



225 - COMPOSTAGEM DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Lucas Marques Soares Silva⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Civil - UFPI.

Danilo Prado Pires⁽²⁾

Graduado em Engenharia Civil – UFPI; Especialização em Engenharia em Saneamento Básico e Ambiental – INBEC; Mestrado em Engenharia Civil em Saneamento e Ambiente – UNICAMP.

Carlos Henrique da Costa Brauna⁽³⁾

Graduado em Engenharia Civil – UFPI; Mestrado em Engenharia Civil em Saneamento Ambiental – UFC; Doutorado em Engenharia Civil em Saneamento Ambiental – UFC; Professor Efetivo do Curso de Engenharia Civil – UFPI.

Pedro Alves de Oliveira Júnior⁽⁴⁾

Graduado em Economia – PUC/SP; Pós-graduação em Marketing – ESPM/SP; Extensão Insead Fontainebleu – França; Gestão ambiental – VEIGA DE ALMEIDA/RJ; Gerente de sustentabilidade – Águas de Teresina/PI.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Universitária, s/n - Ininga - Teresina - Piauí - CEP: 64049-550 - Brasil - Tel: +55 (86) 99966-4886 - e-mail: lucas_marques3@hotmail.com

RESUMO

Ao final do processo de tratamento de esgoto ocorre a geração de efluente tratado e resíduos sólidos orgânicos, conhecidos como lodo. Logo, necessita-se de uma gestão adequada para o lodo do esgoto, dessa maneira a compostagem se apresenta como alternativa, resultando um produto suficientemente estabilizado que pode ser considerado como um enriquecedor do solo. Durante a compostagem do lodo do esgoto é necessário a adição de resíduos diversos, como por exemplo, restos de alimentos, resíduos de poda, corte de grama e etc. A grande variedades de combinação e os fatores associados durante o processo, como por exemplo, microrganismos, aeração, umidade, temperatura, pH, granulometria, dimensões das leiras e relação carbono/nitrogênio gera a complexidade da compostagem, pois é difícil estabelecer ótimas condições para cada um dos fatores citados. Portanto, o presente artigo visa um levantamento bibliográfico satisfatório acerca da compostagem de lodos provenientes de ETES.

PALAVRAS-CHAVE: Compostagem, Lodo de Esgoto, Resíduos Sólidos

INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos centros urbanos e o aparecimento de uma legislação como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 02/08/2010, houve melhorias no saneamento básico, gerando como consequência, maior surgimento de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) (BRASIL, 2010). Dessa forma, qualquer opção de tratamento escolhida para os dejetos, ao final do processo, ocorre a geração de efluente tratado e de resíduos sólidos orgânicos, conhecidos como lodo, logo o a quantidade desse resíduo deve aumentar nos próximos anos (MORETTI *et al.*, 2015; ANDREOLI *et al.* 2014).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece em seu artigo 9º que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Dessa forma, observa-se que existe a necessidade de tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes dos sistemas de tratamento de esgotos, bem como a correta disposição final do efluente tratado e dos rejeitos oriundos dele.

A compostagem se apresenta como alternativa biológica de digestão aeróbia dos resíduos sólidos orgânicos, sendo um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido (KIEHL, 2004).



O resultado da compostagem é um produto suficientemente estabilizado que pode ser considerado como um enriquecedor do solo, podendo ser aplicado para melhorar as suas características, sem que haja uma contaminação do meio ambiente (MEIRA, *et al.*, 2003). Além disso, a compostagem evita a saturação da área de disposição final dos resíduos, contribui para a atenuação da concentração da carga orgânica no lixiviado gerado e redução na emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera (GOMES *et al.*, 2015).

Para atingir esses compostos, Afaz *et al.* (2017) afirmam ser necessário, além do lodo do esgoto, a adição, durante o processo de compostagem, de resíduos diversos, como por exemplo, restos de alimentos, resíduos de poda, corte de grama e etc. Porém, o uso de fertilizantes oriundos de compostos fabricados a partir do uso de lodos de ETE gera alguns cuidados, levando ao Ministério da Agricultura a criar a Instrução Normativa N° 25 de 23/07/2009, classificando esses fertilizantes orgânicos como classe D, sendo proibido sua aplicação em pastagens, no cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, nas culturas inundadas e nas demais culturas cuja parte comestível entra em contato com o solo (BRASIL, 2009).

Portanto, o presente artigo visa um levantamento bibliográfico satisfatório acerca da compostagem de lodos provenientes de ETEs.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica ampla do processo de compostagem do lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto, enfatizando sobre os mais variados processos de compostagem e aplicações possíveis, pensando em diminuir os impactos ambientais causados pelo descarte indevido do lodo gerado no tratamento de efluentes domésticos.

METODOLOGIA

A metodologia está baseada em avaliar novos estudos (artigos publicados em revistas e congressos, dissertações, teses e relatórios) da geração e aplicação da compostagem de lodos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto para assim apresentar uma revisão completa pensando no reaproveitamento e minimização de descarte desse lodo.

RESULTADOS OBTIDOS

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10.004, Resíduos sólidos – Classificação, estabelece a definição de resíduos sólidos como sendo: Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004). Além disso, a supracitada NBR classifica os resíduos sólidos por classe, de acordo com o grau de periculosidade em resíduos perigosos e não perigosos, sendo que estes últimos podendo ser inertes ou não inertes.

No Brasil, de acordo com a constituição, é de responsabilidade do poder público local o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos em suas cidades, ou seja, os resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2013). A ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) revelou que no ano de 2018 foi gerado um total de 79,9 milhões de toneladas de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos). No que tange à destinação final desses resíduos, verifica-se que 58,7% são destinados a aterros sanitários, 24,1% são encaminhados à aterros controlados e, por fim, 17,2% dos resíduos têm como destino os lixões à céu aberto (ABRELPE, 2018).

Uma importante iniciativa para melhorar a situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é a reciclagem. A medida básica para tornar viável a reciclagem de resíduos sólidos é a separação dos seus componentes nas seguintes categorias: resíduos orgânicos, recicláveis secos (inorgânicos) e rejeitos. A separação em três frações permite enviar ao aterro apenas o que realmente não pode ser aproveitado.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas podendo ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia,

e outras), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (MMA, 2017). De acordo com dados referentes ao ano de 2018 da ABRELPE os resíduos orgânicos compõem 51,4% do RSU no Brasil.

Esses materiais em ambientes naturais equilibrados se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes nos processos da natureza. Mas quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem se constituir em um sério problema ambiental, pelo grande volume gerado e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera lixiviado, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. (MMA, 2017). Dessa forma, torna-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos, com o objetivo de que matéria orgânica presente seja estabilizada e possa cumprir seu papel natural de fertilizar os solos ao invés de trazer problemas para a sociedade.

Dentre a fração orgânica do RSU, uma parcela muito importante são os lodos gerados pelo tratamento de esgoto. O tratamento dos esgotos gera alguns subprodutos na forma sólida, semissólida ou líquida que devem receber um tratamento específico antes da sua disposição final. Estes subprodutos do tratamento da fase líquida são sólidos grosseiros, areia, espuma e lodo. Dentre esses, o lodo é o que apresenta a maior parcela e importância. Dessa forma, é imprescindível o seu tratamento – chamado de tratamento da fase sólida e a sua correta disposição final (JORDÃO e PESSOA, 2011).

O termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. A destinação deste lodo residual que é gerado nas ETEs é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas (METCALF e EDDY, 2002). Esse problema é muitas vezes de difícil solução em face às grandes quantidades geradas e à dificuldade em se encontrar locais adequados ou seguros para o destino do lodo seco, à própria distância do transporte, aos custos e aos impactos ambientais e às características e de operação e processo (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A produção de lodo é função direta dos sistemas de tratamento utilizados para a fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento biológico de esgoto geram lodo. Aqueles que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Na etapa seguinte, que é a etapa biológica de tratamento, gera-se o lodo biológico ou secundário. Este lodo é a própria biomassa que cresceu em função da carga orgânica fornecida pelo esgoto afluente. Caso a biomassa não seja removida, ela tende a se acumular no sistema, podendo eventualmente sair com o efluente final, comprometendo, assim, a eficácia do sistema de tratamento de esgoto (VAN HANDEEL e MARAIS, 1999).

Antes da secagem o lodo pode conter até 95% de água e ter uma concentração de sólidos da ordem de 0,25% a 12%, em peso. A designação do lodo por fase sólida é feita mais a critério de convenção, com o intuito de distingui-lo do efluente líquido tratado (METCALF e EDDY, 2002).

Outro componente básico que pode ocorrer nos lodos provenientes de ETEs são os microrganismos patogênicos. Esses seres são vírus, bactérias, protozoários e helmintos que podem trazer riscos à saúde humana. Este último é utilizado, até mesmo, como parâmetro para medir o grau de estabilização do lodo. As características patogênicas do lodo dependem diretamente do perfil de saúde da população geradora do esgoto e das condições ambientais às quais ele é submetido (ANDREOLI *et al.*, 2006). Além dos helmintos presentes no esgoto, outro grupo de patógenos que merece destaque são os coliformes fecais ou termotolerantes, que são bactérias geralmente encontradas no intestino de homens e animais, tais como *Escherichia coli* e algumas bactérias do gênero *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. A presença dessas bactérias no lodo em quantidades acima do desejado pode inviabilizar processos de tratamento como a compostagem (ANDREOLI *et al.*, 2006).

Sabendo da importância da gestão do lodo de ETEs, surgem alguns processos de tratamento para esse resíduo que almejam reduzir o teor de material orgânico biodegradável, a concentração de organismos patogênicos e o teor de água para se obter um material sólido e estável. Esse material não deve constituir perigo para a saúde, deve ser manipulado e transportado com facilidade a um baixo custo para uma e, se possível, deve ser reaproveitado (VAN HANDEL e ALÉM SOBRINHO, 2006). Usualmente, o tratamento do lodo inclui uma ou mais dos seguintes processos: de redução de umidade, de estabilização e de higienização (CASSINI, 2003). Após passar por esses processos o resíduo final segue para a disposição final. Todos esses processos estão apresentados na Tabela 1.



A remoção de umidade do lodo gerado nos processos de tratamento de esgoto é imprescindível tendo em vista que esse processo altera tanto o volume quanto o teor de sólidos nos esgotos, impactando diretamente nos custos operacionais e na seleção de alternativas de disposição final (BATISTA, 2015).

O lodo em seu estado natural (estado bruto) é facilmente putrescível e rapidamente desenvolve odores incômodos aos seres humanos. Os processos de estabilização foram desenvolvidos com o objetivo de estabilizar a porção biodegradável da matéria orgânica existente no lodo, diminuindo o risco de putrefação e a concentração de patógenos (ANDREOLI, *et al.*, 2014). Os processos de estabilização podem ser divididos em estabilização biológica e estabilização química.

Os processos de higienização visam eliminar ou reduzir significativamente a densidade de microrganismos presente nos lodos, tornando o produto biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas (PASSAMANI, *et al.*, 2002). Além de reduzir a densidade de patógenos, a higienização do lodo visa eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (MIKI *et al.*, 2006).

Tabela 1: Processos e variações de tratamento do lodo proveniente de ETES.

PROCESSOS	VARIAÇÕES
Redução de Umidade	Adensamento
	Condicionamento
	Desidratação
Estabilização	Digestão Anaeróbia
	Digestão Aeróbia
	Tratamento Químico (Alcalinização)
	Incineração
Higienização	Caleação
	Tratamento Térmico
	Tratamento Via Radiação
Disposição Final	Recuperação de áreas degradadas
	<i>Landfarmings</i>
	Aterro sanitário
	Reciclagem agrícola

A disposição final dos lodos de ETE é a destinação final dos subprodutos restantes após o processo de tratamento do lodo. Dentre as alternativas de disposição final, é possível se destacar os aterros sanitários, a disposição superficial no solo (*landfarmings*), o uso em recuperação de áreas degradadas e a reciclagem agrícola. A escolha entre todas essas alternativas deve respeitar a resolução 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006; BATISTA, 2015).

A compostagem consiste em um processo de degradação controlada de resíduos orgânicos sob condições aeróbias, ou seja, com a presença de oxigênio (SOUZA, *et al.*, 2001). Durante o processo se procura reproduzir algumas condições ideais (de umidade, oxigênio e de nutrientes, especialmente carbono e nitrogênio) visando à celeridade do mesmo e a degradação dos resíduos de forma segura (evitando a atração de vetores de doenças e eliminando patógenos).

Através da atuação macro e micro-organismos (bactérias, fungos) ocorre a degradação acelerada dos resíduos. O resultado do processo é um material de cor e textura homogênea, com características de solo e húmus, chamado composto orgânico que pode ser utilizado em terras agricultáveis sem causar danos (SOUZA, *et al.*, 2001).

Entre as vantagens da compostagem podemos destacar: a economia do espaço físico e gastos com aterros sanitários; a diminuição dos gastos com transporte dos resíduos; a reciclagem dos nutrientes contidos no solo, devolvendo a ele os componentes de que precisa e reaproveitamento agrícola da matéria orgânica (MEIRA, 2003).



Para o preparo do composto que passará pela compostagem duas fontes de matérias-primas são necessárias: os restos vegetais que serão a matéria orgânica a ser digerida e os meios de fermentação ou inoculantes que são responsáveis pela multiplicação e disseminação dos microrganismos por toda a pilha do composto, como os esterco e as camas animais, os resíduos de matadouro e frigoríficos, as tortas vegetais, entre outros (SOUZA, *et al.*, 2001).

O processo de compostagem está relacionado com alguns fatores que podem influenciar tanto a sua eficiência quanto a qualidade do composto final gerado. Esses fatores estão apresentados na Tabela 02 e são: microrganismos, aeração, umidade, temperatura, pH, granulometria, dimensões das leiras e relação carbono/nitrogênio (VALENTE *et al.*, 2009).

Tabela 2: Fatores responsáveis pela eficiência no processo de compostagem.

FATORES	EXPLICAÇÃO	AUTORES (ANO)
Microrganismos	Os principais microrganismos atuantes no processo de compostagem são bactérias, actinomicetos e fungos, mas também há participação de outros organismos, como algas, protozoários, vermes, insetos e suas larvas, além de agentes bioquímicos como enzimas, hormônios e vírus.	KIEHL (2004)
Aeração	A aeração é o fator mais importante no processo de decomposição da matéria orgânica, sendo apontado como o principal mecanismo capaz de evitar altos índices de temperatura durante a compostagem, aumentar a velocidade de oxidação, diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade do material em decomposição.	PEREIRA NETO (1994); KIEHL (2004); MELLO-PEIXOTO <i>et al.</i> (2014)
Umidade	A decomposição da matéria orgânica está relacionada intimamente, com a umidade (os microrganismos são compostos de cerca 90% de água) para a produção de novas células. A água necessária precisa ser obtida do meio, no caso, da massa de compostagem, além do que, essa água dissolve os nutrientes necessários ao metabolismo celular.	PEREIRA NETO (1989)
Temperatura	A temperatura é considerada por muitos pesquisadores como o mais importante indicador da eficiência do processo de compostagem, estando diretamente relacionada com a atividade metabólica dos microrganismos, a qual é relacionada com a taxa de aeração.	LI <i>et al.</i> (2008)
pH	Os principais materiais de origem orgânica, utilizados como matéria-prima na compostagem, são de natureza ácida, como sucos vegetais, sangue, urina, fezes, dentre outros, dando as leiras um caráter inicial ácido. A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos presentes na compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5.	RODRIGUES <i>et al.</i> (2006); VALENTE <i>et al.</i> (2009)
Granulometria	A decomposição da matéria orgânica está relacionada com a superfície específica do material a ser compostado, quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição.	KIEHL (1985); KEENER e DAS (1996); FERNANDES e SILVA (1999)
Dimensões das Leiras	Conforme define a NBR 13.591, na compostagem, as leiras são os locais de disposição do material em biodegradação, de seção transversal triangular ou trapezoidal continua no sentido longitudinal. Essas leiras devem ter um tamanho suficiente para impedir a rápida dissipação de calor e umidade, além de permitir uma boa circulação de ar.	ABNT (1996); RODRIGUES <i>et al.</i> (2006)
Relação C/N	A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbológico, uma vez que a atividade dos microrganismos envolvidos no processo depende tanto do conteúdo de C, já que este é fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas. Essa proporção entre o carbono e nitrogênio não pode ser fixada, pois depende diretamente da natureza do material a ser compostado.	SHARMA <i>et al.</i> (1997); DAL BOSCO <i>et al.</i> (2017)

O tratamento biológico de resíduos através da compostagem pode ser implantado sobre alternativas que podem variar de sistemas simples e manuais até sistemas complexos, altamente tecnificados (FERNANDES e SILVA, 1999). A seleção do método a ser utilizado depende da natureza do resíduo, da localização da unidade de processamento e dos recursos financeiros disponíveis (SHAUB e LEONARD, 1996). Dessa forma, segundo

Fernandes e Silva (1999), a principal diferença entre essas tecnologias é a maneira como é feita a aeração em cada um e elas podem ser classificadas em:

- **Sistemas de leiras revolvidas (*windrow*);**
- **Sistemas de leiras estáticas aeradas (*static pile*);**
- **Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*)**

O sistema de leiras revolvidas (*windrow*) é marcado por apresentar o resíduo disposto em grandes leiras que são revolvidas de forma periódica, elas devem ser dimensionadas de forma que não haja perda de calor para manutenção do processo (SHARMA *et al.*, 1997). A mistura e aeração dos resíduos orgânicos no sistema “*windrow*” é realizada através de revolvimentos realizados por equipamentos mecânicos. A introdução de ar na massa de sólidos é feita por difusão e convecção (ANDREOLI *et al.*, 2001). O efeito do revolvimento é limitado e depende de outros fatores, principalmente porosidade, umidade e nutrientes (FERNANDES e SILVA, 1999). É importante atentar-se para a impermeabilização, para se proteger o solo bem como manter a umidade da mistura orgânica (FREITAS, 2017).

Este sistema de compostagem é simples, sendo sugerido que seja implantado em regiões com pouca densidade populacional e com proteção ambiental através da instalação de cortina vegetal para emanação dos odores provenientes do revolvimento da matéria orgânica (REIS, 2005).

As principais vantagens proporcionadas por esse sistema são baixo custo de investimento inicial e a simplicidade das operações e equipamentos utilizados, ao passo que as desvantagens principais são a maior necessidade de área, o difícil controle do odor, sobretudo no momento do revolvimento e a dependência do clima, pois em dias de chuva o revolvimento não pode ser feito (FERNANDES E SILVA, 1999). Na Figura 01 é mostrado o funcionamento do sistema.

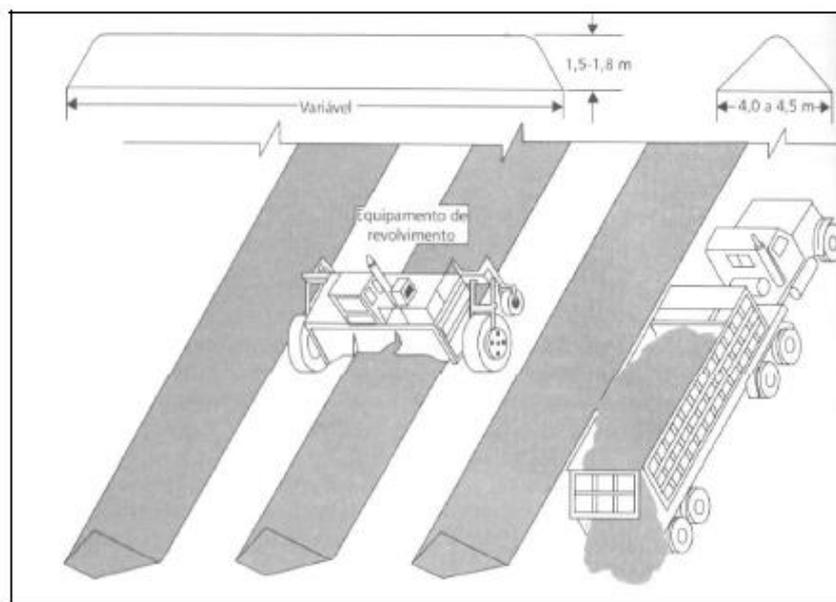


Figura 1: Funcionamento do sistema de leiras revolvidas.

Fonte: FERNANDES e SILVA (1999).

O sistema de leiras aeradas consiste em colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada que serve de leito filtrante para o lixiviado e facilitar a passagem do ar na leira, que será insuflado ou aspirado através dos orifícios da tubulação. Sobre esta drenagem é montada a leira, formada pela mistura de resíduos (KIEHL, 2004). Como o ar é levado pela tubulação não há necessidade de revolvimento das leiras. No final da montagem recobre-se a leira com uma camada fina de composto maturado e peneirado, cuja finalidade é reter o calor na pilha e filtrar os gases, diminuindo, assim, os odores, como pode ser visto na Figura 02 (REIS, 2005).

Dentre as vantagens do sistema de leiras aeradas pode-se destacar o melhor controle dos odores gerados, da temperatura e da aeração e uma área requerida menor quando comparada com o sistema de leiras revolvidas. No entanto, esse sistema apresenta a desvantagem de necessitar do dimensionamento e execução de todo um sistema de aeração que deverá ser rigorosamente controlado, ocasionando gastos significativos (FERNANDES E SILVA, 1999).

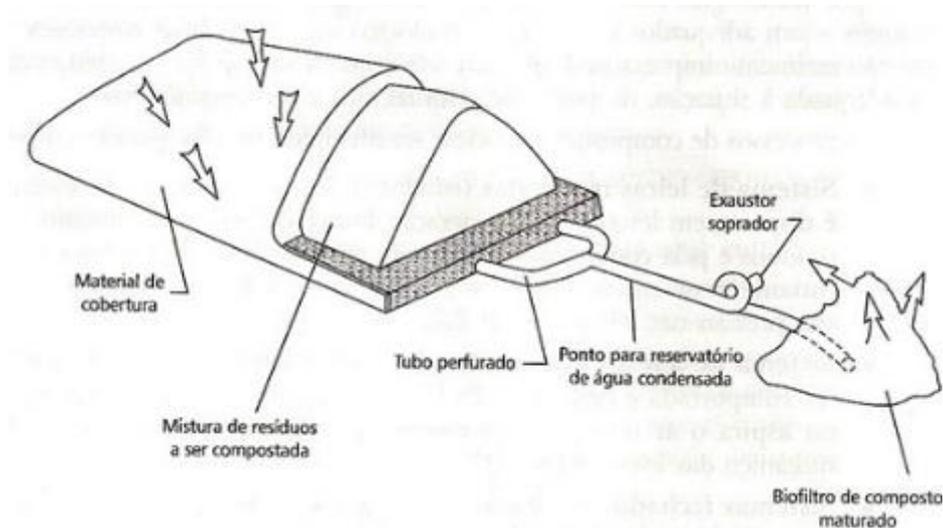


Figura 2: Funcionamento do sistema de leiras aeradas.

Fonte: FERNANDES e SILVA (1999).

Os sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*) podem ser utilizados de três tipos de equipamentos no processo: reatores de fluxo vertical, de fluxo horizontal ou de batelada. Nos dois primeiros os resíduos passam em fluxo contínuo com o tempo de detenção definido pela velocidade em que percorrem o reator. Já o terceiro funciona recebendo uma determinada quantidade de resíduos que são processados e quando chega à fase termofila o reator se abre descarregando em batelada, recomeçando o processo com novos resíduos. (FERNANDES E SILVA, 1999; SHARMA *et al*, 1997).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Observa-se que o tema compostagem é bastante amplo e apresenta bastante variantes, principalmente quando se trata dos resíduos orgânicos utilizados como materiais e insumos para o processo de compostagem. Segundo Fernandes *et al.* (1993), a compostagem surge como uma alternativa de tratamento que utiliza os mais variados resíduos possíveis, resultando em um produto higienizado e com ótimas vantagens para agricultura. Porém, o produto final é reflexo do resíduo utilizado, pois compostos preparados por diferentes resíduos diferem na qualidade e estabilidade (GOYAL *et al.*, 2005).

Os materiais e insumos necessários à compostagem, conhecidos como resíduos orgânicos compostáveis, podem ser classificados em dois grupos (MEIRA *et al.*, 2003):

- **ricos em carbono ou castanhos:** são aqueles que contêm maior proporção de carbono em relação ao nitrogênio (C/N superior a 30:1), são assim nomeados em função da cor acastanhado, baixo teor de umidade e de decomposição lenta;
- **ricos em nitrogênio ou verdes:** são aqueles que têm maior proporção de nitrogênio (C/N inferior a 30:1), alto teor de umidade e decomposição mais rápida que os castanhos.

A relação C/N é uma das variantes difíceis de ser fixada, pois depende diretamente da natureza do material a ser compostado. Por exemplo, se parte do Carbono disponível é de difícil degradação (celulose, hemicelulose e lignina) é aconselhável que a relação C/N inicial seja maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total mensurado (DAL BOSCO *et al*, 2017). A demanda biológica de carbono é maior que a de nitrogênio; contudo, há um limite para o excesso de carbono sobre o nitrogênio.



Sabendo da necessidade do uso de resíduos orgânicos como fonte para a compostagem, surge a ideia de usar o lodo proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto. Segundo Gutiérrez *et al.* (2017), a utilização do lodo como produto para compostagem trouxe economias para as ETEs na União Europeia, refletindo na diminuição do custo com a disposição do lodo de esgoto para aterros sanitários. Essa disposição em aterros sanitários não priorizava a valorização do produto como uma solução sustentável, além do que geravam impactos ambientais relacionados à emissão de odores, a geração de lixiviado e riscos à saúde humana.

No Brasil, o volume total de esgoto tratado é em torno de 4,2 bilhões de m³, refletindo em 46 % da população que apresenta o esgoto devidamente coletado, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no relatório de Diagnóstico de Serviço de Água e Esgoto 2017 (BRASIL, 2019). Os lodos de esgoto gerados nas ETEs são ricos em matéria orgânica, logo surge o desafio de destinar corretamente o grande volume de lodo gerado diariamente.

Existe várias possibilidades de destinar o lodo, como por exemplo, fabricação de cimento, fabricação de tijolos e cerâmica, disposição no solo, aplicação para a melhoria da sedimentabilidade em águas de baixa turbidez, recuperação de coagulantes, controle de H₂S, conversão em óleo combustível e recuperação de solos (TSUTIYA, 2000; RIGO *et al.*, 2014). Porém, a utilização do lodo na agricultura e áreas degradadas tem ganhado força devido ao aproveitamento dos nutrientes, favorecendo o crescimento das plantas (AFAZ *et al.*, 2017).

Durante o processo de compostagem utilizando o lodo de esgoto, ocorre uma redução dos riscos presentes nesse material, relacionados a presença de patógenos e contaminantes no lodo. O aumento da temperatura durante o processo biológico aeróbio que ocorre ao longo da compostagem, gera uma maior segurança na utilização do produto final (AFAZ *et al.*, 2017). Segundo Yuan *et al.* (2016), ao longo do processo de compostagem ocorre uma reciclagem e transformação de nutrientes, como o nitrogênio e fósforo, que se tornam substâncias húmicas mais estáveis e maduras ajudando no crescimento das plantas e a fertilidade do solo.

A compostagem do lodo de esgoto é marcado por ter como fonte de carbono diversas matérias primas, como por exemplo, restos de alimentos, resíduos de poda e corte de grama, etc (AFAZ *et al.*, 2017). Sabendo dessa realidade, a Tabela 3 mostra como existe estudos distintos utilizando o lodo de Estações de Tratamento de esgoto como material rico em nitrogênio e os mais diversos materiais ricos em carbono (co-substrato).

Tabela 3: Estudos que utilizam o lodo de esgoto mais diversos materiais no processo de compostagem.

CO-SUBSTRATO	AUTORES (ANO)
Estrudado de Morango (massa fluída de morango) + Resíduos de Peixe (cabeças de peixe, vísceras e espinhas dorsais)	Gutierrez et al. (2017)
Escória de Aciaria (gerada no processo de fabricação do aço, resultante da transformação do ferro gusa líquido em aço)	Guerrini et al. (2017)
Polpa de Beterraba	Li et al. (2017a)
Talo de Milho	Li et al. (2017b); Yuan et al. (2016)
Podas urbanas trituradas ou Bagaço de cana-de-açúcar	Afaz et al. (2016)
Palmito pupunha	De Melo Silva et al. (2015)
Poda de vegetação urbana.	D'avila et al. (2016); Moretti et al. (2015)
Substrato de cogumelo + Palha de trigo	Meng et al. (2017)



CONCLUSÃO

A compostagem é um processo com bastante variáveis, que é afetada pela escolha dos resíduos orgânicos utilizados, e dos fatores como o teor de umidade, a taxa de oxigênio, a relação C/N, a granulometria, a porosidade do material a ser compostado, e até mesmo pelo escolha de manejo adotado. Dessa forma, percebe-se a complexidade da compostagem, pois é difícil estabelecer ótimas condições para cada um dos fatores citados.

Dessa maneira, surgem vários estudos com diferentes resíduos orgânicos, tanto para os ricos em carbono quanto para os ricos em nitrogênio, com o intuito de entender as particularidades para os vários materiais utilizados. E um resíduo que ganha destaque é o lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto, devido a sua imensa disponibilidade nas estações e pelo fato da compostagem surgir como uma possibilidade de aproveitar os nutrientes que se apresentam em grandes concentrações no lodo de esgoto.

Portanto, novos estudos devem ser realizados utilizando o lodo de esgoto como fonte de nitrogênio, variando somente a fonte de carbono, pois o lodo apresenta uma ótima relação com os mais variados resíduos e a disponibilidade desse recurso é enorme nas ETEs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFAZ, D. C. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. *Rev. Ambienta & Água* [online], v. 12, n. 1, p. 112-123, Jul. 2017.
2. ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; CHERUBINI, C.; TELES, C.R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES. 257 p. 2001.
3. ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; HOLSBACH, B.; PEGORINI, E.S.; NEVES, P.S. Uso de lodo de Esgoto na Produção de Substrato Vegetal. In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento – Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES, 2006.
4. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 484 p. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6, 2014.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2018.pdf>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2019.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13591 – Compostagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004 - Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
8. BATISTA, L.F. Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197 p., 2015.
9. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 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, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006.
10. BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 28 de julho de 2009. Seção 1, p. 20. 2009.
11. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 14 de Março de 2019.
12. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB 2013. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conseelhos_Nacionais_0205_20131.pdf>. Acesso em: 02 de abril de 2019.



13. BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNSA/MCIDADES, 226 p.: il. 2019.
14. CASSINI, S. T. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: EDITORA ABES, 210 p., 2003.
15. D’AVILA, J. V.; MARTINAZZO, A. P.; SANTOS, F. S.; TEODORO, C. E. S.; PORTZ, A. *Essential oil production of lemongrass (Cymbopogon citratus) under organic compost containing sewage sludge*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 9, p. 811–816, 2016.
16. DAL BOSCO, Tatiane Cristina; GONÇALVES, Flávia; ANDRADE, Francine Conceição de; TAIATELE JUNIOR, Ivan; SILVA, Jaqueline dos Santos; SBIZZARO, Mariana; "Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem", p. 19 -44. In: BOSCO, Tatiane Cristina Dal. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.
17. DE MELO SILVA, F.A.M.; DE SOUZA, I.V.; ZANON, J.A.; NUNES, G.M.; SILVA, R.B.; FERRARI, S. Produção de mudas de Juçara com resíduos agroindustriais e lodo de esgoto. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. v.9, p.109-121, 2015
18. FERNANDES, F.; PIERRO, A. C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem de lodo gerado por estações de tratamento de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, n. 5, p. 567-574, Mai. 1993.
19. FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. Manual prático para a compostagem de bio-sólidos. PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 91p. 1999.
20. FREITAS, M.R.R.; Dimensionamento de Sistema de Compostagem para Universidade Federal do Piauí. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Teresina, 2017.
21. GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. *Engenharia Sanitária Ambiental*. v. 20, n. 3, p. 449-462, Jul/Set. 2015.
22. GOYAL, S.; DHULL, S. K.; KAPOOR, K. K. *Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity*. *Science Direct*. Índia, v. 96, n. 14, p. 1584-1591, Set. 2005.
23. GUERRINI, I. A.; CROCE, C. G. G.; BUENO, O. DE C.; JACON, C. P. R. P.; NOGUEIRA, T. A. R.; FERNANDES, D. M.; GANGA, A.; CAPRA, G. F. *Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs*. *Urban Forestry & Urban Greening*, v.22, p.93-104, 2017.
24. GUTIÉRREZ, M. C.; SERRANO A.; SILESA J. A.; CHICA A. F.; MARTÍN M. A. *Centralized management of sewage sludge and agro-industrial waste through co-composting*. *Journal of Environmental Management* v. 196, p. 387-3931, July 2017.
25. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos, 6. Edição, Rio de Janeiro: ABES, 2011.
26. KEENER, H.M.; DAS, K. *Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations*. In: *The science of composting. part 1*. Chapman & Hall. England. p. 116-125. 1996.
27. KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. 492 p. 1985.
28. KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4.ed. Piracicaba: Editora Desgaspari, p. 173, 2004.
29. LI, X., R. ZHANG and Y. PANG. *Characteristics of dairy manure composting with rice straw*. *Bioresour. Technol.*,v. 99: p. 359-367. 2008.
30. LI, W.; WU, C.; WANG, K.; MENG, L.; LV, L. *Nitrogen loss reduction by adding sucrose and beet pulp in sewage sludge composting*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v. 124, p. 297-303, Oct 2017a.
31. LI, S.; LI, D.; LI, J.; LI, G.; ZHANG, B. *Evaluation of humic substances during co-composting of sewage sludge and corn stalk under different aeration rates*. *Bioresour. Technol.* v. 245, p. 1299-1302, 2017.
32. MEIRA, A. M.; CAZZONATTO, A. C.; SOARES, C. A. Manual básico de compostagem – série: conhecendo os resíduos. Piracicaba, USP Recicla, 2003.
33. MELLO-PEIXOTO, E. C. T.; GODOY, C. V. C.; SILVA, R. M.; GALDINO, M. J. Q.; CREMER, E.; LOPES, V. Compostagem: construções e benefícios. In: Congresso Paranaense de Agroecologia. Pinhais: Cadernos de Agroecologia, V. 9, n. 1, p. 1-5, 2014.
34. MENG L., LI W., ZHANG S., WU C., LV L., Feasibility of co-composting of sewage sludge, spent mushroom substrate and wheat straw, *Bioresour. Technol.* v. 226, p. 39-45, 2017.



35. METCALF; EDDY, INC. *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*. New York: Ed. McGraw-Hill, 1334 p., 2002.
36. MIKI, M. K.; ALEM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. C. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo. In: *Biossólidos: Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
37. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação*. Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Compostagem-ManualOrientacao_MMA_2017-06-20.pdf>. Acesso em 28 de Abril de 2019.
38. MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JUNIOR, C. H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em nitossolo háplico. *Rev. Brasileira de Ciência do solo* [online], v. 39, n. 6, p. 1796-1805, Fev. 2015.
39. PASSAMANI, F.R.F., KELLER, R., GONÇALVES, R.F. Higienização de lodo utilizando caleagem e pasteurização em uma pequena estação de tratamento de esgoto combinando reator UASB e biofiltro aerado submerso. In: *Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancun: México. 2002.
40. PEREIRA NETO, J.T. Conceitos modernos de compostagem. *Engenharia Sanitária*, v.28, n.3, p.104-09, 1989.
41. PEREIRA NETO, J.T. 1994. Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: *Conferência sobre Agricultura e Meio Ambiente, 1., Viçosa. Anais...* UFV-NEPEMA. Viçosa. p. 61-74. 1992.
42. REIS, M.F.P. Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos. 2005. 239p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.
43. RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuária domésticas no Brasil. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.
44. RODRIGUES, M.S., F.C. da SILVA, L.P. VARREIRA e A. KOVACS. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: Spadotto, C.A.; Ribeiro, W. *Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria*. FEPAP. Botucatu. p. 63-94. 2006.
45. SHARMA, V.K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. *Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review*. *Energ. Convers. Manage.*, v. 38, p. 453-478. 1997.
46. SHAUB, S. M.; LEONARD, J. J., *Composting: An alternative waste management option for food processing industries*. *Trends in Food Science & Technology August*, v.7, p. 263-267. 1996.
47. SOUZA, F. A.; AQUINO, A. M.; RICCI, M. D. F.; FEIDEN, A. Compostagem. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Agrobiologia. Seropédica, Rio de Janeiro. n. 50, p. 1-10, 2001.
48. TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). *Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 69-105, 2000.
49. VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; CABRERA, B. R.; MORSELLI, T. B. G. A.; MORAES P. de O.; JAHNKE, D. S.; LOPES, D. C. N.; BRUM JR, B. de S. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de zootecnia, Pelotas*, v.58, p. 59-85, 2009.
50. VAN HAANDEL, A., MARAIS, S, G. V. R.. *O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações*. Campina Grande: Epgraf, 472 p., 1999.
51. VAN HAANDEL, A.; ALÉM SOBRINHO, P. Produção e constituição do lodo de esgoto , In: Andreoli, C. V (ed). *Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento – Projeto PROSAB*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
52. YUAN, J.; CHADWICK, D.; ZHANG, D.; LI, G.; CHEN, S.; LUO, W.; DUA, L.; HE, S.; PENG, S. *Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting*. *Waste Manag.* v.56, p. 403-1410, 2016.