

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

MAÍRA MENEZES PENTEADO

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E DAS POTENCIALIDADES
TOXICOLÓGICAS DA COMPOSTAGEM EM GARRAFAS PET

VOLTA REDONDA
2016

MAÍRA MENEZES PENTEADO

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E DAS POTENCIALIDADES
TOXICOLÓGICAS DA COMPOSTAGEM EM GARRAFAS PET

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª FABIANA SOARES DOS SANTOS

Co-orientadora: Prof^ª Dr^ª PATRICIA ALVES CARNEIRO

Volta Redonda, RJ

2016

P419 Penteado, Maíra Menezes.

Avaliação da composição nutricional e das potencialidades toxicológicas da compostagem em garrafas pet / Maíra Menezes Penteado – Volta Redonda, 2016.

74 f. il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) –
Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Fabiana Soares dos Santos

Coorientador: Patricia Alves Carneiro

1. Matéria orgânica. 2. Formaldeído. 3. Acetaldeído.
4. Antimônio. I. Santos, Fabiana Soares dos. II. Carneiro, Patricia
Alves. III Título.

CDD 631.81

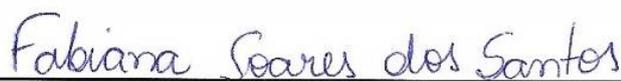
MAÍRA MENEZES PENTEADO

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E DAS POTENCIALIDADES
TOXICOLÓGICAS DA COMPOSTAGEM EM GARRAFAS PET

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Tecnologia Ambiental da
Universidade Federal Fluminense, como
requisito parcial à obtenção do título de Mestre
em Tecnologia Ambiental

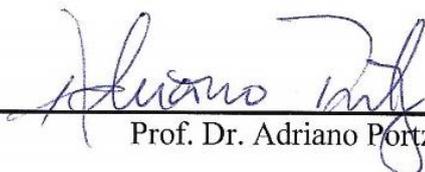
Aprovada em 28 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

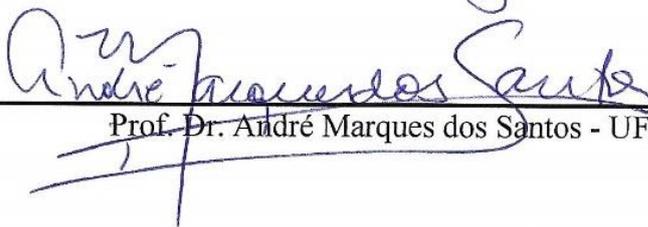


Prof^a Dr^a Fabiana Soares dos Santos – UFF

Orientadora



Prof. Dr. Adriano Portz – UFF



Prof. Dr. André Marques dos Santos - UFRRJ

Volta Redonda

2016

Dedico esta dissertação aos meus alunos, minha principal motivação.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), que me concedeu a bolsa de estudos, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pelo fomento concedido para a viabilização do projeto.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e do curso de Engenharia de Agronegócio da Universidade Federal Fluminense, sempre solícitos e dispostos a contribuir com os trabalhos.

Aos técnicos do EEIMVR e do ICEX e aos alunos estagiários e de iniciação científica, por toda a ajuda e disponibilidade.

Às minhas orientadoras, que além de me guiarem, ainda dividiram comigo as angústias e conquistas deste trabalho.

À minha família de sangue e de coração, pelo incentivo, apoio, troca de ideias e, acima de tudo, compreensão.

“A responsabilidade social e a preservação ambiental significa um compromisso com a vida.”

João Bosco da Silva

RESUMO

A compostagem domiciliar pode ajudar a reduzir significativamente a quantidade de lixo gerado em ambientes urbanos, considerando que cerca de 50% do total enviados a aterros sanitários é matéria orgânica. A compostagem em garrafas PET surge como uma alternativa para espaços restritos. Por isso, o projeto consiste na montagem de composteiras feitas deste material para averiguar em quais condições o processo acontece, sua estabilização, teores de nutrientes, qual a quantidade e tipo de resíduo que pode ser utilizado (serapilheira, restos de vegetais e alimentos processados e cozidos). Também foi averiguada a presença de antimônio, formaldeído e acetaldeído, uma vez que estudos apontam que as garrafas PET podem liberar estes compostos, dentre outros, que são tóxicos para o ser humano, dependendo das condições. Em termos de fertilidade o composto produzido apresenta concentrações de nutrientes abaixo do mínimo exigido pela norma vigente (IN n°25/2009), mas o composto e o chorume podem ser usados como condicionadores do solo, melhorando suas características físicas, aumentando seu pH e acrescentando alguns nutrientes. A compostagem pode ser considerada completa após 30 dias e é dependente da temperatura ambiente. O resíduo utilizado pode conter no máximo 50% de alimentos cozidos ou processados, pois esses acidificam a amostra, reduzem a umidade, aumentam a lixiviação e aumentam as chances de fermentação; sendo alimentos vegetais crus os mais indicados. A compostagem em garrafas PET pode ser realizada e utilizada por qualquer indivíduo, pois é de baixo custo e não agrega compostos tóxicos (antimônio, formaldeído e acetaldeído) em concentrações que sejam prejudiciais ao ser humano.

Palavras-chave: matéria orgânica, formaldeído, acetaldeído, antimônio

ABSTRACT

The home composting can help significantly to reduce the amount of waste generated in urban environments, considering that about 50% of the total sent to landfills is organic material. Composting in PET bottles rise as an alternative to restricted spaces. Therefore, the project consists of assembling composters made of this material to find out the conditions of the process, as well as the stabilization period, the nutrients levels, the quantity and type of waste that can be used (leaf litter, vegetables residues and processed and cooked foods). Also will be explored the presence of antimony, formaldehyde and acetaldehyde in this process, since studies indicate that PET bottles can release these compounds, among others, that are toxic to humans, depending on the conditions. In terms of fertility, the resulting compound shows nutrients concentrations below the minimum required by the current Brazilian regulation (IN n°25/2009), but the compound and the leachate can be used as a soil conditioner, improving their physical characteristics, increasing the pH and adding some nutrients. The composting can be considered completed after 30 days and is dependent on the room temperature. The waste can contain a maximum of 50% of cooked or processed foods because they acidify the sample, reduce moisture, increase the leaching and increase the chances of fermentation; uncooked vegetables are the most suitable food scraps. Composting in PET bottles can be carried and used by anyone, as it is low cost and does not add toxic compounds (antimony, formaldehyde and acetaldehyde) in concentrations that are harmful to humans.

Keywords: organic matter, formaldehyde, acetaldehyde, antimony

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Número	Página
Figura 1 – Etapas do processo de compostagem.	23
Figura 2 – Preparo dos resíduos de alimentos para montagem de composteira.	31
Figura 3 – Esquema de montagem de Composteira de garrafa PET.	32
Figura 4 – Montagem das composteiras do Experimento 1.	34
Figura 5 – Temperatura durante a compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos.	42
Figura 6 – Temperatura durante a compostagem em PET com diferentes proporções de resíduos.	47
Figura 7 – Temperaturas do ensaio de estabilização da compostagem em PET	53
Figura 8 – Teores de umidade do ensaio de estabilização da compostagem em garrafas PET.	54
Figura 9 – Teores de nutrientes e pH do ensaio de estabilização da compostagem em PET.	55
Figura 10 – Resultado da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas....	57
Figura 11 – Umidade e pH da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas.	58
Figura 12 - Cromatograma do padrão DNHP-formaldeído e DNHP-acetaldeído $14,00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de 20 μL e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100 Å.	60
Figura 13 – Curva analítica de DNPH-formaldeído a partir de análise cromatográfica dos padrões em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de 20 μL e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100 Å, com picos registrados em 3,2 minutos.....	61
Figura 14 – Curva analítica de DNPH-acetaldeído a partir de análise cromatográfica dos padrões em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de 20 μL e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100 Å, com picos registrados em 3,6 minutos.....	61

LISTA DE TABELAS

Número	Página
Tabela 1 – Participação de Materiais no Total de RSU Coletado no Brasil em 2012.....	20
Tabela 2 – Condições recomendadas para uma compostagem rápida.....	23
Tabela 3 – Especificações Dos Fertilizantes Orgânicos Mistos E Compostos segundo a Instrução Normativa n.º 25, de 23 de julho de 2009 – Anexo III.....	28
Tabela 4 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.....	44
Tabela 5 – Umidade e características químicas dos compostos sólidos gerados no processo de compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.....	45
Tabela 6 – Umidade e características químicas dos chorumes gerados no processo de compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.....	46
Tabela 7 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes proporções de resíduos, solo e folhas secas.....	49
Tabela 8 – Umidade e características químicas dos compostos sólidos gerados no processo de compostagem em garrafas PET utilizando diferente proporções de alimentos.....	50
Tabela 9 – Umidade e características químicas dos chorumes gerados no processo de compostagem em garrafas PET utilizando diferente proporções de alimentos.....	51
Tabela 10 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimento no ensaio de estabilização.....	53
Tabela 11 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas.....	57
Tabela 12 – Concentrações de antimônio (Sb) nos materiais produzidos na compostagem em garrafas PET realizada em três temperaturas diferentes.....	60
Tabela 13 – Concentrações de Formaldeído e Acetaldeído em compostos e chorumes produzidos em composteiras de PET sob diferentes temperaturas.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
ABIPLAST	Associação Brasileira de Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BOD	Biochemical oxygen demand
C/N	Relação carbono nitrogênio
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
CRU	Restos vegetais crus
CTC	Capacidade de troca de cátions
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DNPH	2,4-dinitrofenilhidrazina
DQO	Demanda química de oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EU	European Union
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-MS	Espectrômetro de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado
IN	Instrução Normativa
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MIS	Mistura de restos de alimento 50% CRU 50%PRO
MO	Matéria Orgânica
NBR	Norma brasileira
NRAES	Northeast Regional Agricultural Engineering Service
PA	Padrão analítico
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial de hidrogênio iônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRO	Alimentos processados cozidos ou assados
RPM	Rotação por minuto
RSU	Resíduos sólidos urbanos
Sb	Antimônio
SPE	Solid Phase Extraction
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultra Violeta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Resíduos Sólidos.....	17
3.2. Compostagem	19
3.2.1. Fatores que Influenciam na Compostagem.....	20
3.2.2. Fases do processo de compostagem.....	23
3.2.3. Métodos de compostagem	24
3.2.4. Chorume produzido na Compostagem	25
3.2.5. Qualidade de fertilizantes orgânicos.....	26
3.2.6. A compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil.....	27
3.3. Politereftalato de Etileno (PET).....	28
3.3.1. Antimônio (Sb)	28
3.3.2. Aldeídos	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1. Resíduos orgânicos	30
4.2. Composteira	31
4.3. Experimento 1 – Tipo de resíduo.....	34
4.4. Experimento 2 – Proporção de resíduos e Estabilização	35
4.5. Experimento 3 - Ensaio de toxicidade	37
4.5.1. Análises de Antimônio (Sb).....	37
4.5.2. Análises de Formaldeído e Acetaldeído	38
5. RESULTADOS e discussão	42
5.1. Experimento 1	42
5.2. Experimento 2.....	46
5.3. Experimento 3.....	56
6. CONCLUSÕES	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o Brasil gerou aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos no ano de 2014 (ABRELPE, 2014). A mesma instituição já havia mostrado no Panorama de 2012 que 51,4% do resíduo sólido urbano produzido no Brasil é matéria orgânica (ABRELPE, 2012).

A matéria orgânica pode ser considerada como uma das parcelas dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com maior potencial de reciclagem. De acordo com o inciso VII do Art 3º da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010) a compostagem (degradação da matéria orgânica) é uma destinação final ambientalmente adequada e deve, segundo Inácio e Miller (2009), ser considerada uma biotecnologia ambiental, pois traz soluções integradas para nossa sociedade.

Com a crescente preocupação social quanto à produção e destinação de resíduos sólidos, a compostagem domiciliar aparenta ser um caminho de sensibilização e ação em uma perspectiva micro (individual), que refletirá na estrutura macro da sociedade (coletiva). Para tanto, existem modelos de composteiras domiciliares construídas com caixas ou tonéis de plástico, mas que exigem um determinado espaço que muitas residências não dispõe. Uma alternativa é a compostagem em garrafas PET, de forma a ocupar o menor espaço possível e facilitar o manejo da composteira.

Devido à possibilidade de redução do resíduo orgânico domiciliar produzido em centros urbanos, à facilidade e baixo custo de montagem, a menor necessidade de manejo e ainda por ser uma atividade sustentável, a compostagem em garrafa PET deve ser estudada de modo a garantir sua eficiência e certificar os benefícios do processo. Dessa forma, criam-se condições seguras para disseminar essa modalidade de compostagem junto à sociedade como uma tecnologia ambiental.

No entanto, estudos envolvendo a exposição de garrafas PET de água mineral à luz solar mostram que a temperatura pode contribuir na migração de espécies utilizadas na fabricação dos recipientes de PET para a água estocada, como Antimônio (Sb) e aldeídos (SHIMAMOTO et al., 2011; BACH et al., 2014).

Deste modo, uma vez que é proposto no presente projeto a compostagem empregando garrafas PET, torna-se de fundamental importância a análise de antimônio e aldeídos no composto e chorume gerados neste processo.

Por outro lado, os poluentes orgânicos desprendidos podem não contaminar o composto produzido, uma vez que o próprio processo de compostagem é uma metodologia de biorremediação de poluentes orgânicos (SEMPLE, REID & FERMOR, 2001).

Portanto, para responder esses e outros questionamentos em potencial faz-se necessário o estudo e o desenvolvimento da compostagem em garrafa PET. Dessa forma, espera-se que os resultados desse estudo contribuam para a viabilização do processo, a redução dos resíduos orgânicos domiciliares, a produção de composto orgânico livre de poluentes e estimular uma participação efetiva da sociedade civil no processo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da compostagem em garrafas PET com diferentes materiais orgânicos e as possíveis propriedades toxicológicas do processo.

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar a proporção e o tipo de material orgânico que resulta em um composto com melhores características agronômicas.

Monitorar alterações na temperatura, umidade e pH do composto durante o processo, além do tempo total para sua maturação.

Analisar o composto formado e o líquido percolado (chorume) quanto ao teor de nutrientes produzido e à estabilização.

Avaliar a formação de compostos tóxicos no composto formado e no líquido percolado (chorume) como, antimônio, formaldeídos e acetaldeídos, que podem ser produzidos no processo de compostagem em garrafas PET.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Resíduos Sólidos

Por muito tempo, os resíduos foram chamados de lixo, definidos como qualquer material que não apresentasse utilidade ou valor comercial, e eram descartados indiscriminadamente. Entretanto, com o aumento da visibilidade dos impactos ambientais causados, os resíduos passaram a ser foco de diversos estudos. Atualmente, tem-se consciência de que a maior parte desses materiais pode ser aproveitada e o que sobra deve ter uma disposição final adequada de acordo com a sua classificação.

Para fins de padronização, a Associação Brasileira de Normas Técnica – ABNT define resíduos sólidos da seguinte forma:

"Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível." ABNT, NBR 10.004:2004.

Com o objetivo de prevenir e precaver a sociedade, protegendo a saúde pública e a qualidade ambiental, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS na forma de Lei nº12.305/10, regulamentada pelo Decreto 7.404/10. Esta política propõe a prática de hábitos de consumo sustentável, contendo instrumentos que incentivam a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos, bem como a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

O ponto de partida para programar ações condizentes com a Lei nº12.305/10 é a correta classificação destes resíduos. A NBR 10.004 discrimina os materiais de acordo com a atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características, além de comparar com listagens de substâncias cujo impacto ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004). Para efeitos da Norma, os resíduos são classificados em:

- a) classe I - Perigosos; que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade.
- b) classe II – Não perigosos;

– classe II A – Não inertes; que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

– classe II B – Inertes; aqueles que, se submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

A PNRS, por sua vez, classifica os materiais de acordo com sua origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios; (BRASIL, 2010)

Os resíduos domiciliares representam uma parcela significativa dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Segundo dados da CETESB (2000) eles constituem 63,5% do peso total diário destinado aos aterros sanitários no estado de São Paulo. Conforme mencionado anteriormente, mais da metade do resíduo sólido domiciliar é constituída de matéria orgânica e muitos autores que estudaram os respectivos municípios corroboram tal afirmação (CUSSIOL et al., 2006; FRÉSCA, 2007; SOARES, 2011; COSTA et al., 2013).

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil divulgado pela ABRELPE (2014), indica que um brasileiro produz 1,062 kg de resíduos diariamente, totalizando mais de 215 mil toneladas por dia em 2014. Além disso, o Panorama aponta um aumento de 2,9% a produção de RSU de um ano para outro. Este índice é superior à taxa de crescimento populacional no período, que foi de 0,9%, significando que o brasileiro produz cada vez mais resíduos sólidos. Entretanto, o documento aponta que apenas 58,4% apresentam uma destinação final adequada.

De todo resíduo produzido, 51,4% é matéria orgânica, conforme pode ser observado na **Tabela 1** (ABRELPE, 2012).

Tabela 1 - Participação de Materiais no Total de RSU Coletado no Brasil em 2012

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.640.294
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria Orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830
TOTAL	100,0	56.561.856

Fonte: ABRELPE, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2012.

Em virtude da grande quantidade de resíduos sólidos gerados anualmente, ações governamentais foram iniciadas para diminuir o volume produzido, ordenando uma estrutura para o maior aproveitamento destes materiais através de políticas sustentáveis, como a compostagem. Deste modo, a Lei nº12.305/10 reconhece a compostagem como uma das destinações finais ambientalmente adequadas para resíduos sólidos orgânicos:

“No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos: implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (BRASIL, CONAMA, Lei 12305 de 2010).

No entanto, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008), menos de 1% de todo resíduo sólido, domiciliar e/ou público, coletado é destinado a alguma unidade de compostagem. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) aponta que apenas 3,8% dos municípios do Brasil contam com alguma unidade de compostagem para onde estes resíduos possam ser encaminhados.

3.2. Compostagem

Compostagem é um processo de decomposição aeróbica controlado, manejado ou otimizado de materiais de origem orgânica, realizado por microrganismos, que desprende calor

e leva à produção de dióxido de carbono, água, minerais e matéria orgânica estabilizada (DEBERTOLDI, VALLINI & PERA, 1983; STENTIFORD et al. 1985; LOPEZ-REAL, 1990; EPSTEIN 1997; KIEHL 1998; FERNANDES & SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007).

A compostagem foi desenvolvida com a finalidade de acelerar a estabilização da matéria orgânica sem perder qualidade. A decomposição não tem um prazo definido, sendo um processo que depende das condições ambientais e da qualidade dos resíduos orgânicos (COELHO, 2008).

A NBR 13591 normatiza a compostagem de resíduos sólidos domiciliares e trabalha com a seguinte definição:

"Compostagem

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação. NBR13591 (ABNT, 1996)

Este é um processo que atende a diversos propósitos na gestão de resíduos, tais como estabilização, redução de volume e saneamento por inativação térmica de patógenos (SUNDBERG, 2005).

A produção de um composto orgânico com alta carga de nutrientes é um grande benefício (KIEHL, 1985), uma vez que o mesmo pode ser usado para o desenvolvimento vegetal de hortas, jardins e áreas em recuperação. Por este motivo, este processo é largamente utilizado em produções rurais.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000) ainda acrescenta as seguintes vantagens: redução dos impactos ambientais associados à degradação dos resíduos orgânicos em locais inadequados; melhoria das propriedades físicas do solo; economia na aquisição de fertilizantes minerais; economia de tratamento de efluentes; além de economia na coleta e transporte dos resíduos sólidos.

3.2.1. Fatores que Influenciam na Compostagem

A compostagem é o efeito combinado da atividade de inúmeros microrganismos. Portanto, fatores ambientais que influenciam este processo são aqueles que afetam a vida microbiana em tais compostos. Segundo Miller (1993), os parâmetros mais importantes neste caso são: temperatura, oxigênio, umidade, pH e composição do substrato. Além destes, Haug

(1993) ainda acrescenta a dimensão das partículas, a relação da concentração C/N e o dimensionamento das composteiras.

Resumidamente, cada parâmetro mencionado interfere da seguinte forma:

Oxigenação (ou aeração)

Sendo a compostagem um processo realizado por microrganismos aeróbios, o fornecimento de ar é vital para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento. Durante a compostagem, a demanda por O₂ pode ser bastante elevada e sua falta pode ser um fator limitante, prolongando o tempo de compostagem. A circulação de ar na massa do composto torna a atividade mais rápida e eficiente, mas depende da estrutura, umidade e da tecnologia utilizada (FERNANDES & SILVA, 1999).

Temperatura

Durante o processo de compostagem ocorre a liberação de calor devido ao metabolismo exotérmico dos microrganismos. Em grandes quantidades, a compostagem pode alcançar 80 °C, embora a temperatura ideal seja entre 50 °C e 60 °C. Neste caso, atuarão bactérias mesófilas e termófilas e o processo será acelerado. Em pequenas quantidades, o calor gerado se dissipa e o material não se aquece, atuando apenas organismos mesófilos e criófilos, de acordo com a temperatura ambiente. Acima de 70 °C pode ocorrer restrição de microrganismos e provocar alterações químicas indesejadas; abaixo de 15 °C a compostagem pode ser muito lenta ou prejudicada por outros fatores (KIEHL, 1985). De acordo com Epstein (1997), as variações de temperatura são responsáveis pela alternância de populações bacterianas no material a ser compostado.

Umidade

O teor de água é importante, porque os microrganismos responsáveis pela compostagem exigem uma umidade em torno de 50% a 60% (STENTIFORD, 1996). Além disso, Kiehl (1998) indica que teores acima de 60% prejudicam o processo, pois a água ocupa os macroporos e impede o oxigênio de circular.

pH

Quanto ao pH, as bactérias têm predileção por potenciais entre 6 e 7,5, enquanto os fungos agem em uma faixa de pH mais ampla, entre 5,5 e 8. Em pH abaixo de 6 as bactérias

morrem e a decomposição fica lenta; alcançando pH 9 o nitrogênio é convertido em amônia e fica indisponível para os organismos e a decomposição também fica lenta (USEPA, 1994)

Dimensão das partículas

Segundo Haug (1993), a dimensão afeta a compostagem, pois o processo de decomposição inicia-se na superfície das partículas. Partículas pequenas têm uma superfície específica maior, portanto serão decompostas mais rapidamente.

Relação C/N

As quantidades de Carbono e Nitrogênio em solos e adubos definem o comportamento dos microrganismos decompositores. Por isso, ao estabelecer a relação entre estes dois valores, pode-se medir o avanço da decomposição e mineralização de nutrientes. Dessa maneira, identifica-se a estabilização do material, ponto mínimo para considerá-lo adubo. Segundo Pereira Neto (2007) o valor C/N de um composto estabilizado deve ser inferior a 17.

Inácio & Miller (2009) apontam uma relação C/N adequada para iniciar a compostagem entre 30/1 e 40/1; acima de 50/1 é considerada demasiadamente alta, podendo prejudicar a decomposição. Kiehl (1998) afirma que entre 60/1 e 33/1, ocorrerá a imobilização do nitrogênio nas formas orgânicas não solúveis; quanto maior a relação C/N, mais tempo levará para o composto estabilizar.

O Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro descreve que materiais com altas relações C/N não devem ser usados com a finalidade precípua de fornecer nutrientes, mas podem ser utilizados como condicionadores de solo (FREIRE et al., 2013). Já para uma compostagem acelerada, as condições ideais são descritas pela Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES, 1992), apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Condições recomendadas para uma compostagem rápida.

Condição	Faixa Razoável ^a	Faixa preferencial
Relação Carbono Nitrogênio (C/N)	20/1 – 40/1	25/1 – 30/1
Umidade	40% – 65% ^b	50% – 60%
Concentração de O ₂	Maior que 5%	Muito maior que 5%
Tamanho das partículas (polegadas)	1/8 – 1/2	variável ^b
pH	5,5 – 9,0	6,5 – 8,0
Temperatura (°F)	110 – 150	130 – 140
*(temperatura aproximada em °C)	(43 – 66)	(54 – 60)

^a recomendações de compostagem acelerada. Condições fora destas faixas podem obter resultado satisfatório

^b depende do material, tamanho da compopsteira e/ou das condições climáticas.

Fonte: adaptado de NRAES (1992)

3.2.2. Fases do processo de compostagem

Segundo o Manual de Gerenciamento Integrado de Lixo Municipal do IPT (D'ALMEIDA & VILHENA, 2000), a compostagem é efetuada em 4 fases distintas:

1. início da decomposição da matéria orgânica;
2. reações bioquímicas mais intensas;
3. resfriamento;
4. maturação (ou humificação) e mineralização do composto.

Na figura 1 podemos ver a distribuição das quatro fases ao longo do tempo, segundo Pereira Neto (2007).

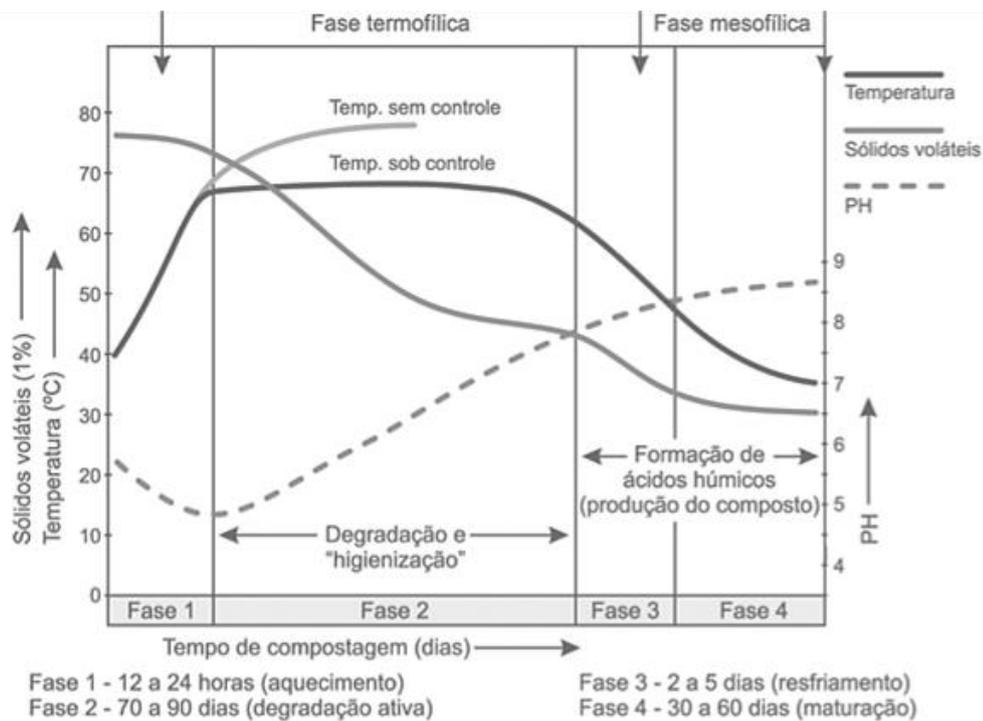


Figura 1 – Etapas do processo de compostagem.

Fonte: Pereira Neto, 2007

Alguns autores consideram apenas três fases: primeira fase - é rápida, de fitotoxicidade, onde o composto está cru ou imaturo; segunda fase - semicura ou bioestabilização; terceira fase - a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica. Neste caso, a terceira fase considera o resfriamento parte da maturação (KIEHL, 1998; MASSUKADO, 2008).

Já o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (MONTEIRO et al., 2001) simplifica o processo em apenas duas etapas: bioestabilização, que englobaria a fase inicial de aquecimento; e maturação, toda a fase mesofílica final (resfriamento e humificação).

3.2.3. Métodos de compostagem

O processo de compostagem pode ser realizado por três métodos principais (AZEVEDO, 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; REIS, 2005):

- Sistema de leiras revolvidas (*windrow*) - mistura de resíduos disposta em leiras com aeração fornecida pelo revolvimento, podendo haver insuflação de ar sob pressão.
- Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*) - onde a mistura é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras.
- Sistemas fechados ou reatores biológicos (*In-vessel*) - os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, que permitem o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem.

No entanto, estes sistemas levam em conta apenas processos realizados em grande escala, geralmente empregados na área agrícola.

De acordo com Brito (2008), os processos de compostagem podem ser classificados segundo a escala de produção:

- Grande escala (usinas de compostagem)
- Média escala (leiras com volumes superiores a 3 m³)
- Pequena escala (realizadas em composteiras ou leiras com volume inferior a 3 m³).

O autor ainda aponta a compostagem em pequena escala como uma forma de economia significativa de energia e custos de transporte de resíduos sólidos, pois seria realizada de forma descentralizada. Além disso, contribuiria para uma redução da emissão de poluentes, tendo em vista que o resíduo recebe a destinação adequada no próprio local de origem.

A compostagem domiciliar tem como principal característica seu tamanho reduzido, no qual algumas atividades dos sistemas citados são realizadas de forma diferente.

3.2.4 Chorume produzido na Compostagem

Chorume é o líquido resultante quando a água entra em contato com o material sólido, dissolvendo parte deste sólido ou deixando-o em suspensão (NRAES, 1992).

O chorume pode ter origem de três diferentes fontes:

- "• Da umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso;
 - Da água de constituição da matéria orgânica, que escorre durante o processo de decomposição;
 - Das bactérias existentes no lixo, que expelem enzimas, enzimas essas que dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido; "
- (SERAFIM et al. 2003).

Muitos autores relacionam a produção de chorume com a inadequação do processo de compostagem (USEPA, 1994; ALVES, 1996; MASSUKADO, 2008; COSTA et al., 2009; PEREIRA, 2013) e indicam seu escoamento como um impacto ambiental, tendo em vista sua carga de nutrientes. Segundo Klauck et. al. (2015), o chorume apresenta uma cor escura, com odor desagradável, altamente tóxico, que deveria ser tratado antes de ser liberado no ambiente.

Existem vários parâmetros para caracterização deste lixiviado. A maioria se baseia em análises químicas prevendo a sua percolação no solo, que eventualmente pode atingir um lençol freático. Sisino (2000) verificou que as avaliações da DBO, DQO, matéria orgânica, condutividade, pH, dureza, nitrogênio (total, orgânico e inorgânico), sulfato, cloreto, sólidos (totais, dissolvidos e em suspensão), fósforo, cálcio, magnésio, sódio, potássio e metais pesados são as mais efetuadas em pesquisas sobre chorumes.

No entanto, o impacto do chorume sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com sua fase de decomposição (SERAFIM et al. 2003) e com seu manejo. Segundo Weber (2008), em alguns casos o chorume produzido é reintroduzido no processo.

Malavolta et al. (2002) caracterizam o chorume como o produto resultante da fermentação das urinas dos animais, recolhidas por agricultores, que pode ser usado para regar o material da compostagem ou, se devidamente diluído, usado para regar o solo.

Este lixiviado resultante da compostagem pode apresentar altas concentrações de macro e micronutrientes, bem como carrear sólidos em suspensão para fora do sistema (PEREIRA NETO, 2007). Por isso, como apontam Cruz et al. (2003), o chorume é fonte importante de matéria orgânica para vegetais, além de contribuir para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas dos solos com custo reduzido para o produtor.

Segundo Copetti (2012), o chorume produzido na compostagem é um "*efluente líquido de elevada carga orgânica e forte coloração, produzido pela decomposição química e microbiológica dos resíduos orgânicos ou pelo contato de águas pluviais com a massa de compostagem*". A composição química varia bastante, de acordo com a natureza do resíduo depositado, com o manejo e o estágio da compostagem, além de ser influenciada pelos fatores climáticos.

Edmeades (2003), em revisão sobre o uso de adubos orgânicos, destacou que os solos adubados com chorume, esterco ou resíduo vegetal apresentaram maiores conteúdos de matéria orgânica, maior atividade da microfauna, porosidade, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica em comparação a solos adubados com fertilizantes minerais.

3.2.5. Qualidade de fertilizantes orgânicos

A Instrução Normativa N° 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2009) aprova definições, especificações e as garantias dos fertilizantes orgânicos.

Os fertilizantes orgânicos são classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção:

I - Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

II - Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

III - Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

IV - Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

(Brasil, 2009)

Segundo este mesmo documento, o composto de lixo é um produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros descritos na tabela 3 para comercialização.

Tabela 3 - Especificações Dos Fertilizantes Orgânicos Mistos E Compostos segundo a Instrução Normativa n.º 25, de 23 de julho de 2009 – Anexo III.

*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

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				
*Carbono orgânico (mín.)	15				10
*CTC ⁽¹⁾	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				14
*Relação CTC/C ⁽¹⁾	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

⁽¹⁾ É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Para os fertilizantes fluidos, a referida Instrução Normativa preconiza:

- a) carbono orgânico: mínimo de 3% (três por cento);
- b) para os macronutrientes primários: conforme declarado no processo de registro pelo fabricante ou importador;
- c) para os macronutrientes secundários e micronutrientes: estes serão indicados na sua forma elementar, com as garantias expressas em percentagem mássica e em massa/volume (gramas por litro).

3.2.6. A compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil

Em grande escala, a produção do composto ocorre em usinas de compostagem, com infraestrutura adequada para receber uma grande quantidade de resíduos orgânicos (BARREIRA et al., 2009) e visa principalmente a produção de fertilizantes naturais. A área necessária para o processo é uma desvantagem quando se trata de centros urbanos, onde os espaços são limitados, sendo pouco utilizado em programas municipais de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (IPEA, 2012).

Assim, a vontade de se fazer compostagem e a necessidade de diminuir o espaço necessário para tal, principalmente com o crescimento de regiões urbanizadas, levou ao surgimento de técnicas de compostagem domiciliar, reduzindo a área necessária para o processo.

Os primeiros modelos deste tipo de compostagem precisavam de um manejo adequado e eram feitos em sistemas de 50 L a 200 L, em composteiras (SEIXAL, 2003), tonéis (EPAMIG,

2002) ou caixas d'água. No entanto, esta forma ainda demanda uma área que nem todos dispõem em suas residências.

Posteriormente surgiram as “minhocasas” (GARCEZ & GARCEZ, 2010) que produzem resultados similares e são menores, contando inclusive com sistema de separação de chorume. No entanto este modelo prevê a necessidade do uso de minhocas, o que compromete um manejo adequado em espaços residenciais.

A partir de 2008, começa a ser propagado nas redes virtuais do processo de degradação da matéria orgânica em garrafas PET, de forma a ocupar o menor espaço possível e facilitar o manejo da composteira, apontando como uma possível solução para incentivar a compostagem em residências com pouco espaço e reduzir a quantidade de resíduos orgânicos a serem dispostos em aterros sanitários.

3.3. Politereftalato de Etileno (PET)

O plástico duro ou PET (politereftalato de etileno) é um dos termoplásticos mais produzidos no mundo. Segundo a Associação Brasileira de Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2015), apenas em 2014 houve um consumo aparente de 514 mil toneladas de PET no Brasil e segundo Romão et al. (2009) 71% da utilização deste material se destina à indústria de embalagens, por isso ele acaba sendo considerado um dos grandes problemas atuais dos resíduos sólidos gerados mundialmente.

Com a popularização do uso de PET para embalar produtos alimentícios, começaram alguns estudos sobre a possibilidade de migração de compostos utilizados na produção da PET para os alimentos, principalmente água e outras bebidas (AMIRIDOU & VOUTSA, 2011; AL-SALEH, SHIWARI & ALSABBAHEEN, 2011; SHIMAMOTO et al., 2011; BACH et al., 2014; WANG et al. 2015). Alguns desses compostos, foco deste estudo, são tratados a seguir.

3.3.1. Antimônio (Sb)

O óxido de antimônio (Sb_2O_3) é o catalisador mais utilizado para a produção do PET, por demonstrar uma melhor estabilidade, cor do produto final e baixo custo (ROMÃO et al., 2009).

O antimônio é uma espécie semi-metálica potencialmente tóxica para o ser humano e para o meio ambiente (FILELLA et al., 2002) e, apesar da eficácia do Sb_2O_3 , resíduos deste metal podem ser encontrados nas embalagens feitas de PET. Assim, esta espécie acaba sendo

transferida aos alimentos, como apontam muitos estudos (SHOTYK et al., 2006; WESTERHOFF et al., 2008; KERESZTES et al., 2009; RUNGCHANG et al., 2013; SÁNCHEZ-MARTÍNEZ et al., 2013).

Embora haja limites de segurança quanto a presença de antimônio para água potável (EU, 2003; WHO, 2008; USEPA 2009), e exista no Brasil valores orientadores para solo e água subterrâneos (CETESB, 2014), não há estudos sobre a contaminação de compostos orgânicos por antimônio oriundo de PET, tendo em vista que a compostagem tradicional não prevê contato do composto com politereftalato de etileno.

3.3.2. Aldeídos

Segundo Romão et al. (2009), compostos resultantes do processo de síntese do PET podem apresentar um grande potencial de migração. Ceretti et al. (2010), afirmam que estes compostos liberados são agentes mutagênicos ou carcinogênicos, em particular o formaldeído e o acetaldeído.

As altas temperaturas na produção da PET causam degradação do polímero, contribuindo para a formação de altas concentrações de acetaldeído na estrutura (DĄBROWSKA et al., 2003). Embora os autores afirmem que a concentração de acetaldeído alcance uma concentração constante na PET final, eles ressaltam a facilidade com que esta substância polar se dissolve em água.

O acetaldeído e o formaldeído são compostos voláteis, genotóxicos em muitos sistemas biológicos e considerados como compostos carcinogênicos para o ser humano pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC, 1999; IARC, 2006)

Por conta de seus efeitos prejudiciais, a migração de formaldeído e acetaldeído é constantemente estudada em águas armazenadas em garrafas PET (NAWROCKI et al., 2002; DĄBROWSKA et al., 2003; MUTSUGA et al., 2006; CERETTI et al, 2010; BACH et al., 2013; BACH et al., 2014).

Não foram encontrados registros de que tais substâncias geradas pelas garrafas PET sejam persistentes em um ambiente de compostagem, mas as elevadas temperaturas que o processo pode alcançar indicam que estes produtos tóxicos podem ser liberados no composto orgânico produzido.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A compostagem em garrafa PET é uma atividade muito recente e com poucos registros. Portanto, antes de estabelecer a metodologia a ser utilizada, foram realizadas algumas avaliações preliminares acerca da composição e da montagem, estudando a proporção de resíduos alimentares, terra e serapilheira.

O estudo preliminar foi publicado nos anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (PENTEADO et al., 2015) sob o título “Composteira domiciliar em garrafa PET: influência do material orgânico no procedimento e na fertilidade do composto” e contribuiu para uma melhor compreensão do modelo, definindo a necessidade de terra e de folhas secas na mistura para que o processo ocorra de maneira apropriada. Os resultados obtidos apontam que a quantidade de alimento não deve ultrapassar quatro vezes o volume de terra utilizado.

O presente trabalho divide-se em três experimentos, visando analisar o tipo de alimento a ser utilizado, a proporção entre alimento, terra e serapilheira, além da presença de substâncias tóxicas que a garrafa PET pode liberar no composto. A seguir, serão detalhados os tipos de resíduos utilizados, a composteira e sua confecção, as análises e os procedimentos experimentais.

4.1. Resíduos orgânicos

Foram utilizados dois tipos de restos de alimentos produzidos em residências, terra e serapilheira, em proporções a serem descritas em cada experimento.

Os restos de alimentos foram divididos em três grupos:

- Restos vegetais crus (CRU) - cascas de frutas, cascas de legumes e restos de verduras, picados em pedaços $\leq 1,0 \text{ cm}^3$;
- Alimentos processados cozidos ou assados (PRO) - arroz, massas, pães, bolos e biscoitos, esfarelados ou quebrados manualmente em partes $\leq 1,0 \text{ cm}^3$;
- Mistura (MIS) – composto de 50% de restos vegetais crus e 50% de alimentos processados cozidos ou assados.

O processo de mistura dos restos de alimentos pode ser observado na **Figura 2**.



Figura 2 – Preparo dos resíduos de alimentos para montagem de composteira.

a) alimento CRU: verduras e cascas de frutas e legumes picados. b) alimento PRO: cozidos ou processados, pão, macarrão, arroz e biscoitos.

Em todos os estudos, evitou-se utilizar alimentos de origem animal, conforme recomendação em Grossi & Valente (2002).

As folhas secas utilizadas foram retiradas junto com a serapilheira formada na parte debaixo de uma árvore do gênero *Ficus sp.* de um jardim público de um bairro residencial no município de Pinheiral e analisadas utilizando as mesmas metodologias dos compostos e da terra. A serapilheira foi coletada uma única vez para todos os experimentos. O material foi seco ao sol, reservado em recipiente plástico e homogeneizado antes do uso, para evitar variações nos teores de nutrientes.

4.2. Composteira

Levando em consideração os aspectos operacionais da compostagem tradicional (PEREIRA NETO, 2007; INÁCIO & MILLER, 2009) e da compostagem domiciliar (GROSSI & VALENTE, 2002; CROMELL, 2010), optou-se por fazer um modelo simplificado, adaptado de diferentes tutoriais disponíveis online.

Os materiais utilizados e a composteira montada podem ser observados na **Figura 3**.

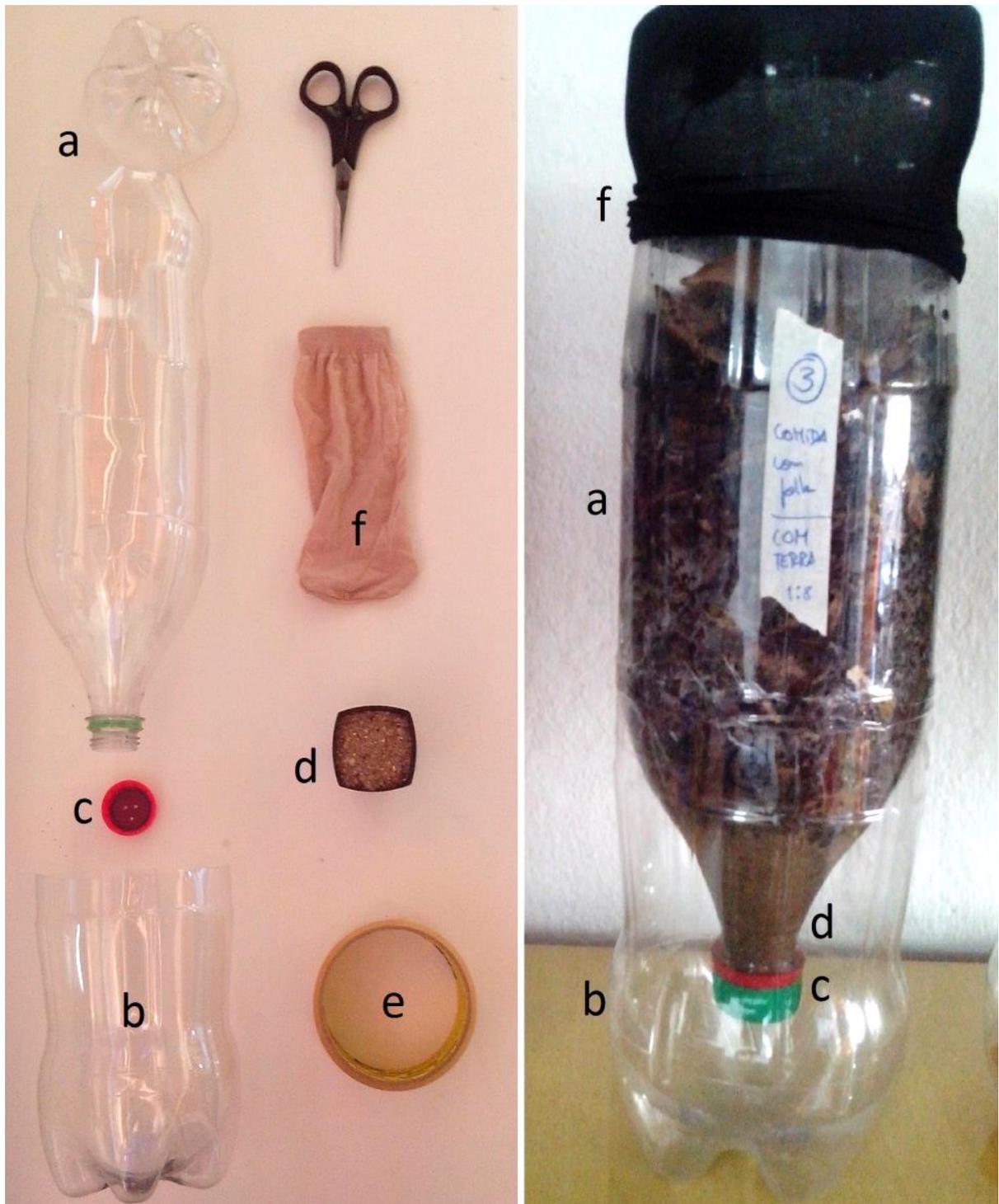


Figura 3 – Esquema de montagem de Composteira de garrafa PET.

Esquerda: materiais. Direita: finalizada. a) garrafa PET com o fundo cortado. b) garrafa PET cortada ao meio. c) tampa perfurada. d) 50mL de areia. e) fita adesiva para unir as garrafas. f) meia fina.

Cada composteira foi confeccionada utilizando:

- 2 garrafas PET de 2 L
- 1 tampa perfurada - para escoamento do chorume
- 50 mL de areia - para filtrar a umidade
- Tesoura
- Fita adesiva - para unir as partes
- 1 meia fina - para tapar a abertura e evitar insetos
- Terra
- Serapilheira
- Restos de alimentos

Os passos da montagem de uma composteira PET são:

- 1°. Recortar uma das garrafas PET na metade de sua altura, reservar a parte do fundo e descartar a parte superior.
- 2°. Da outra garrafa, recortar e descartar apenas o fundo (cerca de 2,0 cm), reservando a parte maior.
- 3°. Fazer vários pequenos orifícios em uma das tampas (ou um orifício grande no meio), utilizando um prego ou um arame aquecido.
- 4°. Rosquear a tampa na garrafa maior, sem o fundo. Observação: neste caso, para evitar que a areia caia, a tampa foi rosqueada usando um pedaço de papel de guardanapo entre a tampa e a garrafa.
- 5°. Posicionar a garrafa sem fundo, e já com a tampa furada, de cabeça para baixo dentro da garrafa cortada ao meio. Vedar com fita crepe para facilitar a abertura ao final do processo, unindo as duas partes.
- 6°. Adicionar 50 mL de areia que servirá para percolar o chorume (caso seja formado) até o compartimento inferior, onde ficará armazenado.
- 7°. Misturar o material orgânico utilizando uma parte de terra, uma parte de serapilheira (ou folhas secas) e, no máximo, quatro partes de restos de alimentos.
- 8°. Adicionar esta mistura na garrafa PET até completar o volume.
- 9°. Vedar a composteira cheia utilizando tela, gaze ou meia fina para evitar a proliferação de moscas e outros organismos.
- 10°. Reservar a composteira por no mínimo 30 dias, evitando lugares muito úmidos ou muito secos (para não superaquecerem e secarem)

4.3. Experimento 1 – Tipo de resíduo

O primeiro experimento foi montado no final do mês de abril de 2015 e compreendeu três tratamentos, descritos a seguir, nos quais houve variação quanto ao tipo de resíduo orgânico utilizado, como citado no item 4.1.:

- Tratamento I (T1) - restos vegetais crus (CRU);
- Tratamento II (T2) - alimentos processados cozidos ou assados (PRO);
- Tratamento III (T3) - mistura de 50% de restos vegetais crus e 50% de alimentos processados cozidos ou assados (MIS).

As proporções utilizadas em cada tratamento foram: quatro partes de resíduo orgânico, uma parte de terra e uma parte de serapilheira (4:1:1), baseado no estudo preliminar (PENTEADO et al., 2015) que demonstrou que quantidades maiores de alimento podem atrapalhar no processo, principalmente pela falta de aeração.

O resíduo orgânico foi cortado ou fragmentado para alcançar o tamanho recomendado de 1,0 cm³ (Grossi & Valente (2002).

O material foi homogeneizado manualmente e distribuído em composteiras feitas de garrafas PET conforme item 4.2., utilizando 5 repetições para cada tratamento (**Figura 4**), obtendo-se um total de 15 unidades experimentais, distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado.



Figura 4 – Montagem das composteiras do Experimento 1.

Esquerda: restos de alimento, terra e serapilheira misturados. Direita: composteiras montadas com volumes similares.

Ao longo do processo de compostagem foi analisada a variação de temperatura diariamente em cada unidade montada empregando-se um termômetro digital para alimentos com haste de 15 cm em aço inox, com faixa de medição de temperatura entre -50 °C e 300 °C, precisão de aproximadamente 1 °C e resolução de 0,1 °C. Foi estabelecido um tempo de espera para garantir estabilização da temperatura de um minuto.

Após a temperatura das composteiras estabilizarem próximas à temperatura ambiente (cerca de 30 dias), as mesmas foram abertas e as amostras de composto foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha para realização da análise da fertilidade.

Para estabelecer a redução do composto, produção de chorume produzido e perdas na forma de desprendimento de gás e vapor, foi considerado a variação de massa inicial e final, utilizando uma balança digital com capacidade de 5 kg e precisão de 1 g.

Os parâmetros de fertilidade da compostagem analisados, tanto nos compostos sólidos quanto nos chorumes, foram: teor de umidade, pH em H₂O e C, segundo EMBRAPA (1997); N, P, K, Ca e Mg totais, segundo Tedesco et al. (1995). Os resultados foram comparados estatisticamente pela análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o teste de Scott-Knott 5%, pelo programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

Os materiais utilizados para confeccionar as composteiras (resíduos de alimentos, terra e serapilheira) também foram analisados para fins de comparação.

A presença ou ausência de odores e de moscas também foram consideradas como parâmetros indicadores do processo de compostagem.

4.4. Experimento 2 – Proporção de resíduos e Estabilização

Outro experimento foi realizado em setembro de 2015 e compreendeu seis tratamentos nos quais houve variação quanto ao tipo de resíduo orgânico utilizado, como citado no item 4.1., e quanto à proporção utilizada de cada material

Descrição dos tratamentos:

- Tratamento I (T1) - (1:1:1) uma parte de resíduo orgânico CRU; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira;
- Tratamento II (T2) - (2:1:1) duas partes de resíduo orgânico CRU; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira;

- Tratamento III (T3) - (4:1:1) quatro partes de resíduo orgânico CRU; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira;
- Tratamento IV (T4) - (1:1:1) uma parte de resíduo orgânico MIS; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira.
- Tratamento V (T5) - (2:1:1) duas partes de resíduo orgânico MIS; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira;
- Tratamento VI (T6) - (4:1:1) quatro partes de resíduo orgânico MIS; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira;

O tratamento que utilizou apenas alimentos processados foi descartado, conforme será discutido nos resultados.

O material foi homogeneizado manualmente e distribuído em composteiras feitas de garrafas PET, como descrito no item 4.2., utilizando 3 repetições para cada tratamento.

Foram totalizadas 18 unidades experimentais, distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado.

A temperatura, nos diferentes tratamentos, foi medida diariamente ao longo de todo o processo de compostagem.

Após a temperatura das composteiras estabilizarem próximas à temperatura ambiente (cerca de 30 dias), as composteiras foram abertas e as amostras de composto foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha para realização da análise da fertilidade.

Assim como no experimento anterior, os compostos sólidos e chorumes produzidos foram analisados segundo EMBRAPA (1997) quanto ao teor de umidade, pH em H₂O e C; N, P, K, Ca e Mg totais foram analisados segundo Tedesco et al. (1995).

A mesma análise estatística de variância foi feita com os resultados obtidos, pelo programa Sisvar (FERREIRA, 2011), e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott 5%. Odores e presença de insetos também foram verificados.

Devido a concentração de carbono e a concentração de a concentração de nitrogênio encontradas nos resultados do experimento 1, fez-se necessária a realização um ensaio para avaliar a estabilização do composto nos tratamentos com as maiores proporções de resíduo orgânico, isto é, T3 - (4:1:1) quatro partes de resíduo orgânico CRU; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira e T6 - (4:1:1) quatro partes de resíduo orgânico MIS; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira.

Os materiais foram analisados a 30, 60 e 90 dias de compostagem (três repetições para cada período), com o revolvimento mecânico/manual a cada 30 dias.

4.5. Experimento 3 - Ensaio de toxicidade

Considerando que há uma relação entre temperatura e otimização do processo de compostagem, e entre temperatura e liberação de compostos tóxicos pela PET, foi selecionado o tratamento (4:1:1) - quatro partes de resíduo orgânico CRU; uma parte de terra; e uma parte de serapilheira, para se fazer o ensaio de toxicidade sugerido.

Levando em consideração que, segundo Bach et al. (2014), os compostos tóxicos são liberados pela PET em temperaturas mais extremas, foram feitas três repetições do mesmo tratamento para cada temperatura estudada: 17 °C; 27 °C; 37 °C. As composteiras foram acondicionadas em incubadoras do tipo BOD ou ambiente refrigerado, cujas temperaturas foram controladas e aeração garantida.

As análises de peso, pH, umidade, antimônio e aldeídos foram realizadas a partir de 34 dias do início da compostagem, assegurando que a temperatura das composteiras já estivessem estabilizadas e próximas às temperaturas dos respectivos ambientes.

Os resultados foram comparados estatisticamente pela análise de variância, e a médias comparadas pelo teste de Scott-Knott 5%, pelo programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

4.5.1 Análises de Antimônio (Sb)

Para a análise de Antimônio no material gerado foi empregada a metodologia de digestão ácida proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), método 3051A (1998), realizada em um sistema de digestão de micro-ondas da Anton Paar, modelo Multiwave GO, com frascos de politetrafluoretileno modelo HVT50. As análises de Antimônio foram realizadas em um espectrômetro de massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) da marca Perkin Elmer.

O composto sólido analisado foi preparado segundo a metodologia de solos da EMBRAPA (1997), seco em estufa ventilada, a 65 °C, por 24 horas, destorroado e passado em peneira de 2 mm de malha e homogeneizado.

Para a metodologia de digestão citada foi pesado três repetições de 0,5 g de cada material sólido moído e medido três repetições de 2,0 mL de cada chorume previamente homogeneizados.

As amostras foram acondicionadas nos tubos de digestão e a elas foram adicionados $9,0 \pm 0,1$ mL de ácido nítrico concentrado e $3,0 \pm 0,1$ mL de ácido clorídrico concentrado para

maior recuperação de antimônio. O micro-ondas foi programado para alcançar 175 ± 5 °C em $5,5 \pm 0,25$ minutos e permanecer nesta temperatura por mais 4,5 minutos.

O controle da qualidade do método utilizado para análise de antimônio foi avaliado por meio das taxas de recuperação de uma amostra de composto e chorume contaminados com uma concentração conhecida de antimônio (USEPA, 1998). Para tal, 6,0 mL de uma amostra de chorume foi contaminado com 0,45 mL de uma solução de 500 ppb de antimônio e 5,0 g de uma amostra de composto sólido foi contaminado com 1,5 mL de uma solução de 500 ppb de antimônio, segundo capacidade de campo previamente averiguada. As amostras contaminadas passaram então pelos mesmos procedimentos que as demais amostras, em triplicata.

4.5.2 Análises de Formaldeído e Acetaldeído

As análises de quantificação de acetaldeído e formaldeído foram realizadas segundo o método 8315A, proposto pela USEPA (1996), via derivatização com 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH), com a formação de 2,4-dinitrofenilidrazonas (2,4-DNPH) de formaldeído e de acetaldeído.

A derivatização, ou derivação, refere-se à transformação de um composto químico em outro composto com características mais convenientes para as etapas da análise (LANÇAS, 1993). As técnicas analíticas mais utilizadas para detectar estes derivatizados envolvem o uso de equipamento de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), cujo detector baseado em absorção na região do UV-visível possibilita a identificação destes compostos.

As medidas foram efetuadas em um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência da marca Shimadzu, modelo LC-20AT, com detector UV/VIS modelo SPD-20A, degaseificador modelo DGU-20A5, módulo de comunicação CBM-20A e software LCsolution. A coluna cromatográfica empregada foi uma ACE C18 com 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100 Å. A acetonitrila utilizada foi grau HPLC, os demais reagentes empregados foram de grau PA.

As condições cromatográficas foram: fase móvel de acetonitrila:água na proporção 80:20, em um fluxo de 1,2 mL por minuto, com injeção de 20 μL de amostra e padrões e detecção UV-Visível em comprimento de onda de 360 nm.

Recristalização de 2,4-DNPH

A 2,4-DNPH foi recristalizada segundo o mesmo método (USEPA, 1996) até sua total purificação. Para tanto, preparou-se uma solução saturada de DNPH aquecendo DNPH em

excesso em 200 mL de acetonitrila até a ebulição e por mais 1 hora. Após 1 hora, o sobrenadante foi removido e transferido para um béquer coberto com vidro de relógio em um chapa de aquecimento para ser resfriado a uma temperatura entre 40° C e 60° C. A temperatura foi mantida até que 95% do solvente fosse evaporado, deixando cristais.

A solução foi descartada e os cristais remanescentes foram enxaguados duas vezes com três vezes seu volume aparente de acetonitrila. Os cristais foram transferidos para um béquer limpo, adicionado 200 mL de acetonitrila, aquecido até fervura, e solução novamente resfriada lentamente entre 40 °C e 60 °C até que se formassem novos cristais e 95% do solvente tivesse evaporado. Os cristais foram enxaguados novamente e reservados para a produção de reagente.

Derivatização de Formaldeído e Acetaldeído

A obtenção dos derivados carbonílicos da 2,4-DNPH é descrito a seguir, conforme na literatura (SACZK, 2005).

Uma solução de 2,4-DNPH foi preparada utilizando 2,4 g de 2,4-DNPH em 12,0 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Foi adicionada aos poucos nesta solução, e com agitação, 18,0 mL de água destilada até completa solubilização da 2,4-DNPH, em seguida adicionou-se 60,0 mL de etanol 95%.

A seguir, foram preparadas soluções etanólicas de acetaldeído e formaldeído dissolvendo-se 15 g composto individualmente em 60,0 mL de etanol 95%.

A solução de 2,4-DNPH recém preparada foi adicionada sob agitação a estas soluções individualmente, deixando a mistura resultante em repouso em temperatura ambiente. A cristalização da 2,4-dinitrofenilhidrazona ocorreu em torno de quinze minutos.

Os derivados carbonílicos foram isolados via filtração e purificados por recristalização (duas vezes). Para a purificação por recristalização, os derivados cristalizados foram solubilizados em 30 mL de etanol absoluto aquecido em banho-maria a 70 °C (quando necessário, acetato de etila foi adicionado de 1 em 1 mL para completar a solubilização).

A solução foi filtrada ainda quente e retornou ao banho-maria para reduzir o volume e depois a mesma foi resfriada a temperatura ambiente para recristalizar.

A pureza de cada hidrazona produzida pode ser confirmada através da determinação de seus pontos de fusão no equipamento da TecnoPON, modelo PFM-II, e através de espectroscopia na região do infravermelho no equipamento Perkim Elmer FT-IR, modelo Spectrum TWO.

Preparo dos padrões

Os padrões de acetaldeído e formaldeído foram produzidos a partir da mistura dos seus derivatizados sólidos de 2,4-DNPH em acetonitrila, nas concentrações de 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 3,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 4,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 6,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 8,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 10,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 12,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 14,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A técnica de adição de padrão também foi empregada para quantificação da recuperação das espécies de interesse. Para tanto, foi adicionado 50 μL de solução 1 g.L^{-1} de cada derivatizado em 50 mL de água ultrapura.

Para a recuperação em sólidos foi adicionado 50 μL de solução 1 g.L^{-1} de cada derivatizado em 5 g de terra previamente muflada a 400 °C. A partir destes materiais contaminados, foi realizado o mesmo processo de derivatização das amostras descrito a seguir, para posterior aferição em CLAE.

Extração de formaldeído e acetaldeído

O processo de extração de aldeídos das amostras sólidas foi adaptado do método supracitado (USEPA, 1996). Para tal, foi colocado 5,0 g de material sólido úmido em um erlenmeyer de 125 mL e imediatamente adicionado 100 mL de fluido extrator e coberto com parafilm[®]. Para o fluido extrator, tomou-se um balão de 1 L com 900 mL de água deionizada, e a este foram adicionados 64,3 mL de NaOH 1N, 5,7 mL de Ácido acético glacial e o volume aferido a 1 L com água ultrapura, devendo o pH ser $4,93 \pm 0,02$. O material vedado permaneceu sob agitação de 30 RPM por exatamente 18 horas em uma mesa agitadora da Tecnal (modelo TE-1401). Após este período o fluido resultante foi filtrado por um sistema a vácuo, utilizando filtro de fibra de vidro com poros de 1,2 μm .

Para fins de padronização, o processo de derivatização foi realizado utilizando 50 mL das amostras (fluido dos sólidos e chorume) e 50 mL de água para garantir o volume nominal de 100 mL descritos na metodologia, uma vez que a quantidade de chorume produzidos nos tratamentos não foi suficiente para extrair a quantidade descrita. Aos 100 mL (amostra + água) foi adicionado 4 mL de tampão citrato, com ajuste de pH para $3,0 \pm 0,1$, empregando HCl 6 mol.L^{-1} ou NaOH 6 mol.L^{-1} , e 6 mL de solução de DNPH. Os erlenmeyers de 250mL foram selados e postos em agitação de 150 RPM, por exatamente 1h a $40 \pm 2,0$ °C em uma incubadora com agitação orbital da Tecnal, modelo 421.

A seguir os compostos derivatizados foram extraídos em cartucho de separação em fase sólida (SPE) Stracta-X 33. Os cartuchos absorventes foram previamente condicionados com 10 mL do tampão citrato diluído (10 mL do tampão + 250 mL de água), utilizando um

sistema adaptado de bomba a vácuo Primatec, modelo 131 tipo 2 VC, e kitassato de vidro de 250 mL.

Ao material retirado da incubadora com agitação orbital foi imediatamente adicionado 10 mL de solução saturada de NaCl, homogeneizado e transferido quantitativamente esta solução para o cartucho, sendo aplicado vácuo a uma taxa estimada de 5 mL por minuto e por mais um minuto após a amostra passar pelo cartucho. Cada cartucho foi eluído com 9 mL de acetonitrila grau HPLC diretamente para um balão de 10 mL (nas mesmas condições de vácuo), cujo volume foi aferido com acetonitrila para posterior análise.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimento 1

Parâmetros físicos

As temperaturas das composteiras apresentaram variações ao longo do processo, demonstrando serem dependentes da temperatura ambiente (**Figura 5a**). Mas, comparando a diferença de temperatura de cada tratamento com a temperatura ambiente, observa-se na **Figura 5b** um padrão de desenvolvimento similar ao descrito por Kiehl (1985), no qual a temperatura tende a se elevar bem acima da temperatura ambiente nos primeiros dias e a se igualar conforme o composto vai maturando.

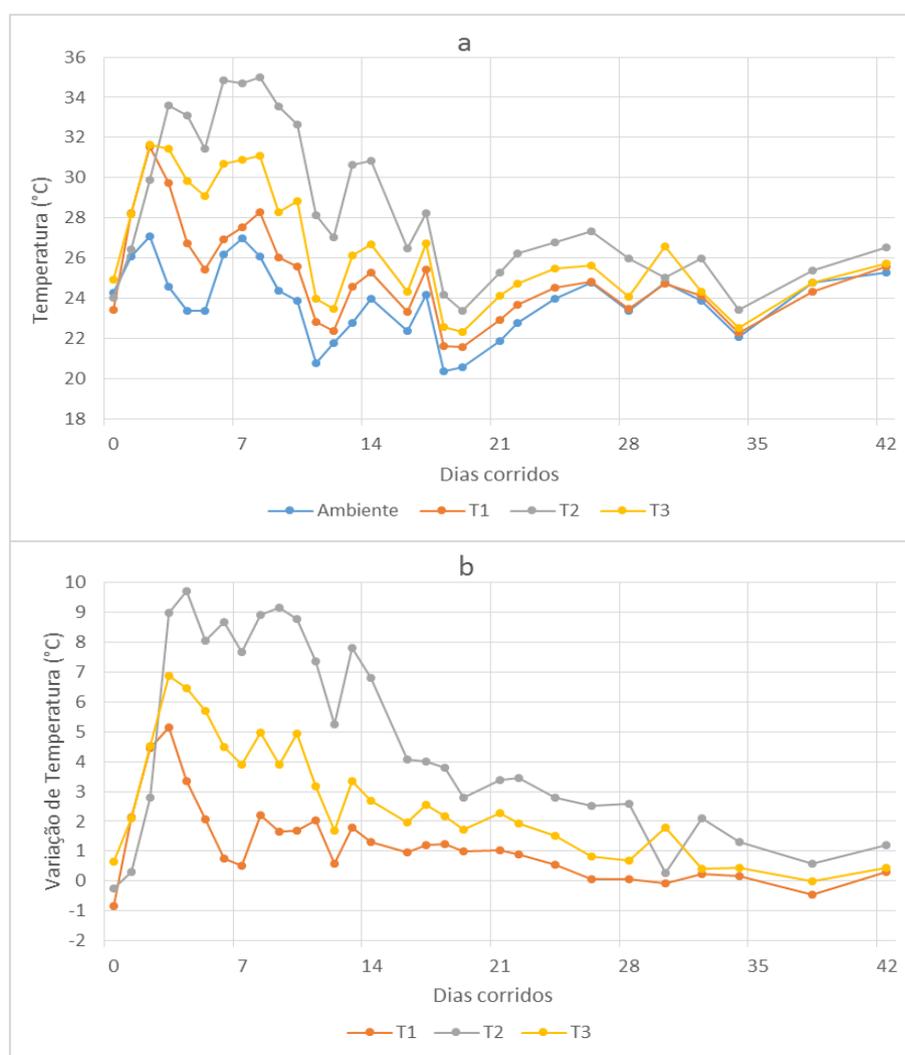


Figura 5 – Temperatura durante a compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos.

(a) Temperatura (°C) ao longo do processo (b) Variação de temperatura de acordo com a temperatura ambiente. T1 - restos vegetais crus. T2 - alimentos processados cozidos ou assados. T3 - mistura 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

A temperatura de estabilização, que indica que a atividade microbiana reduziu e marca o final da compostagem, que ocorreu em um tempo significativamente menor do que a compostagem tradicional. O experimento foi finalizado ao 43º dia, embora não tenha aparentado alteração após o 22º dia.

A produção de chorume em T1 começou no 7º dia, em T2 começou no 11º dia e T3 começou no 12º dia. Observou-se que os tratamentos que desprenderam chorume primeiro produziram um volume maior ao final, provavelmente devido ao maior teor de umidade dos alimentos crus, quando comparado aos alimentos processados.

Os compostos produzidos em T2 apresentaram um odor desagradável, provavelmente tendo sofrido anaerobiose. Os chorumes de T2 e T3 também apresentaram odores desagradáveis. O chorume de T1, apresentou coloração mais escura que os demais e o odor se assemelhava ao de terra molhada. O cheiro dos chorumes provavelmente deu-se por conta da decomposição anaeróbia de substâncias orgânicas lixiviadas.

A massa final de cada composteira foi comparada com a massa inicial da mistura utilizada em cada tratamento (**Tabela 4**), observando-se que T1 apresentou maior produção de chorume e menor quantidade de composto, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos.

Tabela 4 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.

	Material Inicial (%)	Chorume (%)	Composto (%)	Redução (%)
T 1	100	26,46 ^a	51,35 ^c	22,19
T 2	100	9,15 ^c	68,11 ^a	22,74
T 3	100	16,76 ^b	63,94 ^b	19,30

T1 - tratamento com restos vegetais crus. T2 - tratamento com alimentos processados cozidos ou assados. T3 - tratamento com mistura 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Mesmo telados, apareceram moscas no 27º dia em algumas composteiras dos três tratamentos. Não é conclusivo se haviam ovos no material a ser degradado ou se houve contaminação durante o processo, tendo em vista que é necessário abrir as composteiras para se medir as temperaturas; e notou-se mais moscas do que larvas. A presença de moscas ocorreu, provavelmente, pelo fato de as temperaturas não terem sido elevadas o suficiente.

Parâmetros químicos

As análises estatísticas realizadas apontam que não há diferença significativa entre os compostos produzidos quanto a umidade, a relação C/N e a concentração de magnésio (**Tabela 5**). Os valores médios da umidade de cada composto (**Tabela 5**) se encontraram abaixo do valor máximo permitido para adubos orgânicos (IN n°25/2009), estando, dessa forma, apropriados para o uso.

Tabela 5 – Umidade e características químicas dos compostos sólidos gerados no processo de compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.

	Umidade (%)	pH em H ₂ O	M.O.	C (%)	N (%)	C/N	P(%)	K(%)	Ca (%)	Mg (%)
IN n°25/09	50% (máx)	6,5 (mín)	-	15% (mín)	0,5% (mín)	20/1 (máx)	-	-	-	-
Terra	11,93	7,25	3,02	1,75	0,15	12,04	0,04	0,006	0,00	0,05
Serapilheira	12,18	7,92	48,30	28,01	0,84	33,19	0,05	0,000	0,48	0,36
T1	40,69 ^a	8,78 ^a	9,78	5,7 ^b	0,34 ^b	16,58 ^a	0,098 ^b	0,043 ^a	0,30 ^c	0,16 ^a
T2	43,56 ^a	6,62 ^c	18,26	10,6 ^a	0,75 ^a	13,93 ^a	0,229 ^a	0,000 ^c	0,53 ^a	0,16 ^a
T3	38,29 ^a	7,37 ^b	11,50	6,7 ^b	0,43 ^b	15,74 ^a	0,186 ^b	0,024 ^b	0,45 ^b	0,15 ^a

T1 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T2 - (4:1:1) Resíduo PRO:Terra:Serapilheira; T3 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Os valores de pH dos compostos produzidos (**Tabela 5**) nos tratamentos T1 e T3, estão dentro da faixa ideal de pH, que segundo Kiehl (1985) é acima de 7,0, além de apresentarem um pH mais elevado do que a terra utilizada como inoculante. Apesar do composto de T2 apresentar um pH inferior a 7,0, o mesmo se encontra muito próximo ao mínimo exigido pela IN n°25/2009.

O chorume gerado em T1 (**Tabela 6**), está de acordo com a faixa ideal de pH segundo Kiehl (1985), sendo mais elevado do que o pH da terra utilizada como inoculante. Embora os chorumes de T2 e T3 apresentem um pH inferior a 7,0, ambos se encontram muito próximo ao mínimo exigido pela IN n°25/2009. Tais resultados sugerem que nestes casos a lixiviação pode ter sido precoce e ter carregado substâncias que ainda não foram degradadas, levando a uma decomposição anaeróbia no recipiente de coleta que, segundo Massaroto (2010) produz compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, como ácidos graxos voláteis e ácido acético que misturados com a água diminuem o pH do lixiviado consideravelmente. Tanto entre os compostos como entre os chorumes (**Tabela 5** e **Tabela 6**), a maior média de pH foi apresentada pelo tratamento T1, sendo este significativamente diferentes dos demais. A análise estatística indica que o pH dos compostos tende a diminuir conforme aumenta a proporção dos restos de

alimentos processados utilizados, provavelmente devido aos ingredientes adicionados no alimento processado.

Tabela 6 – Umidade e características químicas dos chorumes gerados no processo de compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimentos.

	Umidade (%)	pH em H ₂ O	N (%)	P(%)	K(%)	Ca (%)	Mg (%)
IN n°25/09	50% (máx)	6,5 (mín)	0,5% (mín)	-	-	-	-
Terra	11,93	7,25	0,15	0,04	0,006	0,00	0,05
Serapilheira	12,18	7,92	0,84	0,05	0,000	0,48	0,36
CT1	>99 ^a	9,22 ^a	0,02 ^c	0,000 ^b	0,031 ^a	0,01 ^c	0,02 ^b
CT2	>99 ^a	6,18 ^b	0,11 ^a	0,002 ^a	0,003 ^c	0,08 ^a	0,04 ^a
CT3	>99 ^a	6,62 ^b	0,05 ^b	0,002 ^b	0,019 ^b	0,05 ^b	0,05 ^a

CT1 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; CT2 - (4:1:1) Resíduo PRO:Terra:Serapilheira; CT3 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

As porcentagens de N encontradas (**Tabela 5** e **Tabela 6**) estão abaixo de 1,5%, conforme literatura para produção de compostos orgânicos (KIEHL, 1985; FREIRE et al. 2013). Apenas o composto de T2 está dentro dos padrões mínimos da IN n°25/2009, provavelmente por conter materiais processados que levam leite e ovos em suas composições (massas e bolos), sendo este tratamento significativamente diferente dos demais. Estas baixas concentrações devem ocorrer provavelmente pela ausência de resíduos de origem animal e por volatilização durante o processo, tendo em vista que no período de compostagem ocorre o aquecimento e não há reposição da umidade (rega). No processo de compostagem, os microrganismos convertem o nitrogênio em NH₃, durante a decomposição da matéria orgânica, diminuindo assim o teor de nitrogênio do composto, devido à lixiviação, volatilização e utilização pelos microrganismos (MOLLER & SCHIEFERDECKER, 1985; LOUREIRO et al., 2007).

A **Tabela 5** demonstra que os compostos de T1, T2 e T3 apresentam teores de P maiores do que a terra e a serapilheira utilizadas na montagem. A quantidade de P presente nos compostos T1 e T3 são similares entre si e estatisticamente diferentes de T2, que apresenta valor mais alto. Já os valores de cálcio variaram significativamente entre os tratamentos, sendo que T2 e CT2 apresentaram as maiores médias, enquanto T1 e CT1 apresentaram as menores médias. Os resultados indicam que a presença de alimentos processados enriquece o composto com fósforo e cálcio.

Loureiro et al. (2007), ao avaliar a compostagem de resíduos domiciliares encontrou teores de Mg e P semelhantes aos encontrados no presente trabalho. No entanto, os teores de C, N, Ca e K foram mais elevados.

Os chorumes tiveram respostas variadas (**Tabela 6**). Enquanto CT1 apresentou os menores valores para N, P, Ca e Mg, o chorume CT2 apresentou quantidades elevadas e CT3 valores intermediários. O baixo pH dos chorumes CT2 e CT3 deve ser a causa da lixiviação dos metais presentes nos compostos, considerando que o chorume CT1, cujo pH é bem alcalino, apresenta concentrações muito baixas destes elementos.

Embora as relações C/N destes compostos se encontrem abaixo do valor máximo para fertilizantes orgânicos (EPSTEIN, 1997; IN n°25/2009), os baixos valores de C, de N e de pH em algumas composteiras e a umidade elevada dos compostos sugerem que a decomposição não foi completa. Segundo vários autores (KIEHL, 1985; MILLER, 1993; EPSTEIN, 1997; KIEHL, 1998; PEREIRA NETO, 2007; FREIRE et al., 2013), a maturação do composto está relacionada com o aumento do pH, conteúdo de matéria orgânica, diminuição da temperatura e da proporção C/N. Uma vez que as composteiras são estáticas e com baixa aeração, o composto pode não ter maturado. Por isso, fez-se necessário realizar testes de estabilização revolvendo periodicamente o material a fim de determinar em que ponto e de que forma o processo termina.

Os valores de nutrientes dos compostos foram superiores ao da terra utilizada, exceto o potássio de T2, sugerindo que o processo produz um material mais fértil do que o originalmente utilizado. Entretanto as baixas quantidades de C e N excluem este material como adubo segundo a IN n°25/2009. O chorume poderia ser reintroduzido no processo para melhorar a qualidade do composto (WEBER, 2008). Também é provável que a utilização dos compostos como inoculantes em consecutivas composteiras melhorem a qualidade do material produzido.

5.2. Experimento 2

Parâmetros físicos

Como no experimento anterior, embora a temperatura das composteiras sofra variação ao longo do tempo, pode-se notar que ela é dependente da temperatura ambiente (**Figura 6a**). Da mesma forma, ao se tomar a temperatura ambiente como referencial, pode-se observar que a variação das temperaturas das composteiras acompanha a curva de temperatura esperada em um processo de compostagem, como descrito no item 3.2.2 (**Figura 1**).

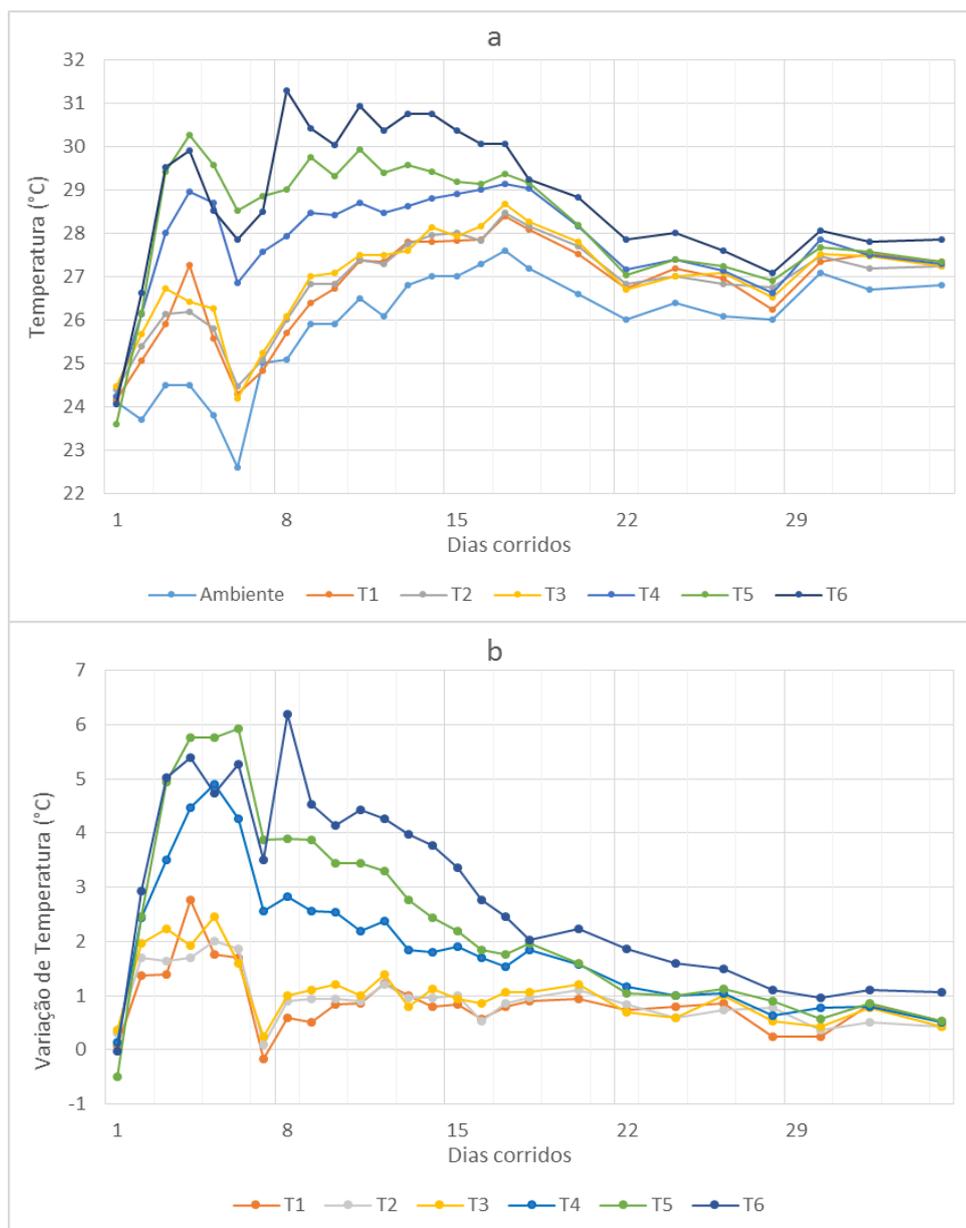


Figura 6 – Temperatura durante a compostagem em PET com diferentes proporções de resíduos.

(a) Variação de temperatura (°C) ao longo do processo (b) Variação de temperatura de acordo com a temperatura ambiente. T1 - (1:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T2 - (2:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T4 - (1:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T5 - (2:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

A **Figura 6b** mostra que compostos com maior quantidade de alimentos processados apresentaram as maiores temperaturas. A estabilização da temperatura ocorreu em um tempo significativamente menor do que a compostagem tradicional. O experimento foi finalizado ao 35º dia, embora não tenha aparentado alteração após o 28º dia.

Os resultados de temperatura do experimento 2 condizem com os resultados encontrados no experimento 1.

A massa final de cada composteira foi comparada com a massa inicial da mistura utilizada em cada tratamento (**Tabela 7**), observando-se que T6 (resíduo MIS na proporção 4:1:1) apresentou maior produção de chorume, menor quantidade de composto e maior redução por desprendimento de gás e vapores. Enquanto T1 foi o oposto, apresentando a menor produção de chorume, maior quantidade de composto e menor redução por desprendimento.

Tabela 7 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes proporções de resíduos, terra e serapilheira.

	Material Inicial (%)	Chorume (%)	Composto (%)	Redução (%)
T 1	100	0,00 ^d	94,47 ^a	5,53
T 2	100	6,46 ^c	86,66 ^b	6,88
T 3	100	15,97 ^a	74,39 ^c	9,64
T 4	100	5,78 ^c	88,15 ^b	6,08
T 5	100	9,66 ^b	85,48 ^b	7,16
T 6	100	18,19 ^a	65,18 ^d	16,63

T1 - (1:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T2 - (2:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T4 - (1:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T5 - (2:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

De acordo com os resultados, observa-se que a produção de chorume é crescente significativamente quando se aumenta a proporção de alimentos (cru ou misturados) em relação à terra e serapilheira. Em geral, os tratamentos com utilização de mistura de alimentos crus e processados produziram mais chorume, quando comparados aos tratamentos com utilização apenas de alimentos crus. A produção de composto foi menor nos tratamentos T3 e T6 caracterizando a maior redução de volume durante o processo da compostagem, pois foram as composteiras com maior quantidade relativa de matéria orgânica inicial. Portanto, considerando os materiais usados para confeccionar as composteiras, observamos que a umidade provém da proporção de alimentos utilizados. Quanto mais alimento utilizado, maior a produção de chorume e menor o volume final de composto.

Os compostos e os chorumes produzidos apresentaram um odor de terra molhada. Durante o período as composteiras não apresentaram indícios de insetos (moscas ou formigas).

Parâmetros químicos

De acordo com a análise de variância (**Tabela 8**), os dados obtidos demonstram que, em termos de umidade, T1 apresentou a menor média, enquanto T6 apresentou a maior média. Os demais tratamentos são significativamente semelhantes entre si. Este dado indica que a proporção e o tipo de material, ambos influenciam na umidade final do composto.

Tabela 8 – Umidade e características químicas dos compostos sólidos gerados no processo de compostagem em garrafas PET utilizando diferente proporções de alimentos.

	Umidade (%)	pH em H ₂ O	M.O.	C (%)	N (%)	C/N	P(%)	K(%)	Ca (%)	Mg (%)
IN n°25/09	50% (máx)	6,5 (mín)	-	15% (mín)	0,5% (mín)	20/1 (máx)	-	-	-	-
Terra	11,93	7,25	3,02	1,75	0,17	10,29	0,06	0,05	0,00	0,05
Serapilheira	12,18	7,92	48,30	28,01	0,84	33,19	0,10	0,06	0,48	0,36
CRU	75,34	5,01	25,60	14,85	1,65	9,01	0,32	0,37	0,42	0,25
PRO	65,93	5,62	69,99	40,60	1,38	29,42	0,17	0,00	0,07	0,05
T1	24,90 ^c	7,07 ^b	7,72	4,43 ^d	0,32 ^d	14,22 ^b	0,06 ^b	0,06 ^c	0,37 ^c	0,03 ^b
T2	35,43 ^b	7,57 ^a	7,64	4,43 ^d	0,35 ^d	12,79 ^b	0,08 ^b	0,09 ^b	0,48 ^b	0,03 ^b
T3	38,13 ^b	7,85 ^a	9,50	5,51 ^b	0,40 ^c	14,06 ^b	0,09 ^b	0,12 ^a	0,47 ^b	0,07 ^a
T4	36,73 ^b	7,10 ^b	8,63	5,01 ^c	0,19 ^e	26,68 ^a	0,08 ^b	0,08 ^b	0,64 ^a	0,05 ^b
T5	36,23 ^b	6,87 ^b	8,61	4,99 ^c	0,47 ^b	10,69 ^c	0,08 ^b	0,07 ^b	0,65 ^a	0,06 ^a
T6	44,68 ^a	6,80 ^b	13,61	7,89 ^a	0,76 ^a	10,43 ^c	0,16 ^a	0,12 ^a	0,63 ^a	0,08 ^a

T1 - (1:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T2 - (2:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T4 - (1:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T5 - (2:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Os maiores valores de pH foram encontrados nos compostos dos tratamentos T2 e T3 (**Tabela 8**), que são os tratamentos com as maiores proporções de alimentos crus, diferindo significativamente dos demais.

Esses resultados evidenciam que a proporção e o tipo de material influenciam no pH final do composto, aumentando significativamente conforme aumenta a quantidade de alimento cru, mas decaindo conforme aumenta a quantidade de alimento processado. É provável que a constituição dos alimentos processados interfira nas condições de desenvolvimento dos microrganismos, principalmente na quantidade de sais, o que segundo Pereira Neto (2007) pode diminuir o processamento adequado da matéria orgânica. No entanto, exceto pelo chorume do tratamento T6 (**Tabela 9**), todos os demais tratamentos apresentaram valores de pH acima do mínimo exigido pela IN 25/2009.

Tabela 9 – Umidade e características químicas dos chorumes gerados no processo de compostagem em garrafas PET utilizando diferentes proporções de alimentos.

	Umidade (%)	pH em H ₂ O	N (%)	P(%)	K(%)	Ca (%)	Mg (%)
IN n°25/09	50% (máx)	6,5 (mín)	0,5% (mín)	-	-	-	-
Terra	11,93	7,25	0,17	0,06	0,05	0,00	0,05
Serapilheira	12,18	7,92	0,84	0,10	0,06	0,48	0,36
CRU	75,34	5,01	1,65	0,32	0,37	0,42	0,25
PRO	65,93	5,62	1,38	0,17	0,00	0,07	0,05
CT1	-	-	-	-	-	-	-
CT2	99,99 ^a	8,59 ^a	0,01 ^c	0,01 ^b	0,03 ^a	0,01 ^b	0,01 ^b
CT3	99,99 ^a	9,05 ^a	0,01 ^c	0,01 ^b	0,04 ^a	0,01 ^b	0,01 ^b
CT4	99,99 ^a	8,56 ^a	0,01 ^c	0,01 ^b	0,02 ^a	0,01 ^b	0,01 ^b
CT5	99,99 ^a	8,29 ^a	0,05 ^b	0,02 ^b	0,02 ^a	0,02 ^b	0,01 ^b
CT6	99,99 ^a	4,39 ^b	0,15 ^a	0,15 ^a	0,03 ^a	0,06 ^a	0,04 ^a

CT1 - (1:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; CT2 - (2:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; CT3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; CT4 - (1:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CT5 - (2:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CT6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Em termos de carbono (**Tabela 8**), o tratamento T6 apresentou a maior média absoluta, seguido por T3, ambos diferentes estatisticamente entre si e dos demais. Os tratamentos T4 e T5 apresentaram valores similares entre si e diferentes dos demais. Os tratamentos T1 e T2 apresentaram valores similares entre si e diferentes dos demais, tendo apresentado as menores médias. Isso indica que a proporção e o tipo de material influenciam na quantidade final de C e matéria orgânica do composto, provavelmente porque alimentos crus tem maior quantidade relativa de água em sua composição do que alimentos processados. No entanto, todos os tratamentos ficaram abaixo dos limites mínimos estabelecidos pela legislação (IN 25/2009). Uma alternativa para aumentar a quantidade de carbono seria utilizar mais serapilheira na montagem das composteiras.

Em termos de N (**Tabela 8**), o tratamento T6 apresentou a maior média absoluta, enquanto o tratamento T4 apresentou a menor média, sendo estatisticamente diferentes dos demais. Os valores mostram que aumento de nitrogênio acompanha o aumento de restos de alimentos utilizados, indicando que esta proporção influencia na concentração de N encontrada. Com exceção do tratamento T6, todos os demais tratamentos apresentaram valores de nitrogênio abaixo do mínimo exigido pela legislação para adubo orgânico (IN 25/2009). Guidoni et al. (2013), estudando a compostagem de resíduos domiciliares compostos principalmente de sobras e cascas de frutas, legumes e hortaliças, também encontraram

porcentagens de N em um dos compostos produzidos, abaixo de 0,5% que é o mínimo exigido pela IN 25/2009.

A relação C/N dos compostos é mais baixa que na serapilheira e nos alimentos processados e mais alta que na terra e nos alimentos crus, materiais utilizados inicialmente nas composteiras, indicando uma maturação do material compostado e estando de acordo com o valor mínimo de exigido pela IN 25/2009.

A análise de fósforo nos compostos (**Tabela 8**) mostra que não há diferença significativa entre os tratamentos, exceto em T6 que apresentou a maior média. A análise de K nos compostos mostra que T1, T4 e T5 são estatisticamente semelhantes entre si e diferem de T2, T3 e T6, que são semelhantes entre si e com resultados maiores. A média da quantidade cálcio em T1 foi a mais baixa e se diferencia significativamente das demais. T2 e T3 assemelham-se, apresentando valores intermediários; enquanto os tratamentos que contêm alimentos processados (T4, T5 e T6) são estatisticamente semelhantes e apresentam as maiores médias. Para magnésio nos compostos, o tratamento T1 apresentou a menor média e o tratamento T6 a maior. Os dados encontrados sobre P, K, Ca e Mg indicam que o tipo de material influencia mais na quantidade final do que a proporção empregada, provavelmente devido ao fato de muitos alimentos processados, como bolos e biscoitos, serem produzidos com leite e enriquecidos com vitaminas e minerais.

Os resultados também indicam que o chorume do tratamento T6 (resíduo MIS na proporção 4:1:1), apresenta as maiores médias para as variáveis peso, N, P, Ca e Mg, sendo estatisticamente diferente dos demais tratamentos (**Tabela 9**). Entretanto, cabe destacar que CT6 apresenta a menor média para pH. Um pH ácido indica maior lixiviação de materiais que não foram totalmente decompostos e de íons dos nutrientes analisados. O uso de uma maior proporção de alimento processado produziu um chorume ácido, divergindo dos demais resultados e corroborando o experimento anterior.

A maioria dos valores encontrados para C, N, P, Ca e Mg no presente trabalho foi menor do que os resultados observados em trabalhos com compostagem domiciliar, embora os valores sofram variações de um trabalho para outro (LOUREIRO & AQUINO, 2004; LOUREIRO et al., 2007; MASSUKADO & SCHALCH, 2010; GUIDONI et al., 2013). Segundo Farias (2001) diferenças encontradas em processos de compostagem indicam principalmente variação do material inicialmente utilizado, que interfere nas rotas bioquímicas do processo, levando a resultados diferentes.

No entanto, cabe ressaltar que o principal motivo para tal variação se deve ao fato dos trabalhos sobre compostagem domiciliar envolverem a utilização de leiras (KIEHL, 1985;

AZEVEDO, 1997; FERNANDES & SILVA, 1999; REIS, 2005; BRITO 2008; MASSUKADO, 2008) ou recipientes acima de 1 m³ (MASSUKADO & SCHALCH, 2010; GUIDONI et al.,2013), cujas montagens foram feitas com resíduos alimentícios variados, resíduos de poda e esterco, sem desprendimento de chorume por conta do revolvimento. A coleta de chorume e a utilização de terra na compostagem em garrafa PET provavelmente contribuiu para os baixos teores de nutrientes encontrados.

Todos os compostos produzidos encontram-se com teores de carbono e nitrogênio abaixo do mínimo exigido pela IN n°25/2009, não podendo ser classificados ou comercializados como adubo. No entanto, o fato dos critérios Umidade, pH e relação C/N estarem de acordo com a IN n°25/2009 indica que o composto pode ser utilizado para melhorar as qualidades do solo ao qual for aplicado.

Experimento 2 - Estabilização

Parâmetros físicos

De acordo com a análise de variância com Teste de Scott-Knot a 5% (**Tabela 10**), os dados obtidos indicam que a variação na produção de composto sólido é significativa, ocorrendo uma redução do material ao longo do tempo, tanto para T3 quanto para T6. No entanto, os resultados apontam que a produção de chorume não varia após 30 dias em T3 e após 60 dias em T6. Os resultados obtidos indicam que a manutenção do material na composteira com revolvimento em 30 e 60 dias deve ter colaborado para reduzir o volume de composto e aumentou o desprendimento de gases, umidade e compostos voláteis, indicando melhores resultados uma vez que a redução de volume é esperada nesse tipo de processo (KIEHL, 1998).

Tabela 10 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET com diferentes resíduos de alimento no ensaio de estabilização.

	Material Inicial (%)	Chorume (%)	Composto (%)	Redução (%)
T3-30	100	15.97 ^a	67.47 ^a	16.55
T3-60	100	16.49 ^a	56.79 ^b	26.72
T3-90	100	16.69 ^a	44.13 ^c	39.18
T6-30	100	18.19 ^B	59.48 ^A	22.33
T6-60	100	22.89 ^A	40.50 ^B	36.61
T6-90	100	23.46 ^A	33.07 ^C	43.47

T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira em 30, 60 e 90 dias de compostagem; T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira em 30, 60 e 90 dias de compostagem; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas para o Tratamento 3 e maiúsculas para o Tratamento 6, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

A temperatura do estudo de estabilização foi controlada durante 90 dias e, embora seja perceptível sua relação com a temperatura ambiente, nota-se que existe uma variação de temperatura maior para o T6 (**Figura 7**). O revolvimento manual das composteiras após 30 e 60 dias não parece ter interferido na tendência da estabilização da temperatura do composto.

Os compostos produzidos apresentaram um odor de terra molhada, o que indica a eficácia do processo, apontando que houve a troca gasosa no sistema, induzindo a predominância do metabolismo aeróbio.

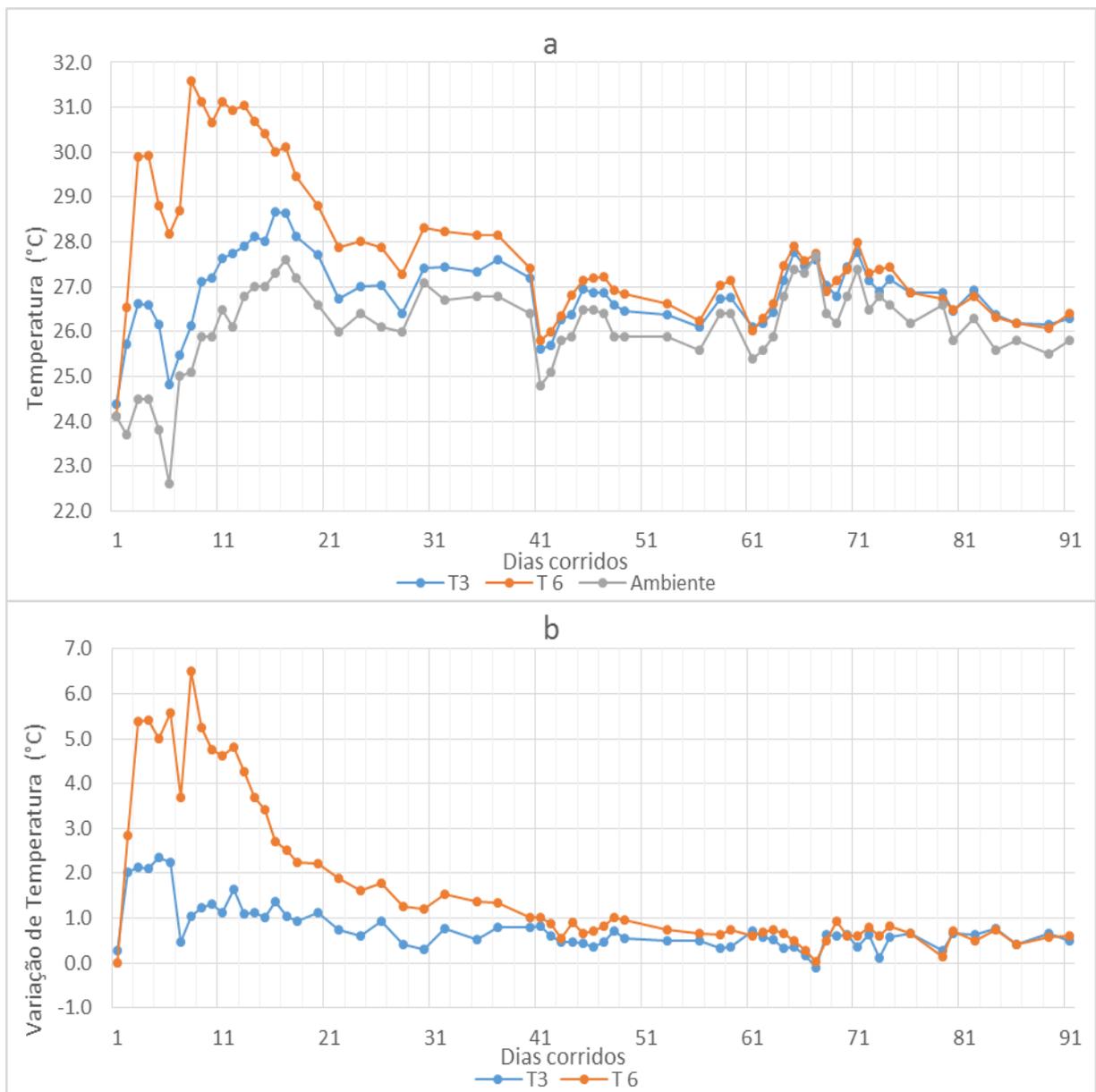


Figura 7 – Temperaturas do ensaio de estabilização da compostagem em PET .

(a) Variação de temperatura (°C) ao longo do processo (b) Variação de temperatura (°C) de acordo com a temperatura ambiente. T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira; T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira; CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados.

Os resultados mostram uma tendência de redução da umidade do material inicial durante o processo de compostagem, e foi observado que quanto mais tempo o material permanece na composteira, mais seco ele fica (**Figura 8**). No entanto, a análise estatística dos tratamentos mostram que em termo de umidade não diferem entre si. O tratamento T6 teve uma menor redução da umidade, a partir de seu material inicial; enquanto o tratamento T3 apresentou maior perda de umidade a partir de seu material inicial, constituído apenas de alimentos crus.

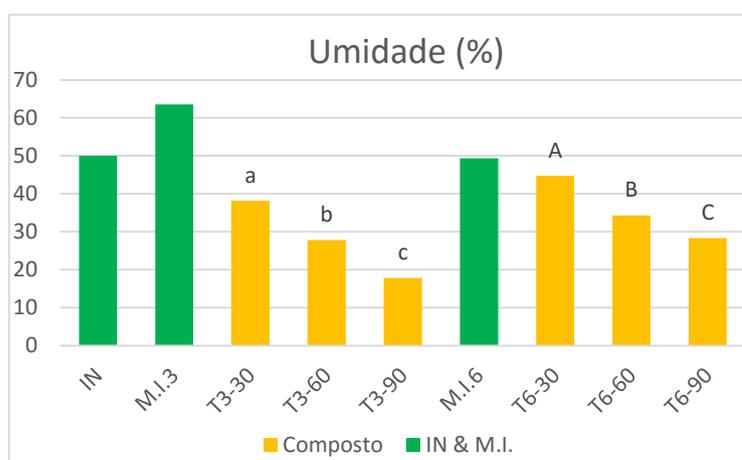


Figura 8 – Teores de umidade do ensaio de estabilização da compostagem em garrafas PET.

T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira, após 30, 60 e 90 dias de compostagem. CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados. IN – IN nº25/2009; M.I.3 – material inicial do Tratamento 3; M.I.6 – material inicial do Tratamento 6.

Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas para o Tratamento 3 e maiúsculas para o Tratamento 6, em barras da mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Parâmetros químicos

Os resultados das análises indicam que em 30, 60 e 90 dias de compostagem, o tratamento T3 não apresenta diferença estatisticamente significativa de C/N, N, K, P, Mg dos compostos, nem apresenta diferença de pH, N, P, Ca entre os chorumes (**Figura 9**). O tratamento T6, em 30, 60 e 90 dias de compostagem, não apresenta diferença estatisticamente significativa de pH, C/N, N, P e Ca dos compostos, nem apresenta diferença de pH, K, P e Ca entre os chorumes (**Figura 9**).

Existe indício de que um período de compostagem superior a 30 dias acarrete em uma ligeira acidificação do composto quando usados apenas resíduos de alimentos crus. Entretanto, pode-se observar que todos os compostos apresentaram pH superior ao material inicialmente utilizado.

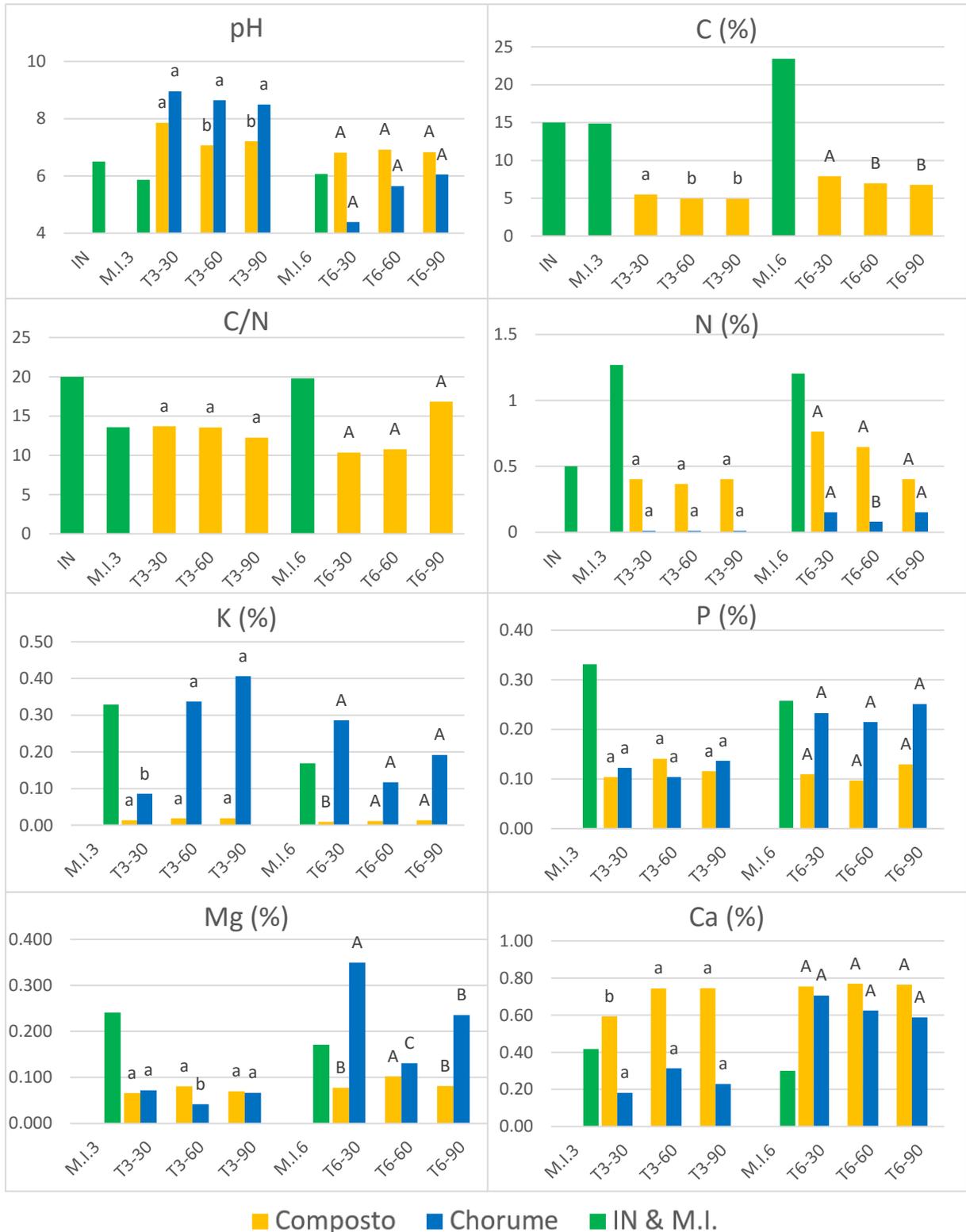


Figura 9 – Teores de nutrientes e pH do ensaio de estabilização da compostagem em PET.

T3 - (4:1:1) Resíduo CRU:Terra:Serapilheira e T6 - (4:1:1) Resíduo MIS:Terra:Serapilheira, após 30, 60 e 90 dias de compostagem. CRU - Restos vegetais crus; MIS - composto 50% restos vegetais crus e 50% alimentos processados cozidos ou assados. IN – IN nº25/2009; M.I.3 – material inicial do tratamento 3; M.I.6 – material inicial do tratamento 6.

Médias seguidas de mesmas letras, minúsculas para o Tratamento 3 e maiúsculas para o Tratamento 6, em barras da mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

A tendência ao longo do tempo é a perda de C nos compostos, através do desprendimento de gás carbônico durante a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos (KIEHL, 1998), o que pode interferir na relação C/N. A perda de N a partir do material inicial é maior em T3 do que em T6, indicando que os sais e minerais presentes no alimento processado possivelmente interferem nos processos metabólicos dos microrganismos que utilizam os compostos nitrogenados.

No decorrer dos períodos de compostagem observou-se um aumento na concentração de K nos chorumes de T3 e nos compostos de T6. A maior parte do K dos dois tratamentos foi carregado na formação de chorume.

Em relação aos valores iniciais, o tratamento T3 teve uma maior redução nas concentrações de P do que o tratamento T6. Os compostos finais apresentaram teores de Mg menores que os iniciais. Enquanto os teores de Ca foram maiores que os materiais iniciais, demonstrando uma diferença significativa ao longo do tempo apenas para o tratamento T3.

Observa-se que ocorreu maior lixiviação de P, Ca e Mg em T6 do que em T3, fato que deve estar relacionado à diferença do pH dos respectivos tratamentos.

Resultados que oscilam irregularmente podem ser consequência da variação da temperatura ambiente durante os períodos analisados, que interfere na liberação de umidade e na produção, evaporação ou volatilização do chorume. Contudo, apesar de averiguadas algumas variações, não há indícios de mudanças significativas após os revolvimentos a cada 30 trintas dias de compostagem. Isto implica que o processo de compostagem em garrafa PET, realizado da forma proposta, alcança sua estabilização dentro do primeiro período de 30 dias.

5.3. Experimento 3

O experimento demonstrou que a temperatura ambiente influencia na produção de chorume e composto. A compostagem a 37 °C produziu a menor quantidade relativa de chorume e o maior desprendimento dos três tratamentos (**Tabela 11**).

Tabela 11 – Distribuição da massa final da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas.

	Material Inicial (%)	Chorume (%)	Composto (%)	Desprendimento (%)
17 °C	100	21,00 ^b	52,93 ^a	26,07
27 °C	100	48,28 ^a	34,93 ^b	16,80
37 °C	100	19,23 ^b	47,50 ^a	33,27

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

A compostagem a 27 °C apresentou a maior quantidade relativa de chorume e a menor quantidade de composto dos três tratamentos (**Tabela 11**), sendo observado que o chorume produzido apresentou cor bem escura (**Figura 10**) e ausência de odores desagradáveis, indicando que a compostagem foi concluída de maneira satisfatória.

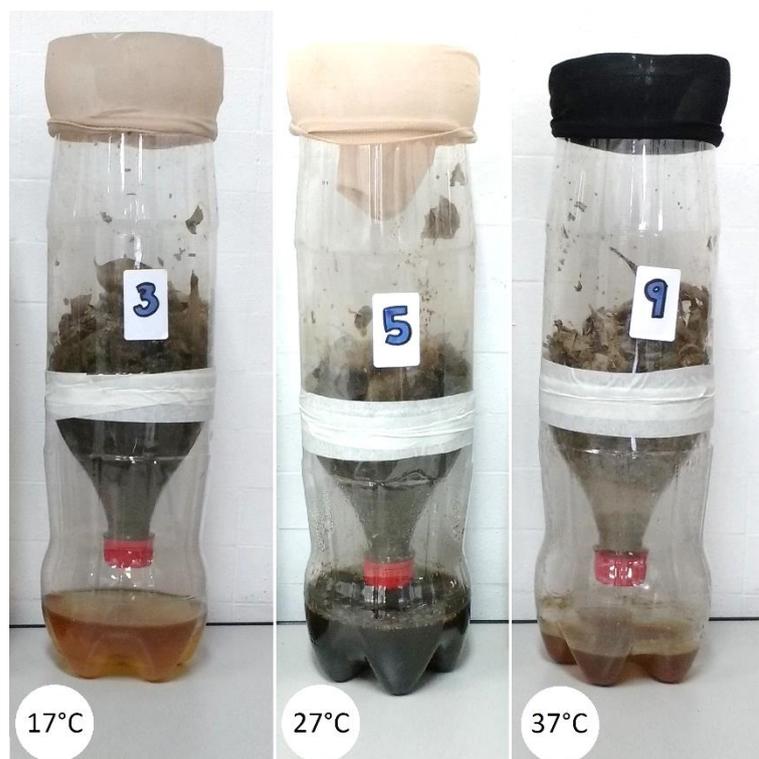


Figura 10 – Resultado da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas.

A compostagem a 17 °C apresentou a maior quantidade relativa de composto dos três tratamentos. Este resultado indica que a decomposição no frio é mais lenta, e o tempo de compostagem pode não ter sido suficiente para finalizar o processo.

Outro dado investigado foi a umidade e pH das composteiras. O tratamento a 27 °C apresentou a maior umidade com 33,84% (**Figura 11**). O fato do tratamento a 37 °C apresentar a menor umidade (0,39%), destacando que o composto estava praticamente seco, sugere a necessidade de repor a água quando a compostagem for feita em ambientes com temperatura elevada, para que o processo não se interrompa por falta de umidade.

A distribuição da massa final das composteiras (**Tabela 11**), junto com a redução de volume (**Figura 10**) e a redução da umidade dos compostos (**Figura 11**) indicam que a temperatura elevada ressecou o material, tendo acelerado a emissão das espécies voláteis para o meio e reduzido a produção de chorume.

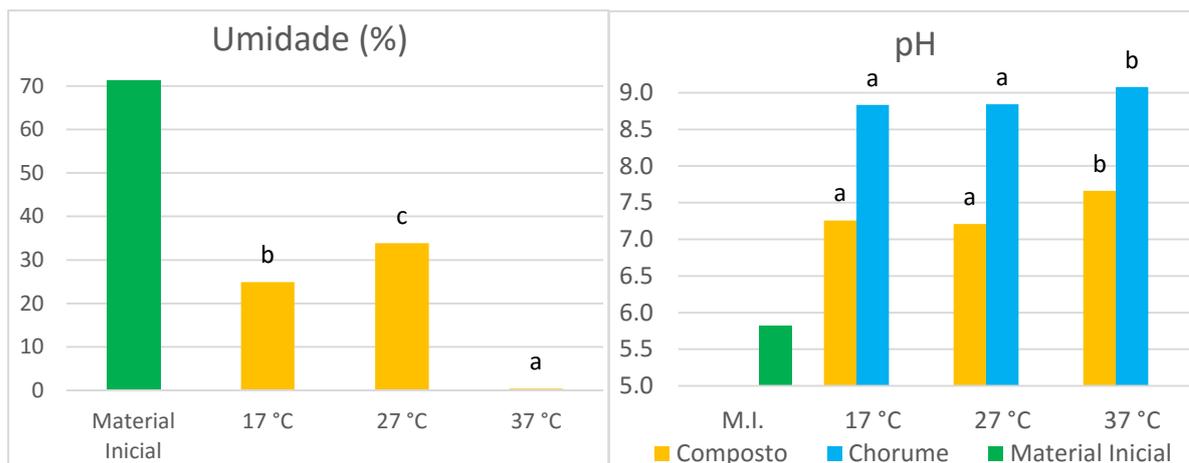


Figura 11 – Umidade e pH da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas.

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas, em barras da mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de significância.

Os resultados indicam que a temperatura influencia nos valores de pH apenas em temperaturas mais altas, uma vez que não houve variação estatisticamente significativa entre os tratamentos a 27 °C e a 17 °C (Figura 11). O tratamento a 37 °C apresentou um pH ligeiramente mais alcalino tanto para o composto como para o chorume.

Apesar de, segundo Stentiford (1996), uma grande redução de umidade poder estagnar o processo de compostagem, uma vez que a atividade microbiana fica comprometida abaixo de 50% de umidade, é provável que a temperatura mais elevada do tratamento a 37 °C tenha acelerado o processo e o material tenha estabilizado antes da perda massiva de umidade.

Os valores médios da umidade de cada composto se encontraram abaixo de 50%, valor máximo permitido para adubos orgânicos (IN n°25/2009); também os valores de pH dos compostos e chorumes dos três tratamentos se encontram acima do mínimo permitido (6,0), indicando, dessa forma, que estão apropriados para o uso.

Antimônio (Sb)

A compostagem em garrafa de politereftalato de etileno (PET) foi também investigada com relação à possibilidade de contaminação do composto e do chorume produzidos neste processo pela espécie química presente neste material empregado como suporte para a composteira.

Após 34 dias de tratamento, amostras de composto e chorume foram coletadas e digeridas em meio ácido conforme o método EPA 3051A (USEPA, 1998) para análise da concentração de Antimônio (Sb) total nestas amostras.

As médias das concentrações de antimônio dos três tratamentos (**Tabela 12**) indicam que os valores encontrados nos compostos são similares aos valores encontrados no material inicial, apontando que não há contaminação pela PET do material sólido resultante da compostagem nesta embalagem. O fato pode ser justificado pela contração do composto ao perder umidade, que acaba se descolando das paredes da PET, perdendo área de contato com a mesma, desfavorecendo a contaminação deste material pelo antimônio.

Tabela 12 – Concentrações de antimônio (Sb) nos materiais produzidos na compostagem em garrafas PET realizada em três temperaturas diferentes.

	Composto (mg.kg ⁻¹)*	Chorume (µg.L ⁻¹)*
Material Inicial	0,042±0,001	-
17°C	0,042±0,001	n.d.
27°C	0,043±0,002	n.d.
37°C	0,044±0,002	0,004±0,001

n.d. – valores abaixo do limite de detecção de 0,0038 µg.L⁻¹. *média e desvio padrão de 3 repetições.

Embora diversos trabalhos relacionem a liberação de antimônio em águas envasadas em garrafas PET quando submetidas ao calor (SHOTYK et al., 2006; WESTERHOFF et al., 2008; KERESZTES et al., 2009; RUNGCHANG et al., 2013; SÁNCHEZ-MARTÍNEZ et al., 2013; BACH et al., 2014) , faz-se necessário considerar que talvez a garrafa PET não seja considerada como um risco de contaminação por esta espécie para materiais sólidos, uma vez que não há modificação da concentração de antimônio antes e após a compostagem. Os valores encontrados no chorume provavelmente advêm do carreamento de antimônio durante a lixiviação do processo, não sendo representativo o suficiente para indicar que a contaminação venha do PET. Futuramente, ensaios devem ser realizados com amostras digeridas da garrafa PET para averiguar a concentração desta espécie em sua composição.

As concentrações de antimônio encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) para solo (Valor de Prevenção = 2,0 mg.kg⁻¹) e água subterrânea (5,0 µg.L⁻¹) e do valor máximo para água potável segundo a União Europeia (2003), indicando que a exposição dos compostos e do chorume à PET não libera esta espécie química no material produzido independente da temperatura de compostagem.

Os valores de recuperação de antimônio nos materiais digeridos foram de 91% no composto sólido e 82% no chorume, encontrando-se dentro da faixa recomendada pela USEPA (1992).

Embora os valores estejam abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) para este contaminante, deve-se investigar a origem do antimônio encontrado no material inicial.

Formaldeído e Acetaldeído

A segurança do uso da garrafa PET como composteira também foi investigada com relação à possibilidade de liberação de alguns aldeídos junto ao composto e ao chorume, como já mencionado em trabalhos internacionais (NAWROCKI et al., 2002; DAŁBROWSKA et al., 2003; MUTSUGA et al., 2006; CERETTI et al., 2010; BACH et al., 2013; BACH et al., 2014), cujos autores relatam que para amostras de água mineral existe essa possibilidade de contaminação em virtude do envase em material plástico. Deste modo, foi imperativo estudar a contaminação por formaldeído e acetaldeído em função do uso da PET, e assim assegurar aos usuários sua segurança.

Os padrões de acetaldeído e formaldeído derivatizados foram inicialmente injetados separadamente, segundo metodologia apresentada na seção 4.5.2. Seus picos foram registrados em 3,2 minutos para o derivatizado DNHP-formaldeído e em 3,6 minutos para o derivatizado DNHP-acetaldeído. A seguir, a análise dos aldeídos derivatizados foi investigada em uma mesma corrida e o cromatograma da mistura destas espécies pode ser observado na **Figura 12**.

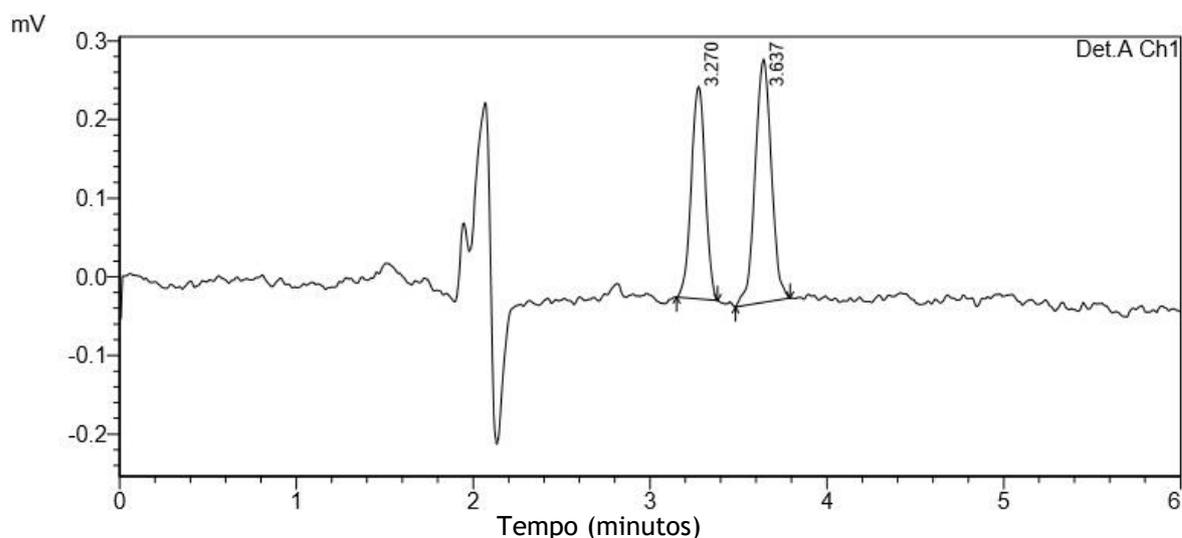


Figura 12 - Cromatograma do padrão DNHP-formaldeído e DNHP-acetaldeído $14,00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de $1,2 \text{ mL por minuto}$, injeção de $20 \mu\text{L}$ e detecção em 360 nm , em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, $4,6 \text{ mm}$ de diâmetro interno, sílica de $5,0 \mu\text{m}$ e poros de 100 \AA .

*Tempo de retenção do DNHP-formaldeído: 3,270 minutos.

Tempo de retenção do DNHP-acetaldeído: 3,637 minutos.

Observa-se a partir do cromatograma que os picos dos aldeídos derivatizados apresentam-se bem resolvidos e separados, e deste modo, em um tempo relativamente curto de análise, foi possível a determinação qualitativa e quantitativa concomitante de acetaldeído e formaldeído derivatizado. A seguir procedeu-se a construção da curva analítica para determinação quantitativa dessas substâncias.

Os padrões dos aldeídos derivatizados nas concentrações de $2,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $3,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $4,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $6,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $8,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $10,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, $12,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $14,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ foram injetados quatro vezes cada um para cálculo de média e confecção das curvas analíticas observadas na **Figura 13** e na **Figura 14**, correlacionando a área com as respectivas concentrações.

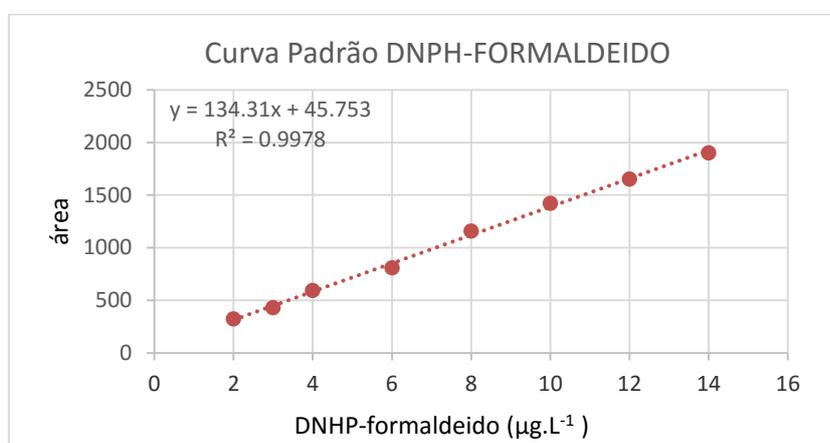


Figura 13 – Curva analítica de DNPH-formaldeído a partir de análise cromatográfica dos padrões em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de $20 \mu\text{L}$ e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de $5,0 \mu\text{m}$ e poros de 100Å , com picos registrados em 3,2 minutos.

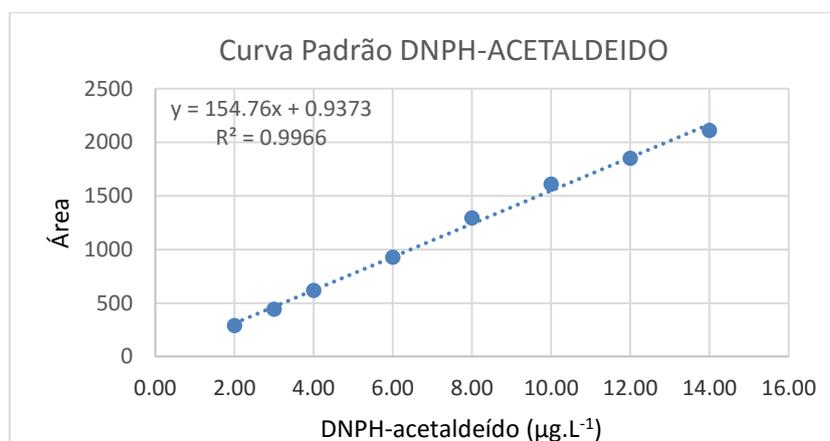


Figura 14 – Curva analítica de DNPH-acetaldeído a partir de análise cromatográfica dos padrões em fase móvel de acetonitrila:água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de $20 \mu\text{L}$ e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de $5,0 \mu\text{m}$ e poros de 100Å , com picos registrados em 3,6 minutos.

Conforme observado na **Figura 13** e na **Figura 14**, é possível notar uma faixa linear de trabalho que se estende de 2,00 a 14,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para os aldeídos derivatizados. Observa-se uma relação linear com valores de coeficientes de correlação linear superiores a 0,99. Deste modo, as curvas analíticas acima apresentadas foram empregadas para determinação da concentração de formaldeído e acetaldeído nas amostras de chorume e de composto obtidos após o processo de compostagem na garrafa PET.

Após a compostagem, amostras de composto e de chorume dos três tratamentos foram coletadas e extraídas conforme o método 8315A (USEPA, 1996). Os resultados das médias das leituras realizadas em um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência com detecção UV são apresentadas na **Tabela 13**.

Tabela 13 – Concentrações de Formaldeído e Acetaldeído em compostos e chorumes produzidos em composteiras de PET sob diferentes temperaturas.

	Formaldeído Compostos (mg.kg^{-1}) ^{1 2}	Redução de Formaldeído ³	Acetaldeído Compostos (mg.kg^{-1}) ^{1 2}	Redução de Acetaldeído ³	Formaldeído Chorumes ($\mu\text{g.L}^{-1}$) ¹	Acetaldeído Chorumes ($\mu\text{g.L}^{-1}$) ¹
M.I.	1,995±0,419		1,604±0,028		-	-
17°C	0,241±0,111	88,0%	0,135±0,115	91,7%	n.d.	n.d.
27°C	0,473±0,047	76,3%	0,901±0,085	43,8%	n.d.	0,0041±0,0003
37°C	0,325±0,060	83,7%	0,765±0,350	52,3%	n.d.	0,0106±0,005

M.I. - Material Inicial.

n.d. – valores abaixo do limite de detecção: 0,0051 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para formaldeídos e 0,0027 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para acetaldeídos
¹média e desvio padrão ²concentração em peso úmido ³porcentagem de redução em relação ao material inicial

Foram realizadas fortificações de uma amostra de água e de uma amostra de composto sólido muflado a 400° C para calcular a taxa de recuperação da concentração adicionada de derivatizados de formaldeído e acetaldeído, cujos valores foram respectivamente 76,1% e 77,7% para amostras sólidas e 56,8% e 56,0% para amostras líquidas.

O experimento indica a necessidade de se adequar a metodologia utilizada para evitar perdas do material analisado durante o processo de transferência dos derivatizados para os cartuchos extratores, sugerindo que o recipiente onde ocorre a derivatização deva ser lavado com tampão diluído no mínimo duas vezes e que este resíduo líquido seja eluído completamente e quantitativamente do cartucho, preferencialmente em sistema *manifold* à vácuo.

Embora a metodologia USEPA (1996) ressalve que os cartuchos ficam amarelos por conta do excesso de DNPH utilizado e que o mesmo não indica a perda do derivatizado, o experimento diverge, tendo sido encontrados traços detectáveis de formaldeído e acetaldeído em uma segunda eluição dos cartuchos com acetoneitrila. O estudo indica que a causa pode ser

o vácuo utilizado, sugerindo ainda que uma maior quantidade de solvente seja necessária na extração efetiva dos derivatizados do cartucho.

Não foi possível correlacionar as concentrações de formaldeído e acetaldeído com o aumento de temperatura na compostagem em PET, indicando que o processo de liberação destes aldeídos da PET em sistemas de compostagem ocorre de maneira distinta do processo de contaminação de águas minerais descritas nos trabalhos que correlacionam a liberação de formaldeído e acetaldeído pela PET com temperaturas mais elevadas (NAWROCKI et al., 2002; BACH et al., 2013; BACH et al., 2014).

Acredita-se também que os valores encontrados podem ser tanto resquícios dos aldeídos presentes no material inicial quanto desprendidos da garrafa PET, uma vez que a presença de aldeídos é característica dos processos de decomposição da matéria orgânica. Entretanto, todos os compostos produzidos apresentaram concentrações de formaldeído e acetaldeído bem abaixo do valor do Material Inicial, indicando que houve decomposição e/ou volatilização destes aldeídos durante a compostagem, sendo esta uma técnica apropriada para a degradação destas espécies.

Alguns autores estabelecem relação de pH ácidos com a liberação de formaldeído e acetaldeído (MUTSUGA et al., 2006; CERETTI et al, 2010), mas o experimento, assim como o trabalho de Dąbrowska (2003), não indicou relação com o pH (**Figura 11**). No entanto, os valores de pH encontrados no presente estudo foram elevados, ressaltando a necessidade de se verificar se chorumes e compostos ácidos poderiam acarretar em maiores contaminações.

Os altos valores de pH da compostagem e a baixa concentração de formaldeído e acetaldeído encontrados indicam, como apontado por Semple, Reid & Fermor (2001), que estes poluentes orgânicos não representam uma contaminação significativa do composto produzido, uma vez que o próprio processo de compostagem ajuda a decompor estas substâncias.

Para refinar os resultados obtidos, novos experimentos devem ser realizados a fim de verificar a influência da temperatura sobre a decomposição de formaldeído e acetaldeído. Em todos os tratamentos, as concentrações encontradas ficaram abaixo dos limites de migração específica estabelecidos para alimentos, regulados pela União Europeia (EU, 2011) em 15 mg.kg⁻¹ para formaldeído e 6 mg.kg⁻¹ para acetaldeído, indicando não haver riscos efetivos à saúde humana para estes contaminantes e que o uso da PET não apresenta riscos de contaminação tóxica por estes poluentes.

6. CONCLUSÕES

Em termos de fertilidade o composto resultante não pode ser considerado um adubo segundo as normas vigentes (IN nº25/2009), mas o estudo sugere que consecutivas compostagens usando o composto como inoculante possa aumentar cumulativamente os nutrientes necessários. Mesmo não se enquadrando na norma, o composto pode ser usado como condicionador do solo, melhorando suas características físicas e aumentando seu pH.

Quanto aos resíduos utilizados, destaca-se a inviabilidade de se utilizar apenas alimentos cozidos ou processados, pois esses acidificam a amostra, reduzem a umidade e aumentam a lixiviação e as chances de fermentação do chorume. Os experimentos sinalizam resultados positivos para compostagem utilizando apenas resíduos crus, sendo o tratamento mais indicado. No entanto, a comparação com tratamento misto de resíduos crus e processados aponta para a possibilidade de introduzir alimentos processados em proporções menores nas composteiras, fato que ainda deveria ser explorado.

O trabalho ainda exprime as diferenças da compostagem em garrafa PET para as demais, que é mais dependente da temperatura ambiente, que acontece em um período de tempo menor e requer menos cuidados.

A maturação do composto ocorre em torno de trinta dias e o estudo de estabilização indica que não há diferença significativa em termos de nutrientes. O estudo aponta que revirar o material das composteiras e prolongar o processo reduz o volume do composto, reduz sua umidade e o pH tende a acidificar. No que se refere ao chorume, as tendências foram resultados ligeiramente maiores ao longo do tempo, fato que pode indicar mais lixiviação durante o processo e/ou concentração por volatilização ou evaporação, uma vez que tanto a proporção de chorume quanto o desprendimento aumentam com o tempo.

Conforme indicam os resultados, os compostos sólidos da compostagem em garrafa PET não sofrem contaminação por antimônio e a variação da temperatura ambiente nas condições estudadas não interfere na concentração deste metal. Valores encontrados no chorume foram muito baixos, indicando que a origem é do próprio material compostado.

O aumento da concentração de formaldeído e acetaldeído não está relacionado ao aumento de temperatura avaliados. Os resultados apontam uma grande redução das concentrações presentes nas amostras iniciais em todos os tratamentos, indicando que a compostagem em PET favorece a decomposição e/ou volatilização de formaldeído e acetaldeído no processo.

Diante o exposto, a compostagem em garrafa PET se mostra um processo eficiente que produz material líquido e sólido que pode ser utilizado para condicionar o solo e acrescentar alguns nutrientes em pequenas quantidades. Além disso, apresenta-se como alternativa sustentável, podendo ser confeccionado e utilizado por qualquer indivíduo, pois não agrega compostos tóxicos (antimônio, formaldeído e acetaldeído) em concentrações que sejam prejudiciais ao ser humano.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 10.004 *Resíduos Sólidos - Classificação*, Rio de Janeiro: ABNT 2004.

ABNT, NBR 13.591 *Compostagem: Terminologia*, Rio de Janeiro: ABNT 1996.

AL-SALEH, I.; SHIWARI, N.; ALSABBAHEEN, A. *Phthalates residues in plastic bottled waters*. The Journal of Toxicological Sciences, v.36, no.4, 2011.

ALVES, W. L. *Compostagem e vermicompostagem no tratamento do lixo urbano*. Jaboticabal: FUNEP, 1996.

AMIRIDOU D.; VOUTSA D. *Alkalyphenols and phthalates in bottledwater*. Journal of Hazardous Materials, Elsevier, no.185, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2011*. São Paulo, SP: ABRELPE, 2012.

_____. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2013*. São Paulo, SP: ABRELPE, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. *PERFIL 2014*. Indústria brasileira de transformação de material plástico. 48 p. 2015.

AZEVEDO, M. A. *Compostagem de Resíduos sólidos orgânicos – aspectos teóricos e operacionais*. Universidade Federal de Viçosa, MG. p44, 1997.

BACH, C. et al. *Effect of temperature on the release of intentionally and non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and potential toxicity*. Food Chemistry, v.139, n. 1, p. 672-680, 2013.

_____. *Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: Chemical analysis and in vitro toxicity*. Food Chemistry, v.162, pp.63-71, 2014.

BARREIRA, L. et al. Qualidade do composto de resíduo sólido urbano. In: BARREIRA, L. et al. [org.] *Gestão Pública de Resíduos Sólido Urbano: Compostagem e Interface Agro-Florestal*. Botucatu: FEPAF, 2009.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO *Instrução Normativa No. 25 de 23 de julho de 2009* Diário Oficial da União, Brasília, 23 de julho de 2009, seção 1, p.20.

_____ Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a *Política Nacional de Resíduos Sólidos*; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília-DF, Diário Oficial da União; 3 ago. 2010.

BRITO, M. J. C.; *Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato*.2008. 124p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Aracaju: Universidade Tiradentes.

CERETTI, E. et al. *Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles*. Water research, v. 44, n. 5, p. 1462-1470, 2010.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – Relatório síntese 1999*. São Paulo: CETESB, 2000.

_____ *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2014.

COELHO, F. C. *Manual Técnico, 03* , Programa Rio Rural. Niterói: 2008.

COPETTI, G. *Projeto de Pátio de Compostagem com Vista à Valorização de Resíduos Sólidos Orgânicos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2012.

COSTA, M. S. S. de M. et al. *Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009.

COSTA, L. E. B. et al. *Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais*. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 3, n. 2, p. 73-90, 2013.

CROMELL, C. *Composting for Dummies*. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.

CRUZ, J. S. et al. *Efeitos da fertirrigação com chorume bovino sobre características físicas e químicas de solos*. I Congresso Brasileiro de Fertirrigação, UFPB, João Pessoa-PB 2003

CUSSIOL, N. A. de M.; ROCHA, G. H. T.; LANGE, L. C. *Quantificação dos resíduos potencialmente infectantes presentes nos resíduos sólidos urbanos da regional sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil*. Cad. Saúde Pública, v. 22, n. 6, p. 1183-1191, 2006.

DĄBROWSKA, A.; BORCZ, A.; NAWROCKI, J. *Aldehyde contamination of mineral water stored in PET bottles*. Food additives and contaminants, v. 20, n. 12, p. 1170-1177, 2003.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. São Paulo: IPT: CEMPRE 2000.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. *The biology of composting: A review*. Waste Man & Res. P. 153-176. 1983.

EDMEADES, D. C. *The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review*. Nutrient cycling in agrosystems, v.66, n.2, p.165-180, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 247p.

EPAMIG *Informe agropecuário: café orgânico*. EPAMIG: Belo Horizonte, MG. v. 23, no.214/215. 2002.

EPSTEIN, E. *The Science of Composting*. Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company, 1997.

EUROPEAN UNION, E. U. *directive 2003/40/EC of 16 May 2003 establishing the list, concentration limits and labelling requirements for the constituents of natural mineral waters and the conditions for using ozone-enriched air for the treatment of natural mineral waters and spring waters*. Official Journal of the European Union L, v. 126, p. 34-39, 2003.

_____, *Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food*. Official Journal of the European Commission, 2011.

FARIAS, C. A. *Resíduos orgânicos alternativos nos processos de compostagem e vermicompostagem*. Tese em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 2001.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. *Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos*. PROSAB, UEL: Londrina, 1999. 83p.

FERREIRA, D. F. *Sisvar: a computer statistical analysis system*. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FILELLA, M.; BELZILE, N.; CHEN, Y. *Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence*. Earth-Science Reviews, v. 57, n. 1, p. 125-176, 2002.

FREIRE, L. R. et al. *Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro*. Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013. 430p.

FRÉSCA, F. R. C. *Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física*. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GARCEZ, C.; GARCEZ, L. *Lixo, coleção Planeta Saudável*. São Paulo: Callis Editora. 2010.

GROSSI, M. G.; VALENTE, J. P. S. *Compostagem doméstica de lixo*. Botucatu, SP: Fundacentro-Universidade Estadual Paulista-Unesp/Botucatu, 2002.

GUIDONI, L. L. C. et al. *Compostagem domiciliar: Implantação e avaliação do processo*. Tecno-Lógica, v. 17, n. 1, p. 44-51, 2013.

HAUG, R. T. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. CRC Press, Flórida, 1993.

IBGE. Tabela 93 - Quantidade diária de resíduos sólidos, domiciliares e/ou públicos, coletados e/ou recebidos, por unidade de destino final dos resíduos sólidos coletados e/ou recebidos, segundo os grupos de tamanho dos municípios e a densidade populacional. Pesquisa nacional de saneamento básico, 2008

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

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos -Relatório de Pesquisa*. Brasília: IPEA, 2012.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Re-evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine and Hydrogen Peroxide*, vol. 71. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, 1999.

_____. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert- Butoxypropan-2-ol*, vol. 88. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, 2006.

KERESZTES, S. et al. *Leaching of antimony from polyethylene terephthalate (PET) bottles into mineral water*. Science of the Total Environment, v. 407, n. 16, p. 4731-4735, 2009.

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

_____. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba: Degaspari, 1998.

KLAUCK, C. R.; RODRIGUES, M. A. S.; SILVA, L. B. *Evaluation of phytotoxicity of municipal landfill leachate before and after biological treatment*. Brazilian Journal of Biology, v.75, n.2, p.57-62, 2015.

LANÇAS, F. M. *Cromatografia em fase gasosa*. São Carlos: Editora Acta, 1993.

LOPEZ-REAL, J. M. *Agroindustrial waste composting and its agricultural significance*. Proceedings of the Fertilizer Society ; 293: 1-26. 1990.

LOUREIRO, D. C.; AQUINO, A. M. de. *Fauna epígea e atributos químicos durante a compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares*. Agronomia, Seropédica, v. 38, n. 2, p. 11-14, 2004.

LOUREIRO, D. C. et al. *Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico*. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 42, n. 7, p. 1043-1048, 2007.

MALAVOLTA, E. et al. *Adubos e adubações*. São Paulo: Nobel, 2002.

MASSAROTO, W. L. *Avaliação de tecnologias para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto, 2010.

MASSUKADO, L. M. *Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

MASSUKADO, L. M.; SCHALCH, V. *Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares*. Revista DAE 183 n1412, São Paulo, 2010.

MILLER, F. C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: METTING, F. B. J. (Eds). *Soil microbial ecology*. Marcel Dekker, New York, pp. 515-544. 1993.

MÖLLER, D. & SCHIEFERDECKER, H. *A relationship between agricultural NH₃ emissions and the atmospheric SO₂ content over industrial areas*. Atmospheric Environment (1967), v. 19, n. 5, p. 695-700, 1985.

MONTEIRO, J. H. P. et al. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001

MUTSUGA, M. et al. *Migration of formaldehyde and acetaldehyde into mineral water in polyethylene terephthalate (PET) bottles*. Food additives and contaminants, v. 23, n. 2, p. 212-218, 2006.

NAWROCKI, J.; DĄBROWSKA, A.; BORCZ, A. *Investigation of carbonyl compounds in bottled waters from Poland*. Water Research, v. 36, n. 19, p. 4893-4901, 2002.

NORTHEAST REGIONAL AGRICULTURAL ENGINEERING SERVICE - NRAES *On-Farm Composting Handbook*. NRAES – Cooperative Extension, Ithaca, NY, 1992

PENTEADO, M. M. et al. *Composteira domiciliar em garrafa PET: influência do material orgânico no procedimento e na fertilidade do composto* XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, SBCS, Natal-RN, 2015

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

PEREIRA, R. A. *Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*)*. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, 2013.

REIS, M. F. P. *Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos*. 239 f. Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental –Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. *Poli (tereftalato de etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009.

RUNGCHANG, S. et al. *Diffusion coefficient of antimony leaching from polyethylene terephthalate bottles into beverages*. *Journal of Food Engineering*, v. 115, n. 3, p. 322-329, 2013.

SACZK, A. A. *Desenvolvimento de metodologia para determinação de contaminantes orgânicos em álcool combustível utilizando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção eletroquímica*. 188p. Tese de Doutorado em Química. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara.2005.

SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, M. et al. *Migration of antimony from PET containers into regulated EU food simulants*. *Food chemistry*, v. 141, n. 2, p. 816-822, 2013.

SEIXAL, CÂMARA MUNICIPAL *Projecto Compostagem no Seixal: O Seu Guia da Compostagem*. Portugal, 2003.

SEMPLE, K. T.; REID, B. J.; FERMOR, T. R. *Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants*. *Environmental Pollution*, Elsevier, nº112, 2001.

SERAFIM, A. C. et al. *Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento*. III Fórum de Estudos Contábeis. Rio Claro: Centro Superior de Educação Tecnológica, p. 6-7, 2003.

SHIMAMOTO, G. G. et al. *Quantificação de antimônio em garrafas de politereftalato de etileno (PET) brasileiras por fluorescência de raios-X e avaliação quimiométrica para verificar a presença de PET reciclado através do teor de ferro*. Química Nova, v.34, no.8, 2011.

SHOTYK, W.; KRACHLER, M.; CHEN, B. *Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers*. Journal of Environmental Monitoring, v. 8, n. 2, p. 288-292, 2006.

SISINNO, C. L. S. et al. *Toxicity evaluation of a municipal dump leachate using zebrafish acute tests*. Bulletin of environmental contamination and toxicology, v.64, n.1, p.107-113, 2000.

SOARES, E. L. de S. F. *Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos*. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

STENTIFORD, E. I.; PEREIRA NETO, J. T.; MARA, D. D. *Sistema de compostagem por pilhas estáticas aeradas*. 13º Congresso da ABES. Maceió-AL, 1985; 26p.

STENTIFORD, E. I. *Composting control, principles and practice*. In: DEBERTOLDI, M.; SEQUI, P.; LEMMES, B. & PAPI, T., eds. *The science of composting*. London, Chapman Hall, 1996. p.49-59

SUNDBERG, C. *Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH*. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 2005

TEDESCO, M. J. et al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *National primary drinking water regulations*. United States Federal register, v. 67, n. 9, p. 1811, Washington, DC, USA, 2009.

_____. *Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils*. USEPA, Washington, DC, USA, 1998.

_____ *Method 8315A Determination of carbonyl compounds by high performance liquid chromatography (HPLC)*. USEPA, Washington DC, 1996.

_____ *Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste*, EPA/530/R94 – 003, 151 p. USEPA, Washington, DC, USA, 1994.

WANG, J et al. *Occurrence and risk assessment of phthalate esters (PAEs) in vegetables and soils of suburban plastic film greenhouses*. *Science of the Total Environment*, v. 523, p. 129-137, 2015.

WEBER. *Avaliação técnica e económica para a implementação de vermicompostagem nos municípios do oeste*. AMOeste, Portugal, 2008.

WESTERHOFF, P. et al. *Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water*. *Water Research*, v. 42, n. 3, p. 551-556, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, *Guidelines for drinking-water quality*. Third edition. Geneva: World Health Organization (2008)