

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

MAICO CHIARELOTTO

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA NO TRATAMENTO DE
RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES URBANOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2018

MAICO CHIARELOTTO



**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA NO TRATAMENTO DE
RESÍDUOS ORGÂNICOS DOMICILIARES URBANOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios – Polo UAB do Município de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientadora: Prof^a. Ma Marlene Magnoni Bortoli.

EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Compostagem como alternativa no tratamento de resíduos orgânicos domiciliares urbanos.

Por

Maico Chiarelotto

Esta monografia foi apresentada às **10h30min do dia 18 de agosto de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios – Polo de Foz do Iguaçu, PR, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Ma. Marlene Magnoni Bortoli
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientadora)

Prof^o Dr. Fábio Orssatto
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Dra. Eliane Rodrigues dos Santos Gomes.
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-

RESUMO

CHIARELOTTO, Maico. Compostagem como alternativa no tratamento de resíduos orgânicos domiciliares urbanos. 2018. 41fls. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

Estima-se que do montante de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, 51% são representados por resíduos orgânicos apresentando elevado potencial de reciclagem por meio de processos alternativos. Porém, verifica-se que estes resíduos orgânicos estão sendo encaminhados para disposição final, desperdiçando seu potencial de reaproveitamento, ocasionando conseqüentemente superlotação de aterros sanitários, bem como impactos ambientais negativos. Portanto, uma alternativa para a otimização e reciclagem destes materiais seria o incentivo e disseminação do processo de compostagem domiciliar. Deste modo, este trabalho teve como objetivos avaliar parâmetros de controle ao longo do processo de compostagem de resíduos orgânicos e verificar a qualidade do composto orgânico final produzido. Os resíduos orgânicos foram coletados durante três dias distribuídos ao longo de uma semana, em 20 residências da área urbana do município de Marmeleiro – PR. Uma pilha de compostagem foi montada com massa inicial em matéria natural foi de 137,21 kg. Ao longo do processo de degradação os parâmetros temperatura, massa seca, volume, pH, condutividade elétrica, fitotoxicidade, sólidos voláteis e carbono orgânico total foram acompanhados. Ao término do processo, além destes parâmetros supracitados, determinou-se CTC, relação CTC:COT, nitrogênio total e relação C:N. Ao longo do processo de compostagem verificou-se que o índice de germinação passou de 45,27 para 109,43 saindo de composto fitotóxico para fitoestimulante. Além disso a CTC do composto orgânico passou de 27,2 para 57,8 comprovando a degradação do material orgânico. Verificando os parâmetros finais para o composto orgânico é possível afirmar que os valores encontrados estão de acordo com a IN 25/2009 do MAPA, bem como dentro dos limites indicados por pesquisadores da área. Portanto, o processo de compostagem em pilhas, torna-se eficiente, viável e seguro para o tratamento de resíduos orgânicos domiciliares, podendo seu produto final ser utilizado na produção vegetal.

Palavras-chave: Gerenciamento. RSU. Degradação aeróbia.

ABSTRACT

CHIARELOTTO, Maico. Composting as an alternative in the treatment of organic household waste. 2018. 41fls. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

It is estimated that 51% of urban solid waste generated in Brazil is represented by organic waste, presenting a high potential for recycling through alternative processes. However, it is verified that these organic wastes are being sent to final disposal, wasting their potential for reuse, resulting in overcrowding of landfills as well as negative environmental impacts. Therefore, an alternative to the optimization and recycling of these materials would be the incentive and dissemination of the home composting process. Therefore, this work had as objectives to evaluate control parameters throughout the organic waste composting process and verify the quality of the final organic compound produced. The organic wastes were collected for three days distributed over a week in 20 residences of the urban area of the municipality of Marmeleiro - PR. A compost pile was set up with initial mass in natural matter was 137.21 kg. During the degradation process the parameters temperature, dry mass, volume, pH, electrical conductivity, phytotoxicity, volatile solids and total organic carbon were monitored. At the end of the process, in addition to the aforementioned parameters, CTC, CTC: COT, total nitrogen and C: N ratio were determined. Throughout the composting process it was verified that the germination index increased from 45.27 to 109.43 from phytotoxic compound to phytostimulant. In addition, the CTC of the organic compound increased from 27.2 to 57.8 proving the degradation of the organic material. By verifying the final parameters for the organic compound, it is possible to affirm that the values found are in agreement with the IN 25/2009 of the MAPA, as well as within the limits indicated by researchers of the area. Therefore, the composting process in piles becomes efficient, viable and safe for the treatment of organic household waste, and its final product can be used in crop production.

Keywords: Management. RSU. Aerobic degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil Térmico do Processo de Compostagem.	23
Figura 2 – Redução de Massa Seca ao Longo do Processo de Compostagem (kg)	25
Figura 3 – Redução de Volume ao Longo do Processo de Compostagem (m ³)	26
Figura 4 – Perdas de matéria orgânica ao longo do processo de compostagem.....	28
Figura 5 – pH e CE ao Longo do Processo de cCompostagem.	29
Figura 6 – Índice de Germinação ao Longo do Processo de Compostagem (%).	31
Figura 7 – Gráfico Biplot Análise de Componentes Principais.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de Controle de Temperatura Desenvolvidos Durante o Processo de Compostagem.....	24
Tabela 2 - Parâmetros de Controle de Temperatura Desenvolvidos Durante o Processo de Compostagem	25
Tabela 3 - Concentração Inicial e Final de Matéria Orgânica.....	27
Tabela 4 - Valores de Parâmetros da Equação de Primeira Ordem que Descreve a Degradação da Matéria Orgânica.	27
Tabela 5 - Principais Características Iniciais e Finais do Processo de Compostagem.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	11
2.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	12
2.2.1 Tamanho de partícula.....	12
2.2.2 Relação C:N.....	13
2.2.3 Temperatura.....	13
2.2.4 Teor de água	14
2.2.5 Aeração.....	15
2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA COMPOSTOS ORGÂNICOS ESTABILIZADOS	15
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ÁREA EXPERIMENTAL	17
3.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM	17
3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS	18
3.3.1 Temperatura.....	18
3.3.2 Redução de massa seca e volume	18
3.3.3 pH e condutividade elétrica	18
3.3.4 Sólidos voláteis, perdas de matéria orgânica e carbono orgânico total.....	19
3.3.5 Teste de fitotoxicidade.....	19
3.3.6 Nitrogênio total kjeldahl	20
3.3.7 Relação C:N.....	20
3.3.8 Capacidade de troca de cátions e relação CTC:C	21
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 TEMPERATURA	23
4.2 REDUÇÃO DE MASSA SECA E VOLUME.....	24
4.3 PERDAS DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	27
4.4 pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	29
4.5 FITOTOXICIDADE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS.....	30

4.6 ANÁLISE MULTIVARIADA DO COMPOSTAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	31
4.7 CARACTERÍSTICAS FINAIS DO COMPOSTO ESTABILIZADO	33
5 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Todos os dias atividades domésticas, e limpeza pública e doméstica geram subprodutos denominados resíduos sólidos urbanos (LOUREIRO et al., 2013; SINGH et al., 2014; GONÇALVES et al., 2018). Com o constante aumento na geração, a gestão destes resíduos torna-se preocupante desde grandes à pequenas cidades do mundo (PATEL et al., 2010; GONÇALVES et al., 2018).

Para comprovar o tamanho do problema, no Brasil diariamente são geradas 214.405 toneladas de resíduos sólidos urbanos, correspondendo a $1,04 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (ABRELPE, 2017). Deste montante, 8,84% dos resíduos não chegam a ser coletados e dos 5.570 municípios do Brasil, 30,4% não possui iniciativa de coleta seletiva (ABRELPE, 2017). Outra falha nas etapas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos pode ser verificada na disposição final, sendo que apenas 58,4% dos resíduos coletados são encaminhados para aterros sanitários. O restante é encaminhado para formas de disposição incorreta, como aterros controlados (24,2%) e lixões (17,4%), causando grandes impactos negativos ambientais, sociais e econômicos (ABRELPE, 2017).

Estima-se que do montante de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, 51% são representados por resíduos orgânicos (BRASIL, 2012) apresentando elevado potencial de reciclagem por meio de processos alternativos. Porém, verifica-se que estes resíduos orgânicos estão sendo encaminhados para disposição final, desperdiçando seu potencial de reaproveitamento, ocasionando consequentemente superlotação de aterros sanitários, bem como impactos ambientais negativos. Portanto, uma alternativa para a otimização e reciclagem destes materiais seria o incentivo e disseminação do processo de compostagem domiciliar.

A compostagem é o conjunto de processos biológicos e físico-químicos, com o objetivo em otimizar a degradação de resíduos orgânicos, gerando como produto final composto orgânico estabilizado utilizado na produção vegetal (MAGALHÃES et al., 2006; KIEHL, 2010; BRASIL, 2011). Esta técnica torna-se viável para o tratamento domiciliar dos resíduos orgânicos urbanos gerados, pois apresenta fácil monitoramento e baixo custo de execução. Deste modo, a disseminação da execução desta técnica em residências urbanas, pode acarretar na redução do montante de resíduos sólidos urbanos encaminhado para coleta, bem

como para disposição final em aterros sanitários, reduzindo a superlotação destes locais.

Portanto, o presente estudo teve como objetivos avaliar parâmetros de controle ao longo do processo de compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e verificar a qualidade do composto orgânico final produzido, averiguando a viabilidade da condução deste processo em residências urbanas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Diariamente as atividades cotidianas dos lares e na limpeza pública contribuem na geração de resíduos sólidos urbanos (GONÇALVES et al., 2018). O crescente aumento na geração destes resíduos aumenta a preocupação com a correta gestão destes (PATEL et al., 2010)

A título ilustrativo, no Brasil, diariamente, são geradas cerca de 214.405 toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que corresponde a $1,04 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (ABRELPE, 2017). Quanto à disposição final, apenas 58,4% dos resíduos sólidos urbanos coletadas são dispostos em aterros sanitários, enquanto que 24,2% são destinados a aterros controlados e 17,4% lixões, tal disposição incorreta causa muitos impactos negativos de ordem ambiental, social e econômica (ABRELPE, 2017).

Com relação à classificação, no Brasil a estimativa é de que 51% dos resíduos sólidos urbanos sejam resíduos orgânicos (BRASIL, 2012) os quais possuem elevado potencial de reciclagem por processos alternativos. No entanto, como visto, tais resíduos são encaminhados à disposição final o que desperdiça grande potencial de reaproveitamento, bem como, acarreta superlotação dos aterros sanitários e diversos impactos ambientais negativos. Como alternativa de otimização e reciclagem dos resíduos seria a disseminação e o incentivos da compostagem em âmbito domiciliar.

Entende-se por compostagem, o conjunto de processos biológicos e físico-químicos, que otimiza a degradação dos resíduos orgânicos, gerando como produto final composto orgânico, estabilizado, e apto à utilização na produção vegetal (KIEHL, 2010; BRASIL, 2011). A técnica de compostagem no tratamento de resíduos orgânicos domiciliares torna-se bastante viável por seu baixo custo e facilidade de monitoramento e execução. Assim, caso seja disseminada a técnica em residências urbanas poderia ensejar redução da quantidade de resíduos encaminhados à coleta e disposição final em aterros.

A compostagem trata-se de uma técnica de reciclagem de resíduos orgânicos urbanos bastante simples, a qual possibilita a redução dos impactos ambientais negativos causados pela inadequada disposição final dos resíduos sólidos, bem como, agrega valor ambiental e econômico ao processo, pois contribui para geração de empregos, produção vegetal, inserção de compostos orgânicos no mercado de fertilizantes (PEIXOTO, 1998; BERNAL et al., 2009).

2.2 PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Fatores como tamanho da partícula e relação C:N, temperatura, teor de água e aeração no manejo e condução do processo de compostagem devem ser monitorados e controlados para que estejam favoráveis ao ideal processo de compostagem (KIEHL, 2010). Um composto de qualidade depende de que estes fatores estejam adequados, pois, quando dentro dos parâmetros ideais, auxiliam no metabolismo dos microrganismos, influenciando, inclusive no tempo necessário à degradação do material orgânico (VALENTE et al., 2009).

2.2.1 Tamanho de Partícula

Fator importante ao desenvolvimento dos microrganismos é o tamanho das partículas do material a ser degradado. Se finas as partículas aumentam a superfície de contato o que propicia maior atividade microbiana, conseqüentemente, melhorando a eficiência do processo de degradação o que acarreta em uma diminuição do tempo de compostagem (BERNAL et al., 2009).

No entanto, deve-se tomar cuidado para as partículas não serem, demasiadamente, finas, pois podem acarretar a compactação do material a ser decomposto o que dificulta a aeração da leira (PEREIRA NETO, 2007). Ao contrário partículas grosseiras necessitarão de maior tempo para degradação. O tamanho recomendado para partícula fica entre 0,3 e 1,5 cm, segundo Inácio e Miller (2009).

2.2.2 Relação C:N

O carbono é consumido pelos microrganismos como fonte de energia, enquanto que o nitrogênio é utilizado na reprodução celular, assim a relação C:N influencia a degradação dos resíduos, diretamente (BERNAL et al., 2009). Portanto, a qualidade do carbono utilizado é importante para um bom processo de compostagem. Para Kiehl (2010) a relação C:N inicial ideal deve estar entre 25:1 a 35:1, enquanto que para Valente et al. (2009) a relação inicial deve estar próxima de 30:1.

Resíduos com maiores quantidade de nitrogênio em relação à quantidade de carbono apresentam relação C:N inicial baixa, o que pode ocasionar perdas de NH_4 (amônio) por lixiviação ou por volatilização na forma de NH_3 (amônia) ao longo do processo de degradação (BERNAL et al., 2009). Assim, na intenção de evitar perdas de nitrogênio no processo, agentes de volume com altas quantidades de carbono devem ser acrescentados na massa em decomposição (YUAN et al., 2016).

Com o consumo do carbono pelos microrganismos presente na leira, ocorre a liberação de CO_2 , vapor de água e calor, assim a tendência é que a relação C:N diminua até a estabilização do material orgânico. Considerando esta tendência, uma relação C:N ideal ao início da compostagem permite maior degradação de material orgânico em um tempo menor, por consequência, reduzindo o tempo de estabilização do composto.

2.2.3 Temperatura

A temperatura reflete o metabolismo dos microrganismos na leira, configurando uma variável de extrema relevância para indicação da degradação do material orgânico (KIEHL, 2010). Como o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, ocorre a rápida geração de calor e, conseqüentemente, acarreta temperaturas superiores a 40°C nos primeiros dias de compostagem (GAVILANES-TERÁN et al., 2016; MORALES et al., 2016).

As elevadas temperaturas são desejáveis, pois facilitam a eliminação de microrganismos patogênicos e sementes de plantas invasoras, bem como propiciam melhor degradação do material orgânico (CHEN et al., 2014). A Comissão Europeia (2014) estabelece que o material na leira de compostagem deve apresentar temperaturas superiores a 55 °C, em um tempo mínimo de duas semanas, para assegurar sejam eliminados patógenos e sementes de plantas invasoras. Já a Resolução CONAMA Nº 481/2017 indica que a temperatura deve permanecer acima de 65 °C por no mínimo três dias, ou acima de 55 °C por no mínimo 14 dias, para sistemas de compostagem aberto.

Porém, cuidados devem ser tomados, pois temperaturas muito elevadas, acima de 65 °C, podem contribuir para perdas de nitrogênio, com a volatilização da amônia, acarretando em odores desagradáveis (PEREIRA NETO, 2007). A temperatura divide-se em duas fases, a fase termofílica, com predominância de temperaturas entre 40 e 65 °C, e mesofílica apresentando temperaturas abaixo de 40 °C (MATOS, 2014). Na termofílica ocorre a degradação do material orgânico de forma mais intensa, pois há maior atividade dos microrganismos, já na fase mesofílica a intensidade da degradação do material é reduzida (KIEHL, 2010).

2.2.4 Teor de Água

A água é de extrema importância para as necessidades fisiológicas dos microrganismos, preenchendo parte dos microporos do material em decomposição acarretando bom desenvolvimento da degradação (KIEHL, 2010). Pereira Neto (2007), entende que a faixa ideal para fins de atribuição de teor de água é a que aproxima-se de 55% durante o processo de compostagem em sua totalidade. Para Kiehl (2010) o teor de água deve estar entre 40 e 60%.

2.2.5 Aeração

Fator de extrema relevância e essencialidade à massa em decomposição é o oxigênio, pois predomina na compostagem o processo de respiração aeróbia desenvolvida pelos microrganismos presentes (KIEHL, 2010). Além disso, a presença de oxigênio contribui para o controle da temperatura na leira, evitando, assim, a formação de zonas de anaerobiose, o que dificulta a proliferação de moscas e mau cheiro (PEREIRA NETO, 2007). Porém, em excesso a aeração pode ocasionar maior liberação de calor produzido pelos microrganismos, modificando os fatores de temperatura (VALENTE et al., 2009).

A aeração pode ocorrer de forma manual ou mecânica, realizada por máquinas ou utensílios próprios para esta finalidade. O revolvimento do material em degradação fornece oxigênio, e, igualmente, auxilia na liberação do gás carbônico em excesso (KIEHL, 2010).

2.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA COMPOSTOS ORGÂNICOS ESTABILIZADOS

Preocupados com possíveis impactos da aplicação dos resíduos sólidos não estabilizados, no solo e na produção vegetal, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento estabeleceu a Instrução Normativa (IN) Nº 25, de 23 de julho de 2009. Esta IN contém normas, especificações, garantias, tolerâncias, registro, rotulagem de fertilizantes simples, mistos, compostos organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Segundo a instrução, Nº 25/2009, compostos orgânicos derivados de compostagem de resíduos agroindustriais, são tidos como fertilizante orgânico composto. Segundo esta classificação fertilizante orgânico composto é o produto oriundo de processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, proveniente de materiais de origem industrial, animal, vegetal, urbana ou rural. A Instrução Normativa do MAPA, ainda impõe limites para alguns parâmetros

analisados em compostos orgânicos classificados anteriormente. Estes limites são apresentados a seguir (Quadro 1).

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5				
COT (mín.)	15				10
CTC	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C:N (máx.)	20				14
Relação CTC:C	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

Quadro 1 - Especificações dos Fertilizantes Orgânicos Mistos e Compostos.

Fonte: Adaptado de IN 25/2009, BRASIL, 2009.

O processo de compostagem visa estabilização dos resíduos que tenham características que possam causar danos ambientais e/ou sociais. Portanto, a estipulação de normas para controle e aplicação de compostos orgânicos na agricultura de maneira eficaz e segura contribui tanto para o meio ambiente, como para a sociedade em geral.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ÁREA EXPERIMENTAL

Os resíduos orgânicos foram coletados durante três dias distribuídos ao longo de uma semana, em 20 residências da área urbana do município de Marmeleiro, localizado no sudoeste do Estado do Paraná, Brasil.

O processo de compostagem foi conduzido em área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizada no município de Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. A pilha de compostagem foi conduzida em área sem impermeabilização de solo e sem cobertura, visando simular condições reais para aplicação do processo em residências urbanas.

3.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Foi confeccionada uma leira de compostagem em área sem impermeabilização e cobertura. A massa inicial em matéria natural foi de 137,21 kg sendo 86,52 kg de resíduos orgânicos domiciliares e 50,69 kg de poda proveniente de arborização urbana. A massa inicial em matéria seca foi de 54,05 kg. A relação C:N inicial foi de 26,03.

Na montagem, inicialmente foi adicionado poda de arborização urbana para fazer a base da pilha, em seguida os resíduos foram adicionados intercalados com camadas de poda de arborização, finalizando a pilha com poda de arborização visando evitar a exposição dos resíduos e atração de vetores.

Ao longo do processo de compostagem foram realizados sete revolvimentos manuais, com intervalo de tempo indefinido, visando simular um processo real realizado em residências, onde os habitantes podem revolver a pilha de compostagem em intervalos diferentes. No ato de revolvimento da massa em degradação a leira era homogeneizada e dividida em três partes. A partir de cada parte coletou-se uma amostra onde realizou-se o quarteamento para posterior

análises em laboratórios. O processo de estabilização do material em degradação foi finalizado quando a temperatura da pilha apresentou temperatura próxima à ambiente ao longo de alguns dias.

3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.3.1 Temperatura

A temperatura da pilha foi monitorada diariamente com auxílio de termômetro de mercúrio. Os valores foram verificados em três pontos com profundidade aproximada de 25 cm. Com estes dados foram calculados a média diária de temperatura bem como a confecção do perfil térmico e índice exotérmico.

3.3.2 Redução de Massa Seca e Volume

Durante cada revolvimento foram determinados os parâmetros massa seca e volume da pilha de compostagem. O valor de massa seca foi determinado pesando a matéria natural, com auxílio de balança digital. Os valores da pesagem foram corrigidos para massa seca com os valores de teor de água determinados em laboratório. Após a pesagem, os resíduos foram acondicionados em recipiente com dimensões conhecidas objetivando conhecer o volume.

3.3.3 pH e Condutividade Elétrica

Para determinação de pH e condutividade elétrica (CE), pesou-se 10g de amostra *in natura*, seguido da adição de 50 mL de água destilada. Posteriormente o material foi agitado por 30 minutos a 250 rpm em mesa agitadora (TEDESCO et al.,

1995). As leituras foram realizadas com auxílio de pHmetro e condutivímetro de bancada.

3.3.4 Sólidos Voláteis, Perdas de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico Total

Os valores de carbono orgânico total (COT) foram obtidos por gravimetria segundo Carmo e Silva (2012). As amostras secas a 105 °C foram encaminhadas ao forno mufla em temperatura de 550 °C por duas horas. Após esse período foram pesadas em balança de precisão, determinando-se o valor de sólidos voláteis (Matéria orgânica). O teor de COT nas amostras será determinado por meio da divisão do teor de sólidos voláteis por 1,8. As perdas de matéria orgânica foram calculadas a partir dos conteúdos de cinzas inicial (X_1) e final (X_2) para cada leira (Equação 1), de acordo com Paredes et al., (2000).

Eq. (1)

$$\text{Perdas de MO (\%)} = 100 - 100 \frac{[X_1(100 - X_2)]}{[X_2(100 - X_1)]}$$

3.3.5 Teste de Fitotoxicidade

O índice de germinação foi determinado por metodologia de Zucconi et al. (1981) adaptada por Saidpulichino et al. (2007), utilizando o extrato aquoso. Para isto, o teste de germinação foi realizado com 10 sementes de *Lepidium sativum* (agrião de jardim) introduzidas em placas Petri com folha dupla de papel filtro, umedecidas com 3 mL do extrato aquoso. Posteriormente foram levadas a câmara BOD, por 72h à uma temperatura de 26 °C. Além disso, foram utilizadas como controle placas umedecidas com água destilada. O teste de fitotoxicidade foi calculado por meio do índice de germinação (Equação 2) como o produto da porcentagem de sementes viáveis, o número de sementes germinadas e o crescimento das raízes.

Eq. (2)

$$IG (\%) = \frac{NG_{ext} \cdot LR_{ext}}{NG_{cont} \cdot LR_{cont}} \cdot 100$$

Onde:

NG_{ext} - número de sementes germinadas no extrato;

NG_{cont} - número de sementes germinadas no controle;

LR_{ext} - comprimento médio das radículas do extrato (cm);

LR_{cont} - comprimento médio das radículas do controle (cm).

3.3.6 Nitrogênio Total Kjeldahl

Para determinação de nitrogênio total kjeldahl as amostras foram secas em estufa a temperatura de 50 °C e trituradas. Posteriormente, foram encaminhadas para bloco digestor a 350 °C com ácido sulfúrico, seguido de destilação em destilador Kjeldahl. Por fim foram tituladas com ácido sulfúrico 0,025 mol.L⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1997).

3.3.7 Relação C:N

A relação C:N foi determinada pela simples razão entre os valores de carbono orgânico total e nitrogênio total kjeldahl (Equação 3), que foram determinados conforme metodologias supracitadas.

Eq. (3)

$$\text{Relação C:N} = \frac{COT}{N}$$

3.3.8 Capacidade de Troca de Cátions e Relação CTC:C

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi determinada de acordo com MAPA (2014). Aproximadamente 2,0 g de amostra, 1,0 g de carvão ativado e 100 ml de HCl (0,5 mol.L⁻¹) foram misturados e agitados durante 30 minutos em mesa agitadora. Além de uma solução em branco, formada por apenas 1,0 g de carvão ativado e 100 ml de HCl. Após a agitação, realizou-se a filtração sob vácuo reduzido. O sólido retido no filtro foi enxaguado em filtração a vácuo com 10 ml de solução de carbonato de cálcio (pH 7,0) e com 350 mL de água destilada. Este último filtrado foi titulado com solução de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ utilizando fenolftaleína como indicador. Desta maneira foi possível determinar a CTC dos compostos orgânicos. A relação CTC:C foi calculada pela razão entre o valor CTC e de COT (Equação 4).

Eq. (4)

$$CTC \text{ (mmol/kg)} = \frac{1000 M (V_a - V_b)}{G}$$

Onde:

V_a: volume de NaOH 0,1M gasto na titulação da amostra (mL);

V_B: volume médio de NaOH 0,1 M gasto na titulação das provas em branco (mL);

G: massa da amostra (g);

M: concentração molar da solução de NaOH padronizada.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As perdas de matéria orgânica durante o processo de degradação foram ajustadas para uma função cinética de primeira ordem (BERNAL et al., 1996; PAREDES et al., 2000). Este modelo foi determinado como o melhor ajuste por proporcionar uma distribuição aleatória dos resíduos, menor valor do quadrado médio residual (QMR) e um valor F significativo (Equação 5).

$$\text{Perda de MO (\%)} = A (1 - e^{-kt}) \quad \text{Eq.(5)}$$

Em que A é a degradação máxima de matéria orgânica (% C), k é a constante de taxa (d^{-1}) e t é o tempo de compostagem (dias). Os valores de RMS e F foram calculados para comparar os ajustes de diferentes funções e a significância estatística da curva de ajuste.

Para determinação do comportamento dos parâmetros temperatura, massa seca, volume, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, índice de germinação e acúmulo exotérmico, ao longo do processo de compostagem, foram submetidos a análise de componentes principais (ACP). Os componentes principais foram extraídos da matriz de correlação das variáveis originais, evitando a interferência das unidades das variáveis observadas. O critério adotado para a seleção das componentes principais foi o da proporção acumulada de explicação mínima de 70% da variância total dos dados (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TEMPERATURA

Monitorar a temperatura no processo de compostagem torna-se importante, pois indica a degradação do material orgânico inicial. A temperatura ao longo do processo de compostagem apresenta basicamente duas etapas, sendo fase termofílica com temperaturas acima de 40 °C e fase mesofílica com temperaturas abaixo de 40 °C (KIEHL, 2010). As elevadas temperaturas são importantes também para a eliminação de sementes de plantas invasoras e microrganismos patogênicos (CHEN et al., 2014).

Analisando os resultados obtidos para o processo de compostagem (Figura 1 e Tabela 1) é possível observar que a fase termofílica esteve presente ao longo de 19 dias do processo, sendo o restante fase mesofílica. Observa-se também a rápida elevação da temperatura nos primeiros dias, fenômeno que ocorre devido à grande atividade metabólica dos microrganismos presentes no meio, em função das condições ideais do processo, principalmente relação C:N ideal (KIEHL, 2010).

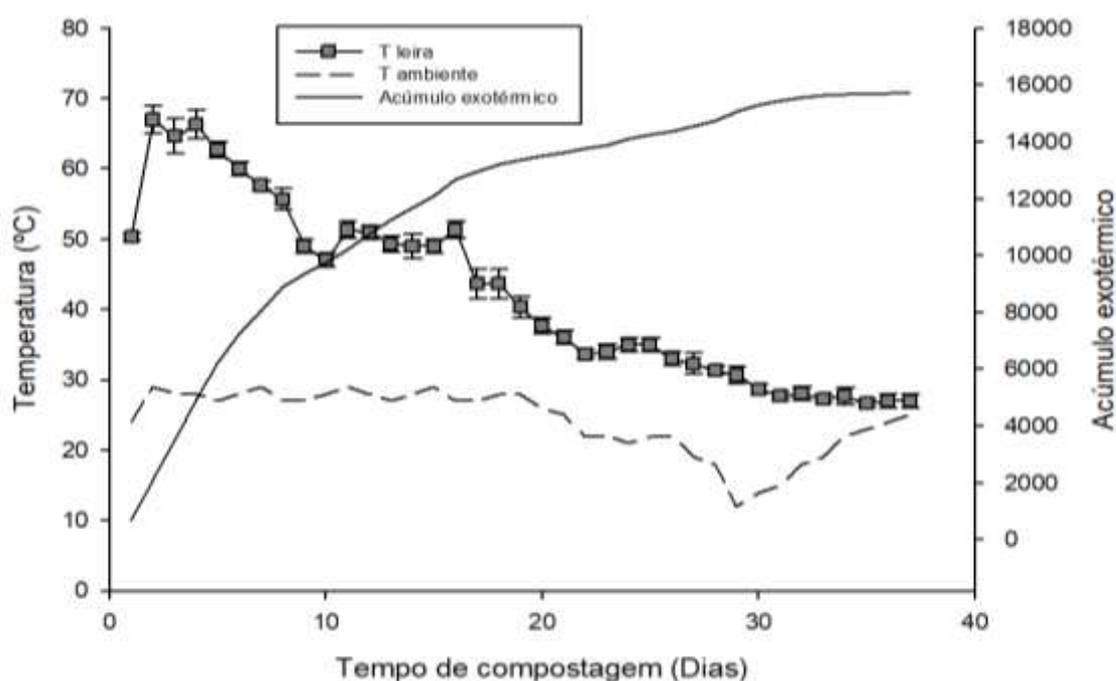


Figura 1 – Perfil Térmico do Processo de Compostagem.
Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 1 - Parâmetros de Controle de Temperatura Desenvolvidos Durante o Processo de Compostagem.

Parâmetro	Valor
Duração fase termofílica ^a (dias)	19
Temperatura máxima (°C)	67
Dia que apresentou temperatura máxima	2º
Dias com temperaturas ≥ 65 °C	3
EXI ² ^b	15702
EXI ² /tempo de compostagem	424,37

Fonte: A autoria própria (2018).

^a Fase termofílica: temperaturas > 40 °C

^b EXI: Acumulação exotérmica: soma quadrática da diferença diária entre a temperatura média da pilha e a temperatura ambiente durante a fase de estabilização.

O acúmulo exotérmico (Tabela 1) é a soma quadrática da diferença diária entre a temperatura média da pilha de compostagem e a temperatura ambiente e apresenta a eficiência do processo de degradação, pois leva em consideração a elevação da temperatura. Os valores encontrados para a relação EXI² / número de dias de compostagem (Tabela 1), são similares aos valores encontrados por Pelegrín et al., (2018), confirmando a eficiência de degradação do material.

4.2 REDUÇÃO DE MASSA SECA E VOLUME

Analisar a redução de massa seca e volume (Figura 2 e Figura 3) torna-se importante pois afeta diretamente o dimensionamento de pátios de compostagem, bem como a definição do espaço utilizado para conduzir o processo (JURADO et al., 2014). Esta redução ocorre devido a degradação de matéria orgânica ao longo do processo (BERNAL et al., 2009).

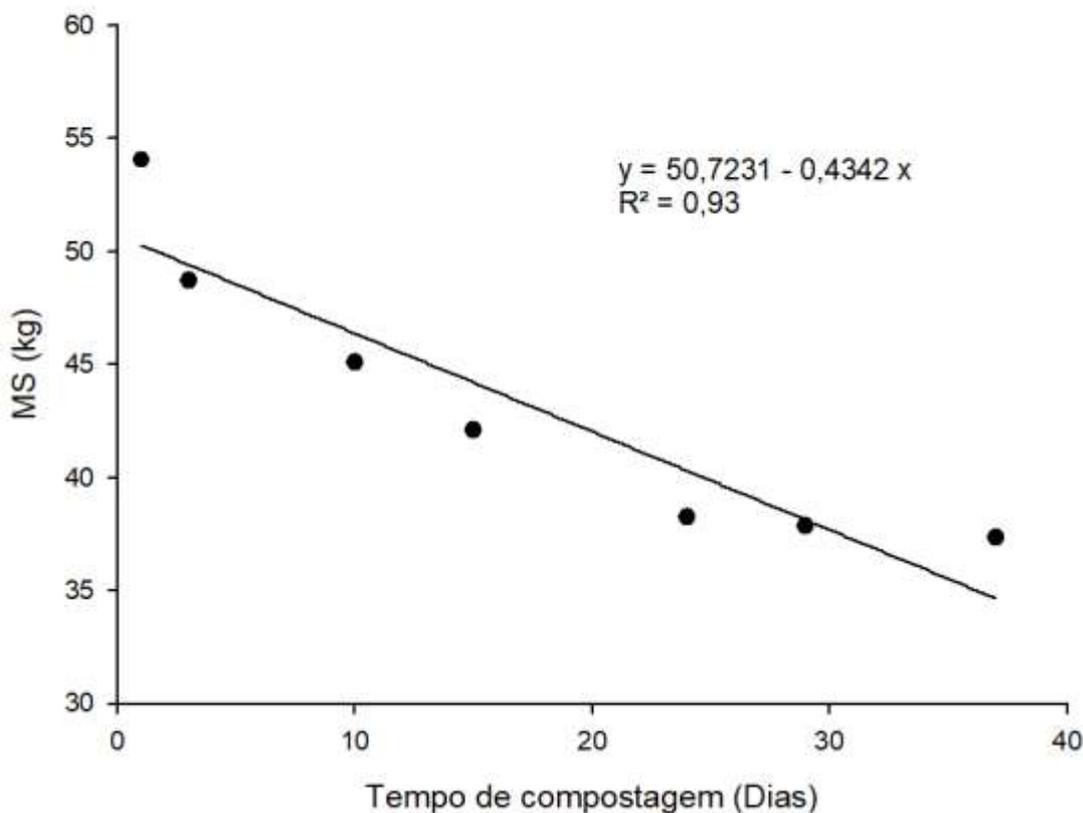


Figura 2 – Redução de Massa Seca ao Longo do Processo de Compostagem (kg)
Fonte: Autoria própria (2018).

Segundo Kiehl (1985), a redução ideal de massa seca é aproximadamente de 50% para compostagem conduzidas entre 90 e 120 dias. Para este experimento foi verificada redução de massa seca de 30,93% (Tabela 2) devido ao menor tempo de processo (37 dias). Valor próximo (36%) foi encontrado por Chiarelotto (2018) em compostagem de resíduos orgânicos agroindustriais ao longo de 35 dias de processo.

Tabela 2 - Parâmetros de Controle de Temperatura Desenvolvidos Durante o Processo de Compostagem

Parâmetro		Leira
Matéria seca (kg)	Inicial	54,05
	Final	37,33
	% de redução	30,93
Volume (m³)	Inicial	0,414
	Final	0,226
	% de redução	45,41

Fonte: Autoria própria (2018).

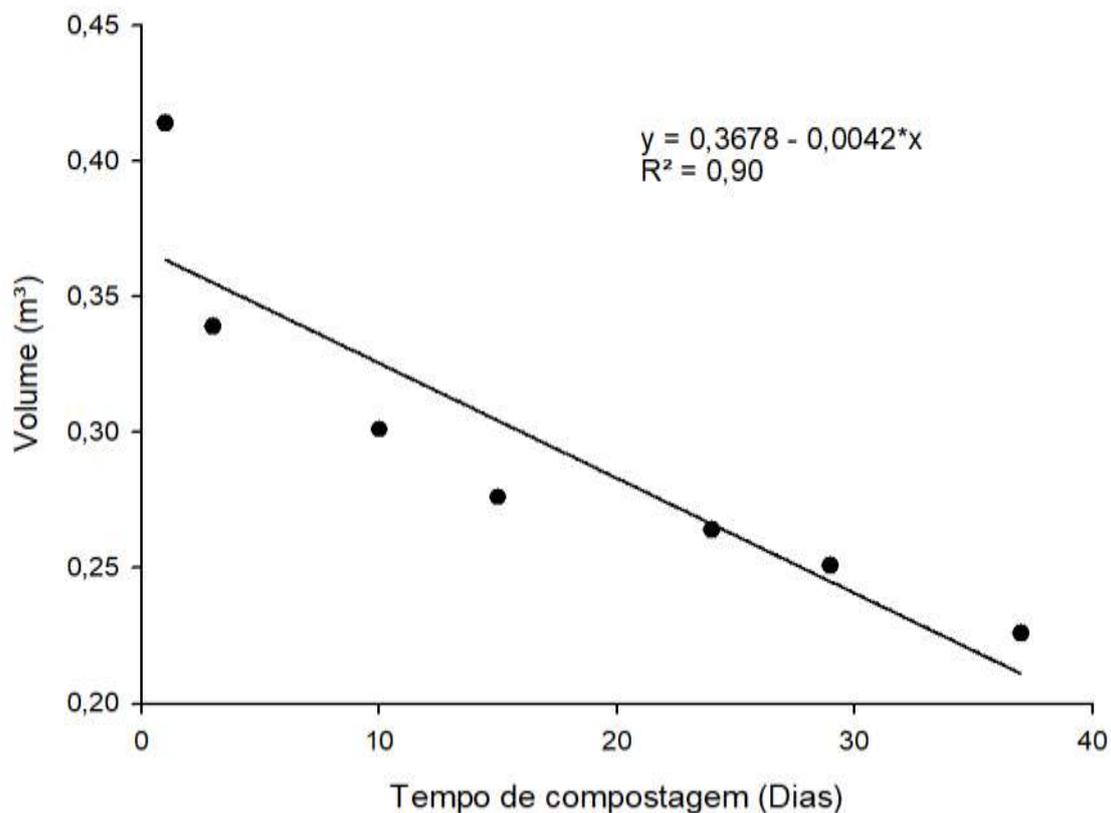


Figura 3 – Redução de Volume ao Longo do Processo de Compostagem (m³)
Fonte: Autoria própria (2018).

Segundo Kiehl (2010) a redução de volume esperada para processo de compostagem conduzido de 90 a 120 dias é de 33%, podendo variar de acordo com as características dos resíduos. A redução observada para este experimento foi de 45,41% em processo conduzido por 37 dias. Este comportamento foi proveniente das características iniciais dos resíduos adicionados à pilha de compostagem, sendo compostos em sua maioria por resíduos vegetais de fácil degradação inicial. Portanto a porcentagem de redução verificada foi satisfatória para esta composição inicial.

4.3 PERDAS DE MATÉRIA ORGÂNICA

A degradação de matéria orgânica no processo de compostagem é proveniente do metabolismo de microrganismos aeróbios presentes no material em degradação. Neste experimento verificou-se uma redução de 30,76% (Tabela 3) de matéria orgânica ao longo dos 37 dias de compostagem. Porém destaca-se que redução mais intensa (24,13%) ocorreu nos primeiros 24 dias de processos (Tabela 3), correspondendo à fase em que são detectadas maiores temperaturas (Figura 4) e máxima atividade dos microrganismos (GAVILANES-TERÁN et al., 2016).

Tabela 3 - Concentração Inicial e Final de Matéria Orgânica.

Tempo de compostagem (Dias)	Matéria orgânica (%)	Redução acumulada (%)
1	76,84	
3	72,11	6,15
10	64,97	15,45
15	60,49	21,28
24	58,30	24,13
29	56,50	26,47
37	53,20	30,76

Fonte: Autoria própria (2018).

Com os valores de redução de matéria orgânica, determinou-se o perfil de degradação deste constituinte, seguindo uma equação cinética de primeira ordem. O ajuste da curva para este experimento gerou os valores dos parâmetros (desvio padrão entre parênteses) apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de Parâmetros da Equação de Primeira Ordem que Descreve a Degradação da Matéria Orgânica.

	A	k	F	R ² a	RMS	SEE	A * k
Leira	64,29 (3,06)	0,1147 (0,019)	233,6	0,97	14,51	3,8087	7,37

Fonte: Autoria própria (2018).

A= degradação máxima de MO (%C); k = taxa constante (d⁻¹); R²a= coeficiente de determinação ajustado; RMS = quadrado médio residual; SEE= erro padrão de estimativa.

A equação foi significativa em $p < 0,001$, sendo o ajuste satisfatório. O valor de mineralização máxima da matéria orgânica observado (A) está de acordo com intervalo verificado por Bernal et al. (1996) em um experimento de compostagem conduzido com bagaço de sorgo, lodo de esgoto e esterco animal (68,3 e 60,2%),

por Paredes et al., (2000) em estudo com quatro compostos de águas residuais de moinho de azeitona, preparado com três resíduos orgânicos como fonte de N e dois agentes de volume diferentes, encontrando mineralização máxima entre 55,0 e 72,5% de matéria orgânica e por Bustamante et al., (2008), em experimento de co-compostagem de resíduos orgânicos de destilaria com estrume animal (74,4 e 54,5%). Todos os estudos mencionados apresentaram tempos de compostagem diferentes, porém mineralização máxima de matéria orgânica similares.

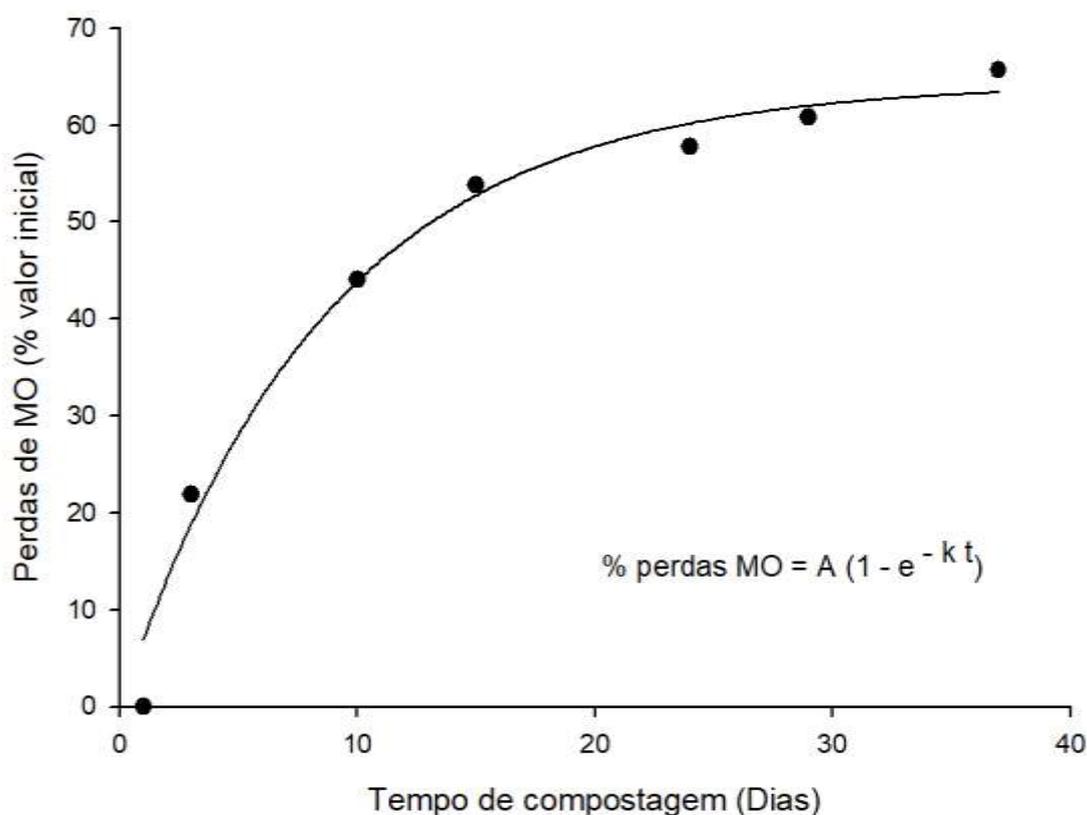


Figura 4 – Perdas de Matéria Orgânica ao Longo do Processo de Compostagem
 Fonte: Autoria própria (2018).

A taxa de degradação de matéria orgânica verificada (Tabela 4) indica uma intensa degradação do material em decomposição em um curto período de processo. Esse resultado reforça a afirmação supracitada de que a maior intensidade de degradação ocorre no início do processo de compostagem, comportamento também observado por Bernal et al. (1996), Paredes et al. (2000), Gavilanes-Terán et al. (2016) e Chiarelto (2018).

4.4 pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

O processo de compostagem iniciou com pH de 5,11 considerado ácido (Figura 5), principalmente devido a composição da massa a ser compostada com presença de frutas cítricas e alimentos temperados. Após 10 dias de degradação observou-se um aumento do pH alcançando valores alcalinos, permanecendo até o término do processo de degradação. Este comportamento também foi verificado por Valente et al. (2017) em compostagem de resíduos de peixes e Vich et al. (2017) em compostagem de resíduos domiciliares em pequena escala, e pode ser ocasionado devido à produção de amônia em associação à degradação de proteínas, juntamente com a volatilização de ácidos orgânicos no período de altas temperaturas (PANDEY et al., 2016).

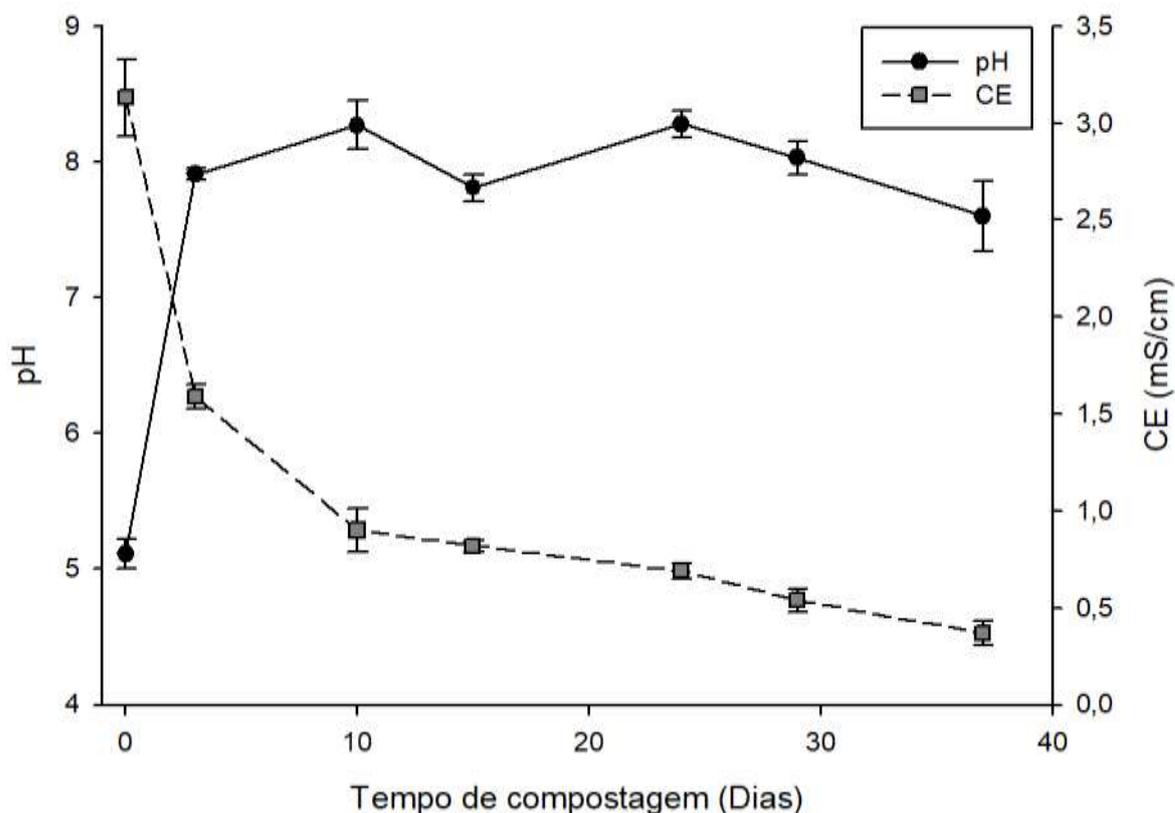


Figura 5 – pH e CE ao Longo do Processo de Compostagem.
 Fonte: Autoria própria (2018).

A condutividade elétrica apresentou redução de 3,13 para 0,9 mS cm⁻¹ (Figura 5) nos primeiros 10 dias de compostagem. Este comportamento também foi

observado por Paredes (2002) em compostagem de palha de milho, resíduo de algodão e lodo de estação de tratamento de água, podendo ser explicada devido à lixiviação e sais presentes no material em degradação, ocasionada pela adição de água além da capacidade de absorção da pilha de compostagem no início da degradação.

4.5 FITOTOXICIDADE DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Um método muito eficiente para avaliar a fitotoxicidade de compostos orgânicos provenientes do processo de compostagem é o índice de germinação (IG) (BUSTAMANTE et al., 2008; BERNAL et al., 2009). Além da fitotoxicidade este teste também pode apresentar o grau de estabilização e maturação dos compostos (RASHAD et al., 2010; BELO, 2011; GUIDONI et al., 2018).

Para o processo de compostagem analisado, verificou-se que ao início da degradação o índice de germinação apresentado foi de 45,27 % (Figura 6), indicando a presença de compostos fitotóxicos de acordo com a classificação apresentada por Bustamante et al. (2008) e Bernal et al. (2009) que indicam que índice de germinação abaixo de 50% indica a presença de substâncias fitotóxicas para crescimento das raízes. Já Belo (2011) apresenta que compostos com IG entre 30 e 60% apresentam fitotoxicidade. Esta fitotoxicidade pode estar atrelada a presença de ácidos orgânicos voláteis indicados pela verificação de pH ácido, bem como a condutividade elétrica mais elevada nesta etapa do processo de degradação.

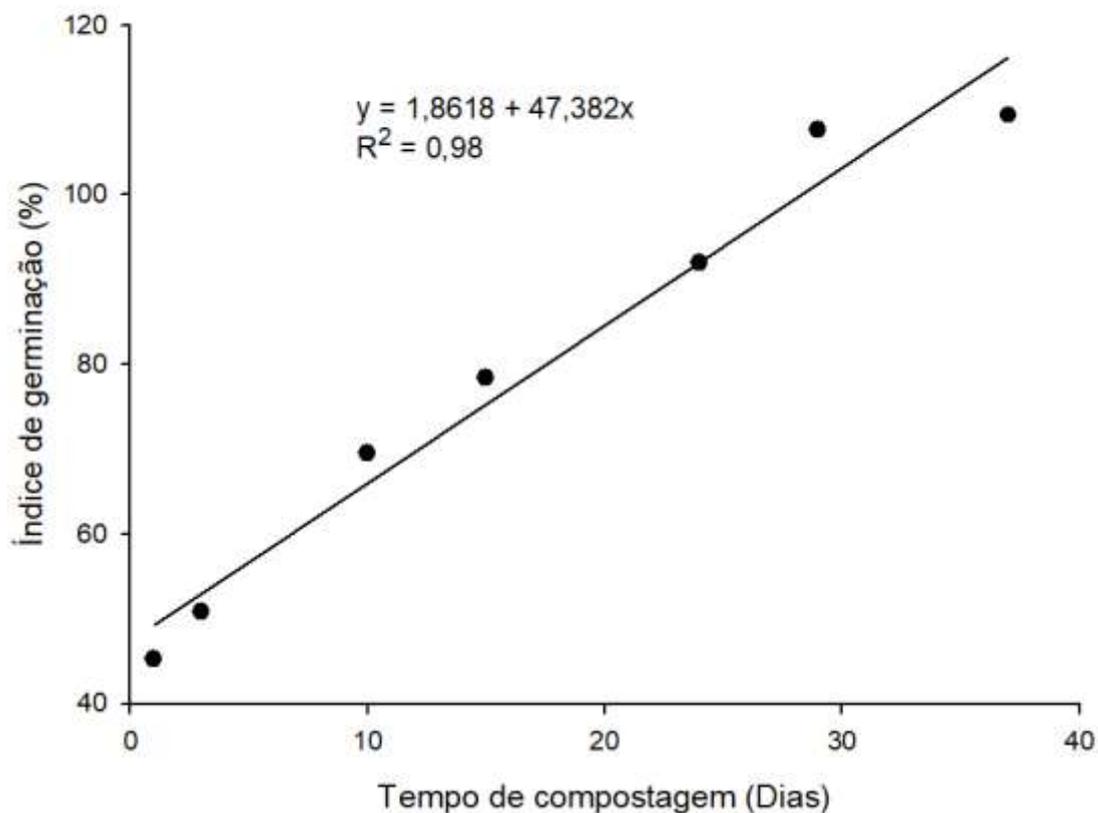


Figura 6 – Índice de Germinação ao Longo do Processo de Compostagem (%).
Fonte: Autoria própria (2018).

Com o passar do tempo de compostagem verifica-se que o índice de germinação aumentou gradativamente, passando de fitotóxico ao início para moderadamente fitotóxico entre 10 e 15 dias de compostagem. Entre 15 e 24 dias de processo, verificou-se que a fitotoxicidade não estava mais presente, e após 29 dias de processo constatou-se que o composto apresentava-se como fitoestimulante, de acordo com classificação proposta por Belo (2011).

4.6 ANÁLISE MULTIVARIADA DO COMPOSTAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Com o objetivo em contribuir na interpretação dos resultados referentes aos parâmetros avaliados ao longo do processo de compostagem, a análise de

componentes principais (ACP) apresenta-se como uma alternativa eficiente (Figura 7).

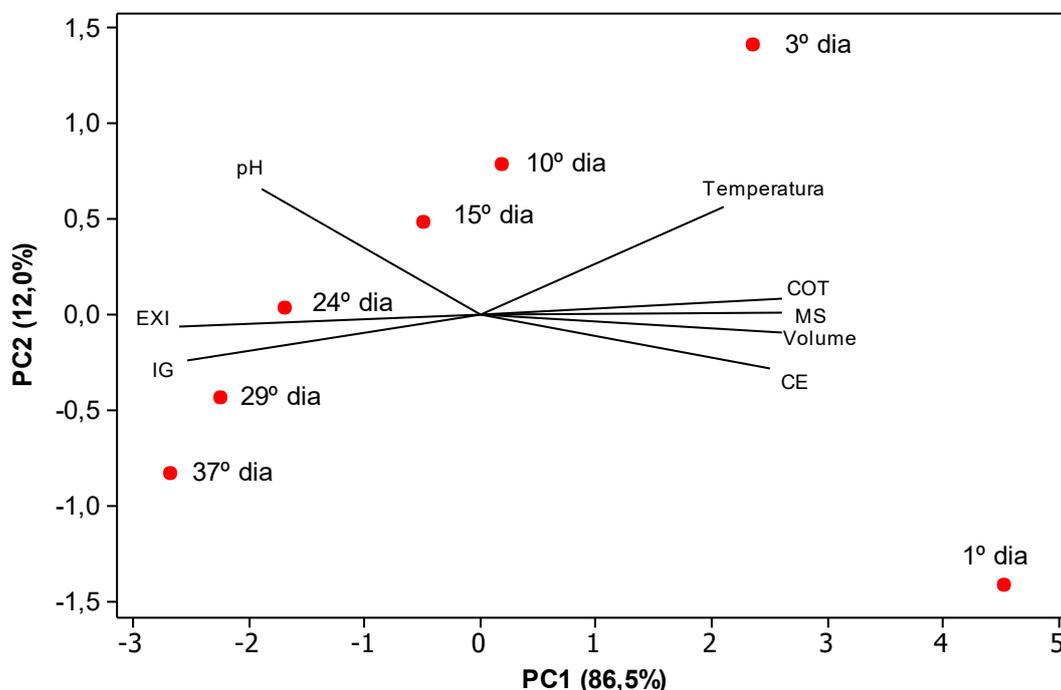


Figura 7 – Gráfico Bibplot Análise de Componentes Principais.
Fonte: Autoria própria (2018).

O componente principal 1 (PC1) localizado no eixo horizontal apresentou 86,5% da variância total dos dados analisados, apresentando a explicação das variáveis carbono orgânico total (COT), massa seca (MS), volume, condutividade elétrica (CE), índice de germinação (IG) e acúmulo exotérmico (EXI). Portanto, as variáveis COT, MS, volume e CE correlacionam-se positivamente com a componente principal 1, confirmando que os maiores valores observados para estas variáveis referem-se ao primeiro dia de degradação, seguindo para o terceiro, décimo, sendo os menores valores detectados no último dia de processo (37º dia).

As variáveis IG e EXI correlacionam-se negativamente com a componente principal 1, indicando neste caso que os maiores valores observados foram detectados nos dias finais do processo de compostagem e os menores valores para estas variáveis foram observados nos primeiros dias da degradação.

O componente principal 2 é responsável por 12,0% da variância total dos dados, portanto, componente principal 1 e 2 totalizam explicação de 98,5% da variância dos dados. As variáveis pH e temperatura são explicadas por ambos os

componentes principais. Neste caso é possível observar que os maiores valores observados para a variável temperatura foram detectados no terceiro dia de compostagem e os menores valores no último dia de processo (37º dia). O pH apresentou-se oscilante ao longo da degradação dos resíduos, porém por meio do gráfico biplot (Figura 7) verifica-se que os maiores valores apresentados foram observados no 10º e 24º dia de processo, sendo o menor valor observado no primeiro dia de degradação. A análise estatística de componentes principais confirma o comportamento das variáveis verificado ao longo da discussão deste trabalho.

4.7 CARACTERÍSTICAS FINAIS DO COMPOSTO ESTABILIZADO

As características iniciais e finais dos compostos orgânicos, são apresentados na Tabela 5. A variável condutividade elétrica apresentou redução em relação ao início do processo. Este comportamento pode ser relacionado com a lixiviação de sais devido a adição de água na pilha para controle da umidade (PAREDES, 2002).

O comportamento do pH seguiu o esperado em processos de compostagem, apresentando-se ácido ao início do processo e alcalino ao término da degradação dos resíduos orgânicos (TURAN, 2008). O valor do pH para o composto orgânico final também está dentro dos limites determinados (Tabela 5) pela Instrução Normativa Nº 25/2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O carbono orgânico total (COT) também apresentou redução comparando início do processo com final, estando o valor final de acordo com a IN 25/2009 (Tabela 5). A redução do COT no processo de compostagem está relacionada à intensa atividade dos microrganismos, principalmente na fase termofílica do processo (GAVILANES-TERÁN et al., 2016). A concentração de nitrogênio total apresentou-se dentro dos limites determinados pela IN 25/2009.

A redução da relação C:N comparando início e término do processo de estabilização, foi ocasionada pela redução de COT durante a compostagem, pois as concentrações de nitrogênio total permaneceram próximas. A relação C:N detectada

no composto orgânico final (Tabela 5) atende a IN 25/2009, sendo este parâmetro muito utilizado como indicador do término do processo de degradação (AWASTHI et al., 2014; CHEN et al., 2015; ONWOSI et al., 2017).

Tabela 5 - Principais Características Iniciais e Finais do Processo de Compostagem.

Parâmetros	Inicial	Final	IN 25/2009 MAPA
CE (mS cm ⁻¹)	3,13±0,21	0,37±0,6	NS
pH	5,11±0,11	7,60±0,26	Mínimo 6,0
COT (%)	42,69±1,74	29,56±0,49	Mínimo 15
N (%)	1,64	1,74	Mínimo 0,5
Relação C:N	26,03	16,99	Máximo 20
CTC (cmol kg ⁻¹)	27,2±0,8	57,8±1,1	CD
Relação CTC:COT	0,64±0,08	1,95±0,1	CD
IG (%)	45,27±0,8	109,43±0,8	NS

Fonte: Autorial própria (2018).

CE: condutividade elétrica; COT: carbono orgânico total; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca de cátions; IG: índice de germinação; NS: não solicitado; CD: conforme declarado.

Os valores para capacidade de troca de cátions (CTC) e relação CTC:COT aumentam significativamente entre o início e término do processo de compostagem (Tabela 5). Segundo Roig et al., (1988) e Bernal et al., (2009), estas variáveis estão relacionadas ao processo de humificação da matéria orgânica. Para valores de CTC, Bernal et al., (2009) indica valor superior a 60 cmolc kg⁻¹, neste caso os valores apresentados foram próximos ao indicado (Tabela 5). Já para relação CTC:COT Roig et al., (1988) indica valor mínimo de 1,7 para boa humificação dos compostos orgânicos. Neste caso os valores observados estão de acordo com a indicação do autor, bem como próximo de valores encontrados por Bustamante et al., (2008) em co-compostagem de resíduos de destilaria com estrume animal, com valores de 2,36 e 2,72 em dois compostos maturados; e Gavilanes-Terán et al., (2016) em compostagem com resíduos hortícolas, verificando relação CTC:COT de 1,11 e 1,29 em duas composições diferentes do material orgânico.

Um dos parâmetros mais utilizados para apresentar o grau de estabilização, bem como a fitotoxicidade de um composto é o índice de germinação (BUSTAMANTE et al., 2008; RASHAD et al., 2010; BELO, 2011; GUIDONI et al., 2018). Verificou-se que ao início do processo de compostagem os valores apresentados (Tabela 5) eram classificados como fitotóxicos de acordo com Bernal et al., (2009) e Belo (2011). Finalizado o processo de degradação, após 37 dias, os

compostos orgânicos apresentaram-se como fitoestimulantes (>100%) de acordo com Belo (2011).

Portanto, verificando os parâmetros finais para o composto orgânico proveniente da degradação de resíduos orgânicos domiciliares urbanos ao longo de 37 dias, é possível afirmar que os valores encontrados estão de acordo com a IN 25/2009 do MAPA, bem como dentro dos limites indicados por pesquisadores da área.

5 CONCLUSÕES

Por meio dos parâmetros de controle avaliados ao longo do processo de compostagem dos resíduos orgânicos domiciliares, comprova-se a sanitização do composto devido às elevadas temperaturas, bem como a redução chegando à ausência de fitotoxicidade, além das reduções de massa, volume e relação C:N, indicando a eficiência do processo.

Ao término do processo de estabilização, o composto orgânico produzido estava de acordo com os limites dos parâmetros indicados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento por meio da Instrução Normativa Nº 25/2009. Portanto, o processo de compostagem em pilhas, torna-se eficiente, viável e seguro para o tratamento de resíduos orgânicos domiciliares, podendo seu produto final ser utilizado na produção vegetal.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, SP, 2017.

AWASTHI, M. K.; PANDEY, A. K.; KHAN, J.; BUNDELA, P. S.; WONG, J. W. C.; SELVAM, A. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 214-221, 2014.

BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

BERNAL, M. P.; NAVARRO, A. F.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; GARCÍA, D. Carbon and nitrogen transformation during composting of sweet sorghum bagasse. **Biology and Fertility of Soils**, v. 22, n. 1-2, p. 141-148, 1996.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, 23 de julho de 2009**. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 46 de 06 de outubro de 2011**. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.

BUSTAMANTE, M. A.; PAREDES, C.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BERNAL, M. P.; MORAL, R. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. **Chemosphere**, v. 72, n. 4, p. 551-557, 2008.

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, 2012.

CHEN, Y.; YU, F.; LIANG, S.; WANG, Z.; LIU, Z.; XIONG, Y. Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 2014-2021, 2014.

CHEN, Z.; ZHANG, S.; WEN, Q.; ZHENG, J. Effect of aeration rate on composting of penicillin mycelial dreg. **Journal of Environmental Sciences**, v. 37, p. 172-178, 2015.

CHIARELOTTO, M. **Redução do tempo de compostagem de resíduos agroindustriais: efeito nos parâmetros de controle e na qualidade do composto final**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

COMISSÃO EUROPEIA. **End-of-waste Criteria for Biodegradable Waste Subjected to Biological Treatment (Compost & Digestate)**: Technical Proposals, 2014. Disponível em: <<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>>.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº 418 de 03 de outubro de 2017. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2017.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**, 2.ed. Lavras: UFLA, 2011.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C. Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador. **Waste Management**, v. 48, p. 127-134, 2016.

GONÇALVES, A. T. T.; MORAES, F. T. F.; MARQUES, G. L.; LIMA, J. P.; LIMA, R. S. Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review. **Revista Ambiente & Água**, v. 13 n. 2, 2018.

GUIDONI, L. L. C.; MARQUES, R. V.; MONCKS, R. B.; BOTELHO, F. T.; PAZ, M. F. da; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, E. K. Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 141-150, 2018.

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

JURADO, M. M.; LÓPEZ, M. J.; MORENO, J. Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 11, p. 1958-1969, 2014.

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

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

LOUREIRO, S.; ROVERE, E.; MAHLER, C. Analysis of Potential for Reducing Emissions of Greenhouse Gases in Municipal Solid Waste in Brazil, in the State and City of Rio de Janeiro. **Waste Management**, v. 33, p. 1302-1312, 2013.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T. de; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. D. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.

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

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**, v. 121, p. 186-197, 2016.

ONWOSI, C. O.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017.

PANDEY, P.K.; CAO, W.; WANG, Y.; VADDELLA, V.; CASTILHO, A.R.; SOUZA, A.; DEL RIO, N.S. Simulating the effects of mesophilic anaerobic and aerobic digestions, lagoon system, and composting on pathogen inactivation. **Ecological Engineering**, v. 97, p.633- 641, 2016.

PAREDES, C.; ROIG, A.; BERNAL, M. P.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, n. 3, p. 222-227, 2000.

PAREDES, C. Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 85, p. 1-8, 2002.

PATEL, M. L.; JAIN, R.; SAXENA, A. Assessment of the Municipal Solid Waste & Status of Implementation of Municipal Solid Waste (Management & Handling), Rules, 2000 in the State of Madhya Pradesh, 2008 - A case study. **Waste Management & Research**, v. 29, p. 558-562, 2010.

PEIXOTO, R. T. dos G. **Compostagem**: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988.

PELEGRÍN, M.; SÁEZ-TOVAR, J. A.; ANDREU-RODRÍGUEZ, J.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; MARTÍNEZ-SABATER, E.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BUSTAMANTE, M. A.; AGULLÓ, E.; VICO, A.; PAREDES, C.; MORAL, R. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. **Waste Management**, v. 78, p. 730-740, 2018.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Viçosa: UFV, 2007.

RASHAD, F. M.; SALEH, W. D.; MOSELHY, M. A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 15, p. 5952-5960, 2010.

ROIG, A.; LAX, A.; CEGARRA, J.; COSTA, F.; HERNANDEZ, M. T. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manure. **Soil Science**, v.146, p 311-316, 1988.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007.

SINGH, J.; LAURENTI, R.; SINHA, R.; FROSTELL, B. Progress and challenges to the global waste management system. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9, p. 800-812, 2014.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed., Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p

TURAN, N. G. The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2097–2101, 2008.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JÚNIOR, B. de S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arquivos de Zootecnia**, v.58, p. 59-85, 2009.

VALENTE, B. S.; ANDREAZZA, R.; XAVIER, E. G.; GOMES, M. C.; PEREIRA, H. D. S.; ÁVILA, F. D. D. Composting for valuation of marine fish waste. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.18, n.4, p. 594-603, 2017

VICH, D. V.; MIYAMOTO, H. P.; QUEIROZ, L. M.; ZANTA, V. M. Household food-waste composting using a small-scale composter. **Revista Ambiente & Água**, v. 12 n. 5, 2017

YUAN, J.; CHADWICK, D.; ZHANG, D.; LI, G.; CHEN, S.; LUO, W.; DU, L.; HE, S.; PENG, S. Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting. **Waste Management**, v. 56, p. 403-410, 2016.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. de. Evaluating toxicity of immature compost. **BioCycle**, v. 22, p. 54-57, 1981.