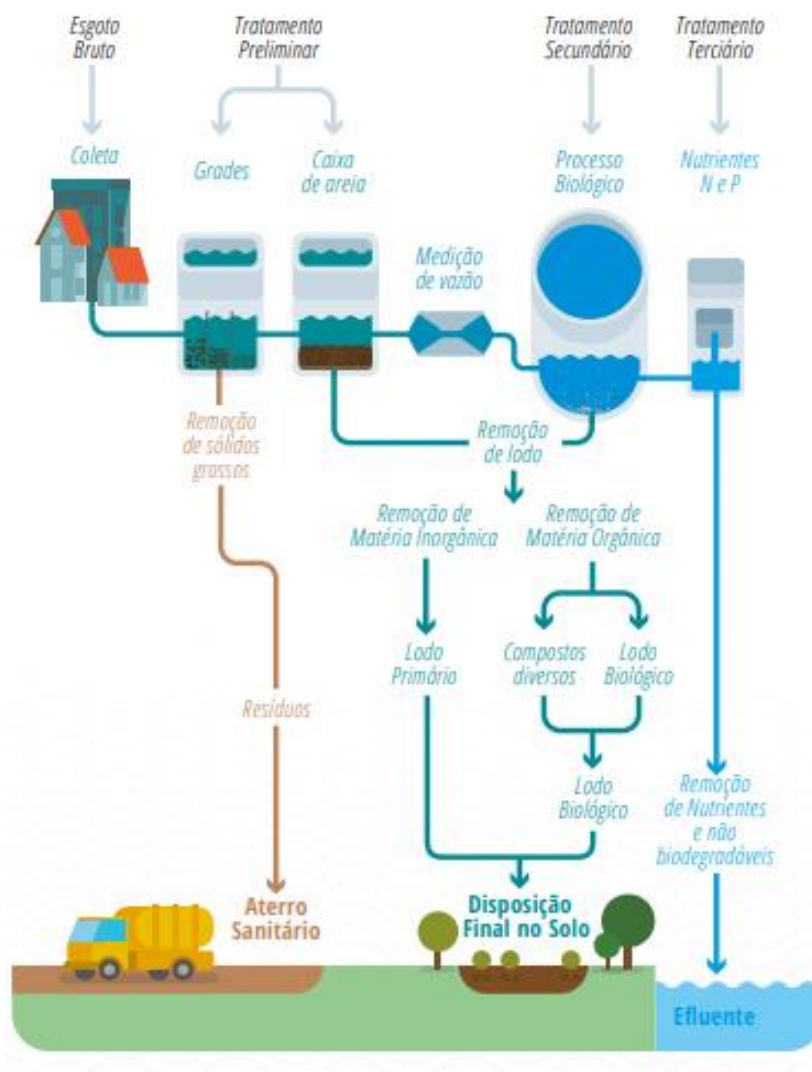
Há algum tempo, o reaproveitamento do lodo produzido em estações de tratamento de esgoto (ETE) tem sido objeto de estudo em todo o mundo. O Brasil, acompanhando essa tendência, apresentou diversas pesquisas sobre o tema na última década, incluindo estudos sobre soluções para a destinação final do lodo de esgoto.

2.1 Tratamento de esgoto

O tratamento de esgoto é o processo pelo qual as águas residuais, que incluem águas provenientes de residências, indústrias e outras fontes, são limpas e purificadas antes de serem devolvidas ao meio ambiente.

Nos processos biológicos de tratamento, uma parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos. A palavra "lodo" vem sendo utilizada para mencionar os subprodutos sólidos do tratamento de esgoto. A adjacência biossólido é usada somente quando o lodo apresenta características que permitam o seu uso agrícola (Andreoli, 2006). Os resíduos mais problemáticos provenientes do tratamento da ETE são o primário e secundário, seus volumes de produção são muito altos e o tratamento é complexo, sua disposição final é difícil. Na engenharia sanitária o lodo de esgoto é o mais complexo problema enfrentado atualmente (Duarte, 2008, p. 14). O fluxograma dos níveis de tratamento de esgotos é apresentado no fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Níveis de tratamento de esgoto.



Fonte: SNS, 2021.

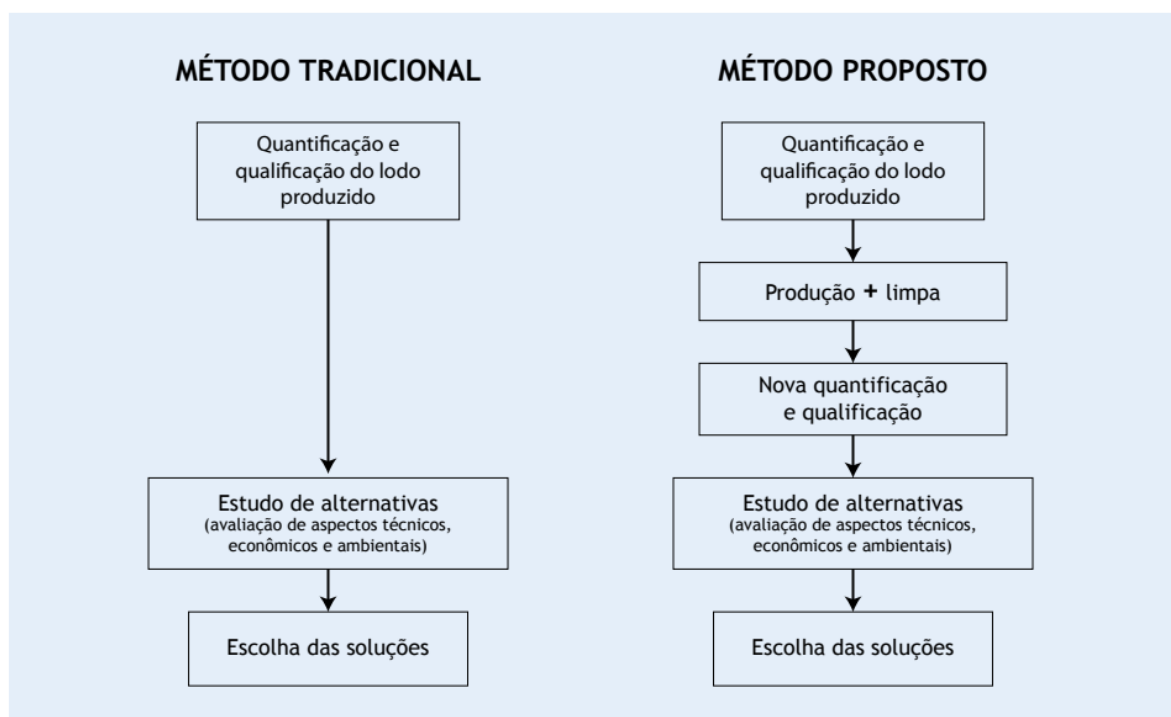
A estação deve ser capaz de tratar devidamente todo o resíduo, desde a coleta até a realocação final. Sem um tratamento competente e condicionamento apropriado da ETE para que sua disposição final do biossólido gerado perde-se a finalidade da mesma. Na figura 1, pôde-se observar as estratégias para soluções do processamento do destino final de ETEs no método tradicional e no método proposto.

O método convencional usado pelas empresas de saneamento para determinar soluções de processamento e destinação final de lodos envolve duas fases. A primeira consiste na avaliação teórica ou através de ensaios experimentais para quantificar e

qualificar o lodo gerado. Com base nesses resultados, a segunda fase analisa os aspectos técnicos, econômicos e ambientais das opções disponíveis para tratar e destinar o resíduo.

Contudo, esse procedimento tem sido alvo de questionamentos. Agora, ao conceber projetos para tratamento de esgoto e manipulação de resíduos sólidos, uma etapa adicional tem sido incorporada, focando na produção mais limpa. Nessa fase intermediária, o principal objetivo é identificar medidas que possam diminuir a quantidade e otimizar a qualidade do resíduo produzido. A revisão resultante dessa análise fornece uma estimativa atualizada sobre o lodo gerado, que é usada nas fases subsequentes para explorar alternativas de tratamento.

Figura 1 - Estratégias para Definições das Soluções para Processamento e Destino Final de ETEs.



Fonte: (Sampaio, A. O., 2014)

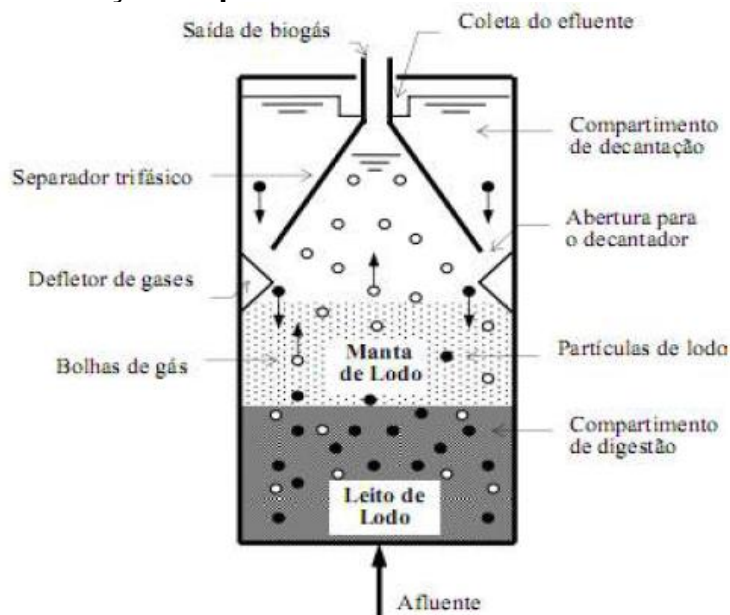
Uma técnica bastante usada no tratamento de esgoto é através da implementação de reatores anaeróbios, como os reatores de manta de lodo e fluxo ascendentes (*Upflow Anaerobic Sludgvcb e Blanket* – UASB). Silva (2009) testou o efeito do lodo tratado

através do método UASB para tornar supressivo o substrato, em doenças causadas por nematoides fitopatógenos do milho. Para uso na agricultura, é necessária a remoção da maior parte da matéria orgânica (estabilização), onde o UASB é bastante eficaz, de modo a evitar-se a proliferação de maus odores, vetores de doenças, e de micro-organismos patogênicos.

O UASB age através da transformação por fermentação anaeróbia e pós-tratamento por lagoas facultativas ou tratamentos aeróbios, tendo uma série de benefícios, como baixo custo de implementação e manutenção (Silva, 2009).

O procedimento envolve essencialmente o fluxo ascendente de esgoto através de um leito de lodo denso e altamente ativo, com a coleta do efluente na parte superior do reator. Na parte inferior do reator, ocorre a formação de um leito de lodo mais denso, progredindo até um lodo mais disperso próximo ao topo. A estabilização da matéria orgânica ocorre através da passagem e mistura do esgoto no leito de lodo, facilitadas pelo fluxo ascendente e pela formação de bolhas de gás. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática do reator.

Figura 2 - Representação esquemática de um reator UASB.



Fonte: Chernicharo, 1997.

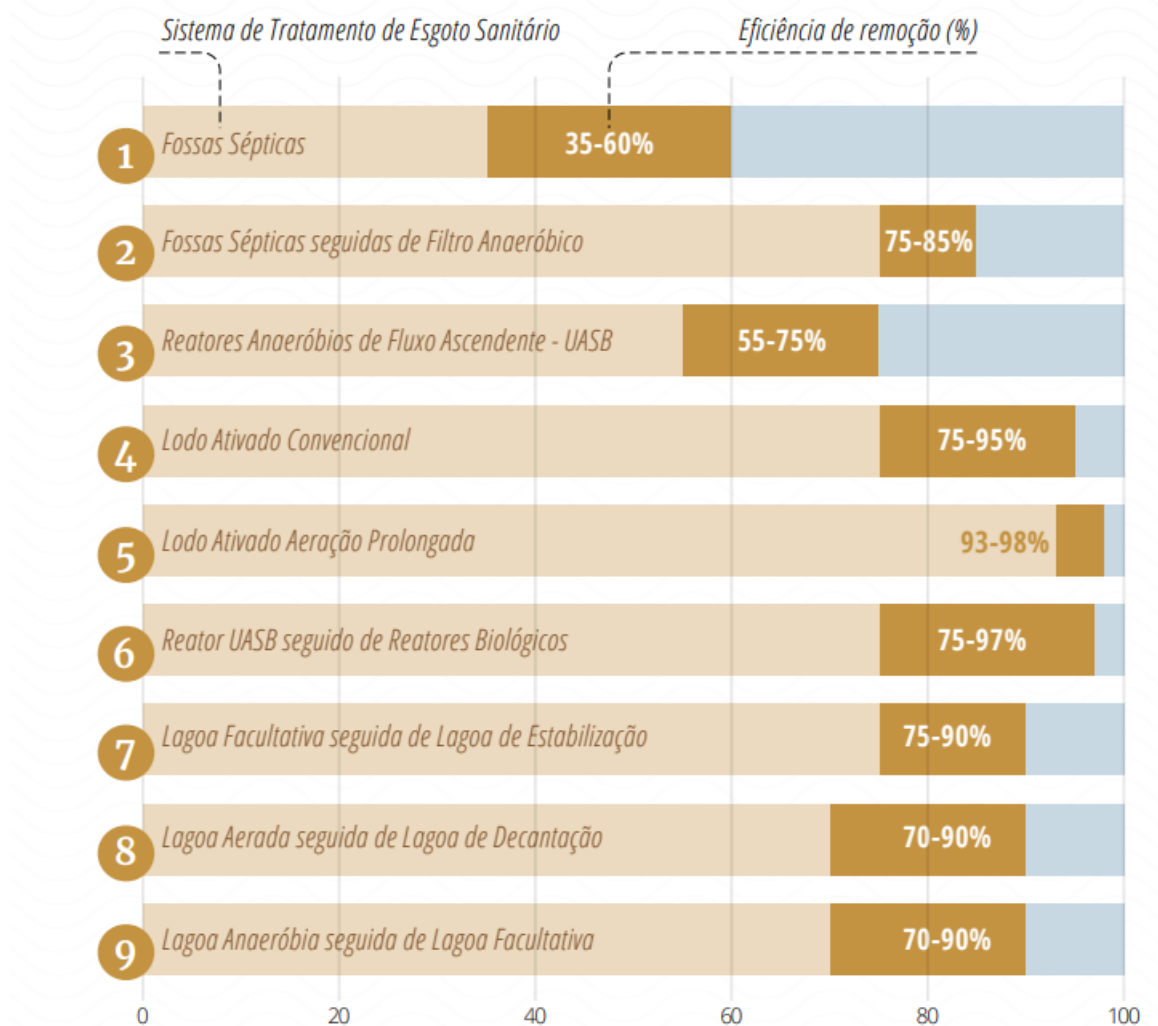
Quando submetido a uma vazão de esgoto, o reator UASB desenvolve internamente uma população de microorganismos adaptados às condições do ambiente (pH, temperatura, substrato, carga hidráulica, etc.), evoluindo para formar grânulos, que são aglomerados de biomassa suspensos na massa líquida. O desempenho eficaz do reator UASB está diretamente ligado à formação e desenvolvimento desses grânulos de biomassa altamente ativos, responsáveis pela degradação da matéria orgânica do esgoto.

Ao longo do perfil vertical do reator UASB, a concentração do lodo (constituído pelos grânulos de biomassa agregados) varia. No fundo, forma-se um lodo mais denso com capacidade elevada de sedimentação (leito de lodo), que gradualmente transita para um lodo mais leve e disperso no topo do reator (manta de lodo). O fluxo ascendente é responsável por misturar o substrato com a biomassa, promovendo a estabilização da matéria orgânica ao longo do leito e da manta de lodo.

Após passar pela zona de reação, o esgoto, por meio de um mecanismo de separação de gases, direciona os gases formados no processo (biogás) para o compartimento de saída de gases, onde são liberados na superfície da massa líquida. Por outro lado, o esgoto, agora livre dos gases dissolvidos, é encaminhado para compartimentos de decantação. Nesses compartimentos, o fundo inclinado permite que os sólidos se depositem, e quando o peso dos flocos formados supera a força de atrito, eles deslizam de volta para o compartimento de digestão (RISSOLI, 2014).

No entanto, esse tipo de tratamento, isoladamente, não fornece um lodo de qualidade para ser usado na agricultura, pois nem sempre elimina satisfatoriamente os organismos patogênicos ali presentes, o recomendável o uso do UASB junto as tecnologias complementares. Conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 - Eficiência de diversos sistemas de tratamento de esgoto.



Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2005.

2.2 Lodo de Tratamento de Esgoto

O lodo de esgoto é rico em microrganismos e nutrientes tais como nitrogênio e fósforo, essenciais para o desenvolvimento das plantas e obtenção de boa produtividade. Este material passa por diversos tratamentos e controles de qualidade, que garantem a sua higienização e eficácia para ser utilizado como fertilizante. (Quintana, 2006). Como representado na Figura 03.

Segundo Malta (2001), o lodo de esgoto altera as propriedades físicas do solo, melhorando sua densidade, porosidade e capacidade de retenção de água. Além disso, melhora seu nível de fertilidade, elevando o pH, diminuindo o teor de alumínio trocável, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de fornecer nutrientes para as plantas; e ainda, por conter em sua constituição teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, promove o crescimento de organismos do solo, os quais são de fundamental importância para a ciclagem dos elementos. Entretanto, a origem do lodo de esgoto deve ser considerada quanto à possibilidade de seu uso na agricultura, uma vez que as quantidades de metais pesados e agentes patogênicos podem limitar o seu emprego. Vários estudos buscam definir a quantidade ideal de lodo de esgoto a ser aplicado nas diferentes culturas. Algumas restrições estão relacionadas, principalmente, ao seu emprego na horticultura.

No Brasil, o uso do lodo de esgoto é controlado de acordo com a resolução nº 375 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define os critérios e procedimentos que envolvem o uso agrícola do lodo de esgoto e derivados (Brasil, 2006). Este controle deve-se ao fato de o resíduo das ETEs, além de compostos benéficos, também conter poluentes como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e microrganismos patogênicos ao homem (Bettiol; Fernandes, 2004). Levando-se em conta esses aspectos, é fundamental que as estações de tratamento de esgoto forneçam um lodo de qualidade, isento de contaminantes (Bettiol; Santos, 2001).

Figura 3 - Lodo de ETE



Fonte: Tera Ambiental, 2019.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINIR), estima-se que a geração anual desse tipo de resíduos no Brasil seja de 81 milhões de toneladas, onde 78 milhões de toneladas são referentes aos lodos gerados em estações de tratamento de água (ETA) e 3 milhões de toneladas são resíduos sólidos grosseiros e lodos de estações de tratamento de esgoto (ETE).

Ainda que haja alguns riscos, é possível reconhecer diversos benefícios originários da aplicação do lodo de esgoto, tais como, redução de custos, conservação do ambiente e das características físicas e químicas do solo. A tabela 1 apresenta a quantidade atual de lodos utilizados para fins agrícolas no Brasil.

Tabela 1 - Quantidade atual de lodos utilizados para fins agrícolas no Brasil.

LOCAL	QUANTIDADE	TEOR DE SÓLIDOS	QUANTIDADE
	ton/ano	%	ton MS/ano
Distrito Federal	24.966	15,0	3.745
São Paulo (Franca)	16.400	27,5	4.510
São Paulo (Jundiaí)	21.900	18,0	3.942
Rio Grande do Sul (Santa Maria)	4.745	20,0	949
Paraná	26.400	30,0	7.920
TOTAL	94.411		21.066

Fonte: (Sampaio, A. O., 2014)

Na Tabela 2, são apresentadas as principais características dos lodos de esgoto, com destaque para o sistema de tratamento dos esgotos nas ETEs, condicionamento químico para desidratação e etapas complementares visando melhor adequação ao uso agrícola.

Tabela 2 - Principais características dos processos geradores dos lodos de esgoto nas estações, com destaque para o sistema de tratamento dos esgotos

Lodos ¹	Tratamento dos esgotos	Condicionamento químico	Etapa complementar
LAC	Lodos ativados - reator anaeróbio	Cal hidratada e cloreto férrico	Desidratação mecânica (filtro prensa)
LAP	Lodos ativados - reator anaeróbio	Polímero sintético	Desidratação mecânica (filtro prensa)
LAS	Lodos ativados - reator anaeróbio	Polímero sintético	Secagem térmica (70 min)
LLP	Lagoas aeradas, seguidas de lagoas de decantação (idade média: 1 ano)	Polímero sintético	Secagem em leitos com revolvimento periódico (120 dias)
CL	Lagoas aeradas, seguidas de lagoas de decantação (idade média: 1 ano)	Polímero sintético	Compostagem do LLP com bagaço de cana e restos de poda urbana, na proporção volumétrica de 1:1:0,33 (90 dias)

Fonte: (Carvalho, *et al.* 2015)

Os conteúdos totais de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P) nos lodos de esgoto exibiram variações entre 186 e 346 g kg⁻¹, 17 e 43 g kg⁻¹, e 4 e 18 g kg⁻¹,

respectivamente. Essas variações foram influenciadas tanto pelo condicionamento químico quanto pela fase adicional de desidratação ou compostagem, conforme evidenciado pela análise de contrastes apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Teores totais de C, N e P nos lodos de esgoto

Lodo ¹	C-total	C-org	C-inorg	N total	N-org	N-inorg	P-total	P-org	P-inorg	C/N
LAC	185,93 (±2,15)	135,86 (±7,34)	50,06 (±6,73)	18,10 (±0,52)	17,56 (±0,54)	0,54 (±0,11)	9,24 (±0,21)	3,71 (±0,24)	5,53 (±0,13)	7,50 (±0,20)
LAP	311,55 (±9,22)	301,47 (±8,17)	10,08 (±1,22)	42,08 (±1,13)	37,66 (±1,16)	4,41 (±0,19)	9,72 (±0,26)	2,51 (±0,42)	7,21 (±0,33)	7,34 (±0,38)
LAS	345,70 (±4,57)	337,24 (±6,28)	8,46 (±1,45)	42,63 (±0,71)	39,02 (±0,59)	3,61 (±0,16)	7,05 (±0,16)	2,93 (±0,77)	4,12 (±0,62)	7,91 (±0,17)
LLP	314,80 (±10,04)	308,52 (±9,54)	6,28 (±0,97)	27,18 (±0,54)	25,10 (±0,50)	2,08 (±0,16)	5,93 (±0,29)	1,99 (±0,31)	3,94 (±0,06)	11,10 (±0,46)
CL	217,45 (±9,04)	208,53 (±9,10)	8,92 (±0,96)	17,40 (±0,59)	14,72 (±0,55)	2,68 (±0,29)	14,72 (±0,22)	3,99 (±0,24)	1,34 (±0,13)	11,99 (±0,44)
Contrastes										
C _{ON1}	-97,35**	-100,00**	2,64 ^{ns}	-3,78 ^{ns}	-10,38**	0,60**	-1,93**	-0,65*	-1,29**	0,92**
C _{ON2}	285,40**	366,98**	-81,58**	48,50**	41,57**	6,93**	-1,72**	-1,99**	0,27 ^{ns}	-5,04**
C _{ON3}	34,15**	35,76**	-1,62 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,35*	-0,80**	-2,67**	0,42 ^{ns}	-3,08**	0,71**

* Significativo ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) pelo teste t; ** Significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pelo teste t; ^{ns} Não significativo.

¹ LAC = lodo anaeróbio condicionado com cal hidratada e cloreto férrico; LAP = lodo anaeróbio condicionado com polímero sintético; LAS = lodo anaeróbio condicionado com polímero sintético e seco termicamente; LLP = lodo proveniente de lagoas de estabilização e condicionado com polímero sintético; CL = composto obtido por meio de compostagem do LLP em mistura com bagaço de cana-de-açúcar e restos de poda urbana (1:1:0,33; v:v).

Fonte: (Carvalho, *et al.* 2015)

A análise da distribuição de carbono (C) e nitrogênio (N) totais em compostos orgânicos e inorgânicos revelou que a fração predominante de C (> 70%) e N (> 80%) está presente no compartimento orgânico. Notavelmente, o teor de C-inorgânico no Lodo de Ativação Convencional (LAC) atingiu 50 g kg⁻¹, aproximadamente cinco vezes superior ao determinado nos lodos de Ativação Prolongada (LAP) e Ativação Série (LAS), conforme indicado no contraste 3 da Tabela 3. Essa disparidade é atribuída ao condicionamento químico realizado com cal hidratada, que propicia a formação de carbonatos, provavelmente precipitados na forma de carbonato de cálcio, dado o valor de pH do resíduo igual a 11,8 (Andrade *et al.*, 2006).

2.3 Função dos fertilizantes orgânicos

A produtividade das culturas é consequência da ação conjunta de vários fatores: preparo da terra, variedade, adaptação climática, nutrição, espaçamento, disponibilidade de água, conservação de solo, mão-de-obra especializada etc. A produtividade será máxima, quando todos os fatores forem os mais apropriados a certa cultura. No entanto, a nutrição é o fator que mais contribui para a qualidade da vida de uma planta, de forma que há mais de um século sabe-se que as plantas necessitam de treze elementos essenciais. São eles: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), e cloro (Cl). Alguns deles são requisitados em menor quantidade, e outros, em maior quantidade (Bettiol; Camargo, 2006).

A matéria orgânica (MO) desempenha um papel vital na manutenção da sustentabilidade de solos, especialmente aqueles que são altamente desgastados, como muitos encontrados no Brasil. Ela potencializa a vida biológica do solo, ajuda na formação de agregados, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) e aprimora outras propriedades cruciais do solo. O nível de MO é determinado pelo equilíbrio entre o que é adicionado e o que é removido do solo. A adição de MO pode ocorrer naturalmente através da queda de resíduos vegetais ou intencionalmente através da aplicação de adubos orgânicos, incluindo os chamados "adubos verdes". Por outro lado, a perda pode ocorrer devido à erosão e à decomposição, liberando CO₂ pela atividade microbiana.

Recentemente, tem-se observado um crescente interesse no uso de adubos orgânicos devido aos seus benefícios comprovados, não apenas para a saúde do solo, mas também para o rendimento das colheitas. Esses benefícios são reflexo das melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo. A magnitude desses efeitos depende da natureza do adubo, da quantidade aplicada e das práticas de manejo adotadas.

Comparativamente, os adubos orgânicos contêm menos nutrientes que os minerais e, por vezes, não atendem perfeitamente às demandas nutricionais das plantas. Se uma quantidade for usada para suprir um nutriente específico, pode resultar em excesso de outros elementos no solo.

2.4 O uso agrícola do Lodo de ETE e sua influência

Esta alternativa tem como grande benefício a transformação de um resíduo sólido num valioso insumo agrícola, capaz de fornecer matéria orgânica e nutriente ao solo, além de reduzir efeitos adversos causados à saúde pela incineração, diminuindo a necessidade de fertilizantes químicos e melhorando as condições para o balanço do CO₂ com a implantação da matéria orgânica (Outwater, 1994 citado por Andreoli, 1997). A utilização do lodo como fertilizante na agricultura pode vir a contaminar o solo com patógenos ou metais pesados, além da possível atração de vetores também pode causar mau cheiro (Stenford, 1993 citado por Gouvêa; Pereira Neto, 1997). De acordo com o exposto, para se fazer a aplicação na agricultura, o biossólido necessita por um processo de redução de patógenos e de atratividade de vetores, sendo a compostagem um tratamento adequado para esta finalidade (Tsutiya *et al.*, 2001). Deve-se fazer a reciclagem do lodo de esgoto para que então sua futura utilização agrônômica tenha um destino correto e contribuindo para a diminuição dos problemas ambientais, atuando como fertilizante e condicionador do solo (Vaz; Gonçalves, 2002).

A utilização do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) na agricultura e silvicultura é particularmente relevante devido à capacidade de reciclar os nutrientes que contém. O fósforo, um dos nutrientes primários em práticas agrícolas, é especialmente notável nesse contexto. Isso ocorre porque ele representa em torno de 1% do consumo global de matérias-primas. Ele provém do próprio esgoto tratado, seja através de substâncias orgânicas ou inorgânicas, e da matéria orgânica dos processos de tratamento aeróbios e anaeróbios. O teor de fósforo pode variar de uma ETE para outra, dependendo do tratamento e do esgoto recebido, com valores entre 0,6% a 3,7%, conforme mostrado na Tabela 4. A expectativa é de um aumento desse percentual à medida que os padrões ambientais se tornem mais rígidos, exigindo processos de tratamento terciário.

O nitrogênio, outro nutriente vital para a agricultura, corresponde a cerca de 6% dos custos com insumos agrícolas. Apesar de compor 78% da nossa atmosfera, a sua transformação em fertilizantes é custosa em termos energéticos, consumindo cerca de 12,5 kWh para sintetizar 1 kg de nitrogênio atmosférico. Para otimizar a reciclagem de

nitrogênio, algumas inovações estão em curso, como sistemas que separam a coleta de urina e fezes, prática já em andamento em países nórdicos. Isso facilita a reciclagem do nitrogênio contido na urina. Contudo, a maior parte dos esforços em reciclagem se encontra nas ETEs, principalmente através do lodo gerado. Os registros na Tabela 2 indicam que o conteúdo de nitrogênio nos biossólidos varia de 2,2% a 5,5%.

Por fim, o potássio, um macronutriente agrícola, responde por aproximadamente 0,1% dos custos globais com insumos agrícolas.

Tabela 4 - Principais parâmetros de valor agrônômico em lodos produzidos em diversas ETEs do Brasil.

Parâmetro	ETE Barueri (Barueri-SP)	ETE Franca (Franca-SP)	ETE Suzano (Suzano -SP)	ETE Lavapés (SJ Campos-SP)	ETE Bertioga (Bertioga-SP)	ETE Humaitá (S. Vicente-SP)	ETE Bichoró (Mongaguá-SP)	ETE Brasília (Brasília-DF)	ETE Belém (Curitiba-PR)
Nitrogênio total (%)	2,25	5,53	2,31	4,5	3,93	4,10	4,84	5,5	4,91
Fósforo (%)	1,48	0,93	2,65	2,59	2,60	0,6	2,89	3,0	3,70
Potássio (%)	0,01	0,26	0,10	0,39	0,35	0,15	0,10	0,35	0,36
Matéria orgânica (%)	44	65,2	41	52,6	68,3	63,43	71,35	52,5	69,4

Fonte: (Tsutiya, 2001)

O lodo de esgoto pode ser usado como fertilizante granulado complexo quando reunido no mesmo grânulo juntamente com sais minerais; como mistura de fertilizantes minerais e orgânicos em grânulos ou em pó e, como carga numa formulação mineral substituindo carga inerte para atingir o peso padrão comercial de uma tonelada. (Tsutiya, 2001). O mesmo autor afirma que, por aproveitarem melhor a composição química do lodo de esgoto e desprezarem os riscos de contaminação com patógenos, algumas culturas são mais indicadas para receberem fertilização com este tipo de material. É o caso do milho e das gramíneas, além de atividades como reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e fruticultura.

Figura 4 - Plantação de Milho



Fonte: Furukawa, Neide Makiko, 2015.

Frank (1998), afirmou que o emprego de lodo de esgoto como fertilizante reduziria 60% do consumo de fertilizantes fosfatados utilizados, indo ao encontro da afirmação de Tsutiya (2000) de que na grande São Paulo a produção diária de lodo de esgoto atinge algo em torno de 2,4 toneladas de fósforo. Este biofertilizante, além de fósforo, oferece também nitrogênio e outros nutrientes para as plantas, contribuindo com o seu desenvolvimento. (Sabbey, 1974).

Rocha *et al.* (2004) avaliaram o estado nutricional e o crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com lodo de esgoto. Na ocasião, notaram que a aplicação deste resíduo influenciou positivamente na nutrição das plantas, proporcionando produção de madeira igual à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral, quando a dose aplicada de lodo de esgoto foi de 12 t ha⁻¹

Figura 5 - Plantio de eucalipto



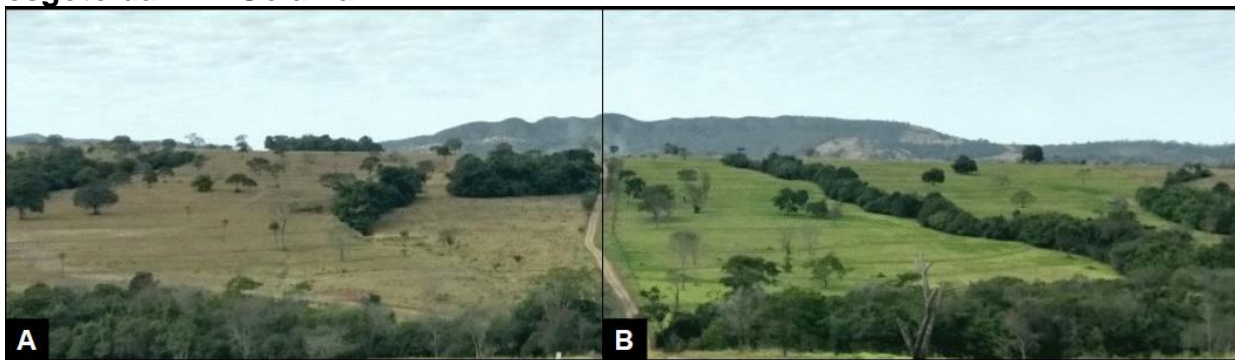
Fonte: Pichelli, Katia Regina, 2016.

Trannin (2004); por sua vez, observou que o lodo de esgoto melhorou a fertilidade do solo, o estado nutricional e a produtividade do milho. De acordo com Almeida *et al.* (2005), o incremento da biomassa aérea e radicular de espécies arbóreas aumentou perante doses crescentes de lodo de esgoto aplicadas no plantio.

A utilização de lodo de esgoto como biofertilizante e condicionador de solos, permite ganhos ao produtor, através do aumento da produtividade das culturas e redução

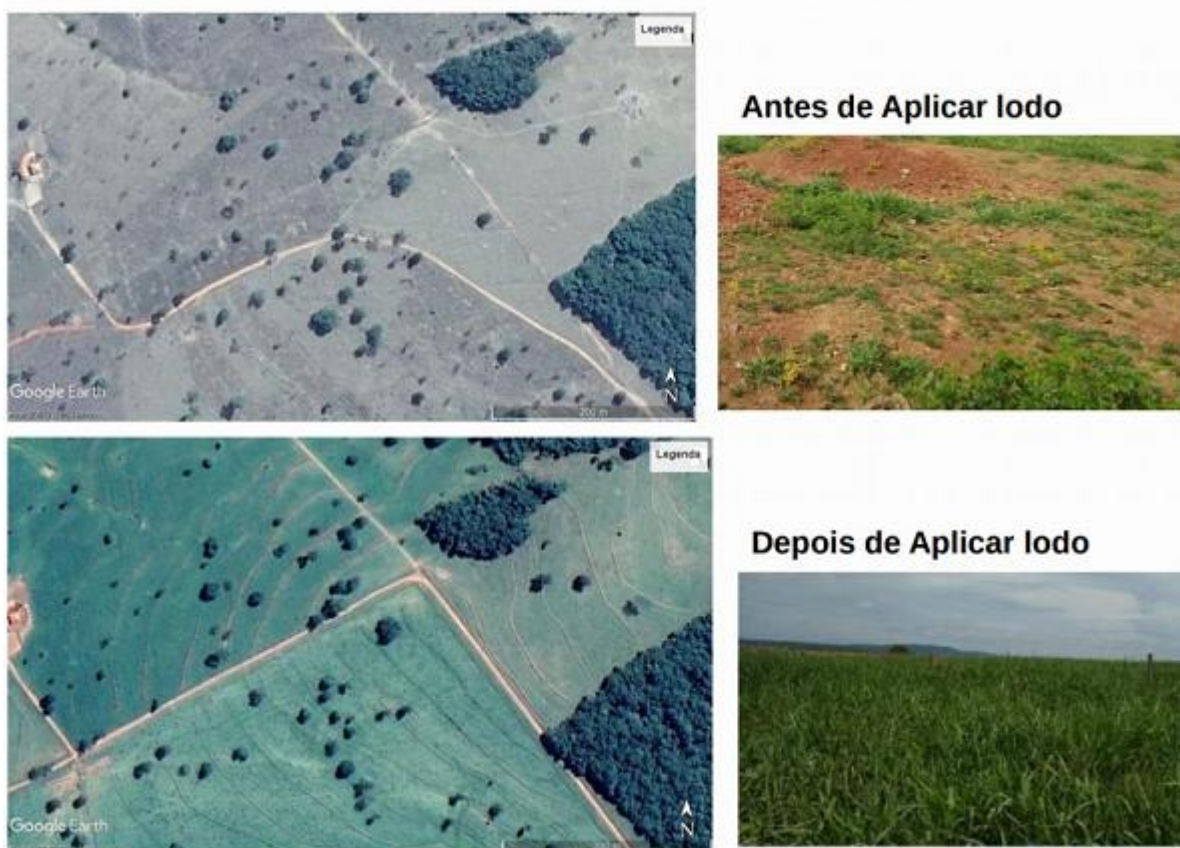
do uso de fertilizantes minerais, com ganhos para os geradores de lodo, pela efetivação de métodos adequados e mais econômicos de disposição final desse resíduo. (Guedes *et al.*, 2006). No entanto, Tsutiya (2001) observa que, para que possam receber aplicação de lodo de esgotos, as áreas cultiváveis devem obedecer à legislação vigente, especialmente a Florestal, proporcionar facilidade de acesso durante a deposição do material, e respeitar outras limitações, como a proximidade de áreas residenciais, a direção predominante de ventos e a declividade mínima.

Figura 6 - Pastagens na estação seca sem (A) e com (B) aplicação do lodo de esgoto da ETE Goiânia.



Fonte: (SANEAGO, 2019).

Figura 7 - Imagens aéreas da mesma área de pastagem antes e depois da aplicação de lodo de esgoto e da implantação das técnicas de conservação do solo.



Fonte: (SANEAGO, 2019).

2.5 Produtividade e rentabilidade do lodo de esgoto como fertilizante

A utilização agrícola de lodo de esgoto destaca-se por evitar destinos de custos mais elevados e com maior impacto no ambiente e na população, como por exemplo, a disposição em aterros sanitários. (Andreoli *et al.*, 1999).

Por outro lado, a disposição agrícola do lodo de esgoto é vantajosa aos agricultores, na medida em que reduz os custos de produção e mantém a produtividade da lavoura. (Trannin *et al.*, 2005).

Raij (1998) defende que os benefícios da aplicação do lodo de esgoto podem superar os da adubação mineral, principalmente em relação à economia com fertilizantes.

A correlação entre o uso de adubo de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e adubo químico, bem como o período de retorno, pode depender de vários fatores, incluindo o tipo de cultura, as características do solo, a composição do lodo de ETE e o ambiente local. Vou explicar alguns aspectos relevantes relacionados a essa correlação:

1. Tipo de cultura: A eficácia do adubo de lodo de ETE em comparação com adubos químicos pode variar dependendo da cultura que está sendo cultivada. Algumas culturas podem responder melhor ao lodo de ETE devido à sua composição específica de nutrientes, enquanto outras podem exigir adubos químicos para atender às necessidades específicas.

2. Composição do lodo de ETE: O lodo de ETE pode conter uma variedade de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, bem como materiais orgânicos. A composição exata do lodo de ETE pode variar de uma instalação para outra, o que afeta sua eficácia como adubo.

3. Características do solo: As propriedades do solo, como pH, textura e níveis de nutrientes existentes, também desempenham um papel importante na eficácia dos adubos. A adequação do lodo de ETE versus adubos químicos pode variar dependendo das condições do solo.

4. Práticas de manejo agrícola: O período de retorno do uso de adubo de lodo de ETE ou adubos químicos pode ser influenciado pelas práticas de manejo adotadas na agricultura. Isso inclui a frequência de aplicação, a quantidade aplicada e o monitoramento das condições do solo ao longo do tempo.

5. Considerações ambientais: Além da eficácia agronômica, também é importante considerar os impactos ambientais associados ao uso de adubos, incluindo a potencial contaminação da água e a emissão de gases de efeito estufa. Isso pode influenciar a escolha entre adubo de lodo de ETE e adubos químicos.

O período de retorno refere-se ao intervalo de tempo necessário para que o investimento em uma prática agrícola, como o uso de adubos, gere um retorno econômico

positivo. Esse período pode variar dependendo dos custos associados ao adubo, dos preços dos produtos agrícolas e das condições de mercado. (Batista, 2015).

Os fertilizantes químicos são compostos sintéticos formulados para prover as plantas de nutrientes essenciais. Eles contêm macronutrientes primários como Nitrogênio, Fósforo e Potássio, macronutrientes secundários como Cálcio, Magnésio e Enxofre, e micronutrientes como Ferro e Zinco. Suas vantagens incluem ação rápida, dosagem precisa e aplicação fácil e uniforme. No entanto, trazem desvantagens como o potencial impacto ambiental, risco de salinização e possível desequilíbrio do solo. Apesar de serem fundamentais para a agricultura moderna, é crucial uma gestão cuidadosa para minimizar impactos negativos (Bettiol; Camargo, 2006).

A escolha entre adubo de lodo de ETE e adubos químicos deve ser baseada em uma análise detalhada das condições locais, das necessidades da cultura e dos objetivos do agricultor. Em muitos casos, a combinação de ambas as fontes de nutrientes pode ser uma abordagem eficaz para otimizar o rendimento das culturas e minimizar os impactos ambientais. É importante realizar testes de solo regulares e consultas com especialistas em agricultura para determinar a melhor estratégia de adubação para uma determinada situação.

Trigueiro (2002) produziu mudas de eucalipto e pinus com excelentes resultados. No caso da primeira espécie, houve redução nos custos com fertilizantes de 64%, e de 12,5% para a segunda espécie, quando as mudas foram produzidas com lodo de esgoto.

Da mesma forma, Gobbi (2003), analisando a potencialidade do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes no cultivo do milho, constatou que a utilização deste material proporcionou maior receita bruta do que o tratamento com adubação química. No entanto, o mesmo autor inferiu que, embora a maior dose de lodo de esgoto tenha alcançado a maior produção física, produziu a menor renda líquida.

Em outro estudo, Quintana *et al.* (2009) concluíram que dentro das doses de lodo de esgoto aplicadas (5 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹ e 20 t.ha⁻¹) no milho de verão cultivado em Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho eutroférico, a dose economicamente

adequada, calculada através de análise de regressão, foi de 13,50 toneladas (base seca) por hectare nos dois tipos de solo, tanto para a rentabilidade efetiva como para a total.

2.6 LEGISLAÇÃO

2.6.1 Política Nacional de Meio Ambiente

Por ter introduzido uma transformação de paradigma no cenário ambiental brasileiro, merece destaque a Lei Federal nº 6.938, de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus propósitos e mecanismos de elaboração e implementação. Através desta, é estabelecido o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), é instituído o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e é criado o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental.

Os objetivos desta política compreendem: a preservação, aprimoramento e restauração da qualidade ambiental propícia à vida, com o intuito de garantir no país condições para o desenvolvimento socioeconômico, a salvaguarda dos interesses nacionais e a preservação da dignidade da vida humana, obedecendo aos seguintes princípios: ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico; otimização do uso do solo, subsolo, água e ar; preservação dos ecossistemas; regulamentação e zoneamento de atividades poluentes; estímulo à pesquisa e estudos voltados para o uso sustentável e proteção dos recursos naturais; monitoramento da qualidade ambiental; recuperação de áreas degradadas e proteção daquelas ameaçadas de degradação; promoção da educação ambiental em prol da preservação do meio ambiente.

2.6.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que define diretrizes relativas à gestão integrada e ao manejo de resíduos sólidos. Também determina as obrigações dos criadores de resíduos e do poder público. Foi regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também instituiu o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implementação dos Sistemas de Logística Reversa. O Plano guarda

uma forte conexão com os Planos Nacionais de Mudanças do Clima (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Saneamento Básico (Plansab) e de Produção e Consumo Sustentável (PPCS). Apresenta conceitos e propostas que demonstram a interseção entre diversos setores da economia, conciliando crescimento econômico e preservação ambiental com desenvolvimento sustentável.

Os principais objetivos dessa lei são:

- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental estimulando padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços com desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas;
- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Gestão integrada dos resíduos sólidos que busca compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo todos da cadeia de comercialização, como fabricantes, distribuidores, consumidores e órgãos públicos;
- Incentivo à indústria da reciclagem m, tendo em vista fomentar o uso de matérias primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (Brasil, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define princípios, metas e ações, incluindo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que está sendo desenvolvido e abrangerá resíduos, estratégias de gestão, metas, programas e ações.

2.6.3 Lei de Saneamento Básico

Um dos princípios essenciais do saneamento básico, de acordo com a Lei nº 11.445, é o fornecimento de água, saneamento de esgoto, higiene urbana e gestão de

resíduos sólidos realizados de maneira apropriada para a saúde pública e a preservação do meio ambiente.

A legislação estabelece os princípios fundamentais para o setor ao determinar as responsabilidades do governo federal, dos estados e das prefeituras em relação aos serviços de saneamento e água, além de regular a participação de empresas privadas no saneamento básico:

- a) Governo Federal – Define as diretrizes gerais, elabora e apoia iniciativas de saneamento em âmbito nacional;
- b) Estados – Operam e mantêm os sistemas de saneamento, e também estabelecem as diretrizes tarifárias e de subsídios nos sistemas sob responsabilidade estadual;
- c) Prefeituras – Compete ao município fornecer, diretamente ou através de concessões a empresas privadas, os serviços de saneamento básico, incluindo a coleta, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários. Além disso, as prefeituras são encarregadas de elaborar os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), que são os estudos financeiros para a prestação de serviços, estabelecimento de tarifas e outros detalhes. Municípios que não desenvolvam esses planos ficam impedidos de acessar recursos federais disponíveis para projetos de água e esgoto (BRASIL, 2007).

2.6.4 Considerações sobre os limites de parâmetros químicos e microbiológicos fixados pela Resolução CONAMA 375, quanto a aplicação dos biossólidos

A resolução N^o 375, de 29 de agosto de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Esta resolução determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto sejam submetidos a processos de redução de patógenos e da análise de metais pesados para que possam ser utilizados na agricultura. Os tratamentos necessários envolvem processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização (Von Sperling; Chernicharo, 2001).

Biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ser destinados ao uso agrícola. Os metais com valores limites no biossólido e acumulados no solo pela aplicação foram selecionados pela EPA (Agência de Controle Ambiental dos E.U.A.), através dos resultados das pesquisas desenvolvidas, tendo em vista o estabelecimento de critérios para a destinação dos lodos das estações de tratamento biológico de esgotos municipais.

2.6.4.1 Substâncias Inorgânicas

A presença de substâncias e elementos inorgânicos nos biossólidos gera preocupações, principalmente devido aos metais e metaloides contidos neles. Estes elementos podem afetar cultivos, micro-organismos do solo, seres humanos e outros animais. Existem, mundialmente, duas abordagens principais sobre o acúmulo desses elementos no lodo e no solo: a europeia, chamada de "impacto zero", e a norte-americana, baseada na análise de risco.

A estratégia europeia de "impacto zero", frequentemente citada como "equilíbrio de metal", assume que os metais introduzidos no solo não devem superar os que são naturalmente removidos por mecanismos como a agricultura, erosão e lixiviação. Essa abordagem foca em preservar o solo para as futuras gerações, mantendo-o apto para diversas utilizações (BERTON, 2000).

Já a estratégia da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA 40 CRF part 503) é pautada na avaliação de riscos, considerando 14 rotas de exposição definidas para metais e metaloides quando integrados ao solo. A norma "*Standard for the Use or Disposal of Sewage Sludge*" foi introduzida em 1993 e revisada em 2002, mantendo suas diretrizes originais, dada a ausência de questionamentos sobre sua eficácia (WEF HIGHLIGHTS, 2002).

Conforme destacado por Chang *et al.* (2002) em um estudo para a Organização Mundial da Saúde, ambas as abordagens são relevantes, mas por possuírem focos distintos, estabelecem padrões diferentes. Enquanto a Europa foca em prevenir o acúmulo, os EUA visam evitar danos à saúde e ao meio ambiente. O estudo sugere que nações em desenvolvimento considerem a abordagem da EPA.

A Tabela 5 lista os limites aceitáveis de substâncias inorgânicas para uso agrícola de biossólidos nas regulamentações dos EUA, Europa e Brasil. A Resolução CONAMA 375 adotou, em sua maioria, a metodologia da USEPA 40 CRF, Parte 503. Contudo, para alguns metais específicos, baseou-se nas diretrizes da agência ambiental paulista, a CETESB (DIAS, 2004).

Tabela 5 - Limites de substâncias químicas inorgânicas (metais pesados) para uso agrícola de biossólidos fixados pela regulamentação dos EUA.

PARÂMETRO	Concentração máxima permitida no biossólido (mg/kg, base seca)		
	EUA - USEPA 40 CFR/503	Comunidade Européia - Diretiva 86/278 EEC	Brasil - CONAMA 375
Arsênio	41	-	41
Bário	-	-	1300
Cádmio	39	20-40	39
Cobre	1500	1000-1750	1500
Chumbo	300	750-1200	300
Cromio	-	-	1000
Mercúrio	17	16-25	17
Molibdênio	-	-	50
Níquel	420	300-400	420
Selênio	100	-	100
Zinco	2800	2500-4000	2800

Fonte: Comunidade Européia (European Community Council, 1986) e CONAMA 375.

2.6.4.2 Substâncias Orgânicas

A Resolução CONAMA 375 solicita a identificação do lodo quanto a componentes orgânicos potencialmente nocivos, como apresentado na tabela 1 do ANEXO V da referida normativa. Sob essa ótica, são destacadas 34 componentes que precisam ser vigiadas no lodo. Contudo, a norma não define valores máximos aceitáveis para esses componentes. Pesquisas feitas pela EPA indicaram que, nos EUA, o lodo de esgoto gerado possui baixos níveis de componentes orgânicos. Ademais, os efeitos negativos desses elementos na saúde coletiva, quando relacionados ao uso agrícola, são vistos como menos preocupantes em relação a outras fontes de contato (SMITH, 2001).

Assim, tanto o marco regulatório europeu quanto o americano decidiram não impor a vigilância nem estabelecer tetos para tais componentes no lodo. Contudo, é curioso que a legislação brasileira determine a necessidade de fiscalização desses elementos, sem definir tetos precisos. Se o propósito dessa diretriz for coletar informações sobre a presença e nível desses componentes no lodo nacional, talvez fosse mais apropriado pensar em estratégias mais efetivas, como campanhas de vigilância em diferentes sistemas de saneamento. Assim, poderia se obter uma visão mais clara da situação, sem a necessidade de monitorar os níveis de 34 componentes orgânicos em todas as unidades de tratamento de esgoto do país. Tais verificações requerem técnicas laboratoriais sofisticadas, como cromatografia, que têm um alto custo.

2.6.4.3 Microbiológicos

A Resolução CONAMA 375 estabelece duas categorias distintas para os lodos de esgoto, com base em suas características microbiológicas. Na Tabela 6, localizada no artigo 11, seção III, são definidas as concentrações máximas para lodo classe A: 103 NMP/g de ST para coliformes termotolerantes, 0,25 ovo/g de ST para ovos viáveis de helmintos, ausência em 10g de ST para Salmonella e 0,25 UFP ou UFF/g de ST para vírus. Quanto aos lodos classe B, os limites máximos são: 106 NMP/g de ST para coliformes termotolerantes e 10 ovos/g de ST para ovos viáveis de helmintos.

Tabela 6 - Concentrações máximas de patógenos, conforme classe de lodo, pela Resolução.

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

Fonte: Brasil (2006).

Os padrões microbiológicos da classe A são alinhados com os estabelecidos pela legislação norte-americana, conhecida como USEPA 40 CRF, Part 503. Os lodos classe A, conforme essa classificação, não possuem restrições para comercialização e utilização, podendo ser encontrados inclusive em supermercados. No entanto, a Resolução CONAMA 375 impõe uma série de restrições ao uso dos lodos classe A, quanto as restrições de uso, os lodos classificados como classe A podem ser aplicados em solos nos usos apresentados na Tabela 7 abaixo. Também são apresentadas, na mesma tabela, as restrições de aplicação.

Tabela 7 - Usos permitidos e respectivas restrições para lodos classe A.

Uso	Restrição
Cultivo de alimentos consumidos crus e cuja parte comestível não tenha contato com o solo	Não aplicar o biossólido 1 mês antes do período de colheita
Pastagens e forrageiras	Não aplicar o biossólido 1 mês antes do período de colheita de forrageiras e do pastejo

Fonte: Brasil (2006).

- Proibição de aplicação em pastagens e cultivo de vegetais, tubérculos e raízes, bem como em culturas inundadas e outras cujas partes comestíveis tenham contato com o solo (Artigo 12).
- Aplicação em pastagens por período inferior a 24 meses (Artigo 12, parágrafo 1).
- Utilização em solos destinados ao cultivo de vegetais, tubérculos, raízes e outras culturas cujas partes tenham contato com o solo, assim como em culturas inundadas, por período inferior a 48 meses (Artigo 12, parágrafo 2).

As bases para essas restrições carecem de embasamento científico e justificção adequada. Em contraste, a Norma 503 permite demonstrar a ausência de patógenos (vírus e helmintos) por meio do monitoramento desses microrganismos "ou" de variáveis de controle operacional do processo de redução de patógenos adicionais (PRAP). No entanto, a CONAMA 375 exige o monitoramento de ambos.

Adicionalmente, a regulamentação norte-americana requer que os biossólidos classe A apresentem menos de 1000 Cter/g ST "ou" menos de 3 salmonelas/4 g ST (limite de detecção), enquanto a CONAMA 375/2006 utiliza "e". Em relação a esse ponto, um estudo comparativo entre as regulamentações brasileira, norte-americana e britânica sobre a qualidade microbiológica dos biossólidos para uso agrícola conclui que "a classe A brasileira reflete a dos EUA, mas é mais rigorosa... a abordagem brasileira parece ignorar a inviabilidade da rotina de monitoramento de patógenos, e não considera o conceito de indicadores e a utilidade de variáveis de controle operacional (no Reino Unido)".

Os limites da classe B foram determinados com base na média de coliformes termotolerantes em lodos dos EUA provenientes de estações com digestores anaeróbios

de média taxa, fixados em 2×10^6 NMP/g ST. Estudos epidemiológicos não estabeleceram uma ligação entre os lodos e a saúde pública (para a população exposta, trabalhadores ou consumidores). A ausência de relação causal levou à manutenção desse padrão, conforme o NATIONAL RESEARCH COUNCIL em 1996. A mesma abordagem foi adotada para determinar os padrões dos lodos classe B no Reino Unido, com limite de 106 NMP/g ST devido a dados de lodos estabilizados. A CONAMA 375 adotou esse padrão do Reino Unido sem considerar uma caracterização específica do lodo brasileiro.

Por sua vez, a aplicação de lodos classe B é proibida para o cultivo de alimentos que possam ser consumidos crus. Entretanto, não há restrições para a sua aplicação em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas. Os usos permitidos e as respectivas restrições para lodos classe B são apresentados na Tabela 8 a seguir

Tabela 8 - Usos permitidos e respectivas restrições para lodos classe B.

Uso	Restrição
Cultivo de produtos alimentícios que não sejam consumidos crus e produtos não alimentícios	Não aplicar o bioestabilizado 4 meses antes do período de colheita
Pastagens e forrageiras	Não aplicar o bioestabilizado 2 meses antes do pastejo Não aplicar o bioestabilizado 4 meses antes do período de colheita de forrageiras
Árvores frutíferas	Aplicação deve ser realizada após a colheita

Fonte: Brasil (2006).

As regulamentações dos EUA e do Reino Unido não estabelecem um limite máximo para ovos de helmintos viáveis na classe B, tendo em vista as restrições e o uso seguro. Por outro lado, a CONAMA 375 estabelece, sem justificção embasada, um limite

de 10 ovos/g de ST. A resolução brasileira proíbe o uso de bio sólidos classe B em alimentos e pastagens, ao contrário das regulamentações dos EUA e do Reino Unido

Embora o clima brasileiro seja menos propenso a patógenos, a CONAMA 357/2006 impõe restrições mais rígidas, resultando em uma abordagem excessivamente cautelosa (conforme Bastos R.K.X. *et al*, 2013).

A resolução mais recente para regulamentação do resíduo agrícola de lodo é a Resolução CONAMA 498, de 19 de agosto de 2020. Seu escopo é definir critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos.

A primeira diferença em relação à resolução apresentada no tópico anterior refere-se ao uso de lodo de estações de tratamento de efluentes de processos industriais. A Resolução CONAMA 498/2020 estabelece que este resíduo poderá ser usado excepcionalmente quando autorizado pelo órgão ambiental competente. Permanecem os demais vetos quanto a origem de lodo, conforme Resolução 375/2006.

Assim como na resolução anterior, neste também fica proibido o uso e incorporação de resíduos grosseiros e material flutuante. É semelhante também os aspectos exigidos para a caracterização do lodo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa explorou detalhadamente o tema do reaproveitamento do lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE) com foco em sua aplicação na agricultura. Durante a análise, diversos aspectos foram abordados, incluindo a composição do lodo, seus benefícios na agricultura, considerações sobre fertilizantes orgânicos, aspectos microbiológicos e químicos regulamentares, bem como estudos comparativos entre diferentes abordagens regulatórias.

Uma das conclusões mais significativas é a viabilidade do uso agrícola do lodo de esgoto como uma alternativa vantajosa para a agricultura. Este resíduo, rico em nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade agrícola, reduzir custos de produção e minimizar a dependência de fertilizantes químicos. No entanto, a segurança e a eficácia desse uso dependem da implementação de regulamentações adequadas e do cumprimento de padrões microbiológicos e químicos rigorosos.

A análise das diferentes abordagens regulatórias, com base em exemplos dos Estados Unidos, Europa e Brasil, destaca a importância de se estabelecer padrões claros e eficazes para garantir a segurança do uso agrícola do lodo de esgoto. Além disso, a pesquisa evidenciou a necessidade de alinhar as regulamentações brasileiras com as melhores práticas internacionais, priorizando a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

Conclui-se que, a utilização do lodo de esgoto na agricultura representa uma alternativa sustentável e economicamente vantajosa. No entanto, essa prática requer uma abordagem regulatória sólida, monitoramento rigoroso e pesquisa contínua para garantir a segurança e eficácia desse processo. A pesquisa realizada neste trabalho contribui para o entendimento abrangente desse tópico e ressalta a importância de avançar em direção a práticas agrícolas mais sustentáveis e ecologicamente responsáveis.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. *Bragantia*, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.281-312.

ANDREOLI, C.V. Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. *Prosab*, Rio de Janeiro: ABES, 2006 (2).

ANDREOLLI, C.V, *et al.*; Tratamento e disposição do lodo de esgoto no Paraná. *Sanare*, Vol. 1(1), pp 10-15, Curitiba, PA, 1994.

ATERRO sanitário. Disponível em: <
http://ec.europa.eu/environment/youth/waste/waste_landfill_pt.html>. Acesso em 14 dez. 2010.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, Paula Dias; MARA, D. D. Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. *Revista DAE*, v. 191, p. 10-20, 2013.

BATISTA, L.F. (2015). Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*. Ed. Bettiol, W.; Camargo, O. A. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349p. il.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5p. (Comunicado Técnico, 24).

BETTIOL, W.; SANTOS, I. Efeito do lodo de esgoto sobre fitopatógenos veiculados pelo solo. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

BRASIL, Resolução CONAMA nº498, de 19 de agosto de 2020. Critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos. Publicado no D.O.U. de 21 de agosto de 2020.

BRASIL. CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em: 05 outubro 2023.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Resolução 375, de 29 de agosto de 2.006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2006.

BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 05 outubro 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Governo Federal, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 05 outubro 2023.

CARVALHO, Cristina Silva *et al.* Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência Agrária*, Recife, v. 10, n. 3, p. 413-419, 2015.

CHANG, A. C. *et al.* Developing Human Health- -related Chemical Guidelines for Reclaimed Water and Sewage Sludge Applications in Agriculture. World Health Organization. May, 2002.

CHERNICHARO, C.A.L. (1997). *Reatores Anaeróbios Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias*, vol. 5. DESA - UFMG. Belo Horizonte, MG. 180p.

COHIM, E. *et al.* Uso Racional de Água e Energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. In: GONÇALVES, R. F. (coordenador). *Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes*, 1. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 296- 348.

COHIM, E.; ASHER, K. Sistemas de esgotamento sanitário: conhecer o passado para moldar o futuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte/ MG. Anais ... Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. v. 2, p. 1-11.

CORRÊA, R. S.; CORRÊA, A. S. Valoração de bio sólidos como fertilizantes e condicionantes de solos. *SANARE (Revista Técnica da SANEPAR)*, v. 16, n. 2, p. 49-56, 2001.

CRAIG, J. R.; DAVID, J. V. and BRIAN, J. S. *Resources of Earth: Origin, Use and Environmental Impact*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

DIAS, C. L. Estabelecimento de Valores de Alerta e Limites Máximos no Lodo de Esgoto. Relatório técnico interno - CETESB, outubro de 2004.

DUARTE, A.C.L. Incorporação de Lodo de Esgoto na massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços: Uma alternativa para disposição final do resíduo. 2008. 111p. Dissertação de Mestrado. UFRN, Natal, 2008.

EUROPEN COMUNITY COUNCIL directive on the protection of the environmental and in particular of the soil when sewage sludge is used in agriculture. Official Journal Euro. Comon L. 187/6. 1986.

FERRAZ, A.V. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade e na ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus grandis* e no cultivo de plantas alimentícias (simulando alteração do uso agrícola do solo). 2013. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FURUKAWA, Neide Makiko. Plantação de Milho. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2385001/plantacao-de-milho> Acesso em: 17 de setembro de 2023.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOBBI, M. A. Potencialidade do uso do lodo de esgoto como fonte de macronutrientes no cultivo do milho (*Zea mays* L.) no município de Maringá – PR. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

GUEDES, M. C.; *et al.* Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. R. Bras. Ci. Solo, v.30, p.267-280, 2006.

HOFFMAN, R. *et al.* Administração da empresa agrícola. São Paulo: Pioneira, 1987. 325p.

HYPERLINK “<http://lattes.cnpq.br/5178732442154229>”

LOMBORG, B. O Ambientalista Cético: A Real Situação do Mundo - Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

MALTA, T. S. Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ. 2001. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro.

MELO, V. P. de. Propriedades químicas e disponibilidade de metais pesados para a cultura do milho em dois latossolos que receberam a adição de biossólido. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal.

Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR (Brasil). Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021 / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília/ DF, 2021.

NASCIMENTO, C.W.A.*et al.* Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.385-392, 2004.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on The Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption. 1996, 176 p.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. Instrução Técnica CEP/ DTA N. 001/2002. Dispõe sobre a utilização agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário. Curitiba, 07 de maio de 2002.

PICHELLI, Katia Regina. Plantio de eucalipto. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3014003/plantio-de-eucalipto-para-energia-milho> Acesso em: 17 de setembro de 2023.

QUINTANA, N. R. G. Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

QUINTANA, N. R. G., CARMO, M. S. do, MELO, W. J. de Viabilidade econômica do uso de lodo de esgoto na agricultura, estado de São Paulo. *Revista Informações Econômicas*, v.39, n.6, p.31-36, jun. 2009.

RISSOLI, C. A. (2014). Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 143f.

SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375.

SAMPAIO, A. O; GONÇALVES, M. C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: estudo de caso ETE – Barueri. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro/RJ. Anais ... Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, p. 676- 685.

SANEAGO. Saneago implementa nova logística de transporte e disposição final do lodo da ETE Goiânia. 2019.

SANTOS, F.E.V.; KUNZ, S.H.; CALDEIRA, M.V.W.; AZEVEDO, C.H.S.; RANGEL, O.J.P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SÃO PAULO (Estado). CETESB. Aplicação de lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios para Projeto e Operação (Manual Técnico). P 4.320. Águas Subterrâneas. Companhia de Tecnologia de Saneamento ambiental, São Paulo, 1999.

SÃO PAULO (Estado). CETESB. Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas. Companhia de Tecnologia de Saneamento ambiental, São Paulo, 2001.

SILVA K. K. B. da. Efeitos da irrigação com lodo de esgoto tratado sobre o Sistema solo-planta (milho) e indução da supressividade a doenças causadas por nematóides. 2009.

88f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SMITH, S. R. Are controls on organics contaminants necessary to protect the environment when sewage sludge is used in agriculture? Prog. In Environ., v. 2, p. 129-146, 2000.

SOUZA, Karoline Boeing de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico para reuso de lodo na agricultura: Aplicação dos limites das Resoluções CONAMA 375/2006 e 498/2020 / Karoline Boeing de Souza; orientador, Maria Elisa Magri, 2022. 64 p.

TERA AMBIENTAL. Entenda os processos de tratamento de lodo líquido e lodo sólido. Disponível em: <: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/entenda-os-processos-de-tratamento-de-lodo-liquido-e-lodo-solido>>. Acesso em 10 set. 2023.

TRIGUEIRO, R. M. Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, SP.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. 2003. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. Scientia Forestalis, Piracicaba, n 64, p 150-162.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: (Org.) Biossólidos na Agricultura, 1. Ed. São Paulo: Sabesp, 2001. p. 89-131.

USEPA, “A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule,” Tech. Rep. EPA/832-R-93-003, Office of Wastewater Management, Washington, DC, USA, 1994.

USEPA. Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge. Code of Federal Regulation, Title 40, Part 503. U. S. Environmental Protection Agency, 1993.

VEGA, F.V.A.; BOVI, M.L.A.; BERTON, R.S.; GODOY JUNIOR, G.; CEMBRANELLI, M.A.R. Aplicação de Biossólido na implantação da cultura da pupunheira. Horticultura brasileira, v. 22, n. 1, p. 131-135, 2004.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standards. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, pp. 1-12. Porto Alegre: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y ambiental, 2001.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

WEF HIGHLIGHTS. Wef Commends NRC's Part 503 Assessment, Call for Continued Research. v. 39, n. 7, July/August, 2002.