

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

THIAGO APARECIDO FERNANDES LEITE

**O EFEITO DA FERTILIDADE DO SOLO COM
APLICAÇÃO DE RESÍDUOS COM LODO DE ESGOTO**

BAURU
2016

THIAGO APARECIDO FERNANDES LEITE

**O EFEITO DA FERTILIDADE DO SOLO COM
APLICAÇÃO DE RESÍDUOS COM LODO DE ESGOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação do Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

BAURU
2016

L5334e Leite, Thiago Aparecido Fernandes

O efeito da fertilidade do solo com aplicação de resíduos com lodo de esgoto / Thiago Aparecido Fernandes Leite. -- 2016.
29f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Matéria orgânica. 2. Fósforo. 3. Micronutrientes. 4. Compostagem. 5. Sustentabilidade. I. Lobo, Thomaz Figueiredo. II. Título.

THIAGO APARECIDO FERNANDES LEITE

**O EFEITO DA FERTILIDADE DO SOLO COM APLICAÇÃO DE
RESÍDUOS COM LODO DE ESGOTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação do Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 17 de junho de 2016.

Dedico este trabalho, a Deus pela força e coragem durante toda esta longa caminhada. Aos meus pais e irmã que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que até aqui esteve comigo.

Aos meus pais Carlos e Elenita, por me darem todo o amor e suporte para a conclusão dessa etapa. Por me dar toda educação, respeito e entender da importância da formação acadêmica.

À minha irmã Thaís pelo incentivo, apoio e amizade.

Ao orientador professor Thomaz Figueiredo Lobo pela confiança e paciência depositada. Agradeço também, pelas horas concedidas na correção e auxílio para elaboração deste trabalho.

A todos os professores (as) que foram profissionais ao passar todos os seus conhecimentos, em especial à coordenadora do curso de química Profa. M.^a Bárbara Tessarolli.

A todos as pessoas que conheci durante o curso, aos colegas de classe, em especial a minha amiga Mariana Lopes da Silva, companheira de trabalho e de sala de aula, que sempre esteve presente nas horas tristes e felizes, na qual construímos uma amizade verdadeira e sincera.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento”.

Albert Einstein

RESUMO

O lodo de esgoto é um resíduo orgânico proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto, que é destinado na maioria das vezes, para aterros sanitários. Essa prática vem deixando os aterros sanitários sobrecarregados e prejudicando o meio ambiente. Uma forma de diminuir isso é a manejo do lodo de esgoto na agricultura. O presente trabalho busca mostrar o efeito na fertilidade do solo com o uso dos resíduos de lodo de esgoto, depois de compostado e classificado de acordo com a Resolução Nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), onde apresente alto teor de matéria orgânica, macro e micronutrientes, sem alto teor de agentes que possam contaminar o meio ambiente, como metais pesados. Apresenta, também, os impactos ambientais que o mau manejo do lodo de esgoto pode causar para o meio ambiente. O trabalho utiliza de revisões bibliográficas para que se conceitue o uso e o efeito do lodo de esgoto na agricultura.

Palavras-chave: matéria orgânica, fósforo, micronutrientes, compostagem, sustentabilidade.

ABSTRACT

Sewage sludge is an organic waste from the sewage treatment plants, which is intended mostly to landfills. This practice has left the overburdened landfills and harming the environment. One way to reduce this is the management of sewage sludge in agriculture. This study aims to show the effect on soil fertility with the use of sewage sludge waste after composted and classified in accordance with Resolution No. 375 of the Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), which present high content of organic matter, macro and micronutrients, without high content of agents that can contaminate the environment, such as heavy metals. It also presents the environmental impacts that poor management of sewage sludge can cause to the environment. The work uses literature reviews to conceptualise that the use and the effect of sewage sludge in agriculture.

Keywords: organic matter, phosphorus, micronutrients, composting, sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Variação típica de temperatura em processos de compostagem.....	14
Figura 2 -	Relação C/N durante a compostagem de podas de árvores de bagaço de laranja.....	16
Figura 3 -	Compostagem aeróbia de resíduos orgânicos em leiras.....	18
Figura 4 -	Corte de um aterro sanitário típico.....	19
Figura 5 -	Lodo de esgoto compostado aplicado no solo.....	23
Figura 6 -	Interação das cargas elétricas da fração argila e matéria orgânica.....	25
Figura 7-	Concentração de macronutrientes no solo com diferentes níveis de lodo de esgoto.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1	Lodos de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas.....	13
Tabela - 2	Condições sugeridas para uma rápida compostagem.....	17
Tabela - 3	Temperatura e tempo requeridos para a destruição de alguns patógenos e parasitas comuns.....	21
Tabela – 4	Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos.	21
Tabela – 5	Alguns metais e semimetais de importância ambiental (toxicidade aguda para mamíferos).....	22
Tabela – 6	Algumas características químicas de lodos de esgoto, com base no material seco.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
°C	Grau Celsius
C/N	Relação carbono/nitrogênio
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de troca catiônica
ETE	Estação de tratamento de esgoto
LE	Lodo de esgoto
N	Nitrogênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	O LODO DE ESGOTO.....	13
3.2	COMPOSTAGEM.....	14
3.3	QUÍMICA DA COMPOSTAGEM.....	15
3.4	FATORES FÍSICOS QUE AFETAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	17
3.5	ATERROS SANITÁRIOS.....	18
3.6	IMPACTOS AMBIENTAIS DO MAU MANEJO DO LODO COMPOSTADO.....	19
3.7	ODORES.....	19
3.8	GERAÇÃO E PERCOLAÇÃO DE CHORUME.....	20
3.9	AGENTES PATOGÊNICOS.....	20
3.10	EFEITOS SOBRE METAIS PESADOS.....	21
3.11	UTILIZAÇÃO DO LODO COMPOSTADO NA AGRICULTURA PARA FERTILIDADE DO SOLO.....	22
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos na agricultura tem sido uma prática usada há muito tempo, sejam eles de origem animal (esterco), adubos verdes, resíduos agroindustriais (vinhaça, torta de filtro, borras, etc.) e urbanos (fração orgânica do lixo doméstico). Mas outro resíduo que se mostrou eficiente na agricultura foi o lodo de esgoto (LE). (ANDRADE; PIRES, 2014).

Para que o LE seja destinado ao uso agrícola, ele deve seguir legislações e normas específicas, como a Resolução N° 375 do CONAMA, pois devido a sua origem, podem conter altos teores de metais pesados, e isso pode comprometer o solo. (COSCIONE; NOGUEIRA; PIRES, 2010).

O LE pode ter destinos adequados, tais como, a disposição em aterros sanitários (alto custo), despejo nos oceanos, rios e lagos (prática proibida por lei nos Estados Unidos), incineração (gera gases poluentes para a atmosfera) e o uso na agricultura para fertilidade do solo, técnica mais viável, por ser rico em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo. (BOARETTO, et. al, 2001; SAÍTO, 2007).

A utilização do LE traz como benefícios químicos como na diminuição da acidez, a incorporação de macronutrientes no solo, como nitrogênio e fósforo, e micronutrientes, como cobre, ferro, zinco, manganês e molibdênio. E como benefícios físicos do solo, aumenta a retenção de umidade em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos. (BOARETTO, et. al, 2001; FILHO, 2011).

O presente trabalho discutirá sobre o efeito da fertilidade do solo com aplicações de LE compostado, abordando os impactos ambientais do mau manejo do lodo compostado e os benefícios que esse resíduo pode trazer para a agricultura.

2 OBJETIVOS

Apresenta-se nos tópicos abaixo os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Verificar o melhor aproveitamento do lodo de esgoto para a fertilidade do solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mostrar as etapas da compostagem do lodo de esgoto.
- Mostrar os impactos ambientais do mau manejo do lodo compostado.
- Discutir sobre a utilização do lodo compostado na agricultura para fertilidade do solo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto é o resíduo gerado das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), onde dependendo da sua origem (processos industriais, instalações hospitalares, etc.) e sua composição, não pode ser usado em aplicações agrícolas.

Os requisitos mínimos de qualidade do lodo para que ele seja destinado à agricultura estão descrito na Tabela 1. (CONAMA, 2006)

Na ETE, o lodo é uma mistura sólida, de mistura orgânica e inorgânica, onde apresenta alto valor agregado, pois contém alto teor de matéria orgânica, macro e micronutrientes, e acaba sendo utilizado como fertilizante. (RUBIM, 2013).

Tabela 1 – Lodos de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg.kg⁻¹, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: (CONAMA, 2006).

Nota: Adaptada pelo autor.

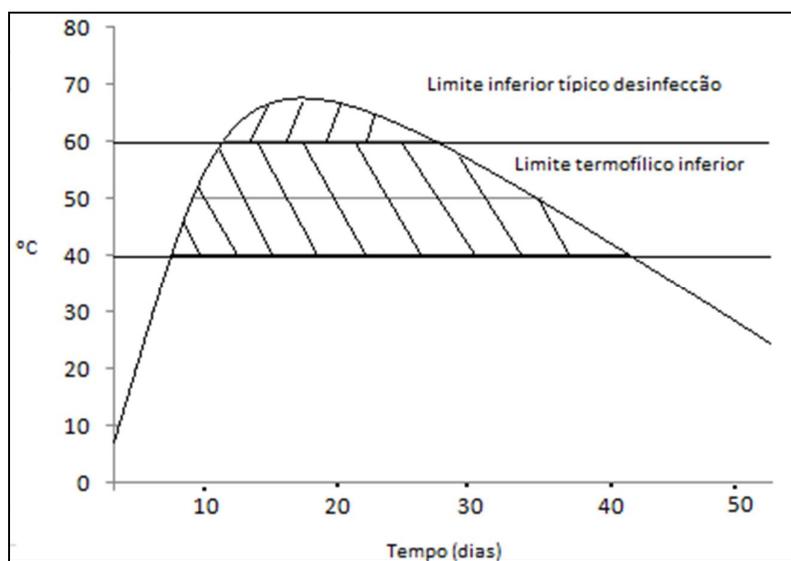
A reciclagem agrícola do LE (biossólido) é um das formas mais benéficas de aproveitar esse resíduo por aproveitar da sua composição como matéria orgânica e outros nutrientes, refletindo na diminuição do uso de fertilizantes agrícolas, retenção de água e na formação de agregados ao solo. (INÁCIO; MILLER, 2009).

A compostagem termofílica é usada, para diminuir os patógenos da massa de lodo tratado, no entanto, esse lodo só deve ser destinado para algumas culturas como tem sido aplicado em áreas de café, cana-de-açúcar e eucalipto, e fica restrito a aplicação em campos de hortaliças, olerícolas, pastagens, raízes e tubérculos, ou seja qualquer cultura que fique em contato direto com o solo, e conseqüentemente com o lodo. (INÁCIO; MILLER, 2009. CONSCIONE; NOGUEIRA; PIRES, 2010) .

3.2 COMPOSTAGEM

Compostagem é o processo de biodecomposição da matéria orgânica feita através de micro-organismos, dependente de oxigênio e se divide em três fases distintas, onde há a variação de temperatura (Figura 1): mesofílica (fase em que predominam temperaturas moderadas, cerca de 40 °C, com duração de até cinco dias), termofílica (fase em que predominam altas temperaturas, cerca de 70 °C, onde ajuda na eliminação de agentes patogênicos com duração de dias ou meses) e maturação (fase que transforma a matéria orgânica em humo, com duração de meses). (ECYCLE, 2016).

Figura 1 – Variação típica de temperatura em processos de compostagem.



Fonte: (MASON; MILKE, 2005)

Nota: adaptada pelo autor.

Para que seja feita a compostagem do lodo de esgoto, é necessário que ele seja misturado a uma massa seca orgânica (geralmente podas urbanas), para que a umidade do lodo baixe, e também aumente a quantidade da relação Carbono/Nitrogênio. (INÁCIO; MILLER, 2009).

Na fase inicial, ou mesofílica, ocorre a proliferação e expansão rápida das colônias de micro-organismos mesófilos e a decomposição se intensifica, pois há a liberação de calor e elevação rápida na temperatura. Essa fase dura cerca de 24 horas ou até 3 dias (dependendo do material), até atingir a temperatura de 45 °C no interior das pilhas de compostagem. Para

que aumente a temperatura e diminua a porcentagem de umidade é necessária a aeração nessa fase. (INÁCIO; MILLER, 2009).

Na fase termófila, as temperaturas ficam em torno de 50 a 65 °C, e ocorre atividade plena dos micro-organismos termófilos e a manutenção de geração de calor e vapor de água. A aeração nessa fase é necessária, pois o calor gerado pode dificultar o suprimento de oxigênio. (INÁCIO; MILLER, 2009).

Na fase mesófila, a temperatura e a atividade microbiana, começam a baixar e ocorre a degradação de substâncias orgânicas por micro-organismos mesófilos (fungos e actinomicetos), que ainda estão presentes. (INÁCIO; MILLER, 2009).

Na fase de maturação, a atividade biológica é baixa e o composto não se aquece mais. Ocorre a maturação dos compostos com a formação de substâncias húmicas. (INÁCIO; MILLER, 2009).

[...] A compostagem deste lodo com fibras vegetais – bagaço de cana e podas urbanas trituradas – permitiu o enquadramento do produto final, o composto orgânico, como biossólido Classe A conforme a resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006) pela redução de ovos de helmintos viáveis e outros patógenos na massa do material. (INÁCIO; MILLER, 2009, p. 22).

A aplicação do lodo na agricultura aumenta a capacidade de níveis adequados de umidade no solo, aumentando assim, a quantidade de água disponível para a planta, devido a incorporação de matéria orgânica estabilizada. (INÁCIO; MILLER, 2009).

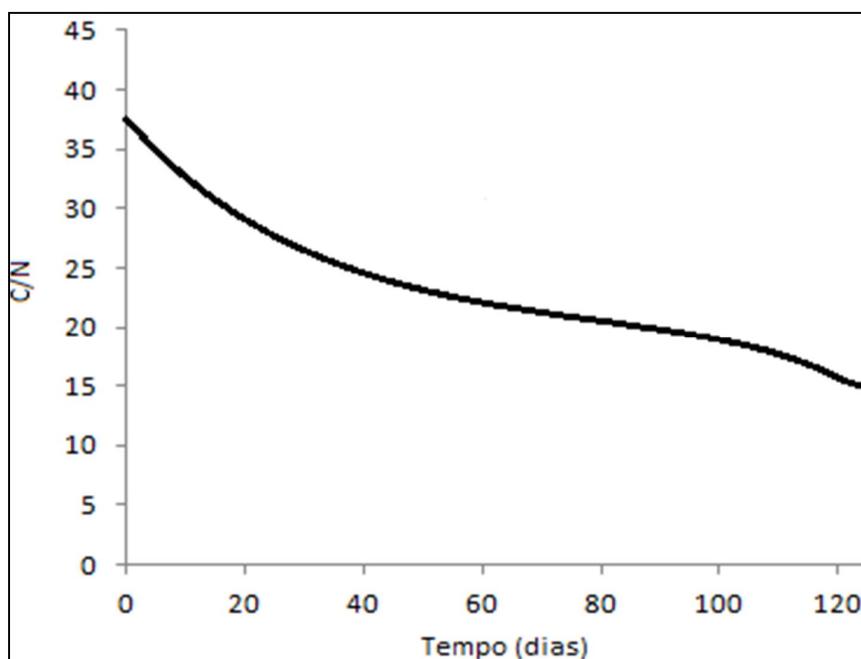
3.3 QUÍMICA DA COMPOSTAGEM

[...] Durante o processo de compostagem, a decomposição de moléculas orgânicas mineraliza nutrientes resultando em fosfato (PO_4^{3-}), íon potássio (K^+), amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). Enquanto o nitrogênio e fósforo são imobilizados por bactérias, o potássio resultante de decomposição de tecidos vegetais continua em sua forma iônica, sujeito a lixiviação. Por isso, pequenas quantidades são encontrados no chorume estão na forma de biomassa microbiana, o potássio continua na forma iônica, e sua concentração varia de acordo com a diluição do chorume por quantidades variáveis de chuva. A absorção de potássio, um cátion, por argila dar-se-á imediatamente quando o chorume atingir a base da leira. No manejo da leira para utilizar como adubo, esta camada superficial de argila poderá ser incorporada ao composto. (INÁCIO; MILLER, 2009).

A decomposição microbiana necessita de muitos elementos, mas os mais importantes são o carbono e o nitrogênio. Eles se relacionam entre o conteúdo de C e N, em peso, presente num material. A relação 30:1 de C/N é uma meta a ser obtida na operação de unidades de compostagem, pois das 30 partes de carbono, 20 partes são eliminadas na atmosfera na forma de CO₂ e 10 partes são assimiladas pelos micro-organismos. (RIBEIRO; SPADOTTO, 2006).

As substâncias húmicas totais e a relação C/N, tem relação total com a transformação da matéria orgânica que se traduzem na maturação do composto (Figura 2).

Figura 2 – Relação C/N durante a compostagem de podres de árvores de bagaço de laranja.



Fonte: (FIALHO et. AL., 2005)

Nota: adaptada pelo autor

Como mostra a Figura 2, a relação de C/N diminui com o passar do tempo (dias), devido a necessidade microbiana.

A perda de nitrogênio ocorre através da volatilização da amônia (NH₃) caso não tenha fontes de carbono disponíveis na fase termofílica, aumento do pH ou excesso de N. (INÁCIO; MILLER, 2009). Isso não é interessante, pois o composto acaba ficando pobre em N.

A compostagem é um processo aeróbio, por isso é necessário que se faça a aeração, pois os níveis de oxigênio não devem ficar abaixo de 5%. O pH tem relação direta com o

ambiente aeróbio do composto orgânico, pois em situações anaeróbias podem limitar a atividade microbiana. Em alguns casos, a aeração tem que ser feita através de sistemas de ventiladores/aeradores e tubos que são instalados sob as leiras ou no interior delas. (RIBEIRO; SPADOTTO, 2006).

A compostagem leva em consideração algumas condições para uma rápida compostagem (Tabela 2), considerando o final da combinação o resultado da combinação dos materiais. (INÁCIO; MILLER, 2009).

Tabela 2 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem

Condições	Faixa adequada ^a	Faixa preferível ^b
Relação C/N	20:01 - 40:01	25:1 - 30:1
Umidade	40 - 65 % ^b	50 - 60 %
Concentração de oxigênio	Maior que 5 %	Muito maior que 5%
Tamanho das partículas (cm)	0,3 - 1,5 (1/8 - 1/2 polegadas)	Vários ^b
pH	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0
Temperatura (°C)	43,5 - 65,5 (110 - 150 °F)	54,5 - 60,0 (130 - 140 °F)

Fonte: (RYNK, 1992)

Nota: adaptada pelo autor

- (a) Estas são recomendações que visam uma rápida compostagem na maioria dos casos, porém também pode-se obter bons resultados fora dessas especificações.
- (b) Depende dos materiais usados, tamanho das leiras ou pilhas, e das condições climáticas.

3.4 FATORES FÍSICOS QUE AFETAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Há alguns outros fatores que interferem no processo de compostagem, como o tamanho das partículas e o tamanho das pilhas de compostagem.

O tamanho de partículas do composto orgânico é importante para que a atividade microbiana atue, aumentando a taxa de decomposição. O tamanho das partículas devem estar entre 1 e 5 centímetros, caso elas estejam muito pequenas, o composto tende à compactação, e pode deixar o meio anaeróbio. (KIEL, 1985).

Outro fator que ajuda é o tamanho das pilhas de compostagem (Figura 3). O tamanho dela deve ter tamanho suficiente para que não haja a rápida dissipação da umidade e calor e pequena suficiente para que tenha uma boa circulação de ar. (RIBEIRO; SPADOTTO, 2006).

Figura 3 - Compostagem aeróbia de resíduos orgânicos em leiras.



Fonte: KRALINGEN (2014)

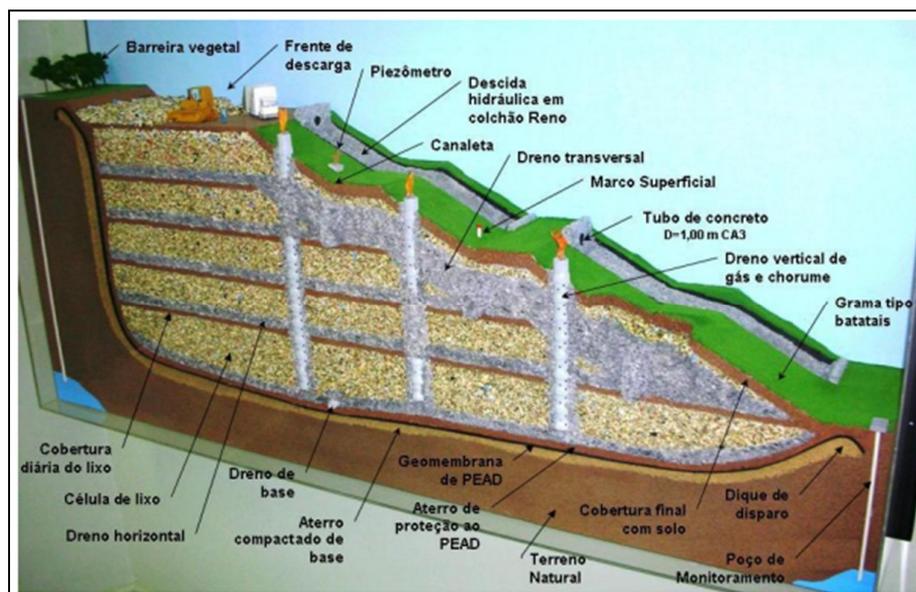
3.5 ATERROS SANITÁRIOS

Segundo a NBR 8419, aterro sanitário é a disposição correta de resíduos sólidos de origem urbana, sem comprometer a qualidade do solo, saúde pública, segurança pública através de engenharia para acondicionar esses resíduos de forma a utilizar o menor espaço físico, a fim de minimizar os impactos ambientais. (ABNT, 1992).

Os aterros sanitários devem ser compostos por alguns componentes (Figura 4), tais como camadas de solo, mantas de polieteno de alta qualidade, drenos de gás e chorume, drenos de águas superficiais, e seguir totalmente os requisitos conforme a NBR 8419 (ABNT). (ABNT,1992).

O uso do LE na agricultura diminui a quantidade de resíduos que são depositados nos aterros sanitários, abrindo espaço para outros resíduos que não tenham outro destino senão os aterros sanitários. Fazendo o processo de compostagem, também diminui o custo dos aterros em acondicionar o LE.

Figura 4 – Corte de um aterro sanitário típico.



Fonte: POLZER (2013)

3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DO MAU MANEJO DO LODO COMPOSTADO

O processo de compostagem, assim como tantos outros processos, é um potencial poluidor. Esses impactos ambientais podem ser causados pela emissão de substâncias voláteis, como compostos organo-sulfatos, por exemplo, percolação de efluentes nas leiras ao ambiente que está ao redor da área de compostagem, impactos relacionados com a saúde dos operadores, atração e proliferação de insetos e moscas e o impacto que esse composto pode gerar no solo através de metais pesados. (INÁCIO; MILLER, 2009).

O gerenciamento do processo de compostagem, e o tipo de matéria prima usado na compostagem, é o que determina os riscos e impactos ambientais. No estudo e desenvolvimento da área de compostagem, os engenheiros responsáveis, devem levar em conta o mau cheiro gerado na compostagem, pois ele pode gerar rejeição pelas áreas vizinhas, e o projeto ser negado pelo órgão ambiental. Por isso, dependendo da matéria prima, as áreas de compostagem devem ser cobertas. (INÁCIO; MILLER, 2009).

3.7 ODORES

O odor gerado na compostagem por organo-sulfetos como, COS (carbonila sulfeto), H₂S (sulfeto de hidrogênio) e DMDS (dimetil dissulfeto), pode ser responsável pelo fechamento e desativação do pátio de compostagem. Além da origem da matéria prima do resíduo, outra causa da formação do mau cheiro é a aeração passiva, pois possibilita um fluxo

de oxigênio melhor e evita a formação de odores e sua emissão pela leira. Alguns casos apresentam odor apenas no final da fase de maturação, quando há o revolvimento da pilha e a parte interior inferior é exposta. Isso devido a falta de material volumoso (asparas de madeira) criando um ambiente anaeróbico. A manutenção da adequada umidade e aeração na fase termofílica é a melhor solução para evitar a formação de odores. (INÁCIO; MILLER, 2009).

3.8 GERAÇÃO E PERCOLAÇÃO DE CHORUME

No processo de compostagem dependendo da aeração, o acúmulo de água ou o ambiente úmido, pode ocorrer que a água percole pelo resíduo e carregue elementos como metais pesados ou patógenos, até a parte inferior da leira, ao solo e por fim ao lençol freático. (GORGATI, C.Q; JUNIOR, J. de L., 2002).

Além de metais pesados e patógenos outros contaminantes presentes no percolado são os elevados teores de amônio, nitrato, fósforo, potássio e nitrogênio. O acúmulo de matéria orgânica e amônia podem criar problemas em águas superficiais devido ao consumo de oxigênio – demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ou seja, quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica, e a demanda química de oxigênio (DQO), quantidade de matéria orgânica susceptível de ser oxidada por agentes químicos. (INÁCIO; MILLER, 2009).

3.9 AGENTES PATOGÊNICOS

Os resíduos orgânicos podem trazer grandes problemas não só para o meio ambiente, mas também para a saúde humana. O LE contém elevados números de patógenos devido a sua origem. Ele geralmente deve passar por processos de desinfecção para ser destinado ao uso agrícola, ainda sim, deve ser controlado. Pelo processo de compostagem atingir elevadas temperaturas por longos períodos, os níveis de patógenos são reduzidos para níveis seguros (Tabela 3), e assim o lodo de esgoto é classificado de acordo com esses níveis (Tabela 4). (INÁCIO; MILLER, 2009).

Tabela 3 – Temperatura e tempo requeridos para a destruição de alguns patógenos e parasitas comuns.

Organismos	Requisitos de inativação
<i>Salmonella typhosa</i>	Morte em 30 min a 55-60°C e em 20 min a 60°C
<i>Salmonella sp.</i>	Morte em 1 h a 55°C e em 15-20 min a 60°C
<i>Shingella sp.</i>	Morte em 1 h a 55°C
<i>Escherichia coli</i>	Maioria morre em 1 h a 55°C e em 15-20 min a 60°C
<i>Entamoeba histolytica cysts</i>	Morte em alguns min. a 45°C e em alguns segundos a 55°C
<i>Taenia Saginata</i>	Morte em alguns min a 55°C
<i>Trinchinella spiralis larvae</i>	Morte em alguns min a 55°C e morte instantânea a 60°C
<i>Brucella abortus ou. Br. Suis</i>	Morte em 3 min a 62-63°C e em 1 h a 55°C
<i>Micrococcus pyogenes</i>	Morte em 10 min a 50°C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 min a 54°C
<i>Myobacterium tuberculosis</i>	Morte em 15-20 min a 66°C ou depois de picos de temperatura de 67°C
<i>Corynebacterium diptheriae</i>	Morte em 45 min a 55°C
<i>Necator americanus</i>	Morte em 50 min a 45°C
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Morte em 1 h a 50°C

Fonte: (TCHOUBANOGLIOUS et al., 1993 apud POULSEN, 2003).

Nota: Adaptada pelo autor.

Tabela 4 – Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto 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 10 g 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 ovos / g de ST

Fonte: (CONAMA, 2006).

Nota: Adaptada pelo autor.

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

3.10 EFEITOS SOBRE METAIS PESADOS

O termo metal pesado refere-se a elementos químicos, metais e semi-metais, que podem em determinada condição ou circunstância oferecer riscos à saúde e ao meio ambiente. [...] Alguns desses elementos traço desempenha papéis importantes na fisiologia de vegetais e animais, incluindo o ser humano. Nesta condição são chamados de micronutrientes, ou simplesmente nutrientes, mas que em concentrações e disponibilidade altas podem causar doenças e mau funcionamento fisiológico. (INÁCIO; MILLER, 2009).

O LE contém metais pesados, como mostra alguns na Tabela 5, mas a técnica de compostagem não perde de maneira significativa ou elimina-os, mas diminui a disponibilidade desses metais no solo para extração pelas plantas ou para lixiviação. Isso ocorre devido a forte capacidade de substâncias húmicas de formarem quelatos ou, simplesmente, adsorverem deixando-os indisponíveis. (BAIRD, 2002).

Apesar do LE ser uma mistura altamente húmica, apenas esse fato não é relevante para a concentração de metais pesados. O pH ácido nas leiras de compostagem tem interferência significativa sobre a disponibilidade dos metais pesados. (INÁCIO; MILLER, 2009).

A Tabela 5 mostra a toxicidade de alguns metais e semimetais em mamíferos. Quando as plantas absorvem esses elementos em quantidades tóxicas, o crescimento e desenvolvimento delas são comprometidos e em alguns níveis, elas não são capazes de se desenvolverem. A percolação desses metais pelo solo também preocupa, pois dependendo do metal, forma química e concentração podem acarretar na contaminação do lençol freático. (RIBEIRO, W; SPADOTTO, C., 2003).

Tabela 5 – Alguns metais e semimetais de importância ambiental (toxicidade aguda para mamíferos).

Símbolo químico	Metal/semi-metal e ligações	Toxicidade¹
As	Arsênio	t, c, p
Pb	Chumbo	pt
Cd	Cádmio	pt/t, c, p
Cu	Cobre	pt, p
Ni	Níquel	c, p
Hg	Mercúrio	mt
Zn	Zinco	p

1) mt = muito tóxico; t = tóxico; pt = pouco tóxico; c = cancerígeno; p = geram resíduos perigosos em plantas úteis.

Fonte: (SCHIANETZ, 1999).

Nota: Adaptada pelo autor.

3.11 UTILIZAÇÃO DO LODO COMPOSTADO NA AGRICULTURA PARA FERTILIDADE DO SOLO.

Diante da crescente população dos centros urbanos, a disposição final do resíduo gerado nas ETE's (lodo de esgoto) nos aterros sanitários passou a ser uma técnica não lucrativa e tão pouco inteligente. A disposição desse bio-sólido para a agricultura tomou

importância (Figura 5), pois com esse destino, conseguiu-se reaproveitar aquilo que antes, era apenas uma pilha nos aterros.

Figura 5 – Lodo de esgoto compostado aplicado no solo.



Fonte: LOBO (2006)

Essa disponibilidade para a agricultura torna-se vantajosa apenas se o LE foi devidamente compostado, estabilizado, os níveis de metais pesados estiverem dentro do permitido para o uso agrícola e o resíduo contenha nutrientes suficientes para a cultura. (Tabela 6).

Tabela 6 – Algumas características químicas de lodos de esgoto, com base no material seco.

Característica	Unidade	Líquido	Torta - B	Torta - F	Seco	Compostado
		Com cal	Sem cal			
pH (in natura)	-----	11,1	6,6	6,3	8,3	7,3
Umidade	% (m/m)	98,8	80	83	23	55
Carbono orgânico	g kg-1	168,1	271	3,74	264	303
Nitrogênio total	g kg-1	28,1	42	67	39	23
Relação C/N	-----	6	6	6	7	13
Fósforo	g kg-1	6,5	27	16	19	0,7
Potássio	g kg-1	5,5	1	1	1,6	3,8
Cálcio	g kg-1	63	40	25	12	7,4
Magnésio	g kg-1	2,3	3,7	2,2	5,2	2,3
Enxofre	g kg-1	4	13	16	7	2,6
Zinco	mg kg -1	305	3372	1198	734	373
Cobre	mg kg -1	347	953	241	237	105
Boro	mg kg -1	18	29	20	17	39

Fonte: (CONSCIONE; NOGUEIRA; PIRES, 2010)

Nota: Adaptada pelo autor.

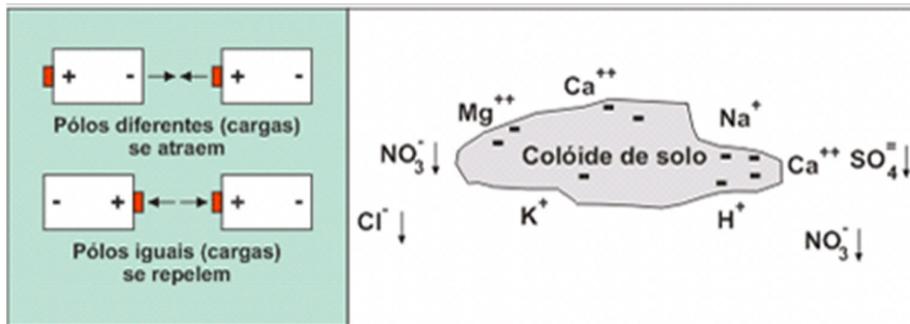
Torta B – lodo de Barueri/SP

Torta F – lodo de Franca/SP

O resíduo já compostado, é um material onde não se podem distinguir os materiais presentes, ou seja, homogêneo, de odor suave característico e de coloração marrom-escuro a preta. Ele tem por benefícios a disponibilidade de fontes de micronutrientes e macro (potássio, fósforo, nitrogênio), e é uma grande fonte de matéria orgânica. Eleva também a CTC do solo (capacidade de troca catiônica que o solo tem com a planta), reduzindo as perdas por lixiviação, melhora a drenagem, aeração do solo, estabilidade do pH e aproveitamento de fertilizantes minerais. (INÁCIO; MILLER, 2009).

A CTC é um importante componente para a fertilidade do solo. Ela acontece por minerais silicatados de argila, alofana e húmus, que tem carga negativa na sua estrutura, atraindo os cátions que estão disponíveis no solo (chamados de trocáveis) (Figura 6). A troca de ânions é geralmente insignificante, mascarada, pela capacidade maior de troca de cátions. (THOMPSON; TROEH, 2007).

Figura 6 – Interação das cargas elétricas da fração argila e matéria orgânica



Fonte: PEDOLOGIA FÁCIL

A característica de o composto ser uma substância húmica, faz com que a CTC seja maior permitindo que os nutrientes fiquem em formas trocáveis, aumentando a interação com as raízes das plantas e evitando a perda por lixiviação. Alguns compostos como fósforo, nitrogênio e enxofre estão na forma orgânica e na biomassa microbiana. Então a liberação desses nutrientes para a planta se dá através da decomposição microbiológica do solo da matéria orgânica (mineralização). (INÁCIO; MILLER, 2009).

Um estudo feito com a aplicação do lodo de esgoto nas culturas de girassol, aveia, feijão, tritcale e trigo (Figura 7) mostrou que o composto aumentou de forma significativa os níveis de matéria-orgânica, fósforo, hidrogênio+alumínio, potássio, cálcio, enxofre e CTC.

Figura 7 – Concentração de macronutrientes no solo com diferentes níveis de lodo de esgoto.

Tabela 5. Análise do solo 0 a 20 cm.											
Tra	pH	MO	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			%	mg dm ⁻³
T0	6,1 a	6 d	12 de	11 c	2,6	24 b	7 b	34 b	46 d	75	3 d
T1	5,7 ab	8 cd	9 e	14 bc	2,7	26 b	9 ab	37 b	52 cd	72	3 d
T2	5,7 ab	10 c	17 d	15 b	2,6	27ab	8 ab	38 b	53 bcd	71	3 cd
T3	5,7 ab	11 c	23 c	16 b	2,5	31ab	8 b	42 ab	58 bc	72	4 c
T4	5,4 b	16 b	34 b	21 a	2,6	31ab	7 b	41 b	62 b	66	6 b
T5	5,3 b	22 a	44 a	24 a	3,1	39 a	10 a	52 a	76 a	67	8 a
F	3,86	30,6	73,65	16,82	1,1	3,31	2,29	3,02	13,5	1,6	43,7
M	5,62	12,16	23,21	16,97	2,7	29,8	8,2	40,7	57,7	71	4,7
CV	5,52	19,12	15,17	15,36	18	21,3	17,1	18,8	11,1	8,8	15,9

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan 5% de probabilidade. T0 – sem N, T1 –100% AM, T2 - 50% AM + 50% LE, T3 – 100% LE, T4 – 150% LE, T5 – 200% LE. AM – Adubação mineral; LE – Lodo de esgoto.

Fonte: Elaboração dos autores.

Fonte: LOBO (2006)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo de esgoto é um resíduo gerado nas estações de tratamento de esgoto, e dependendo da sua origem, pode conter macronutrientes e micronutrientes essenciais para a fertilidade do solo.

Mas para que seja destinado ao uso agrícola, é necessário que esse resíduo passe pelo processo de compostagem. Essa técnica passou a ser usada, pois o lodo mostrou vantajoso quanto a sua composição.

A técnica de compostagem é capaz de transformar, por meio de micro-organismos aeróbios, o resíduo em um bio sólido, que poderá seguir para o uso agrícola. A compostagem é capaz de eliminar muitos patógenos que estão presentes no lodo, isso devido ao aumento da temperatura nas fases da compostagem.

Para a boa execução dessa técnica, é necessário que o meio esteja sempre aeróbio, com pH controlado e tamanho das partículas controlados (partículas muito pequenas, tendem a compactação, tornando o meio anaeróbio, o que não é desejável).

Mas o processo de compostagem, se manejado de forma errada, pode trazer impactos ambientais. Isso ocorre devido à emissão de substâncias voláteis, percolação de metais pesados, proliferação de insetos, risco à saúde humana por proliferação de insetos e contaminação das culturas.

Com esses fatores controlados, o bio sólido pode seguir para a agricultura, na qual irá contribuir consideravelmente para a fertilidade do solo. Ele é capaz de aumentar a capacidade de troca catiônica do solo, além de aumentar nutrientes como fósforo, nitrogênio e carbono. A aplicação do bio sólido melhora também a parte física do solo.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8418 NB 843**: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro. 1992.

ANDRADE, C.; PIRES, A. **Recomendação de dose de esgoto: a questão do nitrogênio**. Cnptia. Embrapa, 2014. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1004771/1/2014CT01.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2016

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BOARETTO, A. E. et. Al. **Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2001. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n5/5557.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2016

CONSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. 407 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, n.167, p. 141-146, 30 ago. 2006. Seção 1.

ECYCLE. **O que é compostagem? Como funciona? Quais são os benefícios para o meio ambiente e para a sociedade?**. Disponível em:
<<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/67/2368-o-que-e-como-fazer-compostagem-compostar-composteira-tecnica-processo-reciclagem-decomposicao-destino-util-solucao-materia-organica-residuos-solidos-lixo-organico-urbano-domestico-industrial-rural-transformacao-adubo-natural.html>> Acesso em: 3 abr. 2016

FIALHO, L.L., et al. **Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005. 6p.

FILHO, V.P.F. **Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola**. Revista agroambiental, Dez 2011.
<<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/364/360>>

GORGATI, C.Q; JUNIOR, J. de L. **III-038 – Compostagem de resíduos sólidos urbanos: produção de chorume durante o processo, nas estações de verão e inverno, em área de proteção de mananciais**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro. Embrapa solos, 2009. 155 p.

KRALINGEN. **Compostagem aeróbia de resíduos orgânicos**. 2014. Disponível em: <<https://kralingen.com.br/16112011156/>> Acesso em: 9 mai. 2016

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LOBO, T. F.; **Níveis de LE no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do girassol**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, 2006.

MASON, I.G.; MILKE, M.W. Physical modeling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. **Waste Management**. v. 25, 500 p.

PEDOLOGIA FÁCIL. **Enquete # 23 - A capacidade de troca de cátions e o manejo de solos**. Disponível em: < <http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq23.php>> Acesso em: 3 jun. 2016

POLZER, V. **O desafio das cidades: aterro sanitário x incinerador com geração de energia (WTE)**. Rio Grande do Norte. Geotemas, 2013.

POULSEN, T. G. Aerobic composting. In: SOLID Waste Management. Aalborg: Aalborg University, 2003. p 67-69

RIBEIRO, W; SPADOTTO, C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu. FEPAF, 2006. 319 p.

RUBIM, C. **Os desafios do tratamento do lodo**. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=6376>> Acesso em: 3 abr. 2016

RYNK, R. **On-farm composting handbook**. Ithaca, NY: NRAES, 1992, 186 p.

SAÍTO, M.L. **O uso do lodo de esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Cnpn.Embrapa, 2007. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf> Acesso em: 30 mar. 2016

THOMPSON, L.M; TROEH, F. R. **Solos e fertilidade do solo**. 6 ed. Andrei. 2007, 718 p.