



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

USO DA COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LATICÍNIOS

RENAN SOUZA PEDROSO

Orientador(a): Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza

Coorientador(a): Prof. Dr. Débora Astoni Moreira

Urutaí, Abril de 2019



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Vicente Pereira Almeida

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Fabiano Guimarães Silva

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Gilson Dourado da Silva

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. André Luís da Silva Castro

Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado

Coordenador

Prof. Dr. Ivandilson Pessoa Pinto de Menezes

Urutaí, Abril de 2019

RENAN SOUZA PEDROSO

**USO DE COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE
RESÍDUOS DE LATICÍNIOS**

Orientador(a)

Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza

Coorientador(a)

Prof. Dr^a. Débora Astoni Moreira

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

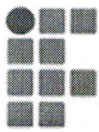
Urutaí (GO)
2019

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

P372u PEDROSO, RENAN SOUZA
USO DA COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE
LATICÍNIOS / RENAN SOUZA PEDROSO; orientador JOSÉ
ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA; co-orientadora DÉBORA
ASTONI MOREIRA. -- Urutaí, 2019.
41 p.

Dissertação (Mestrado em CONSERVAÇÃO DE RECURSOS
NATURAIS DO CERRADO) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Urutaí, 2019.

1. COMPOSTAGEM. 2. LATICÍNIOS. 3. LODO DE ESGOTO.
I. RODRIGUES DE SOUZA, JOSÉ ANTONIO , orient. II.
ASTONI MOREIRA, DÉBORA , co-orient. III. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: RENAN SOUZA PEDROSO

Matrícula: 2017101330940182

Título do Trabalho: USO DA COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LATICÍNIOS.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20/06/2019

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

URUTAI - GO, 17/06/2019.

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 031

Ata da 31ª Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado do **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado** do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. Aos 30 dias do mês de abril de 2019, às 13:10h, reuniram-se na Sala da Pós-Graduação do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, a Banca Examinadora composta pelos Professores **Débora Astoni Moreira, Janine Mesquita Gonçalves, Leandro Caixeta Salomão e José Antônio Rodrigues de Souza**, sob a presidência deste último, para avaliação da apresentação do mestrando **Renan Souza Pedroso** e de sua dissertação intitulada **“Avaliação do processo de compostagem utilizando-se diferentes resíduos produzidos em indústrias de laticínios.”** Aberta a sessão pelo Presidente da Banca, coube ao candidato, na forma regimental, realizar a exposição de seu trabalho, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionado pelos membros da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. A banca examinadora, em caráter sigiloso, após análise e julgamento final, concluiu por:

- () Aprovar a dissertação sem alterações
- (X) Aprovar a dissertação com modificações (vide verso em caso de alteração do título)
- () Reprovar a dissertação

A apresentação e aprovação da dissertação é requisito parcial para a concessão do grau de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, tendo o candidato ciência de que o título de **MESTRE** só será concedido depois de atendidas as exigências feitas pela Banca Examinadora, bem como das demais exigências estabelecidas no Regulamento do Programa de Pós-graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado. A partir da presente data, o aluno terá o prazo de 60 dias para efetuar as alterações exigidas pela banca e entregar o volume da Dissertação corrigido, assinado pela banca e acompanhado de toda a **documentação pertinente** à abertura do **processo de solicitação de diploma**. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 14:55, sendo lavrada a presente Ata, que uma vez **aprovada**, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo aluno.

Urutaí, 30 de abril de 2019.

Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza

Profª. Dra. Débora Astoni Moreira

Dra. Janine Mesquita Gonçalves

Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

Renan Souza Pedroso

Por sugestão da Banca Examinadora, o novo título passa a ser:

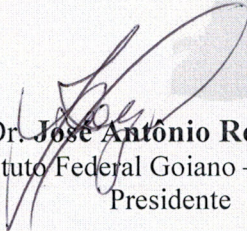
USO DA COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE
CITICINOS




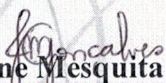
FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

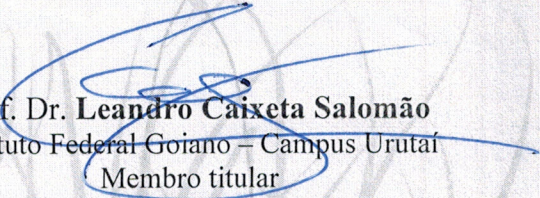
Título da dissertação:	<i>Uso da compostagem na recuperação de resíduos de laticínios</i>
Orientador:	Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza
Coorientadora:	Prof ^a . Dra. Débora Astoni Moreira
Autor:	Renan Souza Pedroso

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em **30 de abril de 2019**, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:


Prof. Dr. **José Antônio Rodrigues de Souza**
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí
Presidente


Prof.^a. Dra. **Débora Astoni Moreira**
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí
Membro titular


Dra. **Janine Mesquita Gonçalves**
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí
Membro titular


Prof. Dr. **Leandro Caixeta Salomão**
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

*“A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez.”
(George Bernard Shaw).*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha família e amigos.

Em especial, minha mãe Joana Darc, por sempre me incentivar a buscar novos conhecimentos.

Minha namorada, Karina Medeiros, por estar ao meu lado nesse projeto.

Agradeço a Deus por tudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1. MORTALIDADE DAS MINHOCAS.....	19
3.2. TEMPERATURA.....	19
3.3. PH.....	21
3.4. UMIDADE ..	23
3.5. VOLUME E PESO ..	24
3.6. FÓSFORO TOTAL.....	26
3.7. POTÁSSIO.....	27
3.8. RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO ..	29
3.9. SÓLIDOS FIXOS E VOLÁTEIS	30
4. CONCLUSÃO	32
5. REFERÊNCIAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Reatores instalados no interior de banheiras.....	17
Figura 2- Reatores cobertos com sombrite.....	17
Figura 3- Variação das temperaturas ambientais e dos reatores durante pré-compostagem.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teor de umidade, concentração de carbono total e concentração de nitrogênio total (dag kg ⁻¹) e pH para os diferentes resíduos avaliados.....	16
Tabela 2- Proporções dos resíduos, quantidades e respectivas relação C/N de cada tratamento avaliado.....	16
Tabela 3- Parâmetros monitorados durante o processo de compostagem.....	18
Tabela 4- Níveis de condutividade elétrica (mS/cm) no dia da inoculação das minhocas.....	19
Tabela 5- Valores de pH para os diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem.....	21
Tabela 6- Teor de umidade (%) nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem, e respectivos testes de médias.....	23
Tabela 7- Reduções percentuais de volume e de peso dos compostos nos diferentes tratamentos avaliados e respectivos testes de média.....	25
Tabela 8- Concentração do fósforo (mg kg ⁻¹) obtidos nos diferentes compostos avaliados ao longo do período experimental.....	26
Tabela 9- Concentração de potássio total (mg kg ⁻¹) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período experimental.....	28
Tabela 10- Relação C/N nos diferentes tratamentos ao longo do período de avaliação.....	29
Tabela 11- Concentração de sólidos fixos totais (mg kg ⁻¹) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período compostagem.....	31
Tabela 12- Concentração de sólidos voláteis totais (mg kg ⁻¹) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período compostagem.....	31

USO DA COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DE LATICÍNIOS

RESUMO

As atividades agroindustriais tem como objetivo transformar matérias-primas agropecuárias em produtos de consumo que atendam às necessidades humanas. A grande quantidade de materiais orgânicos gerados pelas indústrias é responsável pelo maior impacto ambiental, pela formação de ácidos orgânicos da fermentação dos resíduos, resultando em maus odores, redução na quantidade de oxigênio dissolvido nas águas e contaminação do solo. As indústrias de laticínios geram, ao final do processo, o lodo biológico como subproduto do efluente tratado obtido e as cinzas de caldeira, proveniente a combustão das lenhas nas fornalhas para geração de vapor. Outro problema dentro do processo é a produção do lodo de esgoto em virtude do grande volume gerado e da elevada carga orgânica e concentração de sólidos totais. A compostagem é uma técnica simples, considerada ideal para reciclagem de resíduos orgânicos provenientes das agroindústrias. A IN N° 25/2009 classifica compostos orgânicos obtidos por meio da compostagem de resíduos agroindustriais como fertilizante orgânico composto. O objetivo com o trabalho foi buscar alternativas tecnológicas de minimizar a contaminação ambiental dos resíduos de laticínios utilizando o método da compostagem para geração de um fertilizante orgânico composto. O estudo foi conduzido em uma empresa de laticínios no município de Orizona – Goiás. Os tratamentos avaliados foram constituídos por lodo de esgoto puro (T1) e misturas de lodo com demais resíduos, sendo (T2) lodo + esterco; (T3) lodo + cinza; (T4) lodo + grama; (T5) lodo + grama + cinza; (T6) lodo + esterco + cinza e, (T7) lodo + grama + esterco + cinza. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com sete tratamentos e três repetições. A compostagem demonstrou ser um método eficiente para o tratamento de lodo produzido em estação de tratamento de efluentes de laticínios. Verificou-se que a estabilização do lodo de esgoto ocorre a partir de 33 dias e que a compostagem ocorre em temperaturas mesófilicas. A adição de restos de poda de grama ao lodo de esgoto no processo de compostagem proporcionou as maiores reduções de peso e volume, adequado pH, teor de umidade e relação C/N.

Palavras-chave: Compostagem, laticínios, lodo de esgoto.

USE OF COMPOSTING IN THE RECOVERY OF WASTE FROM WASTEWATER

ABSTRACT

Agroindustry activities aim to transform agricultural raw materials into consumer products that meet human needs. The great amount of organic materials generated by the industries is responsible for the greater environmental impact, by the formation of organic acids from the fermentation of the residues, resulting in bad odors, reduction in the amount of dissolved oxygen in the waters and contamination of the soil. At the end of the process, the dairies generate biological sludge as a by-product of the treated effluent obtained and the boiler ashes resulting from the combustion of the wood in the furnaces for steam generation. Another problem in the process is the production of sewage sludge due to the large volume generated and the high organic load and total solids concentration. Composting is a simple technique, considered ideal for recycling organic waste from agroindustry's. The IN N° 25/2009 classifies organic compounds obtained through the composting of agroindustry residues as composite organic fertilizer. The objective of this work was to search for technological alternatives to minimize the environmental contamination of dairy residues using the composting method for the generation of a composite organic fertilizer. The treatments were composed of pure sewage sludge (T1) and mixtures of sludge with other residues, being (T2) sludge + manure; (T3) sludge + ash; (T4) sludge + grass; (T5) sludge + grass + ash; (T6) mud + manure + gray and, (T7) mud + grass + manure + gray. A completely randomized design was used in a factorial scheme, with seven treatments and three replications. Composting proved to be an efficient method for the treatment of sludge produced at a dairy effluent treatment plant. It was verified that the stabilization of sewage sludge occurs from 33 days and that composting occurs at mesophilic temperatures. The addition of grass pruning to the sewage sludge in the composting process provided the greatest reductions in weight and volume, adequate pH, moisture content and C / N ratio.

Keywords: Composting, dairy, sewage sludge.

1. INTRODUÇÃO

As atividades agroindustriais e de processamento de produtos agropecuários são de grande expressão no mercado brasileiro, principalmente em termos de sua contribuição para a renda (GUANZIROLI, 2010; PEDROSA et al., 2013). Esse setor tem como objetivo transformar matérias-primas agropecuárias em produtos de consumo que atendam às necessidades humanas. Com o crescimento populacional, a demanda por produtos industrializados acompanha o crescimento, exigindo, conseqüentemente, maiores produções agroindustriais. Entretanto, a atividade demanda diversos cuidados, principalmente em relação aos de resíduos gerados nas etapas de processamento, que devido a algumas propriedades adversas ao meio ambiente são necessários cuidados com sua disposição final.

A principal característica dos resíduos de atividades agroindustriais é a alta concentração de material orgânico. Esta é responsável por um dos maiores impactos causados por resíduos sólidos orgânicos, devido a formação de ácidos orgânicos através da fermentação do resíduo, causando maus odores, reduzindo o oxigênio dissolvido em águas superficiais e contaminando o solo, quando disposto inadequadamente (GOPINATHAN, 2012).

De acordo com Souza et al. (2017) em uma indústria de laticínios, a estação de tratamento de efluentes gera, ao fim do processo, o lodo biológico como subproduto do efluente tratado obtido, efluente esse advindo principalmente da lavagem de equipamentos dentro da indústria. Outro resíduo gerado nas indústrias de laticínios são as cinzas de caldeira, proveniente da combustão das lenhas nas fornalhas para geração de vapor. As cinzas (fração inorgânica da biomassa) agregam todos os elementos que não são relevantes nas reações de combustão, como o fósforo, o potássio e o cálcio (BRAND, 2008). São materiais inorgânicos, sendo constituídos por Ca, Si, Mg, K e S (BORLINI et al., 2005).

Kiehl (1985) define a compostagem como uma técnica ideal para se obter mais rapidamente e em melhores condições, a desejada estabilização da matéria orgânica de resíduos. O autor explica ainda que os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem carbono (C) e nitrogênio (N). O tempo necessário para as reações, a plena decomposição e conseqüente mineralização dependerá da relação entre C e N da matéria-prima. O teor de N dos resíduos a serem decompostos deve ter teoricamente 1,7%, quando o conteúdo é inferior a esse valor, o tempo de decomposição será maior.

A compostagem trata-se de uma técnica simples, considerada ideal para reciclagem de resíduos orgânicos provenientes das agroindústrias, possuindo características que podem agregar valor ambiental e econômico ao processo, reduzindo impactos ambientais negativos

causados pela disposição dos resíduos, contribuindo na geração de empregos e inserindo compostos orgânicos no comércio de fertilizantes (MORALES et al., 2016).

Entretanto, um dos gargalos do uso na compostagem no processo industrial respeito ao tempo em que os materiais a serem compostados permanecem no pátio, o que confere maior viabilidade econômica ao sistema. Assim, o tempo de compostagem é variável em função das características da mistura a ser compostada (KIEHL, 2010) e sendo o monitoramento da temperatura o parâmetro mais utilizado para indicar a finalização deste (MATOS, 2014).

Para utilização de resíduos sólidos orgânicos para fins agrícolas, é preciso cuidado com a destinação ao solo como fonte de nutrientes e matéria orgânica. A aplicação de resíduos sem a estabilização do material orgânico por meio de processos biológicos pode ocasionar a imobilização de nutrientes no solo, ocasionando efeitos devastadores em culturas econômicas (RAJ, 2011).

A IN Nº 25/2009 classifica compostos orgânicos obtidos por meio da compostagem de resíduos agroindustriais como fertilizante orgânico composto (BRASIL, 2009). Esta classificação apresenta em sua definição que fertilizante orgânico composto é todo produto oriundo de processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, proveniente de materiais de origem industrial, animal, vegetal, urbana ou rural.

Diversas pesquisas mostram a eficiência do processo de compostagem como tratamento dos resíduos gerados pela produção agroindustrial. Costa et al. (2005) utilizaram carcaças de aves no processo de compostagem e testaram o efeito da aeração no processo. Já Silva (2007) testou porcentagens de resíduos agroindustriais como conteúdo ruminal de bovinos, resíduo de incubatório, resíduo de cereais, lodo de flotador e cinza no processo de compostagem e Carneiro (2012) estudou a influência de fatores como revolvimento, cobertura de pátio e inoculação no processo de compostagem de resíduos da cadeia produtiva do frango.

O objetivo com o presente estudo foi buscar alternativas tecnológicas de minimizar a contaminação ambiental provocada pelos resíduos de laticínios utilizando o método da compostagem com vistas a conversão dos resíduos em um fertilizante orgânico composto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma empresa de laticínios no município de Orizona - Goiás, localizado a 17° 01' 53" S, 48° 17' 45" W e altitude de 806 metros, no período de maio a setembro de 2018. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa,

caracterizado como úmido tropical com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação e temperatura médias anuais, de 1300 mm e 23 °C, respectivamente.

A empresa escolhida para realização dos estudos e fornecimento de resíduos apresenta capacidade de processamento diário de 300.000 litros de leite, gerando cerca de 30 toneladas por mês de resíduos na estação de tratamento de esgoto industrial. Dessa forma, ciente da degradação ambiental e diante de uma legislação cada vez mais exigente e uma fiscalização cada vez mais atuante, a empresa tem procurado alternativas de baixo custo para dispor adequadamente seus resíduos.

Atualmente, o lodo de esgoto tem se tornado grande problema ao desenvolvimento desta agroindústria em virtude do grande volume gerado (30 m³) e da elevada carga orgânica (6850 mgO₂l) e concentração de sólidos totais (4064 mg/l). Trata-se de um resíduo gerado após tratamento químico (sulfato de alumínio e polímero) dos efluentes proveniente das operações de limpeza de silos, tanques, pasteurizadores, homogeneizadores, tubulações, dentre outros, sendo coletado no flutuador da estação de tratamento de efluentes

Para a resolução do problema, propôs-se o processo de compostagem, combinando-se quatro tipos de resíduos gerados na própria indústria (lodo de esgoto, esterco bovino, restos de podas de grama e cinzas de caldeiras) em proporções de modo a apresentarem relação carbono/nitrogênio (relação C/N) que proporcionassem adequada decomposição aos resíduos, próximo a 30/1, conforme Kiehl (2012) e Matos (2014).

Para determinação das quantidades de resíduos a serem utilizadas, amostras dos diferentes resíduos foram coletadas e conduzidas ao Laboratório de Pesquisa e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí para determinação dos teores de umidades e concentrações totais de nitrogênio e carbono (Tabela 1), conforme metodologias descritas em APHA (2012).

Tabela 1 – Teor de umidade, concentração de carbono total e concentração de nitrogênio total (dag kg⁻¹) e pH para os diferentes resíduos avaliados

Resíduo	Umidade	Carbono	Nitrogênio	Relação C/N	pH
Lodo de esgoto	56	33,00	1,06	1/31	5,49
Cinza de caldeira	-	-	-	-	12,00
Esterco bovino	50	48,10	0,48	1/100	5,52
Restos de grama	19	33,10	1,72	1/19	6,00

Os tratamentos avaliados foram constituídos por lodo de esgoto puro (T1) e misturas de lodo com demais resíduos, sendo (T2) lodo + esterco; (T3) lodo + cinza; (T4) lodo + grama; (T5) lodo + grama + cinza; (T6) lodo + esterco + cinza e, (T7) lodo + grama + esterco + cinza. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com sete tratamentos e três repetições.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, utilizou-se a Equação 1, recomendada por Brito (2016) para determinação das quantidades de resíduos a serem utilizadas nos diferentes tratamentos a serem avaliados. Na Tabela 2 estão apresentadas as proporções dos resíduos, as quantidades e a respectivas relações C/N para cada tratamento.

Equação 1

$$R = \frac{W_1[C_1 \times (100 - M_1)] + W_2[C_2 \times (100 - M_2)] + W_3[C_3 \times (100 - M_3)] + \dots}{W_1[N_1 \times (100 - M_1)] + W_2[N_2 \times (100 - M_2)] + W_3[N_3 \times (100 - M_3)] + \dots}$$

Em que: R= razão C:N do composto de mistura
 Wn= massa do material n
 Cn=carbono (%) do material n
 Nn= nitrogênio (%) do material n
 Mn= teor de umidade (%) do material n

Tabela 2 - Proporções dos resíduos, quantidades e respectivas relação C/N de cada tratamento avaliado.

Tratamentos	Resíduos	Proporções (Kg)	Quant. utilizada (Kg)	Relação C/N
T1	Lodo	-	10,000	1/31
T2	Lodo	1,000	9,000	1/35
	Esterco	0,115	1,035	
T3	Lodo	2,500	10,000	1/30
	Cinza	1,000	4,000	
T4	Lodo	1,000	8,000	1/25
	Grama	0,325	2,600	
T5	Lodo	1,000	8,000	1/25
	Grama	0,325	2,600	
	Cinza	0,400	3,200	
T6	Lodo	1,000	9,000	1/35
	Cinza	0,400	3,600	
	Esterco	0,115	1,035	
T7	Lodo	1,000	9,000	1/30
	Cinza	0,400	3,600	
	Esterco	0,115	1,035	
	Grama	0,325	2,925	

Após realização das misturas, os compostos foram acondicionados em recipientes plásticos (reatores) com capacidade volumétrica de aproximadamente 0,05m³, cortadas longitudinalmente (Figura 1). A fim de se facilitar manuseio e/ou evitar possíveis acidentes, bem como evitar proliferação de insetos e predação do material, estes reatores foram suspensos do chão 20 centímetros, acondicionados em banheiras e cobertos com sombrite 65%, permanecendo em ambiente coberto durante todo o período experimental (Figura 2).



Figura 1 – Reatores instalados no interior de banheiras

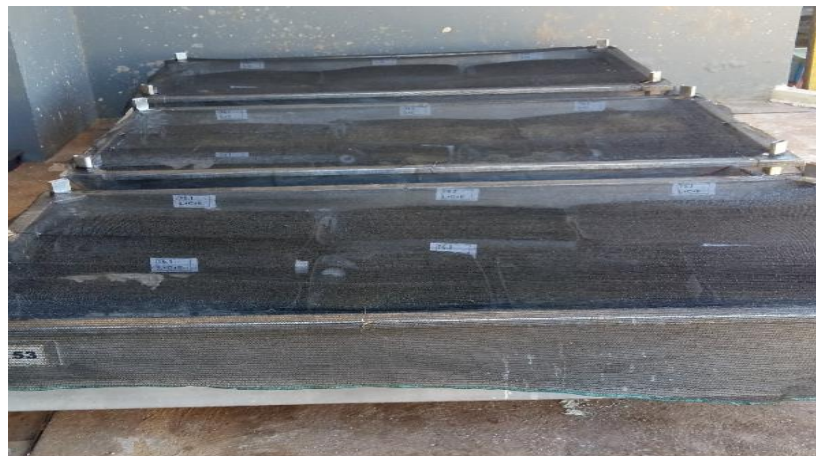


Figura 2 – Reatores cobertos com sombrite.

O processo de compostagem foi dividido em duas etapas, conforme recomendado por Souza et al., (2017), sendo uma pré-compostagem, que ocorreu por 65 dias, necessário para estabilização da temperatura, e a compostagem propriamente dita, com duração de 55 dias. Nesta segunda etapa, os compostos obtidos na pré-compostagem foram submetidos à compostagem na ausência e na presença de minhocas (vermicompostagem).

Nos ensaios de vermicompostagem procedeu-se a inoculação de minhocas adultas (com clitelo aparente) da espécie Vermelha da Califórnia (*Eisenia foetida*), em uma densidade de 893 minhocas m⁻³, conforme recomendado por Cestonaro et al. (2012) e Souza et al. (2017).

Para o monitoramento do processo de compostagem, foram levados em consideração os parâmetros e a frequência de análise apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros monitorados durante o processo de compostagem.

Parâmetro de monitoramento	Frequência	Local	Metodologia
Temperatura	Diariamente ¹		Termômetro digital
Umidade aparente	Diariamente ²		Nunes (2009)
Aeração	Quando necessário ³	in loco	Revolvimento Manual
Volume	Início e Fim		Balde Volumétrico
Massa	Início e Fim		Balança digital
pH			
Carbono			
Nitrogênio	Aos 1°, 7°, 18°, 33°, 48°, 66°, 108° e 123°	Laboratório	Tedesco et al. (1995);
Fósforo			APHA (2012);
Umidade	Dias		Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997);
Sólidos			MAPA (2013).
Potássio			

As temperaturas em cada reator e a temperatura ambiente foram mensurados por um termo-higrômetro de marca Dilog DL7106 e modelo DT8820. A quantificação de resíduos foi determinada por meio de uma balança de modelo Pessoal Digital G.tech BALGL10, de semi precisão e o volume foi determinado por meio de recipiente volumétrico graduado. Os totais de fósforo, potássio, nitrogênio, carbono, sólidos e umidade foram realizadas no Laboratório de Pesquisas e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí - GO, conforme metodologias descritas em APHA (2012).

As avaliações estatísticas foram realizadas pelo teste de Tukey, onde comparam-se médias com letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas, letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mortandade das minhocas

As minhocas e os microrganismos que vivem em seu trato digestivo, são seres que tem a capacidade de digerir resíduos orgânicos, através da biotecnologia chamada vermicompostagem, que não demanda revolvimento durante o processo (DORES-SILVA et al., 2013).

Alguns fatores podem ter levado à mortalidade das minhocas no processo, como a falta de alimento decorrente da produção do húmus (Loureiro et al., 2007) e a baixa concentração de nitrogênio, onde limitou-se a atividade das minhocas, pois as mesmas constituem em seu corpo 65% de proteínas (Aquino et al., 1994), assim elas necessitam de grande quantidade de nitrogênio em sua dieta.

Outro fator que pode ter levado a mortalidade se trata de condutividade elétrica, onde segundo Lourenço (2010), o nível adequado para a sobrevivência das minhocas está situado entre 0,5 a 1,2 mS/cm. E conforme a Tabela 4 a seguir, todos os tratamentos estavam com os níveis de condutividade acima do limite indicado pelo autor acima citado. Então, por isso, em todos os tratamentos do presente estudo as minhocas não sobreviveram.

Tabela 4 - Condutividade elétrica do composto orgânico (mS/cm) no dia da inoculação das minhocas.

TRATAMENTOS	DIA 66
T1	2,78 C
T2	2,18 C
T3	16,52 A
T4	2,58 C
T5	16,46 A
T6	12,81 B
T7	15,64 A

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas.

3.2 Temperatura

A temperatura constitui o principal parâmetro de controle, devido a sua facilidade de monitoramento, sendo o fator que melhor indica a eficiência dos processos de compostagem (SILVA, 2017b). De acordo com Kiehl (2012), a compostagem ocorre tanto em temperatura termofílica (45 a 85°C), quanto mesofílica (25 a 43°C), sendo que a faixa ótima estaria entre 50 a 70°C, em que 60°C seria a mais indicada.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados do monitoramento de temperatura dos reatores e ambiental durante todo o período de pré-compostagem. Não houve monitoramento durante o período de vermicompostagem/compostagem, uma vez que, conforme Souza et al. (2017), ao final da pré-compostagem, o composto se apresenta com temperaturas estabilizadas.

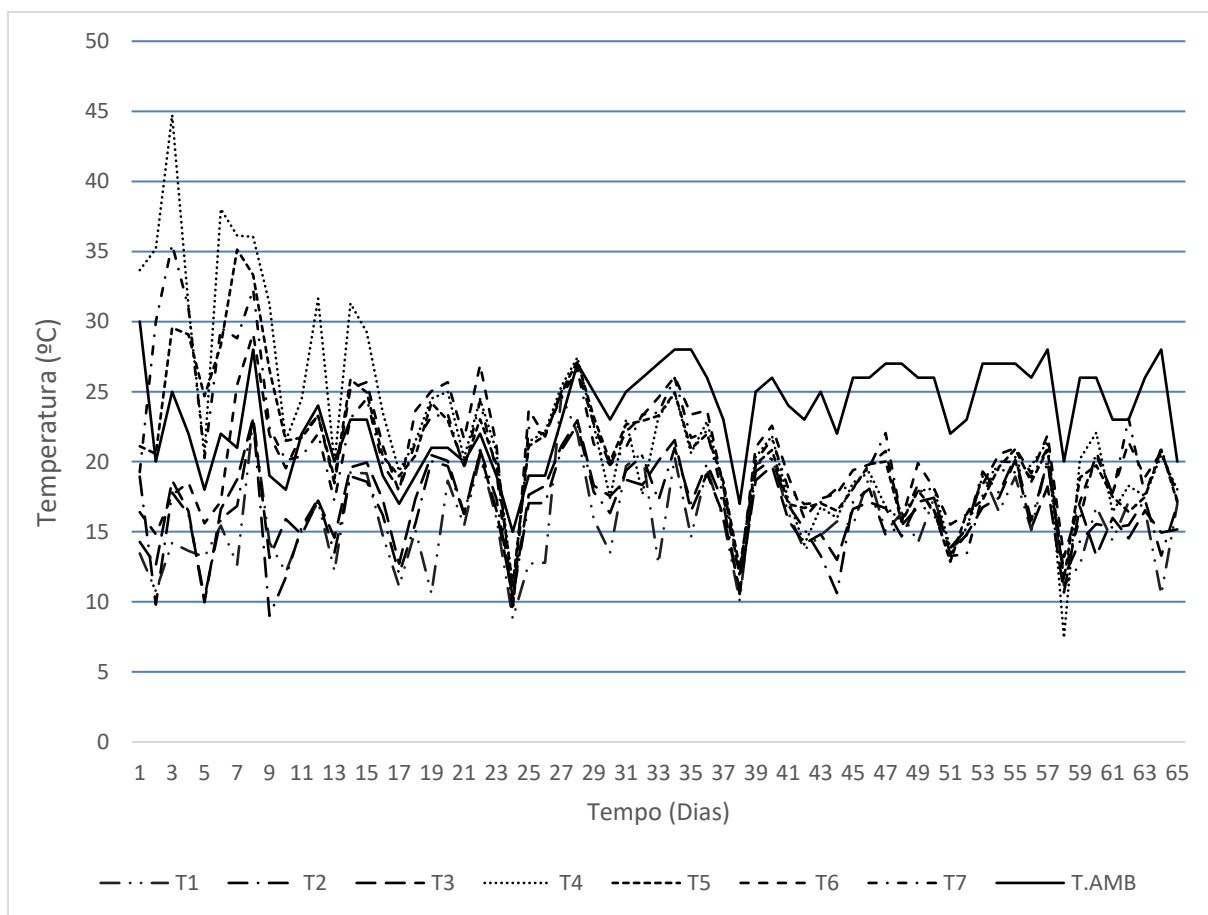


Figura 3 – Variação das temperaturas ambientais e dos reatores durante a pré-compostagem.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas, T.AMB – ambiente.

Observa-se na Figura 3 aumento nas temperaturas dos reatores em relação a temperatura ambiente, já nos primeiros dias de compostagem, indicando boa atividade microbiana, conforme Silva et al. (2017b) e Costa et al. (2017).

Segundo Costa et al. (2017), o tipo de resíduo e suas características – como a qualidade do carbono, relação C/N, granulometria e porosidade – influenciam diretamente no comportamento da temperatura de compostagem. Alguns dos resíduos utilizados, como a grama, apresenta carbono mais lábil, que favorece o ataque microbiano e, conseqüentemente, o

rápido aumento na temperatura nos reatores. Para Silva et al. (2017b), elevações de temperaturas estão associadas à degradação da matéria orgânica pelos microrganismos.

Embora tenham ocorrido elevações nas temperaturas nos diferentes reatores, a compostagem ocorreu, conforme Kiehl (2012), apenas na fase mesofílica, em que a degradação se deu de forma mais lenta devido às temperaturas moderadas (<43°C). Tal fato pode estar relacionado ao estado inicial do lodo de esgoto, que apresentava elevado teor de umidade, bem como ao pequeno volume de resíduos utilizados em cada reator.

Segundo Rodrigues et al. (2016), apesar da elevada carga orgânica, resíduos com elevada umidade interferem na atividade microbiana, inibindo a elevação de temperatura aos padrões característicos de uma fase termofílica. Para Cólón et al. (2010), Andersen et al. (2010) e Melo (2014), que também observaram picos isolados de temperatura, ou pouca oscilação em relação à temperatura ambiente em processos de compostagem, pequenos volumes de compostos apresentam baixa isolamento térmica, sendo suscetível à variação de temperaturas do ambiente.

Outro fator que pode ter influenciado na temperatura é que o experimento foi conduzido em local coberto, sem incidência direta da radiação solar. De acordo com Juliato et al. (2011) e Peixoto e Fernandes (2016), a radiação solar direta ajuda a aumentar a temperatura do processo de compostagem, contribuindo para a degradação do composto orgânico.

Verifica-se que, a partir do 33º dia, a temperatura ambiente se encontra superior à temperatura dos reatores avaliados, indicando, segundo Kiehl (2012) e Matos (2014), a estabilização do composto. De acordo com Costa et al. (2017), o tempo de compostagem depende da tecnologia utilizada e do tipo de resíduo a ser compostado, mas, geralmente, varia de 25 a 35 dias para a primeira fase (da bioestabilização ou semi-maturação, quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas) e de 30 a 60 dias na segunda fase (maturação, quando ocorre a humificação).

3.3 pH

A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 4,5 e 9,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa de pH, sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio (Pereira Neto, 2011, Costa et

al., 2015). Na Tabela 5 estão apresentados os valores de pH para os diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem.

Tabela 5 - Valores de pH para os diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem.

TRAT	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	5,49 abD	5,29 abcD	4,93 abC	5,10 bcC	5,16 bcC	5,34 abcC	5,18 bc	5,14 bcE
2	5,51 cdD	5,17 deD	4,95 eC	5,15 deC	5,14 deC	5,26 cdeC	6,49 cB	7,16 aD
3	8,87 deAB	8,85 Ea	9,21 cdA	9,34 bcdA	9,16 cdeA	9,52 bcA	9,87 abA	9,60 abcB
4	6,07 eC	6,17 eC	8,28 aB	7,84 bB	7,86 bB	7,27 cdB	7,15 dB	7,54 cdC
5	8,69 dB	9,36 bcA	9,02 cA	9,16 bcA	9,31 bcA	9,31 bcA	9,94 aA	9,96 aA
6	9,01 cAB	9,28 bcAB	9,23 bcA	9,21 bcA	9,21 bcA	9,39 bcA	9,80 aA	10,06 aA
7	8,97 cAB	9,30 bcA	9,12 bcA	9,33 bcA	9,26 bcA	9,38 bcA	9,86 aA	9,91 aA

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas.

Verifica-se, na Tabela 5, que o T1 proporcionou características ácidas dos compostos ao longo do processo de compostagem e que a adição de outros resíduos ao lodo de esgoto, resultou em compostos com características próximas à neutralidade (5,5 – 8,0). No entanto, em todos os tratamentos avaliados, os valores de pH estavam no intervalo considerado adequado para ocorrência de boa degradabilidade, conforme Pereira Neto (2011) e Kiehl (2012).

De acordo com Costa et. al. (2016), no início do processo de compostagem, o ambiente fica ácido devido ao fato de que fungos e bactérias, ao digerirem a matéria orgânica, liberam ácidos que também são decompostos até serem completamente oxidados. Ainda segundo este autor, valores baixos de pH (abaixo de 4,5) são indicativos de falta de maturação/estabilização, e limitam a atividade microbiana.

Observa-se, ainda, que os tratamentos com adição de cinzas (T3, T5, T6 e T7) proporcionou características alcalinas ao composto, estando de acordo com o estudo desenvolvido por Souza et al. (2017), que também observaram alcalinidade do lodo de esgoto ao adicionarem cinzas de caldeira. Tal fato está relacionado ao elevado valor de pH das cinzas de caldeira, com valores próximos a 12, sendo condicionador de pH nos diferentes compostos.

De acordo com Kiehl (2010) e Marques et al. (2016), o material resultante da compostagem apresenta características de semicurado ou bioestabilizado, aproximando-se da

humificação, uma vez que apresenta pH superior a 7,6, podendo ser aplicado sem receio junto com sementes e mudas.

Considerando-se a Instrução Normativa SDA/MAPA de 25/2009 (Brasil, 2009), que apresenta especificações técnicas para fertilizantes orgânicos, verifica-se que todos os tratamentos avaliados apresentaram compostos finais com valores de pH superiores ao mínimo exigido pela legislação para comercialização (pH mínimo de 6), a exceção do T1, indicando a necessidade de se realizar a mistura do lodo com outros resíduos.

3.3 Umidade

A umidade é condição importante para uma compostagem eficiente, pois a água é fator fundamental para a vida microbiana. A faixa de umidade ideal para o processo de compostagem deve estar entre 50% e 60%, sendo que para umidades inferiores a 40%, a atividade biológica é inibida, o que implica em baixa biodegradação e, para umidade superiores a 65%, a água ocupa os interstícios do composto, impedindo a passagem de ar e gerando condições de anaerobiose (Wojahn, 2016). Na Tabela 6 estão apresentados os teores de umidade nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem.

Tabela 6 - Teor de umidade (%) nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do processo de compostagem, e respectivos testes de médias.

TRAT	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	56,63 aB	57,69 aBC	41,66 bcC	38,54 bcC	35,83 bcF	35,19 bcC	34,10 cF	33,18 cD
2	44,93 bcC	50,50 abcC	42,01 cC	43,99 bcC	40,92 cEF	38,79 cC	45,74 bcCDE	55,45 abB
3	48,50 abcC	48,28 abcC	47,91 abcBC	43,30 abcC	43,22 abcDEF	29,87 cC	37,98 cEF	41,15 bcC
4	63,30 bcAB	67,53 abcA	66,07 abcA	61,27 bcAB	65,40 abcA	60,60 cAB	62,33 bcAB	64,77 abcA
5	65,10 aAB	66,90 aA	53,14 bBC	54,20 bB	55,58 bBCD	54,58 bAB	51,91 bBCD	52,31 bB
6	47,74 abcC	50,79 abcBC	45,66 bcC	51,92 abcB	48,74 abcCDE	48,20 abcB	41,67 cDEF	49,72 abcB
7	37,29 cD	65,67 aA	53,40 bBC	54,76 bAB	55,96 bBC	52,58 bB	56,76 bABC	53,30 bB

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Verifica-se que, na Tabela 6, os tratamentos avaliados apresentaram teores de umidade próximos àqueles considerados adequados à compostagem, a exceção do T1 que, a partir do 33º dia, apresentou teores de umidade inferiores a 40%, perdurando esta situação até a

finalização dos ensaios experimentais, o que implicaria, segundo Wojahn (2016) e Costa et. al (2016), em menores velocidades de degradação da matéria orgânica.

A variação do teor de umidade fora da faixa ideal observada em alguns reatores, mesmo tendo ocorrido o monitoramento diariamente, está relacionada ao modo como era feita sua determinação *in loco*, uma vez que o teste manual requer muita prática e as variação pode não ser percebida durante a realização do teste, sendo detectada apenas durante as determinações laboratoriais pelo método da estufa. Também, fatores como a condução dos ensaios em local coberto e as condições atmosféricas locais podem ter influenciado no teor de umidade, uma vez que os reatores continham pequeno volume de compostos e não recebiam radiação solar direta, conforme verificado por Cólón et al. (2010), Andersen et al. (2010), Melo (2014), Juliato et al. (2011) e Peixoto e Fernandes (2016).

Ao final do processo de compostagem, alguns tratamentos avaliados apresentaram material compostado com teor de umidade superior àquele estabelecido pela Instrução Normativa SPA/MAPA 25/2009 (BRASIL, 2009), que estabelece teor máximo de umidade para fertilizantes orgânicos mistos e compostos inferiores a 50%. Embora o teor de umidade não seja um parâmetro que reflita a estabilidade do composto, sua exigência serve para garantir que, ao ser comercializado, a maior parte do peso vendido seja referente ao composto e não a água.

Observa-se que o T4 apresentou os maiores teores de umidade, estando próximo de 65%, indicando, conforme Kihel (2012), necessidade de maior frequência de revolvimento dos compostos no reator. De acordo com Costa et al. (2016), com teores de umidade superiores a 65% ocorre compostagem sob condições anaeróbias, com decomposição mais lenta, podendo gerar lixiviados e odor, além de tornar a operação de reviramento difícil e com temperaturas menores, podendo não atingir temperaturas termofílicas, o que indicaria elevada contagem de patógenos.

3.4 Volume e Massa

O processo de compostagem é uma alternativa a ser considerada na gestão de resíduos sólidos, onde podemos calcular o seu rendimento, ou seja, mensurar o que teve de entrada de resíduo e o que gerou de composto final. Essa técnica, além de reduzir o volume de resíduos dispostos pela limpeza urbana de forma inadequada é uma operação de baixo custo

(OLIVEIRA, et al., 2017). Assim, dependendo do modelo a ser adotado, podemos promover a redução de emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente (GUIDONI, 2013).

A redução da massa e do volume das leiras durante o processo de compostagem é resultado da degradação do material orgânico pelos microrganismos (COSTA et al., 2017). Segundo Petric et al. (2009), no processo de compostagem a matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono, água, amônia e biomassa microbiana e isso faz com que ocorra essa redução na massa e no volume das leiras de compostagem. Na Tabela 7 estão apresentadas as reduções percentuais de volume e massa dos compostos nos diferentes tratamentos avaliados.

Tabela 7 – Reduções percentuais de volume e da massa dos compostos nos diferentes tratamentos avaliados.

TRATAMENTOS	PRÉ- COMPOSTAGEM		COMPOSTAGEM	
	VOLUME	PESO	VOLUME	PESO
T1	61,00 A	52,45 A	15,87 B	15,25 C
T2	40,00 B	44,34 B	10,74 C	23,11 B
T3	24,91 C	31,50 C	3,62 D	9,08 D
T4	58,18 A	51,33 A	19,22 B	28,62 A
T5	33,92 BC	26,24 CD	26,11 A	16,31 BC
T6	39,68 B	27,71 CD	4,76 D	13,58 C
T7	40,69 B	25,33 D	8,11 CD	15,36 C

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Observa-se, na Tabela 7, que todos os tratamentos avaliados apresentaram reduções de volume e de peso, sendo maiores os valores no período da pré-compostagem, quando apresentavam maiores umidades. Observa-se, ainda, que, na pré-compostagem, nos T1 e T4, ocorreram as maiores reduções de volume (61% e 58,18%) e de peso (52,45% e 51,33%), respectivamente, não diferenciando estatisticamente entre si. De acordo com Silva (2017a), a redução do volume nos compostos é proporcional à redução da sua massa.

Estas maiores reduções de volume e massa observadas no T1 estão relacionadas ao elevado teor de umidade inicial presentes no lodo de esgoto (56%), enquanto no T4, se deve à baixa massa específica da grama, ocupando grande volume para unidade de massa, além de serem os tratamentos com maior teor de umidade inicial.

Observa-se que, na compostagem, o T5 apresentou maior redução de volume, enquanto o T4 apresentou maior redução de massa. Analisando-se a composição dos resíduos nos

tratamentos, verificou-se que a adição de cinzas de caldeira não influenciou a redução de volume dos compostos.

Considerando-se o período total de compostagem, verifica-se que o T4 apresentou maior redução de peso e volume, enquanto o T3 apresentou os menores valores de massa e volume. Segundo Costa et al. (2017), os fatores que mais afetam essa otimização são o tempo do processo, a massa e o volume ocupado pelas leiras, devido à exigência por áreas disponíveis. Assim, do ponto de vista da logística de armazenamento, transporte e disposição final, resultados como estes implicam em menores custos para o gerenciamento destes resíduos após o tratamento.

3.5 Fósforo Total

Embora o fósforo não seja um fator que influencia diretamente o processo compostagem, sua ausência pode comprometer o desenvolvimento de microrganismos (CABRAL, 2016), bem como reduzir a qualidade do composto final, uma vez que se constitui um dos mais limitantes para as culturas agrícolas, especialmente em solos tropicais, que apresentam, em geral, baixo teor de fósforo disponível e predominância de acidez (CABRAL, 2016; ARAÚJO, 2011). Na Tabela 8 estão apresentadas as concentrações de fósforo total presentes nos diferentes compostos avaliados ao longo do período experimental.

Tabela 8 - Concentrações de fósforo total (mg kg^{-1}) presentes nos diferentes compostos avaliados ao longo do período experimental.

Trat	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	1722,86 aE	1618,49 aF	218,31 bcF	65,22 bcA	49,93 cA	81,56 bcA	69,12 bcA	68,00 bcA
2	2310,94 bD	1720,44 cF	2950,86 aD	56,81 dA	68,79 dA	75,63 dA	79,24 dA	42,87 dA
3	5695,80 bB	5054,11 cD	6514,73 aB	148,83 dA	151,45 dA	128,53 dA	128,04 dA	122,61 dA
4	1555,16 bF	4817,47 aE	65,41 cG	97,36 cA	56,78 cA	126,11 cA	71,90 cA	101,17 cA
5	5356,78 bC	5908,31 aC	5318,34 bC	136,80 cA	126,55 cA	137,45 cA	159,49 cA	95,11 cA
6	7509,87 bA	7049,92 cA	8563,69 aA	138,17 dA	161,56 dA	152,82 dA	137,81 dA	132,08 dA
7	7435,41 aA	6781,71 bB	2688,01 cE	150,72 dA	136,18 dA	115,13 dA	107,27 dA	113,02 dA

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Verifica-se, na Tabela 8, que os T6 e T7, no início do período experimental, apresentaram as maiores concentrações de fósforo, sendo que a partir do 33º dia, não se

verificou diferença estatísticas entre os diversos tratamentos avaliados, pois a partir desse dia os compostos já estavam estabilizados.

Verifica-se, ainda, que houve reduções superiores a 93% nas concentrações de fósforo ao longo do processo de compostagem, sendo o T4, aquele em que ocorreram as menores reduções percentuais. De acordo com Costa et al. (2016), a compostagem é um tratamento eficaz para o adequado manejo de resíduos, resultando em concentração de nutrientes no composto final. Todavia, para Martini et al. (2015) e Weber et al. (2017) a compostagem não é um processo eficiente, acarretando em perda de nutrientes por atividades microbianas e emissão de compostos gasosos.

Estes resultados estão de acordo com os estudos desenvolvidos Silva (2017a), Gonçalves et al (2017) e Weber (2017) que estudaram a compostagem de resíduos de frango de corte, esterco bovino e casca de arroz, respectivamente. Porém, diverge dos resultados observados por Gavilanes-Terán et al. (2017), Tatàno et al. (2015) e Costa et al. (2016b) que, ao estudarem a compostagem de materiais utilizados na produção de mudas hortícolas, resíduos orgânicos domésticos e dejetos bovinos, respectivamente, observaram incrementos nos teores de fósforos.

De acordo com Tsai e Rosseto (1992), durante a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, determinadas quantidades de fósforo vão sendo assimiladas para a formação e desenvolvimento de suas células. Ainda segundo estes autores, adições de matéria orgânica geralmente estimulam o crescimento de populações microbianas, havendo, como consequência, demanda por fósforo.

Segundo Branco et al. (2001), esta redução no teor de fósforo pode estar relacionada à requisição deste nutriente no meio, na proporção aproximada de C:N:P de 25:4:1, para que as bactérias possam realizar sua atividade decompositora. Ainda de acordo com este autor, os microrganismos envolvidos na compostagem são bactérias e fungos saprófitos, que tornam o fósforo disponível para o crescimento bacteriano e desenvolvimento de plantas superiores, cujo desenvolvimento se dá na presença de matéria orgânica como fonte de carbono e de energia.

3.6 Potássio

Como principal resultado do processo de compostagem, o composto orgânico resultante é rico em nutrientes para as plantas, de forma a permitir que este venha a ser utilizado como

fertilizante orgânico. O Potássio (K) é um dos elementos essenciais, sendo requisitados em quantidades elevadas em relação aos demais macronutrientes (RODRIGUES, et al., 2016).

O potássio exerce importância relevante para as plantas, pois está envolvido em diversas reações bioquímicas necessárias ao metabolismo vegetal e na obtenção de altas produtividade (RODRIGUES, et al., 2007). Na Tabela 9 estão apresentadas as concentrações de potássio total presentes nas diferentes misturas avaliadas ao longo do período experimental. a seguir mostra o crescimento desse elemento em todos os tratamentos ao decorrer do processo.

Tabela 9 - Concentração de potássio total (mg kg^{-1}) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período experimental.

Trat	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	0,00 bE	0,00 bD	662,32 aD	3481,45 aE	2398,83 aE	3326,80 aF	3432,65 aF	2999,00 aF
2	0,00 bE	0,00 bD	0,00 bD	4461,44 aE	4609,49 aD	5180,03 aE	5300,08 aE	4427,08 aE
3	10025,30 eA	10487,24 eBC	11844,98 dA	45788,88 aA	45211,59 aA	42283,40 bA	41097,05 bA	38323,05 cA
4	2563,67 eD	13213,86 aA	3481,07 eC	10533,63 bcD	7755,98 dC	10951,84 bcD	9995,20 bcD	9721,46 cD
5	8689,39 fB	11037,12 eBC	11662,50 eA	39171,82 bB	39078,52 bB	41855,80 aA	36737,12 eBC	33350,14 dC
6	11095,34 dA	9638,95 eC	11318,05 dA	37103,07 bcC	38968,23 aB	39109,59 aB	36171,38 bcBC	35588,58 cB
7	4299,55 gC	11467,95 eBC	6538,19 fB	40188,76 aB	38263,12 bB	31892,11 dC	35159,68 cC	32473,08 dC

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Verifica-se, na Tabela 9, que ao final do período de compostagem, os T3 e T1 apresentaram os maiores e os menores valores de potássio total, respectivamente. Tal fato está relacionado à concentração deste nutriente presente nos resíduos avaliados, sendo proporcional à massa aportada em cada tratamento. Assim, verifica-se que a adição de cinzas de caldeira nos diferentes tratamentos apresentou importante fonte de potássio para o material compostado.

Estes resultados estão de acordo com os estudos realizados por Osaki e Doralt (1991) e Segatelli et al. (2018), que observaram incrementos de potássio no solo com aporte de diferentes tipos de cinzas. Os incrementos observados ao longo do período experimental estão relacionados com a mineralização e mobilização realizados pelos microrganismos durante o processo de compostagem, conforme observações feitas por Valente et al., (2016).

Verifica-se, ainda, que o processo de mineralização do lodo de esgoto puro proporcionou a liberação de potássio a partir do sétimo dia de avaliação, mantendo-se constante ao longo do período de avaliação. Também, observa-se que as concentrações de potássio

aumentaram para todos os tratamentos avaliados até o 33º, em consequência de uma maior degradação da matéria orgânica neste período, atingindo a fase de humificação.

O aporte de potássio em excesso, seja por adição de compostos orgânicos ou por realização de compostagem ao longo do tempo em local sem impermeabilização adequada, pode provocar a dispersão das partículas de solo, reduzindo a capacidade de infiltração da água (SILVA et al., 2007; PAES et al., 2013), o que pode dificultar o desenvolvimento de culturas, mas, também, podem provocar a diminuição da possibilidade de contaminação das águas subterrâneas com as formas de nitrogênio, principalmente de nitrato, a mais preocupante em termos de contaminação de águas subterrâneas (LIMA et al, 2017).

3.7 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

Segundo Berticelli et al. (2016), o elemento carbono é o material energético necessário para o funcionamento do metabolismo microbiano, enquanto o nitrogênio é utilizado durante a síntese de proteínas. Por este motivo, a relação C/N é considerada o parâmetro que reflete o equilíbrio dos substratos. A falta de qualquer um dos elementos limita as atividades metabólicas dos microrganismos. De acordo com Costa et a., (2009), a relação apropriada de carbono e nitrogênio contribui para o crescimento e atividade das colônias de microrganismos envolvidos no processo de degradação da matéria orgânica, possibilitando a produção do composto em menos tempo. Na Tabela 10, estão apresentadas as relações C/N dos compostos ao longo do período de compostagem.

Tabela 10 – Relação C/N nos diferentes tratamentos ao longo do período de avaliação.

Trat	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	26,69 bA	29,34 aB	29,58 aB	24,11 bB	18,49 cC	12,15 cD	12,21 cB	10,15 cB
2	23,28 aA	23,35 aC	21,74 aC	21,42 aB	21,26 aB	23,04 aB	16,41 bB	13,25 cB
3	38,22 aA	37,42 aA	35,51 bA	30,59 bcA	30,53bcA	27,74 bcA	25,77bcA	18,23 cA
4	36,12 bcA	35,17 aA	9,85 bD	9,14 bD	8,92 bE	8,65 bE	8,24 bC	7,75 bC
5	26,85 aA	23,66 bC	17,90 cC	13,07 dC	12,63 dD	12,88 dD	12,61 dB	12,50 dB
6	28,66 aA	23,38 cb	14,95 cC	12,45 dC	12,47 dD	12,32 dD	12,27 dB	11,62 dB
7	23,60 aA	18,83 bD	17,47 bC	17,44 bB	16,67 bcC	15,56 bC	14,37 bB	13,85 bB

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Verifica-se, na Tabela 10, que os valores da relação C/N, no início do período experimental, estavam dentro da faixa considerada ideal, conforme Matos (2014), para ocorrência da compostagem de forma rápida e eficiente, indicando que as proporções dos diferentes resíduos foram adicionadas de forma adequada.

Observa-se que no decorrer do período experimental houve decréscimo nas relações C/N em todos os tratamentos avaliados, em consequência do processo de compostagem. Observa-se, ainda, que as misturas de resíduos presentes no T4 apresentaram, a partir do sétimo dia, as menores relação C/N, provavelmente devido a elevada demanda de nitrogênio necessário para degradar a grande quantidade de carbono presente na grama.

De acordo com Queiros (2016), na compostagem, dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono que é utilizado pelos microrganismos para obter energia e, o outro terço do carbono em conjunto com o nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas. Nota-se que o protoplasma microbiano tem uma relação C/N próxima de 10, mas, para efetuar a síntese de 10 carbonos com um nitrogênio, e assim constituir o seu protoplasma, os microrganismos necessitam de 20 carbonos, aproximadamente, para obter energia, sendo, portanto, a relação C/N ideal para compostagem igual a 25-35/1.

A Instrução Normativa SPA/MAPA 25/2009 (BRASIL, 2009) estabelece relação C/N final de fertilizantes orgânicos mistos inferiores 20. Assim, ao final do processo de compostagem, verifica-se que todos os tratamentos atenderam ao padrão exigido pela norma, indicando sua qualidade agrônômica. Segundo Kiehl (2010), ao final do período experimental, os tratamentos avaliados apresentaram material humificado e condições ideais para adubação, uma vez que as relações C/N estavam próximo ao intervalo 8-12.

3.8 Sólidos Fixos e Voláteis

Os sólidos totais correspondem à parte seca das amostras, ou seja, a matéria restante após evaporação da água sob condições específicas, e são divididos em duas categorias: os sólidos fixos e voláteis. O monitoramento dos sólidos voláteis possibilita acompanhar a degradação dos resíduos durante o processo de compostagem. Ao final do período de experimento, os teores de sólidos voláteis tendem a diminuir à medida que a degradação da matéria orgânica avança, aumentando o percentual dos sólidos fixos na massa em decomposição (QUEIROZ, 2007).

Nas Tabelas 11 e 12 estão apresentados os sólidos fixos totais e sólidos voláteis totais presentes nos diferentes tratamentos ao longo do período de compostagem.

Tabela 11 – Concentrações de sólidos fixos totais (%) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período compostagem.

Trat	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	1,00 cE	1,14 bcF	1,40 abcF	2,88 abcG	1,92 abcF	3,21 abcG	2,83 abcF	3,11 abcF
2	12,15 deD	8,49 fD	10,68 eD	13,80 deE	13,50 deD	16,99 cE	29,49 aD	26,41 bD
3	29,64 fC	31,59 eC	35,36 dB	40,84 cB	41,58 cB	44,43 bB	47,15 aB	44,35 bB
4	1,77 fE	3,87 eE	5,27 deE	7,14 cdF	6,64 cdeE	7,49 cdF	20,28 aE	18,31 bE
5	10,72 gD	30,64 efC	33,04 deC	29,06 fD	31,37 defC	34,96 cD	46,17 aB	42,24 bC
6	33,20 eB	38,10 dA	49,15 abA	42,69 cA	47,39 bA	47,69 abA	49,36 abA	47,50 bA
7	35,52 cA	35,51 cB	35,77 cB	37,26 cC	31,25 dC	42,23 bC	44,37 aC	46,19 aA

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Tabela 12 – Concentrações de sólidos voláteis totais (%) presentes nos diferentes tratamentos avaliados ao longo do período compostagem.

Trat	Dias							
	1	7	18	33	48	66	108	123
1	57,71 dA	68,97 bcA	63,52 cA	67,19 bcA	75,61 aA	73,74 aA	75,81 aA	75,02 aA
2	55,80 bA	67,30 aA	67,16 aA	59,22 bB	65,23 aB	59,68 bB	47,81 cB	42,94 dB
3	39,12 bcdBCD	43,98 aC	36,22 bcdB	33,49 cdDEF	35,48 bcdC	34,41 cdD	31,75 dD	34,84 bcdC
4	41,59 cdBC	55,46 aB	31,82 eC	49,64 bC	34,63 deC	38,67 cdeC	42,81 cdC	36,68 deC
5	40,27 aBC	30,66 bD	22,90 cD	36,11 aDE	29,28 bD	23,28 cEF	23,69 cE	21,74 cE
6	31,61 bcdD	41,79 aC	23,50 eD	30,50 bcdeEF	28,28 bcdeD	26,53 cdeEF	27,21 cdeE	26,03 deD
7	35,55 aCD	24,43 cdE	22,35 cdD	29,00 bcF	26,47 bcdD	19,50 dF	19,33 dF	18,57 dE

Trat – tratamento; DIAS – dias de monitoramento

Médias comparadas de letra minúscula nas linhas e letra maiúscula nas colunas. Letras iguais não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nota 1: T1 – Lodo puro, T2 – Lodo e esterco, T3 – Lodo e cinzas, T4 – Lodo e grama, T5 – Lodo, grama e cinzas, T6 – Lodo, esterco e cinzas, T7 – Lodo, esterco, grama e cinzas

Observa-se, nas Tabelas 11 e 12, que o T1 apresentou baixa concentração de sólidos fixos e elevados concentrações de sólidos voláteis. Isso relaciona-se ao elevado teor de umidade e de compostos orgânicos derivados do processamento de leite, que é o principal constituinte do lodo de esgoto. De acordo com Tonaco et al., 2014, o leite é constituído basicamente por 87 % de água, de 3 a 4 % de proteínas, de 3,5 a 6 % de gordura, 5% de lactose e por uma pequena parcela de minerais como potássio, cloro e cálcio.

Verifica-se que, de maneira geral, os tratamentos avaliados apresentaram reduções nas concentrações de sólidos voláteis totais (Tabela 12) e incrementos nas concentrações de sólidos fixos totais (Tabela 11), à exceção do T1, em que houve incrementos tanto para as concentrações de sólidos fixos como dos sólidos voláteis.

De acordo Souza et al. (2017), durante a degradação da matéria orgânica na compostagem, o percentual de sólidos voláteis tende a diminuir e conseqüentemente, a de sólidos fixos tende a aumentar, onde o mesmo representa a fração inorgânica. De acordo com Kiehl (1985) durante a compostagem a quantidade de matéria orgânica reduz devido à mineralização e isso é refletido no teor de sólidos voláteis, que expressa a fração orgânica do composto.

Já os incrementos observados no T1, podem estar relacionados ao processo de degradação do lodo de esgoto puro, uma vez que apresentam compostos complexos e, ao serem mineralizados, liberam mais compostos voláteis.

Verifica-se, na Tabela 12, que o T4 apresentou maior variação nas concentrações de sólidos voláteis ao longo do processo de compostagem, com incrementos em torno de 934%, indicando, conforme Kiehl (2010), maior eficiência na degradação da matéria orgânica. De acordo com Silva (2017b), os valores dos sólidos totais voláteis indicam a degradação da matéria orgânica e também a estabilização da massa do substrato, sendo que ao longo da compostagem, os índices de sólidos totais voláteis tendem a diminuir, em decorrência da estabilização, reduzindo para um nível eficiente de 40%.

Segundo Souza et al., (2017), uma compostagem eficiente dura média 120 dias e deve apresentar redução média de sólidos voláteis 40%. Assim, de acordo com a Tabela 12, verifica-se que apenas os T5 e T7 conseguiram realizar uma compostagem eficiente.

Para a comercialização do composto orgânico no Brasil, poucos parâmetros são exigidos, o que pode ser ineficiente na indicação da maturidade do composto. Segundo Kiehl (2010), para se ter uma informação mais correta sobre a maturação dos compostos deve-se considerar dados de dois ou mais parâmetros, sendo que os parâmetros de maturidade devem ser baseados em diferentes propriedades do composto e do processo, como cor, odor, temperatura, relação C:N, fitotoxicidade, dentre outros.

4. CONCLUSÃO

Para as condições do experimento e de acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que:

A compostagem demonstrou ser um método eficiente para o tratamento de lodo produzido em estação de tratamento de efluentes de laticínios, produzindo fertilizantes de ótima qualidade;

Verificou-se que a estabilização do lodo de esgoto ocorre a partir de 33 dias e que a compostagem ocorre em temperaturas mesófilicas;

A vermicompostagem do lodo de esgoto pré-compostado mostrou-se tecnicamente inviável, causando a mortandade das minhocas inoculadas, devido a falta de alimento decorrente da produção do húmus, a baixa concentração de nitrogênio, onde limitou-se a atividade das minhocas e os níveis de condutividade elétrica acima do limite.

A adição de restos de poda de grama ao lodo de esgoto (T4) no processo de compostagem proporcionaram as maiores reduções de peso e volume, adequado pH, teor de umidade e relação C/N.

Considerando-se a otimização do tempo e área disponível para compostagem, bem como os parâmetros de qualidade da Instrução Normativa SPA/MAPA 25/2009, a adição de grama ao lodo de esgoto passa a ser a técnica mais recomendada.

6. REFERÊNCIAS

AQUINO, A. M. de; ALMEIDA, D.L. de; FREIRE, L.R.; DE-POLLI, H. **Reprodução de minhocas (Oligochaeta) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1994.

A. P. H. A. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York, 2012.

ANDERSEN, J. K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T. H. **Waste Management**, v.30, 2010.

ARAÚJO F.F. **Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado**. ActaScientiarum, 2011.

BERTICELLI, R. et al. **Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas**. Revista CIATEC-UPF, v.8, 2016.

BORLINI, M.C.; SALES, H.F.; VIEIRA, C.M.F.; CONTE, R.A.; PINATTI, D.G.; MONTEIRO, S.N. **Cinza da Lenha para Aplicação em Cerâmica Vermelha – Características da Cinza**. Artigo Revista Cerâmica. Rio de Janeiro, 2005.

BRANCO, S. M., MURGEL, P. H., & CAVINATTO, V. M. **Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

BRAND, M. A. **Fontes de Biomassa para Geração de Energia**. Universidade do Planalto Catarinense, Santa Catarina, 2008.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2009.

BRITO, L.M. **Compostagem para agricultura biológica: Manual de Agricultura Biológica - Terras de Bouro**. 2016.

CABRAL, B. V. **Biossolubilização de fósforo proveniente de concentrado de rocha fosfática por Trichoderma harzianum em diferentes biorreatores**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2016.

CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

CESTONARO, T.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PEREIRA. **Vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovino de corte: aspectos da estabilização**

do resíduo. X Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Londrina, 2012.

CÓLÓN, J.; BLANCO, J. M.; GABARRELL, X.; **Resources, Conservation and Recycling**, 2010.

COSTA, M. S. S. de M.; LORIN, H. E. F.; COSTA, L. A. de M.; **Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feedlot manure.** Journal of Environmental Management, 2016.

COSTA, M. S. S. de M.; BERNARDI, F. H.; COSTA, L. A. de M. **Composting as a cleaner strategy to broiler agro-industrial wastes: Selecting carbon source to optimize the process and improve the quality of the final compost.** Journal of Cleaner Production, 2017.

COSTA M. S. S. de M.; COSTA L. A. M.; DECARLI L. D. **Compostagem de resíduo sólido de frigorífico.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2009.

COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; OLIBONE, D.; RODER, C.; BURIN, A.; KAUFMANN, A. V.; ORTOLAN, M. L. **Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2005.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, T. C. F.; XIMENES, A. F. **O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos.** Revista Geama, 2016.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de O. **Processo de estabilização de resíduos orgânicos: Vermicompostagem versus compostagem.** Química Nova, 2013.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; PÉREZ-MURCIA, M. A.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; LÓPEZ, M.; PAREDES, C. **Agroindustrial compost as a peat alternative in the horticultural industry of Ecuador.** Journal of Environmental Management, 2017.

GONÇALVES, Morgana Suszek, et al. "**Compostagem de esterco bovino de pequenas propriedades rurais para uso como fertilizante orgânico.**" Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais, 2017.

GOPINATHAN, M.; THIRUMURTHY, M. **Feasibility Studies on Static Pile Co Composting of Organic Fraction of Municipal Solid Waste With Dairy Waste Water**, 2012.

GUANZIROLI C. E. **Agroindústria Rural no Brasil: experiências bem e mal sucedidas.** Niterói: Universidade Federal Fluminense; 2010.

GUIDONI, L. L. C.; BITTENCOURT, G.; MARQUES, R. V.; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, E. K. **Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo.** Revista Tecnológica, Santa Cruz do Sul, 2013.

JULIATO, D. L.; CALVO, M. J; CARDOSO, T. E. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para Instituições Públicas de Ensino Superior.** Revista Gual., Florianópolis, 2011.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba: Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba, 1998.

KIEHL, E. J. **Novos fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Editora Degaspari, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** 6.ed. Piracicaba, 2012.

LIMA, L. C.; FIA, R.; RIBEIRO, A. G. C.; PORTO, F. L. M. M; HASHIZUME, B. M. **Potencial de contaminação do solo após processo de compostagem em pátio não impermeabilizado.** Engenharia na Agricultura, v.25, 2017.

LOUREIRO, D. C.; AQUINO, A. M.; ZONTA, E.; LIMA, E. **Compostagem e vermikompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. Pesq. agropec. bras., Brasília, 2007.

LOURENÇO, N. M. G. **Características da minhoca Epígea Eisenia Foetida –benefícios, características e mais valias ambientais decorrentes da sua utilização**. 2010.

MARQUES, V. C.; PIMENTA, A. F.; JÚNIOR, I. T.; Dal BOSCO, T. C., MICHELS, R. N. **Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores: parâmetros físico-químicos**. Blucher Engineering Proceedings, 2016.

MARTINI, R.; TURMENA, L.; OLIVEIRA, P. A. V. **Avaliação de arranjo tecnológico para tratamento dos dejetos líquidos de suínos por compostagem e produção de fertilizante orgânico**. In: Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais, Rio de Janeiro, 2015.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento de resíduos sólidos**. Viçosa: Editora UFV, 2014.

MELO, S. L. de. **Análise do uso de compostagem doméstica em conjuntos habitacionais de interesse social na cidade de São Domingos – Bahia. Salvador**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, 2013.

MORALES, A. B.; BUSTAMANTE, M. A.; MARHUENDA-EGEA, F. C. MORAL, R.; ROS, M.; PASCUAL, J. A. **Agri-food sludge management using different co-composting strategies: Study of the added value of the composts obtained**. Journal of Cleaner Production, 2016.

OLIVEIRA, L. S. B. L.; OLIVEIRA, D. S. B. L.; BEZERRA, B. S.; PEREIRA, B.S.; BATISTELLE, R. A. G. **Environmental of analysis of organic waste treatmente focusing on composting scenarios.** Journal of Cleanear Production, 2017.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. **Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba.** Rev. Setor Ciênc. Agrar, 1991.

PAES, N.X. et al. **Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de Curitiba.** Curitiba: Secretaria Municipal do Meio Ambiente: Departamento de Limpeza Pública, 2013.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. **Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais.** Revista Nativa, 2013.

PEIXOTO, A. A.; FERNANDES, J. G. **Utilização da Técnica de Compostagem: uma proposta para destinação final dos resíduos orgânicos gerados em um restaurante universitário.** In: XIII Simpósio de excelência em gestão da tecnologia. Resende – RJ, 2016.

PEREIRA NETO J. T. **Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo.** Viçosa: UFV, 2011.

PETRIC, I.; SESTAN, A.; SESTAN, I. **Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure.** Process Safety and Environmental Protection, 2009.

QUEIROS, E. S. **Produção de composto orgânico a partir de resíduos da poda fitossanitária de cupuaçuzeiros infectados por *Moniliophthora perniciosapara utilização como substrato para mudas.*** Dissertação (Mestrado em Agroecologia). UERR – Universidade Rural de Roraima, Roraima -RR, 2016.

QUEIROZ, F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina.** (Dissertação de pós-graduação) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

RAJ, D.; ANTIL, R. S. **Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes.** Bioresource Technology, 2011.

RODRIGUES, A. C., BAUM, C. A., FORMENTINI, J., SHMACHTENBERG, N. **Avaliação do processo de compostagem utilizando lodo de Estação de Tratamento de Efluentes de laticínio.** Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria - RS, 2016.

RODRIGUES, R. C., MOURÃO, G. B., VALINOTE, A. C., HERLING, V. R. **Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xadães sob doses de nitrogênio e potássio.** Revista Ciência Animal Brasileira, 2007.

SEGATELLI, B. M.; PIMENTA, A. F.; PEIXOTO, G. T.; SILVA, M. C.; DAL BOSCO, T. C. **Cinza de caldeira na compostagem de lodo de laticínio, grama e borra de café: efeitos na umidade e redução de volume.** In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado – RS, 2018.

SCOTON, E.J.; BATTISTELLE, R.A.G.; BEZERRA, B.S., AKUTSU, J. **A sewage sludge co-composting process using respirometric monitoring method in hermetic rotary reactor.** Journal of Cleaner Production, 2016.

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SILVA, P. E. R. **Influência da granulometria no processo de compostagem de resíduos sólidos vegetais.** Dissertação (Mestrado em Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017a.

SILVA, P. E. R. **Qualidade do composto orgânico em função da frequência de revolvimentos e das condições ambientais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017b.

SOUZA, A. V. D.; PIMENTA, A. F.; MARQUES, V. C.; PRESUMIDO, P. H.; SILVA, J. S.; BETIO, M. M.; DAL BOSCO, T. C.; PRATES, K. V. M. C. **Pré -compostagem e vermicompostagem de lodo biológico de laticínio.** In: Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

TATÀNO, F.; PAGLIARO, G.; GIOVANNI, P. D; FLORIANI, E.; MANGANI, F. **Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control.** Waste Management, 2015.

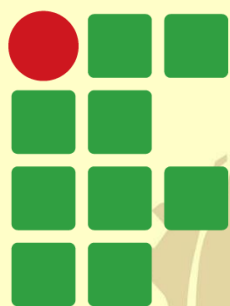
TONACO, A. S.; PAULA, B. A. de; MOREIRA, C. Q.; MALARD, A. A. M.; MENEGHIN, F.; GUSMÃO, S. **Guia técnico ambiental da indústria de laticínios.** Belo Horizonte, MG: FIEMG -Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais, 2014.

TSAL, S.M.; ROSSETO, R. **Transformações microbianas do fósforo.** In: Org. Microbiologia do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; LOPES, M.; PEREIRA, H. D.; ROLL, V. F. B. **Cinza de caldeira aumenta concentração de potássio.** Arch. Zootec, 2016.

WEBER, N. C. OELKE, C. A.; AZEVEDO, E. B.; RAMOS, A. A.; FRESINGHELI, J. C. F.; WINCLLER, J. C. P. **Efeito da adição de casca de arroz na decomposição anaeróbica de dejetos suínos sobre os teores de macro e micronutrientes.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Viçosa, 2017.

WOJAHN G. T., **Proposta de um modelo de compostagem coletiva para um condomínio residencial em Lajeado – RS.** Monografia. Bacharel em Engenharia Ambiental. Centro Universitário Univates. Lajeado-RS, 2016.



INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus
Urutaí

