



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**ESCOLA POLITÉCNICA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO PRODUZIDO  
EM COMPOSTEIRA DOMÉSTICA UNIFAMILIAR**

Hitomi Pires Miyamoto

Salvador

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO PRODUZIDO  
EM COMPOSTEIRA DOMÉSTICA UNIFAMILIAR**

Hitomi Pires Miyamoto

Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Viviana Maria Zanta

Co-orientador (a): Dr<sup>a</sup>. Daniele Vital Vich

Salvador

2016

Miyamoto, Hitomi Pires  
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO  
PRODUZIDO EM COMPOSTEIRA DOMÉSTICA UNIFAMILIAR / Hitomi  
Pires Miyamoto. -- Salvador, 2016.  
83 f. : il

Orientador: Profa. Dra. Viviana Maria Zanta.  
Coorientador: Profa. Dra. Daniele Vital Vich.  
Dissertação (Mestrado - Meio Ambiente, Águas e  
Saneamento) -- Universidade Federal da Bahia, Escola  
Politécnica, UFBA, 2016.

1. Compostagem doméstica. 2. Compostagem em pequena  
escala. 3. Resíduos de alimentos. 4. Composto orgânico .  
5. Qualidade microbiológica. I. Zanta, Profa. Dra.  
Viviana Maria. II. Vich, Profa. Dra. Daniele Vital.  
III. Título.



Hitomi Pires Miyamoto

## Avaliação da Qualidade Microbiológica do Composto Produzido em Composteira Doméstica Unifamiliar

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Viviana Maria Zanta  
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Daniele Vital Vich  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Valderi Duarte Leite  
Universidade Estadual da Paraíba

Salvador  
15 de abril de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por manter em mim a fé, a esperança e a força para trilhar a minha caminhada;

Aos meus pais e meus irmãos por acreditarem em mim e por sempre apoiarem as minhas decisões, mostrando o verdadeiro sentido da família, sendo esta a base para a construção de um bom caráter e que apesar de quilômetros de distância é sempre possível estar juntos e unidos quando se existe amor;

À minha orientadora Viviana pelo apoio e pela confiança depositada em mim, mostrando-se sempre solícita as minhas inquietações e necessidades que desafiaram essa minha caminhada;

À minha co-orientadora Daniele Vich que ao longo dessa jornada esteve ao meu lado e me proporcionou a segurança técnica e o conhecimento necessários para a realização desse trabalho, tornando-se uma grande amiga;

Ao professor Luciano Queiroz pela sua disponibilidade e objetividade na transferência do conhecimento que contribuíram para o enriquecimento desse estudo;

Ao professor Valderi Leite pela sua simplicidade, análise crítica e disponibilidade em compor a minha banca examinadora;

À toda equipe do grupo de resíduos sólidos e efluentes, em especial, aos estagiários que também me acompanharam durante as análises laboratoriais;

Aos meus amigos e especialmente ao meu namorado por me acompanharem ao longo dessa jornada, sempre me apoiando e incentivando;

Aos companheiros de curso por partilharem os momentos de alegrias, frustrações, discussões, aceitações e conhecimentos adquiridos no decorrer dessa jornada, em especial à Luisa e à Ana Rosa pelo apoio e amizade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudos concedida para o desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, à todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse ao fim de mais uma etapa desta minha caminhada, mostrando que ainda tenho muito que almejar e conquistar.

Dedico este trabalho aos meus pais, Socorro e Yoshiki, meus irmãos Hideki e Hideyoshi e meu namorado Caio Anadi que a cada dia tornam a minha caminhada mais leve e que fortalecem o meu coração com o amor, a confiança e o companheirismo ofertados a mim.

## AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Nome do Autor: Hitomi Pires Miyamoto

Assinatura do autor: *Hitomi Pires Miyamoto*

Instituição: Universidade Federal da Bahia

Local: Salvador - Bahia

Endereço: Rua Aristides Novis, 02, 4º andar, Federação, Salvador - BA

E-mail: hitomiyamoto@hotmail.com

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Água aprisionada
AC	Água capilar
AMMC	Água molecular de múltipla camada
IN	Instrução Normativa
LABEXSAN	Laboratório Experimental de Saneamento
LABRE	Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes
LMa	Lascas de Madeira
MAPA	Ministério da agricultura pecuária e abastecimento
NMP	Número Mais Provável
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Resíduos de Alimentos
RO	Resíduos Orgânicos
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
TECRESOL	Pesquisa intitulada Metodologias e tecnologias para a gestão sustentável de resíduos sólidos: ênfase na redução e valorização em ambientes urbanos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de composteira utilizada em experimento realizado por Tatano <i>et al.</i> (2015).....	33
Figura 2 – Reator utilizado no sistema de compostagem (Guidone <i>et al.</i> , 2013) .....	36
Figura 3 – Frequência de amostragem e parâmetros físico-químicos e microbiológicos determinados .....	42
Figura 4 – Recipiente perfurado para ser utilizado como reator do processo de compostagem.....	43
Figura 5 – Resíduos de Alimentos (RA) coletados nos restaurantes populares.....	44
Figura 6 – Triturador (a) e RA triturados e homogeneizados (b).....	45
Figura 7 – Peneiramento da serragem (a) e material retido na peneira (b).....	46
Figura 8 – Esquema da alimentação em batelada de cada composteira .....	47
Figura 9 – Vista das Composteiras preenchidas com RA e LMa .....	48
Figura 10 – Termômetro digital (a) e monitoramento da temperatura (b).....	51
Figura 11 – Revolvimento da massa de compostagem com auxílio da colher de madeira .....	52
Figura 12 – Balança analítica (a), dessecador (b), estufa graduada a 65°C (c) e estufa graduada a 105°C (d) .....	52
Figura 13 – Agitador Magnético e pHmetro (a) e Análise de pH em CaCl <sub>2</sub> 0,01M e Água Destilada (b).....	55
Figura 14 – Analisador de carbono orgânico total (a) e cápsula para análise de TOC (barquinha) contendo amostra sólida (b).....	56
Figura 15 – Bloco Digestor (a), Destilador de nitrogênio (b) e Titulador automático (c) .....	56
Figura 16 – Análise microbiológica pelo método de detecção Colilert .....	58
Figura 17 – Diluição da amostra (a), adição do reagente à amostra (b) e amostra homogeneizada e solubilizada com reagente (c) .....	59

Figura 18 – Seladora para fechar hermeticamente as cartelas Quany- <i>Tray</i> (a) e cartela contendo amostras para detecção de coliformes totais (b) .....	59
Figura 19 – Câmara escura (a) e cartela para detecção de <i>Escherichia coli</i> (b) .....	60
Figura 20 – Constituição percentual de cada alimento nos resíduos de alimentos ..	61
Figura 21 – Comportamento do perfil da variação temporal da temperatura.....	64
Figura 22 – Teor de umidade determinado à temperatura de 65°C e 105°C.....	65
Figura 23 – Redução de STV e de massa ao longo do processo de compostagem	67
Figura 24 – Linearização dos dados de STV (g) para determinação da constante de velocidade de degradação da matéria orgânica .....	68
Figura 25 – Linearização dos dados de STV (g) para determinação da constante de velocidade de degradação da matéria orgânica dos RA (a) e da LMa (b) .....	69
Figura 26 – Variação do pH ao longo do processo de compostagem: (a) H <sub>2</sub> O destilada e (b) CaCl <sub>2</sub> .....	70
Figura 27 – Variação dos teores de carbono (a), nitrogênio (b) e da relação C/N (c) ao longo do processo de compostagem .....	72
Figura 28 – Linearização dos dados de COT (g) para determinação da constante de velocidade de consumo de COT.....	73
Figura 29 – Concentração de micro-organismos ao longo do processo de compostagem: (a) Coliformes Totais e (b) <i>Escherichia coli</i> .....	74
Figura 30 – Influência da temperatura na concentração de micro-organismos na primeira semana do processo de compostagem .....	75
Figura 31 – Caracterização granulométrica do composto final nas composteiras sem revolvimento e com revolvimento .....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de Monitoramento, Método e Frequência das Análises realizadas durante o Processo de Compostagem.....	50
Quadro 2 – Protocolo para determinação do teor de umidade.....	53
Quadro 3 – Protocolo para determinação da série de sólidos.....	54
Quadro 4 – Protocolo para determinação do pH.....	55
Quadro 5 – Protocolo para determinação do carbono orgânico total e nitrogênio total kjeldahl.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões Microbiológicos Preconizados pelo CONAMA e valores obtidos do produto de compostagem .....	24
Tabela 2 – Principais resultados observados nos reatores do experimento de compostagem realizado por Hess <i>et al.</i> (2004) .....	27
Tabela 3 – Especificações do fertilizante orgânico composto.....	39
Tabela 4 – Valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos.....	40
Tabela 5 – Composição gravimétrica dos RA coletados nos restaurantes populares e utilizado na compostagem .....	45
Tabela 6 - Características físico-químicas e microbiológicas das Lascas de Madeira e dos Resíduos de Alimento utilizados na compostagem.....	47
Tabela 7 – Caracterização física de cada material componente dos resíduos de alimentos .....	62
Tabela 8 – Valores dos parâmetros de umidade, NTK e COT de cada componente dos RA e o percentual de contribuição de NTK e COT de cada elemento em relação à massa total dos RA.....	63

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	53
Equação 2 .....	53
Equação 3 .....	54
Equação 4 .....	67

## RESUMO

A compostagem doméstica é uma opção tecnológica de reciclagem capaz de reinserir os resíduos orgânicos (RO) gerados pelas atividades humanas no ciclo produtivo. Esse trabalho avaliou o processo de compostagem de resíduos de alimentos com lascas de madeira (LMA) quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, dando ênfase à qualidade microbiológica do composto orgânico produzido em composteira doméstica de pequena escala. A análise foi realizada por meio do comportamento temporal dos parâmetros temperatura, pH, umidade, sólidos totais voláteis (STV), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), relação C/N, coliformes totais e *Escherichia coli*. As LMA e os RA foram utilizados na proporção de 2:1 em volume (v:v), respectivamente. O sistema de compostagem foi constituído por um conjunto de 20 composteiras com volume de 22 L e com aeração natural. Cada composteira foi amostrada uma única vez, respeitando intervalos de tempo pré-definidos, totalizando 111 dias de experimento. Observaram-se picos de temperaturas em torno de 45°C, após 16,5 horas de experimento, que foi mantida por cerca de 5 horas. A umidade e a relação C/N inicial foram iguais a  $71,2 \pm 1,42$  e  $52,2$ , respectivamente, atingindo ao final do tempo de observação valores de  $62,8 \pm 0,09$  para umidade e  $22,8$  para a relação C/N. Os valores de pH aumentaram de  $4,86 \pm 0,03$  para  $7,96 \pm 0,01$ . A concentração de NTK aumentou de 0,68% para 1,49% e o COT aumentou de  $35,4\% \pm 1,2$  para  $40,3 \pm 0,5$  até o 19º dia, mas, reduziu para 34% ao final do experimento. Constatou-se a presença de alta concentração de coliformes totais ( $8,6 \times 10^6$  NMP/g<sub>(ST)</sub>) e *E. coli* ( $13,5 \times 10^2$  NMP/g<sub>(ST)</sub>) inicial, contudo, durante o processo a concentração reduziu gradualmente alcançando níveis de  $43,7 \times 10^4$  NMP/g<sub>(ST)</sub> para coliformes totais e menor do que 1 NMP/g<sub>(ST)</sub> para a população de *E. coli* no produto final, estando, de acordo com o permitido pela legislação brasileira. Ao final de 111 dias a redução de matéria orgânica biodegradável em STV foi de, aproximadamente, 53 % e a sanitização do composto foi obtida após 68 dias. Concluiu-se que, no presente estudo, a sanitização do composto produzido em pequena escala foi devido ao tempo de duração do processo.

**Palavras-chave:** Compostagem doméstica, compostagem em pequena escala, resíduos de alimentos, composto orgânico e qualidade microbiológica.

## ABSTRACT

Home composting is a technology recycling option able to reenter the organic waste (OW) generated by human activities in the production cycle. This study evaluated the food waste composting process with wood chips (WCh) as the physical, chemical and microbiological parameters, focusing on the microbiological quality of the compost produced in domestic composter small scale. The analysis was performed based on the temporal behavior of the parameters temperature, pH, moisture, volatile total solids (STV), total organic carbon (TOC), total nitrogen Kjeldahl (NTK), C/N ratio, total coliforms and *Escherichia coli*. WCh and OW were used in the ratio 2:1 by volume (v:v), respectively. The composting system consisted of a set of 20 composters with a volume of 22 L and with natural aeration. Each composter was sampled once, respecting predefined time intervals, totaling 111 days of experiment. It was observed peak temperature around 45 ° C after 16.5 hours of experiment, which was maintained for about 5 hours. The moisture and the C / Initial N were equal to 71.2 ± 1.42 and 52.2, respectively, reaching at end of the time of observation with values 62.8 ± 0.09 for moisture, and 22.8 for C/N ratio. The was increased pH from 4.86 ± 0.03 to 7.96 ± 0.01. The concentration of NKT increased from 0.68% to 1.49% and TOC increased from 35.4% ± 1.2 to 40.3 ± 0.5 until the day 19, but decreased to 34% at the end experiment. It was observed the presence of initial high concentration of coliforms (8.6 x 10<sup>6</sup> MPN/g (ST)) and *E. coli* (NMP 13.5 x 10<sup>2</sup>/g (ST)), however, during the process the concentration decreased gradually, reaching levels of 43.7 x 10<sup>4</sup> MPN/g (ST) for total coliforms and less than 1 NMP/g (ST) for the population of *E. coli* in the final product, according with the permitted limits Brazilian. At the end of 111 days the reduction of biodegradable organic matter in STV was approximately 53% and the sanitizing of the compound was obtained, after 68 days. Concluded that, in the study, the sanitization of the compound produced in small scale was due to time duration of the process.

**Key-words:** Home composting, small scale composting, food waste, compost organic and microbiological quality.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
2.1.	Objetivo geral.....	19
2.2.	Objetivos Específicos .....	19
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
3.1.	Estudos de indicadores microbiológicos.....	20
3.1.1.	<i>Definição de indicadores microbiológicos</i> .....	20
3.1.1.1.	<i>Coliformes totais</i> .....	21
3.1.1.2.	<i>Coliformes termotolerantes e Escherichia coli</i> .....	22
3.1.2.	<i>Indicadores microbiológicos de patogenicidade em compostagem</i> .....	23
3.1.3.	<i>Indicadores microbiológicos do processo de compostagem</i> .....	28
3.2.	O composto: qualidade de acordo com as legislações pertinentes .....	38
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
4.1.	Concepção da Composteira .....	43
4.2.	Preparo dos Resíduos .....	43
4.3.	Partida das Composteiras C1 a C20 .....	46
4.4.	Monitoramento do Processo de Compostagem.....	49
4.4.1.	<i>Parâmetros físicos e químicos</i> .....	51
4.4.2.	<i>Parâmetros Microbiológicos</i> .....	57
4.4.3.	<i>Granulometria do produto final</i> .....	60
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>61</b>
5.1.	Caracterização dos resíduos de alimentos (RA).....	61
5.2.	Processo de compostagem .....	63
5.2.1.	<i>Parâmetros físicos e químicos</i> .....	63
5.2.2.	<i>Parâmetros microbiológicos</i> .....	73
5.2.3.	<i>Granulometria do produto final</i> .....	75
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>77</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos coletados diariamente que em sua maior parte são destinados a aterros sanitários ou vazadouros a céu aberto. A matéria orgânica biodegradável, quando disposta inadequadamente no meio ambiente, contribui para a poluição da água, do solo, do lençol freático, dispersão de maus odores e atração de vetores capazes de causar doenças, tornando-se um grave problema sanitário e de saúde pública.

A matéria orgânica não valorizada representa desperdício de matéria e energia e a emissão de gases oriundos da decomposição da matéria orgânica sem tratamento contribuem para o efeito estufa. Portanto, a adoção de tecnologias de tratamentos que promovam a valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos pode significar um aumento da ecoeficiência do seu ciclo de vida.

A valorização dos resíduos orgânicos por meio da técnica da compostagem consiste na biodegradação aeróbia desses materiais, pela ação de diferentes comunidades de micro-organismos, até a sua estabilização e produção do composto, um material com qualidade nutricional e sanitária que pode ser utilizado na agricultura.

A compostagem é uma opção tecnológica de reciclagem capaz de reinserir os resíduos orgânicos gerados pelas atividades humanas no ciclo produtivo. Essa tecnologia recupera os nutrientes contidos no material orgânico, reintegrando-os às práticas agrícolas, reduz o uso de fertilizantes químicos e industriais, evita o lançamento de resíduos no meio ambiente, diminui custos e a energia gasta com o transporte de resíduos, aumenta a vida útil de aterros sanitários, além de diminuir a emissão de gases de efeito estufa.

A técnica pode ser operada em diferentes escalas, em geral, variando entre 250 litros a vários metros cúbicos. A compostagem doméstica em pequena escala, *in situ*, é aquela feita no domicílio e em pequenas áreas, com volumes que não sejam superiores a 50 litros, como a realizada nesse trabalho. Essa compostagem permite uma melhor qualidade na segregação dos resíduos orgânicos, além de reduzir os custos com transporte de resíduos, uma vez que é realizada no próprio local da fonte geradora.

No Brasil foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Essa Lei indica em seu nono artigo, a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, a qual deve ser a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos prioriza a compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos como estratégia para atender aos requisitos da PNRS promovendo a reinserção dessa matéria orgânica no ciclo produtivo. Ainda, de acordo com o relatório sobre os indicadores de desenvolvimento sustentável (IBGE, 2012) a compostagem é citada como uma das alternativas tecnológicas considerada como um indicador que expressa a capacidade de fornecer destinação final adequada aos resíduos orgânicos coletados.

No Brasil, poucos são os trabalhos que estudam a compostagem doméstica em pequena escala, no que se refere a sua qualidade microbiológica ou sua segurança sanitária para uso agrícola.

Desse modo, o presente estudo avaliou parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do processo, com ênfase na presença e comportamento de microorganismos patogênicos (coliformes totais e *Escherichia coli*), durante o processo de compostagem de resíduos de alimentos em composteira doméstica de pequeno porte.

Este estudo integra parte da pesquisa denominada Metodologias e tecnologias para a gestão sustentável de resíduos sólidos: ênfase na redução e valorização em ambientes urbanos - TECRESOL financiada pela FINEP/ CNPq.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar o comportamento de micro-organismos patogênicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) durante o processo de compostagem de resíduos de alimentos em composteira doméstica de pequena escala.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Monitorar os parâmetros físicos e químicos durante o processo de compostagem;
- Verificar a presença e quantificar o número mais provável (NMP) de coliformes totais e *Escherichia coli* nos resíduos de alimentos e na massa de compostagem.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Estudos de indicadores microbiológicos

##### 3.1.1. Definição de indicadores microbiológicos

Os indicadores microbiológicos podem pertencer a qualquer grupo taxonômico, fisiológico ou ecológico de micro-organismos, de modo que a sua presença ou ausência proporcione uma evidência indireta da característica de determinado material. No geral, tais indicadores são mais frequentemente utilizados para avaliar a segurança e a sanificação dos produtos e, portanto, estão associados a micro-organismos patogênicos provenientes de fontes intestinais, decorrentes de uma contaminação fecal de forma direta ou indireta (Forsythe, 2002 & Jay, 2005).

Ainda, para Franco & Landgraf (2008), os micro-organismos indicadores são utilizados na avaliação da qualidade microbiológica de diversos produtos devido às dificuldades para a detecção de micro-organismos patogênicos. Esses indicadores são grupos ou espécies de micro-organismos que, quando presentes, fornecem informações da ocorrência de contaminação de origem fecal, da provável presença de patógenos, além de advertir sobre as inadequadas condições sanitárias das formas de processamento, produção ou armazenamento.

Um micro-organismo indicador sugere a presença de um organismo marcador capaz de indicar a possível presença de um patógeno com características ecológicas semelhantes (Forsythe, 2002). Além disso, deve ser detectável de forma fácil e rápida, estar sempre presente quando o patógeno estiver presente, possuir características e taxa de crescimento equivalente às do patógeno e possuir uma taxa de mortalidade que seja ao menos paralela a do patógeno e, de preferência que persista por mais tempo do que o último (Forsythe, 2002; Jay, 2005; Franco & Landgraf, 2008). Os micro-organismos indicadores comumente utilizados são Coliformes, *Escherichia coli*, Enterobactérias e Estreptococos fecais (Forsythe, 2002 & Jay, 2005).

### 3.1.1.1. *Coliformes totais*

Os coliformes totais são bactérias gram-negativas, em forma de bastonetes, aeróbias ou anaeróbias facultativas, não formadores de esporos e que podem ser utilizados nas análises de materiais tratados termicamente. Produzem gás proveniente da glicose e outros açúcares e fermentam a lactose até a produção de ácido e gás em um período de 48 horas a 35-37°C. O grupo dos coliformes totais é representado por quatro gêneros da família Enterobacteriaceae: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* (Forsythe, 2002; Jay, 2005; Franco & Landgraf, 2008). Os coliformes são utilizados como micro-organismos indicadores, pois, servem como medida de provável contaminação fecal, podendo indicar a potencial presença de patógenos entéricos (Forsythe, 2002 & Jay, 2005).

Segundo Jay (2005), os coliformes são capazes de crescer em meios diversos e em variados tipos de alimentos, podendo ser identificados em ambientes de temperaturas muito baixas (-2°C) e muito altas (50°C) e também em meios de pH tanto ácido como básico, entre 4,4 e 9,0.

É possível encontrar coliformes no ar, na poeira, nas mãos e em muitos alimentos. A questão não está na possibilidade de identificação dos coliformes, mas sim no seu número relativo, pois, é improvável o alcance da eliminação de todos os coliformes, seja nos alimentos frescos, refrigerados ou outros tipos de produtos. A atenção deve voltar-se para a manipulação correta dos materiais de interesse, para que assim, o número de coliformes presentes sejam baixo o suficiente para não ter significância do ponto de vista da saúde pública (Jay, 2005). Desse modo, o ideal é conhecer os números de referência que determinam que tal produto tornou-se impróprio para o consumo.

Os coliformes totais podem ser bem cultivados em ágar nutriente produzindo colônias já visíveis dentro de 12 a 16 horas. Crescem na presença de sais biliares que inibem o crescimento de bactérias gram-positivas. O fácil cultivo e a capacidade de isolamento seletivo a partir de várias fontes são características que tornam os coliformes indicadores ideais de contaminação fecal (Jay, 2005).

Normalmente, o método escolhido para detecção de coliformes é o Número Mais Provável (NMP). Esse método apresenta vantagens pela sua relativa simplicidade para ser executado, pela facilidade de comparação dos resultados entre um

laboratório e outro e pela possibilidade de grupos específicos de organismos serem detectados pelo uso apropriado de meio seletivo ou diferencial. Contrariamente, dentre as dificuldades do método estão: a necessidade de grandes quantidades de vidrarias, a falta de oportunidade de se observar a morfologia da colônia dos organismos e a falta de precisão.

### 3.1.1.2. *Coliformes termotolerantes e Escherichia coli*

Os coliformes termotolerantes são grupos de bactérias pertencentes aos coliformes totais, porém, apresentam a capacidade de continuar fermentando lactose com produção de gás em caldo EC sob temperaturas entre 44-46°C, comumente a 44,5 ou 45,5°C (Jay, 2005; Franco & Landgraf, 2008). Em tais condições, aproximadamente 90% das culturas de *E. coli* são positivas. A presença de coliformes termotolerantes ou, simplesmente, *E. coli*, fornece informações mais confiáveis sobre as condições higiênicas do produto e da eventual presença de enteropatógenos (Franco & Landgraf, 2008).

Sabendo-se que a *E. coli* é melhor indicador de contaminação fecal que outras espécies é desejável a determinação de sua incidência em uma população de coliformes. Portanto, um teste para coliformes termotolerantes é, essencialmente, um teste para *E. coli* tipo I (Jay, 2005).

Secundariamente, *Escherichia coli* pode ser encontrada no solo e na água como resultado de contaminação fecal. Classicamente, sua detecção tem sido usada como indicador de má qualidade da água. A presença de *E. coli* no ambiente deve refletir a possibilidade de contaminação fecal e não a sua habilidade de se replicar livremente fora do intestino (Welch, 2006).

A *E. coli* pode crescer em meios mínimos contendo uma única fonte de carbono, de nitrogênio e minerais. Os valores de pH para a sua multiplicação estão entre o mínimo de 4,3 a 4,4 e o máximo de 9,0 a 10, sendo o valor ótimo de pH entre 6,0 e 8,0 (Jay, 2005; Franco & Landgraf, 2008).

De acordo com Trabulsi & Alterthum (2008), a diversidade das linhagens patogênicas da *E. coli* é ampla e compreende pelo menos cinco categorias de amostras que causa infecção intestinal por diferentes mecanismos. São coletivamente chamadas de *E. coli* diarreio gênica, sendo: *E. coli* enteropatogênica

(EPEC), *E. coli* enteroemorrágica (EHEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC), *E. coli* enterotoxigênica (ETEC) e *E. coli* enteroinvasora (EIEC). A diarreia é o sintoma clínico comum entre todas estas linhagens, porém a gravidade da infecção varia conforme a especificidade de cada uma delas.

### **3.1.2. Indicadores microbiológicos de patogenicidade em compostagem**

Dadas condições ideais de aeração, umidade, tamanho de partícula e relação carbono/nitrogênio dos materiais compostáveis, o processo de compostagem gera altas temperaturas (55 a 65°C) por um período adequado para a inativação dos micro-organismos considerados patogênicos. Diferentes regulamentações recomendam que os processos de compostagem realizados em vasos ou pilhas estáticas aeradas devem garantir temperatura de 55°C ou superior durante pelo menos três dias para atingir a destruição adequada dos patógenos (Lung *et al.*, 2001). No entanto, algumas pesquisas comprovam a dificuldade em se atingir os padrões de qualidade exigidos nas normas, mesmo após obtenção de tais faixas de temperatura (Soares *et al.*, 1995; Hess *et al.*, 2004).

Caso o processo de compostagem não seja adequadamente controlado, pode haver a dispersão e proliferação de termotolerantes alergênicos, fungos potencialmente patogênicos e bactérias termofílicas, além de emitir gases como o CH<sub>4</sub> que contribuem para o efeito estufa. Dentre as bactérias estão *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Yersinia*, *Streptococcus* e *Klebsiella* que podem surgir e causar infecções para aqueles que operam a compostagem e trabalham na agricultura (Hassem *et al.*, 2001 & Chroni *et al.*, 2009).

Umidade, disponibilidade de carbono e diversidade microbiana são os principais parâmetros que afetam o ressurgimento de patógenos em compostos. Assim, embora a compostagem seja um método eficaz para reduzir o número de agentes patogênicos viáveis, o processo deve ser cuidadosamente monitorado e gerenciado para minimizar os riscos de segurança microbiológica de compostos oriundos de diferentes resíduos orgânicos (Lung *et al.*, 2001).

A temperatura e o tempo de exposição são mecanismos eficazes na eliminação de patógenos durante o processo de compostagem. Para Heck *et al.* (2012), é na fase termofílica do processo de compostagem que ocorre a diminuição das populações

bacterianas patogênicas provenientes dos resíduos orgânicos domésticos estabilizando, portanto, o composto produzido.

Heck *et al.* (2013), ao avaliarem a qualidade do produto de compostagem de resíduos orgânicos domésticos com lodo de esgoto, indicaram que mesmo após a fase termófila, ocorreram oscilações nas contagens de *Escherichia coli* e coliformes totais, ressurgindo ao final do processo devido a possibilidade de recontaminação do material pelas retroescavadeiras. Entretanto, constatou-se a ausência de *Salmonella sp.*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos. Ainda assim, não foi possível afirmar que a compostagem foi responsável pela eliminação da *Salmonella sp.*, pois não foi realizada a identificação das espécies isoladas desde o início do processo. Os autores utilizaram como parâmetros de qualidade os requisitos estabelecidos na Resolução CONAMA 375/2006 que define os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Os resultados encontrados pelos autores estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Padrões Microbiológicos Preconizados pelo CONAMA e valores obtidos do produto de compostagem

<b>Padrão</b>	<b>Limite (CONAMA)</b>	<b>Resultado</b>
Escherichia coli	10 <sup>3</sup> UFC g-1	4 x 10 <sup>4</sup> UFC g-1
Salmonella sp.	Ausente em 10g	Ausente
Ovos de helmintos	0,25 g-1	Ausente
Vírus entéricos	0,25 UFP g-1	Ausente

**Fonte: Heck *et al.*, 2012.**

Ao observar a temperatura e a atividade microbiana durante o processo de compostagem em um cilindro giratório de 3,5m<sup>3</sup> nas zonas de entrada, meio e saída, Bhatia *et al.* (2013), constataram que a atividade microbiana intensa no início do processo leva a um aumento rápido da temperatura capaz de causar a morte de muitos agentes patogênicos. Nesse estudo, os autores observaram que o número de organismos indicadores e espécies patogênicas nos compostos finais foram extremamente baixos.

Ainda, por meio de análise molecular, verificou-se que o número de espécies patogênicas diminuiu em comparação com espécies bacterianas benéficas no fim da compostagem. Na zona de saída, espécies bacterianas tais como *Flavobacterium sp* foram consideradas responsáveis pela desnitrificação. Na zona do fundo do cilindro, encontrou-se Actinobactéria que são filamentosas e responsáveis pela degradação

da celulose, hemicelulose e lignina. Na zona do meio, a temperatura variou de 26 a 48°C, favorecendo o crescimento de actinomicetos e outras bactérias tolerantes ao calor, acelerando o estágio de quebra das proteínas, gorduras e polímeros complexos devido às altas temperaturas (Bathia *et al.*, 2013).

Chroni *et al.* (2009), estudando a compostagem em leiras detectaram a presença de *E. coli* na matéria-prima e em amostras durante o processo quando a temperatura atingiu os 67°C ao 25º dia. Entretanto, após o dia 57, a população de *E. coli* diminuiu para valores inferiores ao limite de detecção. Houve recontaminação do material durante o revolvimento por causa das partes externas da pilha que não foram expostas às altas temperaturas, aumentando assim a necessidade de prolongar o tempo de compostagem para garantir a eficácia na destruição do patógeno.

Assim, *E. coli* não foi mais detectada, após cerca de 10 semanas de tratamento. A população total de coliformes diminuiu durante o processo, mas foi detectável, em um nível de  $10^4$  UFC/g<sub>peso seco</sub> até o final. Das populações microbianas analisadas, apenas leveduras, *E. coli* e coliformes totais apresentaram correlação significativa com o tempo de processamento, diminuindo ao longo do tempo, e também exibiram correlação significativa com o valor de pH, a relação C/N e o teor de sólidos voláteis.

Hess *et al.* (2004), estudaram a influência do auto aquecimento durante a fase termofílica na mortalidade de *Escherichia coli* no processo de compostagem de esterco bovino e palha, de modo que, a relação C/N dessa mistura variou de 20/1 até 30/1 e o teor de umidade foi de aproximadamente 70%. Especificamente, foram estudadas as relações de temperatura, tempo de manutenção de determinada temperatura e sobrevivência do patógeno.

O experimento de Hess *et al.* (2004), foi realizado em composteiras em escala de bancada (20 litros), construídas com três componentes: a composteira em si, um controlador de temperatura e um sistema de aeração, todos controlados por computador e quadro de controle. Os autores utilizaram, nos experimentos, esterco bovino obtido de animais já infectados com cepas de *E. coli* O157:H7 ou esterco bovino, inicialmente negativo para *E. coli* O157:H7, mas que foi semeado artificialmente com cepas de *E.coli* cultivadas em laboratório. A temperatura das composteiras foi programada no sistema e controlada pela ação conjunta dos sensores de temperatura situados na base e na superfície das composteiras e pelas válvulas de resfriamento por aeração. A faixa de temperatura de interesse para

coleta das amostras e obtenção dos dados foi de 45°C até 60°C, desse modo, algumas vezes, as amostras foram coletadas com uma frequência maior do que 24h devido à rápida mudança de temperatura. Perfis de tempo e temperatura foram monitorados durante todo o experimento, assim como o número de coliformes totais e *E. coli*. Umidade, pH e relação C/N também foram monitorados.

Ao todo, foram realizados seis experimentos de compostagem. Os experimentos 1 e 2 utilizaram esterco inoculado artificialmente com *E. coli* O157:H7 cepa ATCC 43894. Os experimentos 3 e 4 foram conduzidos com esterco fresco coletado de bezerros que foram infectados por via oral com *E. coli* O157:H7 cepa ATCC 43894, ATCC 43895, WSU 400, WSU 588 e WSU 102. Já os experimentos 5 e 6 utilizaram esterco inoculado, individualmente, dentro da composteira 1 ou 2 com *E. coli* O157:H7 cepas ATCC 43895, WSU 400, WSU 588 ou WSU 102, respectivamente. Os quatro primeiros experimentos foram replicados utilizando duas composteiras por experimento e, os dois últimos experimentos utilizou uma cepa diferente de bactéria para cada composteira. Os principais resultados estão discriminados na Tabela 2.

Hess *et al.* (2004), observaram que a *E. coli* aumentou sob temperaturas entre 35°C e 45°C, diminuindo drasticamente quando a temperatura atingiu 60°C e não foram mais detectáveis quando permaneceram nesta temperatura por 24 horas. Contrariamente, em um dos experimentos em que a concentração de *E. coli* diminuiu rapidamente quando a temperatura atingiu 60°C e 65°C permanecendo em 50°C por 2 dias, foi observado que a população de *E. coli* voltou a aumentar quando a temperatura caiu, assim como a concentração de coliformes totais (Tabela 2). Provavelmente, esse aumento após a diminuição da temperatura se deve ao fato de serem cepas de *E. coli* reproduzidas em laboratório e, portanto, apresentarem maior resistência ao calor do que aquelas provenientes do trato intestinal bovino.

Para a compostagem de biossólidos realizada em reatores ser considerada eficaz na redução de patógenos, a regra estabelece que a temperatura deve permanecer igual ou superior a 55°C em todo o composto por pelo menos três dias (Hess *et al.*, 2004). Os autores concluíram que 180 dias de compostagem foi o tempo considerado suficiente para inativar *E. coli* O157:H7 provenientes de esterco de bovinos, enquanto que para as culturas reproduzidas em laboratório requerem um longo tempo de exposição, pelo menos 300 dias. Ainda, a completa destruição de

patógenos depende do fato de toda a massa do composto ser exposta às temperaturas necessárias durante o período de tempo recomendados.

Tabela 2 – Principais resultados observados nos reatores do experimento de compostagem realizado por Hess *et al.* (2004)

Descrição dos parâmetros de interesse	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
	Reator 1	Reator 2	Reator 1	Reator 2	Reator 1	Reator 2
Cepas de <i>E. coli</i> O157:H7*	a	a	a	a	a, b, c, d, e	a, b, c, d, e
<i>E. coli</i> inicial	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>
Temperatura máxima da superfície	65°C	45°C	65°C	68°C	50°C	68°C
Temperatura máxima da base	45°C	35°C	48°C	50°C	25°C	35°C
Tempo de obtenção da temp. máxima	3° dia	5° dia	1° dia	4° dia	6° dia	2° dia
Tempo de duração da fase termofílica	50°C por 3 dias	45°C por 3 dias	60°C por 1 dia e 50°C por 2 dias	60°C por 4 dias e 50°C por 5 dias	entre 40 e 50°C por 1 dia	55°C por 4 dias
<i>E. coli</i> final da superfície	0	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	0	10 <sup>3</sup>	0
<i>E. coli</i> final da base	10 <sup>1</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
Duração experimento	8 dias	8 dias	6 dias	12 dias	9 dias	9 dias

Descrição dos parâmetros de interesse	Experimento 4		Experimento 5		Experimento 6	
	Reator 1	Reator 2	Reator 1	Reator 2	Reator 1	Reator 2
Cepas de <i>E. coli</i> O157:H7*	a, b, c, d, e	a, b, c, d, e	b	c	d	e
<i>E. coli</i> inicial	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
Temperatura máxima da superfície	68°C	55°C	70°C	50°C	60°C	68°C
Temperatura máxima da base	52°C	30°C	35°C	25°C	50°C	50°C
Tempo de obtenção da temp. máxima	3° dia	3° dia	3° dia	3° dia	14° dia	2° dia
Tempo de duração da fase termofílica	55°C por 3 dias	50°C por 2 dias	55°C por 4 dias	50°C por 1 dia	50°C por 1 dia, queda brusca, 60°C por 3 dias	68°C por 2 dias e 55°C por 6 dias
<i>E. coli</i> final da superfície	0	0	0	0	10 <sup>2</sup>	0
<i>E. coli</i> final da base	0	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>
Duração experimento	9 dias	9 dias	9 dias	9 dias	15 dias	15 dias

\*Cepas de *E. coli* O157:H7: a- ATCC 43894; b- ATCC 43895; c- WSU 400; d- WSU 588; e- WSU 102

Fonte: elaborado pelo autor com base em dados de Hess *et al.*, (2004).

### **3.1.3. Indicadores microbiológicos do processo de compostagem**

Por meio da atividade de micro-organismos, durante o processo controlado de compostagem, a porção orgânica de resíduos sólidos de diferentes procedências é convertida em um composto estável e de grande valor, semelhante ao húmus, que não resulta na formação de quantidades significativas de chorume poluente ou gases de efeito estufa (Lung *et al.*, 2001).

Durante a compostagem, o processo de transformação da matéria orgânica em húmus ocorre pela atividade de grupos sucessivos de micro-organismos aeróbios mesófilos, termófilos e termotolerantes, incluindo bactérias, actinomicetos, leveduras e outros fungos. São diversos os fatores que determinam a comunidade microbiana durante a compostagem, a exemplo da temperatura que, em condições aeróbias, determina os tipos de micro-organismos, a diversidade de espécies e a taxa de atividades metabólicas (Hassem *et al.*, 2001 & Inácio e Miller, 2009).

Durante a fase mesofílica do processo de compostagem ocorre uma rápida proliferação de bactérias, o que resulta na depleção dos compostos mais facilmente assimiláveis, como os carboidratos solúveis e o consumo de oxigênio. Em seguida, há uma transição por bactérias fermentativas, celulolíticas e proteolíticas, que consomem os substratos mais complexos. Ao final da fase termofílica, espera-se o aparecimento de um número elevado de bactérias proteolíticas, como resultado de uma grande quantidade de proteínas que são liberadas quando os micro-organismos morrem (Marshall *et al.*, 2004 *apud* Chroni *et al.*, 2009). Essa dinâmica nas comunidades microbianas pode oferecer informações qualitativas sobre a evolução do processo de compostagem, ainda que seja difícil obter um indicador quantitativo (Chroni *et al.*, 2009).

A composição e sucessão da comunidade microbiana ao longo do processo de compostagem podem refletir diretamente na maturação e qualidade do composto final. O início da compostagem é caracterizado pela atividade e crescimento de micro-organismos mesófilos, aumentando rapidamente a temperatura. Na etapa seguinte os micro-organismos termófilos atuam no processo de degradação. Ao final do processo, que inclui o resfriamento da temperatura e a fase de maturação, desenvolvem-se uma nova comunidade de mesófilos (Bhatia *et al.*, 2013).

A temperatura é um indicador fundamental da compostagem, pois, está diretamente relacionada com a atividade metabólica dos micro-organismos. Tal parâmetro pode ser um medidor direto da fase do processo biológico, além de ser um meio seletivo na evolução e sucessão das comunidades microbianas.

De acordo com Brito *et al.* (2014), o calor gerado durante o processo de compostagem depende da taxa de crescimento e atividade dos micro-organismos, e essa tem relação direta com as propriedades físicas e químicas da biomassa em compostagem, como teor de umidade, aeração, relação C/N da mistura, entre outros.

Para Wangen & Freitas (2010), Santos & Machado (2011) e Rocha *et al.* (2011), na compostagem em sistema de leiras, a fase de resfriamento/bioestabilização pode durar de 60 a 70 dias, desde que as condições sejam favoráveis nos primeiros dois a três dias. Nessa fase, a temperatura alcança entre 50° e 60°C, podendo atingir 70°C antes dos 15 dias. Depois de um período a temperatura decresce para 45°C ou menos por alguns dias indicando o final da bioestabilização e o início da fase de maturação. Nessa fase do processo, a temperatura oscila entre 35°C e 45°C. Inácio e Miller (2009) também citam a possibilidade de alcance de temperaturas de até 70°C.

Para Jiang *et al.* (2003), as variações de temperatura possuem reflexo na taxa de degradação da matéria orgânica e a sucessão das populações microbiológicas, caracterizando o processo de compostagem em quatro fases: a fase mesofílica, a fase termofílica, a fase de resfriamento e a fase de maturação. Como resultado de mudanças nas condições ambientais, as populações microbianas variam significativamente em cada fase.

Enquanto os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica são liberados ácidos orgânicos que vão se acumulando e acidificam o meio. A redução do pH favorece o aumento da população de fungos e a decomposição da celulose. Em seguida, os ácidos são degradados, sendo completamente oxidados (Busnello *et al.*, 2013).

O tamanho das partículas do material a ser compostado também influencia na biodegradabilidade dos materiais durante o processo. A redução do tamanho das partículas de resíduos de alimentos pode acelerar a velocidade de degradação da matéria orgânica. O aumento da área superficial total de uma dada massa de

resíduo contribui para o aumento da taxa de biodegradação. Partículas de tamanho reduzido aumentam a área superficial relativa para o ataque microbiano, tornando a biodegradabilidade mais eficiente (Nakasaki *et al.*, 2015).

Geralmente, o teor de umidade ideal para o bom desempenho do processo de compostagem deve ser em torno de 50% a 60%, entretanto, Kumar *et al.*, (2010) verificaram que o conteúdo de umidade ótimo no material durante a compostagem é influenciado pela composição dos resíduos.

Li *et al.* (2013), em seu trabalho de revisão, citam estudos nos quais os autores relatam que o teor de umidade impactou significativamente quase todos os outros parâmetros físicos, como profundidade, densidade aparente, quantidade de vazios, permeabilidade do ar e condutividade térmica. Do mesmo modo, o teor de umidade também foi considerado o principal fator capaz de afetar a atividade dos microorganismos aeróbios.

Para Shen *et al.* (2015), o teor de umidade dos materiais que compõem o resíduo durante a compostagem pode ser controlado pela atividade microbiana, grau de aeração e temperatura. A decomposição da matéria orgânica pela ação dos microorganismos aumenta a água liberada na massa de compostagem, ao passo que o arejamento e temperaturas elevadas podem conduzir a perdas de grandes quantidades de água por meio da evaporação (Bernal *et al.*, 2009 *apud* Shen *et al.*, 2015).

Baixo teor de umidade retarda o processo de compostagem, enquanto que um teor elevado pode compactar o material a ser compostado, podendo afetar a transferência da massa de ar e até produzir condições anaeróbias capazes de inibir o processo de compostagem (Shen *et al.*, 2015). Contrariamente, Chroni *et al.* (2009) e Tatano *et al.* (2015), verificaram que valores iniciais de umidade relativamente altos, acima de 70%, não impediram o bom desempenho do processo de compostagem.

Ao estudar a compostagem em sistema de leira, Chroni *et al.* (2009), investigaram a microflora e sua relação com os parâmetros abióticos na compostagem de resíduos biológicos, por meio de técnicas microbiológicas tradicionais. O material inicial utilizado neste estudo foi composto pela mistura de 1,02m<sup>3</sup> de resíduos de alimentos separados na fonte e aparas de jardim, numa proporção em volume de 1:1. O

experimento teve duração de 125 dias e o tamanho da pilha foi de 1,1m de diâmetro e 1,2m de altura. O teor de umidade inicial relativamente alto (79,9%) não impediu que o processo de compostagem evoluísse normalmente, sendo alcançado um valor de 45% de umidade ao final do experimento. O teor de sólidos voláteis do material inicial foi de 95,8% e diminuiu para 89,3% em 125 dias, correspondendo a uma redução total de sólidos voláteis de 63,6%. Observou-se um aumento do valor de pH de 4,1 para 7,8.

Nesse mesmo estudo, Chroni *et al.* (2009), registraram que durante dois meses, a temperatura foi mantida em 50°C e atingiu o pico de 67°C no 25º dia de compostagem. Cada revolvimento da mistura resultou em um aumento da temperatura, mas, os valores de pico diminuía com a evolução do processo. A fase inicial mesofílica durou cerca de 48h, a termofílica durou 60 dias, o decaimento à temperaturas mesofílicas durou 32 dias de experimento e a fase de maturação foi iniciada aos 94 dias de compostagem, sendo o experimento finalizado aos 125 dias.

A atividade dos micro-organismos no início do processo de compostagem deveu-se, principalmente, à comunidade microbiana mesofílica (bactéria mesófila total) e presença de fungos. A contagem máxima de bactérias mesofílicas foi observada no início da fase de arrefecimento e foi diminuindo até o final do experimento (125 dias). As bactérias termofílicas cresceram rapidamente durante o período em que foram registradas as temperaturas mais elevadas, principalmente, após a temperatura atingir o pico de 67°C no 25º dia de compostagem. Do mesmo modo, seguindo o declínio da temperatura, houve queda na contagem das bactérias termofílicas até o dia 125. Fungos mesofílicos diminuía à medida que foram alcançadas as temperaturas termofílicas. As leveduras estiveram presentes durante todo o processo de compostagem e apresentaram população elevada, principalmente, no início do experimento devido ao meio ácido. A medida que o pH foi aumentando as leveduras foram expostas a pressão negativa e sua população diminuiu devido a alcalinidade do meio (Chroni *et al.*, 2009).

Para os autores, a evolução de tais comunidades microbianas ao longo do tempo de compostagem é devido às preferências de utilização do substrato durante o processo. Perto do final do estágio termofílico, quando os compostos orgânicos facilmente assimiláveis foram consumidos, proliferam a ação de comunidades microbianas como a proteolítica, amilolítica e celolítica.

Na literatura científica, geralmente, encontram-se estudos realizados sobre a compostagem em leiras, com aeração natural e com volumes entre 1 a 3m<sup>3</sup>, sendo poucos aqueles que abordam a compostagem de volumes abaixo de 1m<sup>3</sup>.

Autores como Loureiro (2007), Kumar *et al.* (2009), Cólón *et al.* (2010) e Guidoni *et al.* (2013), realizaram experimentos sobre compostagem doméstica, utilizando composteiras com volumes, variando de 0,05 a 0,560 m<sup>3</sup>. Nesses estudos, os resíduos utilizados na compostagem foram restos de capinas e folhagens, restos de alimentos, vegetais crus, cascas de frutas, legumes, hortaliças, jornal picado, folhas secas, dentre outros.

Para Karnchanawong & Suriyanon (2011), são poucos os estudos que avaliam os aspectos técnicos e científicos relevantes para a compostagem em pequenos volume. Esses autores destacam que a compostagem doméstica é ambientalmente uma das atividades mais benéficas que uma residência pode executar, pois evita o transporte para o aterro da maior parte de materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos. Também, os autores consideram a compostagem doméstica realizada em pequenos reatores como a opção de tratamento mais adequada, pois ajuda a massa de compostagem a reter o calor e a umidade, além de ser mais fácil a segregação na fonte, reduzindo assim, o risco de contaminação por outros tipos de resíduos.

O estudo realizado por Karnchanawong & Suriyanon (2011), utilizou seis recipientes de polietileno de 200L, cada um com um modelo diferente de aeração passiva, tanto por ventilação lateral quanto vertical. Para a compostagem, utilizou-se folhas secas, restos de alimentos descartados durante a preparação dos alimentos, principalmente, vegetais, e restos de comida cozida, principalmente, arroz e massas. Além disso, foi adicionado à mistura, 10% de composto já maduro com a finalidade de acelerar a decomposição. O experimento durou 120 dias.

As temperaturas nos seis recipientes variaram entre 44,9°C e 50,4°C, em função do tipo de ventilação de cada composteira. No geral, as temperaturas permaneceram na faixa termofílica (>45°C) por cerca de duas a três semanas durante o período de alimentação, diminuindo gradualmente para as temperaturas em torno de 30°C, após o preenchimento da capacidade útil das composteiras. A relação C/N inicial foi em torno de 53,7 chegando ao final do experimento com valores menores que 20, o que segundo os autores indicou a estabilização dos resíduos orgânicos.

Inicialmente, os sólidos totais voláteis do material compostável era de 75,5% e ao final do processo ficou na faixa de 41 a 50%.

Por fim, os autores concluíram que a qualidade do composto atendia ao padrão normativo da Tailândia, local do experimento. A duração do experimento foi de 120 dias, porém, os compostos apresentaram-se estáveis entre os dias 56 e 91. O composto final produzido apresentou 85% das partículas com tamanho menor do que 12,5mm em quatro dos seis modelos de composteiras testados. Ainda, constatou-se que os recipientes com furos na parte inferior e com tubo de ventilação no meio, apresentaram maior taxa de decomposição biológica de resíduos orgânicos.

Em uma região da Itália, Tatano *et al.*, (2015) estudaram a compostagem doméstica de resíduos orgânicos, monitorando a evolução temporal do processo e avaliando a qualidade dos produtos obtidos a partir da prática da compostagem descentralizada por famílias locais. Inicialmente foram monitorados quatro composteiras de polipropileno com capacidade volumétrica de 0,31m<sup>3</sup>, equipados com uma tampa de abertura circular na parte superior e uma porta lateral deslizante, conforme mostra a Figura 1. As composteiras foram alimentadas duas vezes por semana com resíduos de alimentos frescos e cozidos misturados com resíduos verdes numa proporção volumétrica de cerca de 1:1. O período de alimentação variou entre sete meses e treze meses.

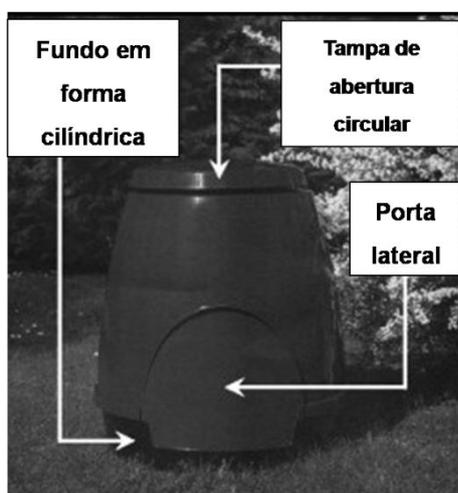


Figura 1 – Modelo de composteira utilizada em experimento realizado por Tatano *et al.* (2015)

Fonte: Tatano *et al.* (2015)

Em uma das composteiras o valor máximo de temperatura registrado foi de 38°C, não atingindo a faixa termofílica. Já a composteira que alcançou a temperatura termofílica, registrou o valor máximo de 58°C. Inicialmente, todas as composteiras apresentaram teor de umidade acima de 70%, entretanto, ao final do processo duas apresentaram valores abaixo de 50% e outras duas permaneceram acima do limite considerado no estudo (menor ou igual a 50%). Para os autores, tais valores de umidade não afetam o propósito da compostagem doméstica, pois, se espera utilizar o composto obtido na própria terra ou jardim doméstico. No entanto, o maior teor de água pode ter limitado o aumento da temperatura interna, devido à redução dos espaços porosos na massa de compostagem que prejudica a aeração natural (Tatano *et al.*, 2015).

Os valores de pH, Carbono Orgânico Total e a relação C/N no experimento de Tatano *et al.* (2015), assumiram os limites de referência derivados, principalmente, do decreto legislativo italiano para composto produzido a partir de resíduos orgânicos. Para o nitrogênio total, houve o aumento relativo nos valores medidos em função do tempo de compostagem, chegando ao final com valores entre 2% e 4%, acima do limite mínimo considerado pelos autores, maior que 1%, porém, também dentro da faixa de referência.

A diminuição dos parâmetros como umidade, carbono orgânico e relação C/N e o aumento do nitrogênio total em função do tempo representam indicações qualitativas confiáveis de progressos no processo de compostagem. Comparativamente, os autores mostraram que valores elevados de C/N estão razoavelmente associados às menores taxas de decomposição da matéria orgânica e níveis mais baixos de humificação no composto final. Assim como, teores de umidade mais elevados, provavelmente, limitam o aumento interno da temperatura (Tatano *et al.*, 2015).

Shen *et al.* (2015), estudaram as mudanças do estado da água durante a compostagem de resíduos de cozinha, determinando as relações entre os estados da água e das características gerais dos resíduos provenientes da cozinha. Foram utilizados resíduos de cozinha frescos e secos ao ar livre, numa proporção de 2:1 em massa úmida, compostos por resíduos vegetais e restos de carne cortados em pedaços de  $5,0 \pm 0,5$  cm de diâmetro. Também foram inoculadas colônias mistas de micro-organismos, numa concentração maior que  $1 \times 10^{15}$  UFC/mL<sup>-1</sup>, para decompor mais rapidamente o amido, a glicose e as proteínas.

Shen *et al.* (2015), utilizaram um reator de escala laboratorial com volume de 16 litros. O reator consistia em um vaso cilíndrico de plástico isolante, uma bomba de ar e um rotâmetro de gás para controlar a taxa e o fluxo de ar mantendo as condições aeróbias, além de uma sonda de termômetro ligado a um registrador de temperatura. A temperatura era registrada uma vez a cada 20 segundos. Foram realizados três grupos experimentais com um teor de umidade inicial de 55% (R<sub>55</sub>), 60% (R<sub>60</sub>) e 65% (R<sub>65</sub>). Adicionou-se água destilada à mistura de resíduos com o intuito de ajustar a umidade para o valor desejado.

Por meio do monitoramento da temperatura, registraram-se nas três réplicas as três fases de degradação: mesófila, termófila e de maturação. O teor de umidade mudou pouco na fase mesofílica, variando de 53,88% para 55,22% em R55; 58,15% para 59,63% em R60 e 62,18% para 65,21% em R65. Na fase termofílica o teor de umidade diminuiu, provavelmente devido ao arejamento constante e alta temperatura. Do dia zero ao dia oito, apenas R60 manteve a umidade em torno de 60%, sugerindo um equilíbrio do nível inicial de umidade, ao contrário dos outros reatores que apresentaram uma diminuição da umidade. Esse equilíbrio no teor de umidade refletiu em mudanças que ocorreram no estado da água (água livre e água de constituição). Já os parâmetros pH e relação C/N foram compatíveis com as tendências observadas em outros estudos.

Colón *et al.*, (2010), utilizaram a ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV) com o intuito de preparar um inventário detalhado dos recursos energéticos e materiais consumidos durante a compostagem doméstica, determinando os impactos ambientais associados a essa prática e avaliando a qualidade do composto produzido. O estudo foi realizado na cidade de Barcelona na Espanha e a composteira utilizada era de polietileno de alta densidade com dimensões de 70 cm x 70 cm x 103 cm com sistema lateral de ventilação natural. A alimentação da composteira era realizada uma vez por semana com restos de frutas e verduras cruas e resíduos de poda.

Os valores de temperatura durante o período do experimento variaram de 20 a 65°C, apresentando em média 37,4°C. A média ficou abaixo da faixa termofílica, não garantindo a destruição dos agentes patogênicos e sementes de ervas daninhas, apesar de ser apropriada para o crescimento dos micro-organismos. Para Hoitikin *et al.* (1995) e Jasmin & Smith (2003) *apud* Colón *et al.*, (2010), a higienização do

material ocorre quando toda a massa de compostagem é exposta a uma temperatura de 55°C durante pelo menos 4 horas. Também segundo esse autor o tempo de compostagem doméstica, relativamente longo, permite que ocorra o decaimento natural dos patógenos, no entanto, não especificou de quanto seria a duração mínima necessária.

Ao final do experimento, Cólón *et al.* (2010), concluíram que a partir do ponto de vista técnico e ambiental, a compostagem doméstica é uma opção de tratamento adequado para o tipos de resíduos orgânicos utilizados. O composto final obtido foi estável e apresentou as características físico-químicas de alta qualidade. Além disso, apesar da temperatura não atingir o nível termofílico, ocorreu a higienização do material, provavelmente, devido ao tempo de compostagem. O composto apresentou alto teor de matéria orgânica e nitrogênio orgânico, além da ausência de compostos fitotóxicos, tornando o produto obtido adequado para ser utilizado no solo como aditivo ou fertilizante orgânico.

No Brasil, Guidone *et al.* (2013), desenvolveram um sistema de compostagem domiciliar da fração de resíduos orgânicos estudando o desempenho do processo no próprio local de geração durante 90 dias. Um reator metálico cilíndrico de 0,255 m<sup>3</sup>, perfurado radialmente em três alturas foi instalado em quatro residências e alimentado com sobras e cascas de legumes, frutas e hortaliças cobertas com casca de arroz. Os resíduos orgânicos foram dispostos nos reatores à medida que foram geradas. Semanalmente, realizou-se o revolvimento mecânico da massa de compostagem.



Figura 2 – Reator utilizado no sistema de compostagem (Guidone *et al.*, 2013)

Fonte: Guidone *et al.* (2013)

Ao atingir o limite de preenchimento do reator (aproximadamente 0,200 m<sup>3</sup>), o material foi despejado em forma de pilha cônica por 45 dias para proporcionar um período maior de maturação, permitindo iniciar uma nova etapa de armazenamento dos resíduos dentro do reator (Guidone *et al.*, 2013).

A temperatura dentro dos reatores foi monitorada paralelamente entre a quarta e a décima semana. O pico máximo de temperatura registrado entre os reatores dos quatro domicílios variou de 35°C a 56°C. Nos domicílios 2 e 3, o estado de maturação foi mais avançado, com valores de pH acima de 6,0 e relação C/N abaixo de 20/1. Nos domicílios 1 e 4 a relação C/N alta foi justificada pelas possíveis perdas de nitrogênio por volatilização da amônia ou pelo chorume produzido, entretanto, essas variáveis não foram o foco do estudo (Guidone *et al.*, 2013).

Com relação ao material utilizado como material suporte, casca de arroz, os autores observaram que houve alteração nítida em sua coloração, tornando-se escura, todavia, a sua decomposição foi mínima ou nula em relação ao estado inicial. Por fim, Guidone *et al.*, (2013), recomendaram a reutilização do composto produzido em novas etapas de compostagem até obter um produto com predominância de húmus.

Vich *et al.* (2015), avaliaram o processo de compostagem em composteiras domésticas de 10 litros confeccionadas com recipientes de baixo custo disponíveis no mercado, estado da Bahia, Brasil. O processo foi conduzido durante 144 dias, mas os principais parâmetros do processo, como umidade, sólidos voláteis, pH, carbono, nitrogênio, relação C/N, presença de coliformes totais e *Escherichia coli* foram monitorados apenas em alguns momentos específicos do processo, como início, final ou alguma mudança operacional adotada.

As composteiras domésticas utilizadas nesse trabalho foram alimentadas com sobras e cascas de frutas, verduras e hortaliças provenientes do preparo de alimentos, juntamente com lascas de madeira de eucalipto. O experimento foi constituído em três ensaios, de modo que o material produzido no ensaio anterior era utilizado como inóculo no ensaio seguinte.

A temperatura máxima registrada na primeira etapa foi de 40,3°C. Na segunda e terceira etapa o pico de temperatura foi em torno de 46°C. As temperaturas máximas permaneceram por menos de um dia. A reutilização das aparas de madeira nos ensaios 2 e 3 parece ter contribuído para a evolução do processo de forma mais

eficiente. A relação C/N diminuiu em todos os ensaios, porém, ao final do experimento a relação ficou acima do limite recomendado pela legislação brasileira (18/1), para ser considerado um composto maturado (25/1). Isto pode ter relação com a baixa biodegradabilidade das lascas de madeira. Houve aumento no valor de pH para cerca de 7,0 .

Ao final do experimento, Vich *et al.* (2015), obtiveram uma pequena produção de composto com partículas menores que 0,42mm. Apesar dos valores de pH, umidade e relação C/N atenderem os limites da legislação brasileira, o produto não foi considerado adequado para o uso agrícola por apresentar valores de nitrogênio e coliforme totais fora dos padrões indicados na Instrução Normativa número 25 do MAPA (Brasil, 2009). A reutilização das aparas de madeira melhorou a eficiência do sistema para a redução de carbono. A utilização de composteira simples e em pequena escala pode ser considerada útil para locais com espaço limitado, contudo, devem-se buscar meios que assegurem a redução de indicadores patogênicos.

### **3.2. O composto: qualidade de acordo com as legislações pertinentes**

A produção e o comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura passaram a ser inspecionados e fiscalizados na década de 1980, com a aprovação da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, regulamentada pelo Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004.

A Lei define fertilizante como sendo “a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais” (Brasil, 1980). O Decreto 4954/2004 estabelece que o fertilizante orgânico deve ser de natureza fundamentalmente orgânica e define o fertilizante orgânico composto como

*“produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas” (Brasil, 2004).*

A partir de então, com a crescente demanda por novos produtos com ação fertilizante originados de diferentes fontes, foram criados outros regulamentos com critérios ainda mais rigorosos de qualidade, formas de produção e utilização,

evitando riscos ao meio ambiente e à saúde pela garantia de boas condições sanitárias e de segurança alimentar.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) instituiu em 23 de julho de 2009 a Instrução Normativa (IN) Nº 25/2009 estabelecendo normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Assim, de acordo com essa IN o composto de resíduos é definido como sendo

*“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 estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes” (Brasil, 2009).*

Ademais, a IN classifica como Classe “C” o fertilizante orgânico proveniente de qualquer quantidade de matéria prima oriunda de resíduo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Assim, tais fertilizantes orgânicos deverão apresentar as especificações apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações do fertilizante orgânico composto

<b>Garantia</b>	<b>Composto Classe C</b>
Umidade (máx.) (%)	50
N total (mín.) (%)	0,5
*Carbono orgânico (mín.) (%)	15
*CTC <sup>(1)</sup>	Conforme declarado
pH (mín.)	6,5
Relação C/N (máx.)	20
*Relação CTC/C <sup>(1)</sup>	Conforme declarado
Outros nutrientes	Conforme declarado

Fonte: Instrução Normativa 25/2009 - MAPA (Brasil, 2009).

(\*) Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C;

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

O MAPA ainda publicou a IN nº 46 de 06 de outubro de 2011 que estabelece o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal e as listas de substâncias permitidas para uso nestes sistemas. Este regulamento define biofertilizante como todo

*“produto, que contém componentes ativos ou agentes biológicos, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, melhorando o desempenho do sistema de produção e que seja isento de substâncias proibidas pela regulamentação de orgânicos” (Brasil, 2011).*

Essa mesma norma define o composto orgânico como sendo o produto originado no processo de compostagem de material vegetal ou animal que pode ser enriquecido com substâncias ou agentes que melhorem a sua qualidade física, química ou biológica.

De acordo com a citada Instrução Normativa, os sistemas orgânicos de produção vegetal devem priorizar a reciclagem da matéria orgânica como base para a manutenção da fertilidade dos solos e nutrição das plantas desde que não representem ameaça ao meio ambiente e à saúde humana e animal.

Para tanto, o uso de composto orgânico em fertilização e correção do solo proveniente de resíduo domiciliar e outros resíduos orgânicos de origem vegetal e animal, apenas poderá ser possível se os teores de contaminantes não ultrapassar os limites máximos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos

<b>Elemento</b>	<b>Limite (mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca)</b>
Coliformes Termotolerantes (número mais provável por grama de matéria seca - NMP/g de MS)	1.000
Ovos viáveis de helmintos (número por quatro gramas de sólidos totais – n° em 4g ST)	1
<i>Salmonella sp</i>	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Instrução Normativa 46/2011 - MAPA (Brasil, 2011).

No estudo sobre a qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica, Abreu *et al.* (2010), analisaram a qualidade microbiológica do composto orgânico oriundo do processo de compostagem em leira constituída por resíduos orgânicos domiciliares, poda vegetal de corte de árvores e lodo de esgoto de uma estação de tratamento de efluentes de esgoto, segundo as normas da *American Public Health Association – APHA* (1995). De acordo com os autores, não foi observado contaminação por coliformes termotolerantes no composto orgânico produzido considerando, assim, concluíram que o processo de compostagem tem a capacidade de diminuir a contaminação devido a elevação da temperatura durante a mineralização.

A Lei nº 10.831 de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003) e o Decreto nº 6.323 de 27 de dezembro de 2007 (BRASIL, 2007) que a regulamenta, dispõem sobre a agricultura orgânica definindo esta atividade como sistema orgânico de produção

agropecuária. A finalidade deste sistema baseia-se em práticas ecológicas e de proteção do meio ambiente com a otimização do uso de recursos naturais, passando pelas etapas que vão desde a produção, a comercialização e o consumo. Nesse cenário, os fertilizantes orgânicos ganham destaque apresentando grande potencial de utilização devido a sua viabilidade econômica, social e ambiental e as suas características físicas, químicas e biológicas.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

A compostagem de resíduos de alimentos em composteira foi monitorada entre os meses de abril a julho de 2015 no Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes (LABRE) e no Laboratório Experimental de Saneamento (LABEXSAN) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Para isso, 20 réplicas de composteiras de pequeno porte foram confeccionadas com recipientes plásticos de baixo custo (R\$21,50), com 22 litros cada, nomeadas de C1 a C20. Os principais parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sua frequência de amostragem de alíquotas sólidas, são apresentados na Figura 3. Após a coleta da alíquota sólida, a composteira era descartada.

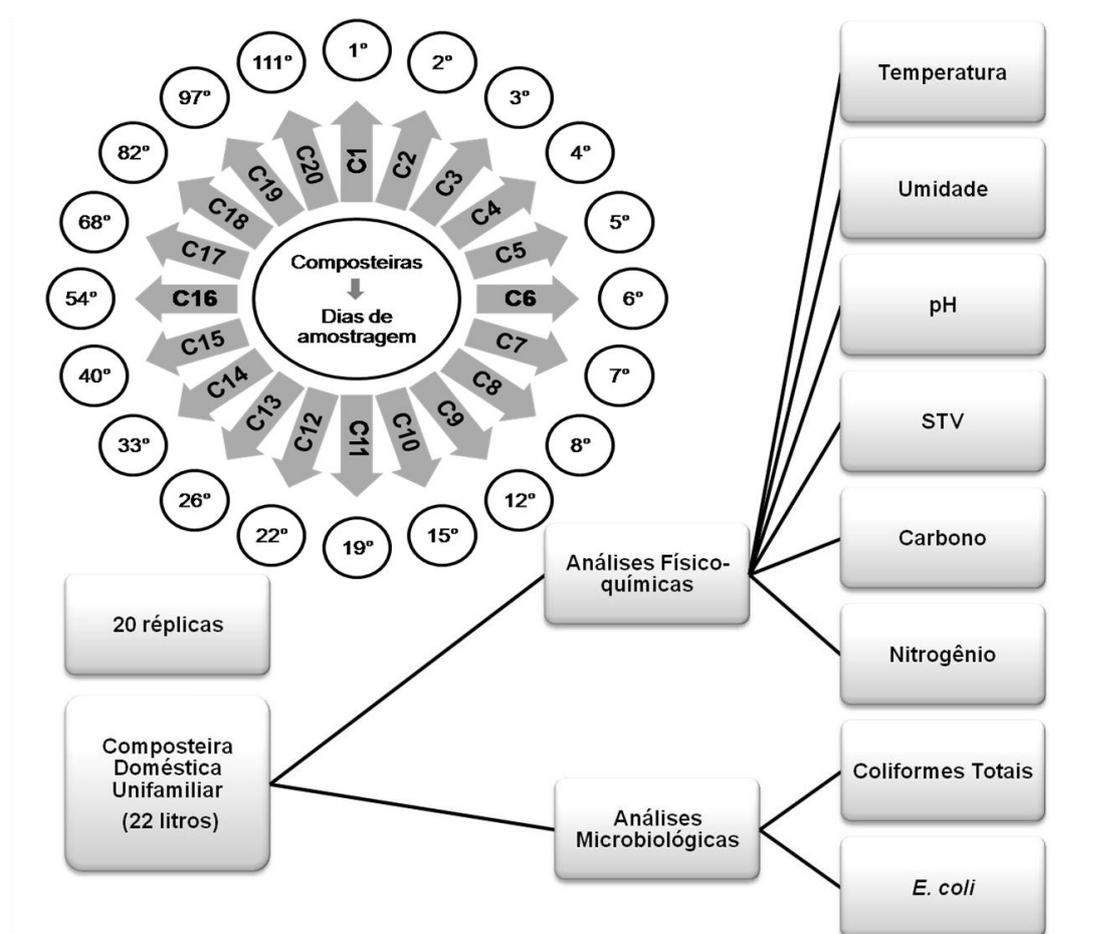


Figura 3 – Frequência de amostragem e parâmetros físico-químicos e microbiológicos determinados

Fonte: Próprio autor

#### 4.1. Concepção da Composteira

As composteiras domésticas foram baseadas em um protótipo elaborado e testado por Rossi *et al.* (2014), ao avaliarem o processo de compostagem em composteira de pequeno porte. Para tanto, utilizou-se recipientes com capacidade volumétrica unitária de 22 litros (altura = 41,2cm; diâmetro superior = 26,5cm e diâmetro inferior = 23,0cm). Nas laterais de cada recipiente foram feitos 216 orifícios com 0,5 cm de diâmetro. No sentido transversal, os furos foram equidistantes 5,0 cm da borda superior e de 4,6 cm na extremidade inferior. No sentido longitudinal, a distância entre os furos foi de 3,0 cm. O fundo do recipiente também foi perfurado, com 41 furos equidistantes 2,0 cm no fundo a partir do eixo central. Ao todo, foram feitos 257 orifícios o que correspondeu aproximadamente 1,5 % da área superficial, conforme pode ser visto na Figura 4.



Figura 4 – Recipiente perfurado para ser utilizado como reator do processo de compostagem

Fonte: Próprio autor

#### 4.2. Preparo dos Resíduos

Os resíduos de alimentos (RA) utilizados no processo de compostagem foram formados por sobras provenientes do preparo dos alimentos, como restos e cascas de hortaliças, legumes, frutas e verduras, todos crus. Como material estruturante, utilizou-se lascas de madeira (LMA) provenientes de eucalipto não tratada, com o

intuito de evitar a contaminação por qualquer tipo de elemento químico capaz de impedir a atividade dos micro-organismos ou até mesmo interferir na qualidade do composto produzido.

Coletaram-se os RA em dois restaurantes populares que fornecem alimentação a baixo custo para 4.300 pessoas por dia, localizados na cidade de Salvador, Bahia no dia 09 de abril de 2015. Antes da coleta, os responsáveis pelos restaurantes foram orientados pela pesquisadora quanto à segregação dos RA (Figura 5). Solicitou-se que apenas os restos dos vegetais frescos provenientes do preparo dos alimentos fossem separados para a coleta. Assim, não houve mistura com as sobras das refeições servidas e nem o risco da presença de alimentos cozidos.

Após a coleta dos RA, foi realizada uma triagem com o intuito de caracterizar gravimetricamente os materiais a serem compostados. Cada categoria de resíduo de alimento coletada foi pesada utilizando a balança de plataforma digital LÍDER modelo B-520 e indicador LD1050 com pesagem mínima de 1kg, máxima de 150kg e variação máxima de erro de 50g. O resultado da pesagem está expresso na Tabela 5. Após a caracterização dos RA coletados, cada material foi triturado com o auxílio de triturador de resíduos orgânicos TR 200, marca Trapp (Figura 6a). Após a trituração, todo o material foi colocado sobre uma lona, previamente higienizada com álcool a 70%, para homogeneização (Figura 6b). Depois de triturado, os RA apresentaram partículas com tamanhos que variaram de 0,3 mm a 12,5mm.



Figura 5 – Resíduos de Alimentos (RA) coletados nos restaurantes populares

Fonte: Próprio autor



a



b

Figura 6 – Triturador (a) e RA triturados e homogeneizados (b)

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 – Composição gravimétrica dos RA coletados nos restaurantes populares e utilizado na compostagem

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Componentes</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>% de RA</b>
RA	Cheiro verde	3,6	2,7
	Casca de Banana	70,85	53,1
	Cebola	6,7	5,0
	Abacaxi	0,3	0,2
	Maçã	0,2	0,1
	Cenoura	0,2	0,1
	Cebola	3,6	2,7
	Pepino	2,65	2,0
	Mamão	5,55	4,2
	Alface	8,45	6,3
	Pimentão	2	1,5
	Acelga	2,6	1,9
	Melancia	5,55	4,2
	Laranja	6,05	4,5
	Aipim	13,55	10,2
Goiaba	0,9	0,7	
Abóbora	0,7	0,5	
<b>Total</b>		<b>133,45</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Próprio autor

As LMa utilizadas no processo de compostagem foram coletadas na serraria da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, originada do corte de Eucalipto. Segundo Rodríguez *et al.* (2012) lascas de madeira são compostas por partículas maiores que 4 cm, assim o material estruturante foi peneirado em peneira com malha de 0,5 cm (Figura 7a) com o intuito de separar as lascas de madeira, fração retida na peneira (Figura 7b), do pó de serragem.



a



b

Figura 7 – Peneiramento da serragem (a) e material retido na peneira (b)

Fonte: Próprio autor

### 4.3. Partida das Composteiras C1 a C20

A alimentação das 20 composteiras foi realizada em batelada. As LMa e os RA foram misturados dentro de um saco plástico de 100 litros higienizado, e posteriormente, transferidos para a composteira. Esse processo foi repetido para cada composteira. A Figura 8 mostra o esquema de alimentação de cada composteira.

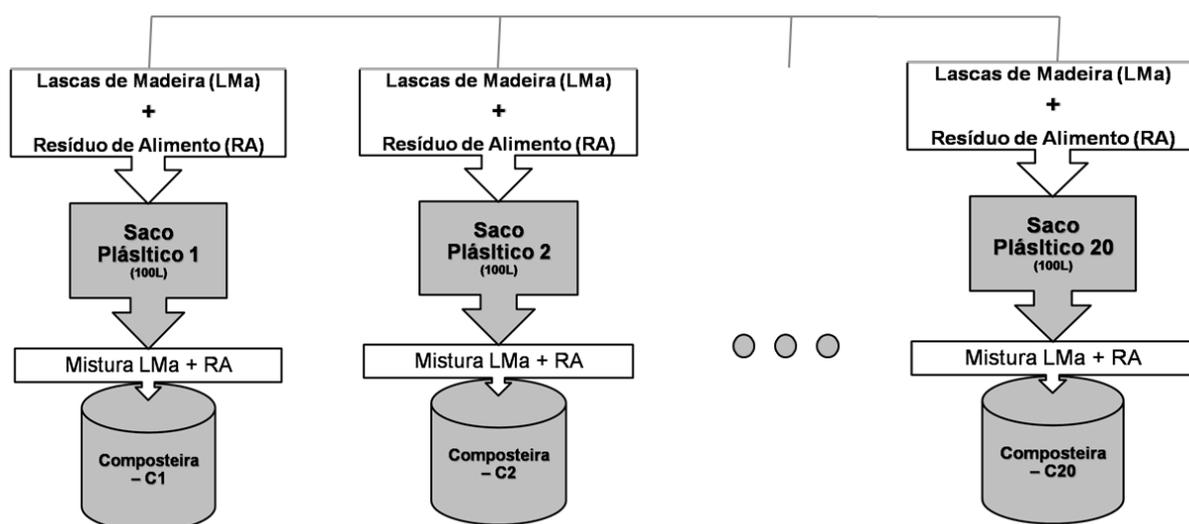


Figura 8 – Esquema da alimentação em batelada de cada composteira

Fonte: Próprio autor

A proporção da mistura de resíduos úmidos, em volume, foi de 2 litros de LMa para 1 litro de RA (2:1). Sendo a proporção da mistura, em massa seca, equivalente a 1,7 kg de LMa para 1 kg de RA (1,7:1). A proporção da mistura, em massa úmida, foi de 4,33 kg de RA para 1 kg de serragem (~4:1). Cada composteira de 22 litros foi alimentada com 1,2 kg de lascas de madeira (LMa) e 5,2 kg de Resíduos de Alimentos (RA). As características físico-químicas e microbiológicas da LMa e dos RA estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características físico-químicas e microbiológicas das Lascas de Madeira e dos Resíduos de Alimento utilizados na compostagem

Parâmetros	Lascas de Madeira	Resíduos de Alimento
pH CaCl <sub>2</sub>	4,38 ± 0,00	5,00 ± 0,07
pH H <sub>2</sub> O Destilada	5,81 ± 0,57	5,87 ± 0,02
Umidade - 65°C (%)	10,0 ± 0,31	86,4 ± 0,05
Umidade - 110°C (%)	11,0 ± 0,31	87,9 ± 0,22
STV (%)	99,1 ± 0,01	88,8 ± 0,04
COT (%)	28,6 ± 0,80	36,9 ± 0,10
NTK (%)	0,20 ± 0,00	1,24 ± 0,00
Relação C/N	145,33	29,87
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	0,09	0,741
Coliformes Totais (NMP/g <sub>PS</sub> )	-	52,8 X 10 <sup>5</sup>
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g <sub>PS</sub> )	-	52,47 X 10 <sup>3</sup>

Fonte: Próprio autor

Após preenchimento das 20 composteiras, foram aferidos peso e temperatura iniciais de cada composteira (Figura 9). Para a captação de chorume, caso houvesse, foram utilizados pratos plásticos sob as composteiras.

Diariamente, realizou-se o revolvimento das composteiras, sempre antes da coleta da alíquota amostral. Tal procedimento teve o intuito de favorecer a oxigenação do sistema, bem como, garantir a homogeneização do material para posterior amostragem.



Figura 9 – Vista das Composteiras preenchidas com RA e LMa

Fonte: Próprio autor

#### **4.4. Monitoramento do Processo de Compostagem**

O plano de monitoramento nas composteiras C1 a C20 foi concebido de modo a assegurar que o processo não tivesse interferência devido à alteração da massa total de resíduos por conta da retirada de amostras sólidas.

Assim, cada composteira foi monitorada diariamente quanto à temperatura até o momento do seu desmantelamento, que ocorreu quando da retirada de amostras sólidas para as análises dos demais parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

Portanto, considerou-se que as 20 composteiras formam um único sistema e que os valores encontrados para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos apresentam a evolução temporal ao longo do processo de compostagem.

Na primeira semana de monitoramento as amostras sólidas foram coletadas com frequência diária. A partir de então, a coleta foi realizada a cada 3 dias até o vigésimo sexto dia de monitoramento. Até o quadragésimo dia a frequência de coleta foi semanal e até o final do período de observação, a frequência foi quinzenal.

O Quadro 1 apresenta os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados em duplicata, a frequência e os métodos empregados. Para essas análises, alíquotas de 500g a 800g de material homogeneizado foram coletadas após revolvimento da mistura de RA e LMa das composteiras.

Quadro 1 – Parâmetros de Monitoramento, Método e Frequência das Análises realizadas durante o Processo de Compostagem

Parâmetro	Método	Equipamento	Frequência das Análises													
			C1 a C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
pH	Potenciométrico (CaCl <sub>2</sub> e Água Destilada)	pHmetro	Diária	A cada 3 dias	A cada 8 dias	A cada 15 dias										
Umidade	Gravimétrico - U65°C e U105°C	Estufa CAF														
Sólidos Totais	Gravimétrico - Secagem a 105°C	Estufa CAF														
Sólidos Voláteis	Gravimétrico - Calcinação a 550°C	Mufla														
COT	Detector de infravermelho não dispersivo de radiação focalizada	Analytik Jena Multi N/C 2100S														
NTK	Kjeldahl - Digestão / Destilação	Bloco digestor / detilador Buchi														
Coliformes Totais <i>E. coli</i>	Substrato Cromogênico Enzimático	Seladora Colilert IDEXX														
Granulometria	IN 25/2009 - MAPA	Peneiras	Final do processo (C1 e C20)													
Temperatura	Direto	Termômetro Digital	Diária													

Fonte: Próprio autor

#### 4.4.1. Parâmetros físicos e químicos

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, peso, volume, densidade, umidade, granulometria, série de sólidos, pH, carbono orgânico total, nitrogênio total Kjeldahl e relação C/N.

Para a aferição da temperatura, foi empregado método direto com a utilização de termômetro digital Hanna HI 147 com precisão  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  (Figura 10a). A temperatura foi monitorada diariamente, três vezes ao dia durante 16 dias, duas vezes ao dia por mais 10 dias e uma vez ao dia por mais 63 dias (Figura 10b).



a

b

Figura 10 – Termômetro digital (a) e monitoramento da temperatura (b)

Fonte: Próprio autor

Sempre após a medição da temperatura, foi realizado o revolvimento da massa de compostagem com o auxílio de uma colher de madeira (Figura 11), com o intuito de incorporar ar à massa de compostagem e de proporcionar a homogeneização do material a ser coletado para as análises laboratoriais.



Figura 11 – Revolvimento da massa de compostagem com auxílio da colher de madeira

Fonte: Próprio autor

O peso específico aparente do material foi determinado no início e no final do processo, utilizando uma balança eletrônica e recipiente de peso e volume conhecidos.

A determinação da umidade foi realizada em duplicata por meio de método adaptado das metodologias descritas por Tedesco *et al.* (1995) e MAPA (2007) para umidade a 65°C e das metodologias descritas por Lange *et al.* (2002) e EMBRAPA (2009) para umidade a 105°C. Para determinação desses parâmetros, utilizou-se a balança analítica (Figura 12a), dessecador (Figura 12b), estufa graduada a 65°C (Figura 12c) e estufa graduada a 105°C (Figura 12d). O protocolo de análise utilizado neste trabalho está descrito no Quadro 2.

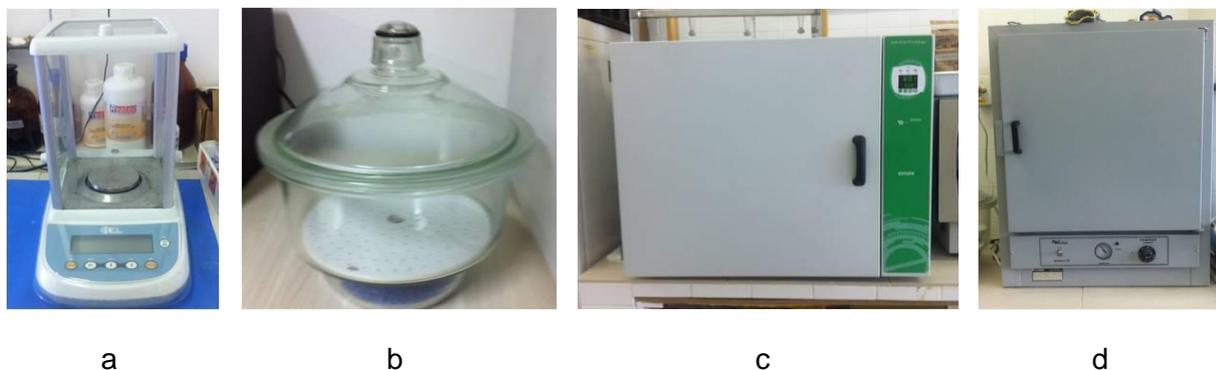


Figura 12 – Balança analítica (a), dessecador (b), estufa graduada a 65°C (c) e estufa graduada a 105°C (d)

Fonte: Próprio autor

Quadro 2 – Protocolo para determinação do teor de umidade

**Protocolo para determinação do teor de umidade a 65°C (U65):**

- Calcinação da cápsula vazia em mufla (500±50°C);
- Resfriamento da cápsula em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da cápsula vazia ( $P_0$ );
- Pesagem de 20g da amostra ( $P_{amostra}$ );
- Acondicionamento da amostra em estufa graduada a 65°C por no mínimo 24 horas ou até obtenção de peso constante;
- Resfriamento do material em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da amostra seca ( $P_{1-65°C}$ );
- Cálculo do teor de umidade de acordo com a (equação 1):

$$Umidade(\%) = \left( \frac{P_{amostra} - (P_{1-65°C} - P_0)}{P_{amostra}} \right) \times 100$$

(equação 1)

Onde:

$P_0$  – Peso da cápsula calcinada vazia (g)

$P_{amostra}$  – Peso da amostra *in natura* (g)

$P_{1-65°C}$  – Peso da amostra seca em estufa a 65°C (g).

**Protocolo para determinação do teor de umidade a 105°C (U105):**

- Calcinação da cápsula vazia em mufla (500±50°C);
- Resfriamento da cápsula em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da cápsula vazia ( $P_0$ );
- Pesagem de 20g da amostra ( $P_{amostra}$ );
- Acondicionamento a amostra em estufa graduada a 105°C por no mínimo 24 horas ou até obtenção de peso constante;
- Resfriamento o material em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da amostra seca ( $P_{1-105°C}$ );
- Cálculo do teor de umidade de acordo com a (equação 2):

$$Umidade(\%) = \left( \frac{P_{amostra} - (P_{1-105°C} - P_0)}{P_{amostra}} \right) \times 100$$

(equação 2)

Onde:

$P_0$  – Peso da cápsula calcinada vazia (g)

$P_{amostra}$  – Peso da amostra *in natura* (g)

$P_{1-105°C}$  – Peso da amostra seca em estufa a 105°C (g).

A série de sólidos foi determinada pelo método gravimétrico de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). O protocolo de análise utilizado neste trabalho está descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Protocolo para determinação da série de sólidos

**Protocolo para determinação da série de sólidos:**

- Calcinação da cápsula vazia em mufla (500±50°C);
- Resfriamento da cápsula em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da cápsula vazia ( $P_0$ );
- Pesagem de 20g da amostra ( $P_{amostra}$ );
- Acondicionamento da amostra em estufa graduada a 105°C por no mínimo 24 horas ou até obtenção de peso constante;
- Resfriamento do material em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da amostra seca ( $P_{1-105^\circ C}$ );
- Calcinação da amostra em forno mufla a 500-550°C durante duas horas
- Resfriamento da cápsula em dessecador até atingir temperatura ambiente;
- Determinação do peso da amostra calcinada ( $P_2$ );
- Cálculo da concentração (mg/g) de sólidos de acordo com a (equação 3):

$$\text{Sólidos Totais (ST)} = \frac{P_{1-105^\circ C} - P_0}{P_{amostra}}$$

$$\text{Sólidos Totais Fixos (SF)} = \frac{P_2 - P_0}{P_{amostra}}$$

$$\text{Sólidos Totais Voláteis (SV)} = ST - SF$$

(equação 3)

Onde:

$P_0$  – Peso da cápsula calcinada vazia (g)

$P_{amostra}$  – Peso da amostra *in natura* (g)

$P_{1-105^\circ C}$  – Peso da amostra seca em estufa a 105°C (g)

$P_2$  – Peso da amostra calcinada em mufla a 500-550°C (g).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi realizado na amostra *in natura*, na massa de compostagem durante o processo e no composto orgânico ao final do processo de compostagem. A metodologia foi adaptada do método potenciométrico descrito por Tedesco *et al.* (1995) e EMBRAPA (2009). O valor do pH foi determinado em duplicata utilizando agitador magnético e pHmetro DM-23, marca Digimed (Figura 13a) tanto em  $\text{CaCl}_2$  como em água destilada (Figura 13b). O protocolo de análise utilizado neste trabalho está descrito no Quadro 4.

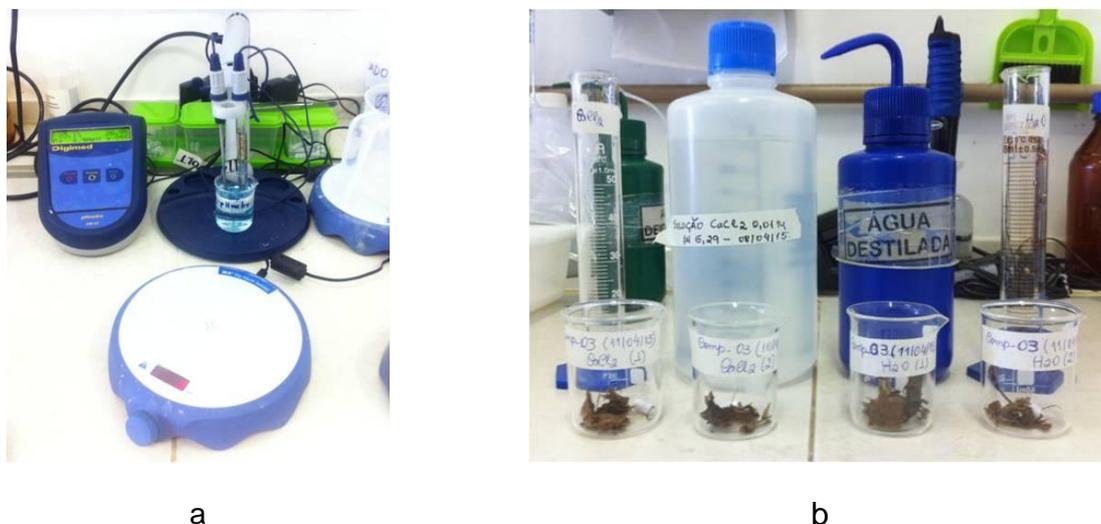


Figura 13 – Agitador Magnético e pHmetro (a) e Análise de pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01M e Água Destilada (b)

Fonte: Próprio autor

#### Quadro 4 – Protocolo para determinação do pH

##### Protocolo para determinação do pH:

- Pesagem 1g da amostra em béquer de 50mL;
- Adição de 50mL de água destilada ou solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M;
- Agitação da amostra em um agitador magnético por 30 minutos;
- Imersão do eletrodo em suspensão e realizar a leitura do pH.

O carbono orgânico total (COT) para amostras de resíduos de alimento, serragem, massa de compostagem e composto orgânico foi determinado pela técnica de combustão à alta temperatura utilizando o analisador de COT da marca Analytic Jena, modelo Multi N/C 2100S, por meio do módulo externo de sólidos HT 1300 (Figura 14a). O método consiste da digestão da amostra sólida (Figura 14b) pela oxidação termocatalítica em forno de combustão com temperaturas de até  $1300^\circ\text{C}$  utilizando o detector infravermelho de absorção não dispersivo (NDIR). O protocolo de análise utilizado neste trabalho está descrito no Quadro 5.



Figura 14 – Analisador de carbono orgânico total (a) e cápsula para análise de TOC (barquinha) contendo amostra sólida (b)

Fonte: Próprio autor

A determinação do nitrogênio total kjeldahl (NTK) seguiu a metodologia adaptada de Tedesco *et al.* (1995). A técnica consiste na digestão do material por peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) com mistura de digestão catalítica composta por selênio e cobre à alta temperatura, elevando-se gradualmente até  $480^\circ C$ . Utilizou-se o bloco digestor, marca Buchi (Figura 15a). Para determinação do nitrogênio total, a amostra digerida foi destilada, após a adição de hidróxido de sódio (NaOH) 10M, em destilador de nitrogênio, marca Buchi (Figura 15b), recolhendo-se o condensado em solução de ácido bórico-indicador. Em seguida, a titulação do destilado foi feita com  $H_2SO_4$  0,02N utilizando o titulador automático, marca Methrom (Figura 15c). O protocolo de análise utilizado neste trabalho está descrito no Quadro 5.

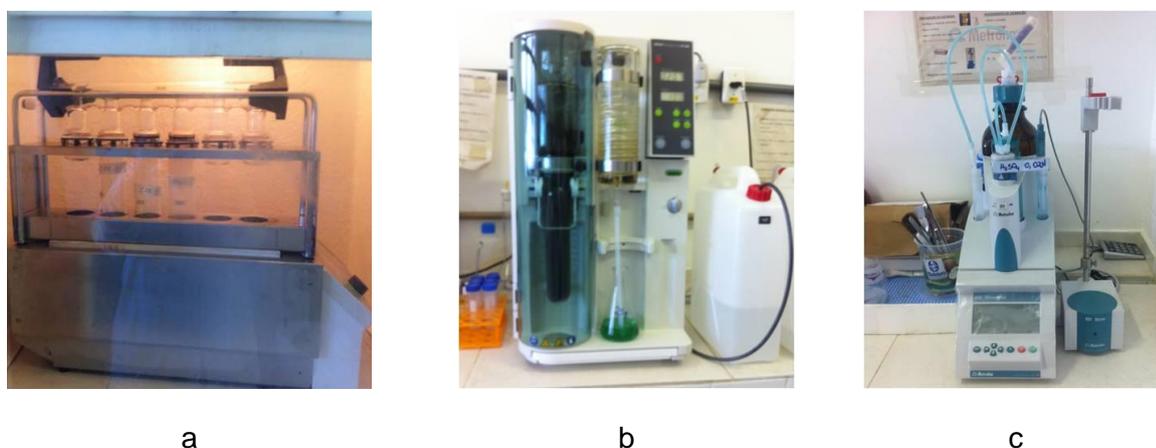


Figura 15 – Bloco Digestor (a), Destilador de nitrogênio (b) e Titulador automático (c)

Fonte: Próprio autor

Quadro 5 – Protocolo para determinação do carbono orgânico total e nitrogênio total kjeldahl

**Protocolo para determinação do carbono orgânico total (COT):**

- Pesagem na barquinha de, aproximadamente, 300 mg da amostra seca, cominuída e peneirada em peneira de 35 mesh;
- Inserção da barquinha no forno de combustão do módulo de sólidos seguindo os procedimentos operacionais do equipamento.

**Protocolo para determinação do nitrogênio total kjeldahl (NKT):**

## a) Digestão:

- Pesagem de 0,200 g da amostra seca (65°C), cominuída e peneirada em peneira de 35 mesh e colocação da amostra em tubo de digestão seco;
- Adição de 1 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;
- Adição lenta e cuidadosa de 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (na capela);
- Adição de 0,7 g da mistura de digestão;
- Inserção no bloco digestor elevando a temperatura gradualmente até 480°C;
- Após constatação de alteração da cor do conteúdo dos frascos (cor amarelo-esverdeada) retira-se os frascos do bloco e deixa-se esfriar à temperatura ambiente;
- Adição de 50 mL de água destilada;

## b) Determinação do Nitrogênio:

- Adição de, aproximadamente, 30 mL de NaOH 10M e início da destilação, imediatamente, coletando-se o destilado em indicador de ácido bórico;
- Titulação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025M.

A determinação da relação C/N foi calculada pela divisão dos resultados em porcentagem mássica obtidos para o carbono orgânico total e o nitrogênio total, ambos referidos a amostras em base seca, conforme descrito pelo MAPA (Brasil, 2007).

**4.4.2. Parâmetros Microbiológicos**

Foram realizadas análises microbiológicas para determinação de coliformes totais e presença de *Escherichia coli* nas amostras de resíduos *in natura*, na massa de compostagem e no composto orgânico.

A determinação de coliformes totais e *E. coli*, foi realizada pela técnica do substrato cromogênico enzimático utilizando o método de detecção Colilert (Figura 16) em Seladora Quanty-Tray Modelo 2X (IDEXX, Rydalmere, Austrália). O meio Colilert contém os nutrientes ONPG (onitrofenil-Beta-Dgalactopiranosídeo) e MUG (4-metil-umbeliferil-Beta-Dglucoronídeo). As enzimas específicas e, portanto características dos coliformes totais (Beta-Galactosidade) e da *E. coli* (Beta-Glucoronidase) ao metabolizarem os nutrientes, causam a liberação do radical orgânico cromogênico, e como conseqüência, a amostra passa a apresentar uma coloração específica amarela para coliformes totais (ONPG) e fluorescência (na presença de luz ultravioleta a 365 nm) para *E. coli* (MUG).

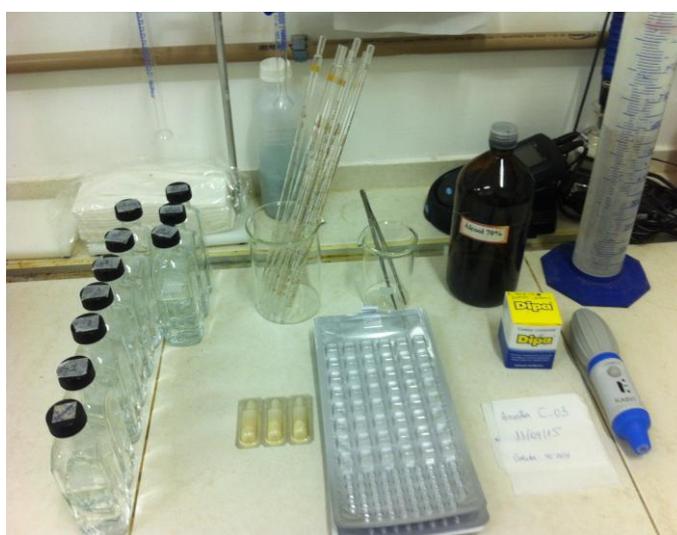


Figura 16 – Análise microbiológica pelo método de detecção Colilert

Fonte: Próprio autor

As amostras diluídas (Figura 17a) foram misturadas ao reagente Colilert (Figura 17b) e homogeneizadas até completa solubilização (Figura 17c). Em seguida foram transferidas para as cartelas Quanty-Tray e seladas em Seladora Quanty-Tray Sealer Modelo 2X (Figura 18a) e então incubadas a 35° - 37° C por um período de 24 horas. A quantificação do NMP de coliformes totais foi determinada pela contagem das cavidades da cartela que adquiriram coloração amarela (Figura 18b) intensa após 24 horas de incubação. Para a quantificação de *Escherichia coli* foram utilizadas as mesmas cartelas dos coliformes totais, porém, essas foram colocadas em câmara escura sob uma lâmpada ultravioleta (Figura 19a) onde a presença das cavidades positivas foram as que apresentaram coloração amarela intensa e fluorescência azul, conforme Figura 19b (IDEXX, 2007). Após contagem das células

(poços) da cartela, utilizou-se a tabela estatística do Número Mais Provável - NMP do sistema Quanti-Tray para a determinação do NMP/g de peso seco (PS) dos coliformes totais e *Escherichia coli* (Morgado, 2008).

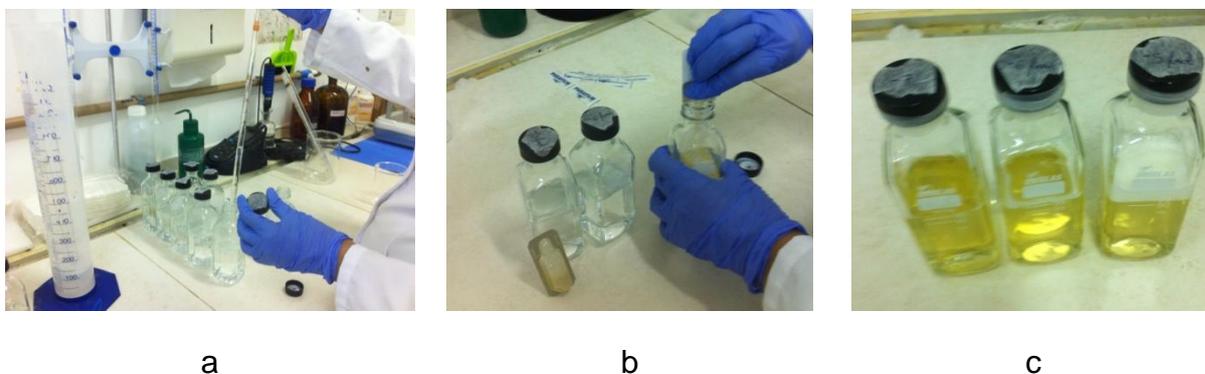


Figura 17 – Diluição da amostra (a), adição do reagente à amostra (b) e amostra homogeneizada e solubilizada com reagente (c)

Fonte: Próprio autor



Figura 18 – Seladora para fechar hermeticamente as cartelas Quanti-Tray (a) e cartela contendo amostras para detecção de coliformes totais (b)

Fonte: Próprio autor



Figura 19 – Câmara escura (a) e cartela para detecção de *Escherichia coli* (b)

Fonte: Próprio autor

#### **4.4.3. Granulometria do produto final**

Para avaliação da granulometria do produto final, comparou-se a composteira C20 com a composteira C1 ao final de 111 dias de compostagem. A composteira C20 foi revolvida diariamente durante 111 dias, enquanto que a C1 foi revolvida uma única vez no início da compostagem. Tal procedimento teve o intuito de verificar se o revolvimento poderia influenciar no tamanho das partículas do produto gerado ao final do processo. Para determinação da granulometria do material, utilizou-se um agitador de peneiras eletromagnético para análises granulométricas da Bertel com respectivas peneiras de malha 0,4mm, 0,6mm, 1,18mm, 2,0mm, 2,36mm, 4,75mm e 9,5mm. Após peneiramento o material passante e retido foi classificado de acordo com as especificações determinadas pela IN 25/2009 (Brasil, 2009).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização dos resíduos de alimentos (RA)

Os resíduos de alimentos foram constituídos por abóbora, aipim, alface, banana (casca), cebola, cheiro verde, laranja, mamão, melancia (casca), pepino e pimentão. A proporção de cada alimento na composição do resíduo está ilustrada na Figura 20.

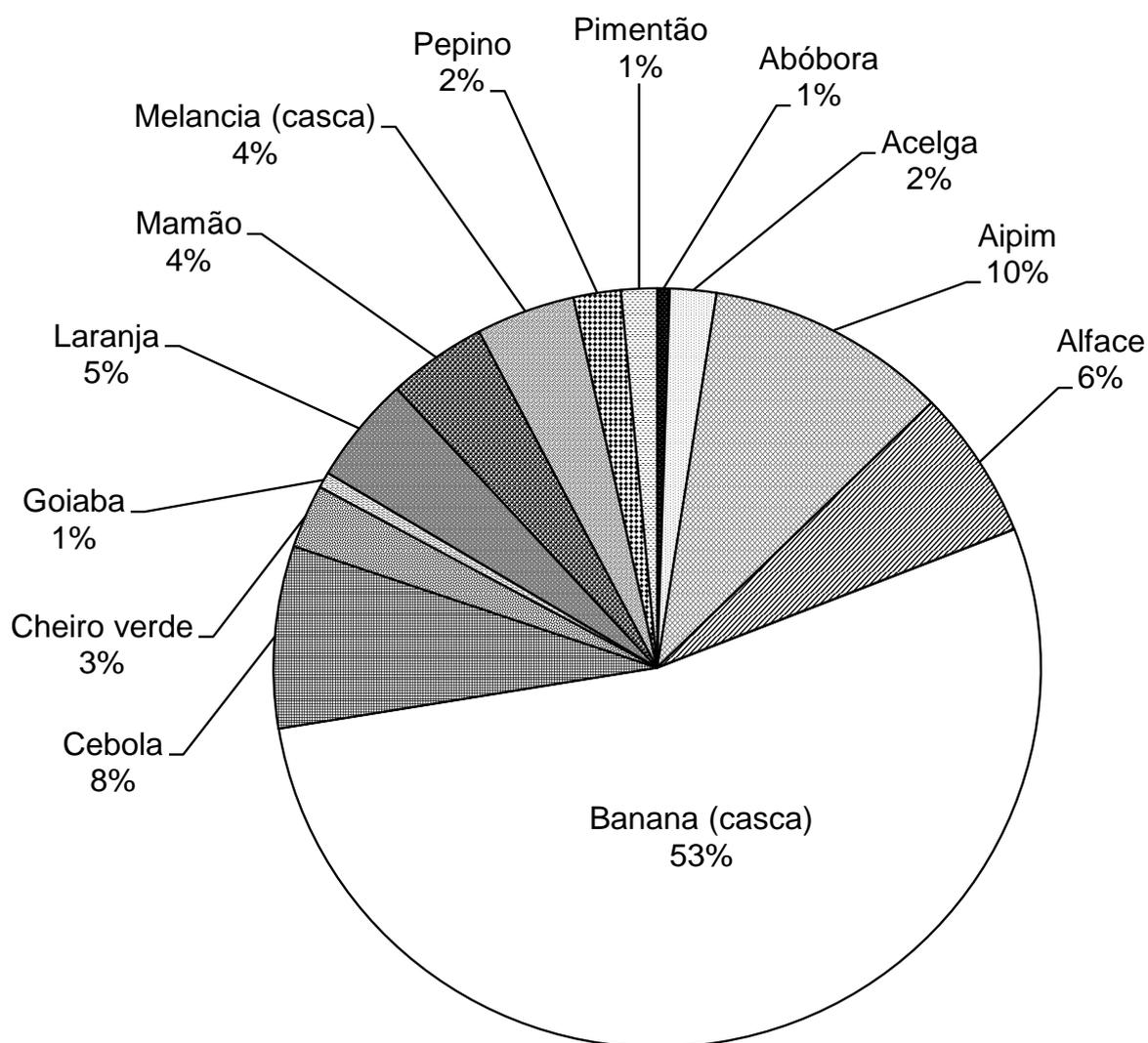


Figura 20 – Constituição percentual de cada alimento nos resíduos de alimentos

Fonte: Próprio autor

Cada material que constituiu o resíduo de alimento foi caracterizado individualmente quanto ao pH e teores de umidade, STV, COT e NTK. Os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização física de cada material componente dos resíduos de alimentos

Resíduos de Alimentos	Parâmetros								
	pH	NTK (mgN/g)	COT (g/kg)	NTK (%)	COT (%)	C/N	Umidade (%)	ST (%)	STV (%)
Abóbora	5,1	24,78	257,1	2,5	25,7	10,4	87,3	12,7	90,7
Aipim	6	10,93	263,1	1,1	26,3	24,1	73,5	26,5	95,2
Alface	6,4	35,55	302,3	3,6	30,2	8,5	95,4	4,6	79,5
Banana (casca)	4,7	9,72	328	1	32,8	33,7	68,9	31,1	92,6
Cebola	4,2	11,21	258,3	1,1	25,8	23	86,1	13,9	88,2
Cheiro verde	5,2	15,92	160,4	1,6	16	10,1	86,8	13,2	51
Laranja	4,1	12,52	325,1	1,3	32,5	26	70,7	29,3	95,9
Mamão	4,6	17,72	253,6	1,8	25,4	14,3	86,6	13,4	91,2
Melancia (casca)	6,2	35,83	242,1	3,6	24,2	6,8	93,3	6,7	82,9
Pepino	5,6	31,85	290,4	3,2	29	9,1	93,1	6,9	88,4
Pimentão	5,5	24,95	284,1	2,5	28,4	11,4	92,2	7,8	86,7

Fonte: Próprio autor

De acordo com a caracterização física dos resíduos de alimento, nota-se que a casca de banana é o componente que apresenta em sua constituição o maior teor de carbono (32,8%) e os menores teores de nitrogênio (1,0%) e umidade (68,9%). A alface, constituída por 30,2% de carbono, é o componente que possui maior porcentagem de umidade (95,4%) e nitrogênio (3,6%) em sua composição. A casca de melancia, constituída por 3,6% de nitrogênio e 93,3% de umidade, é o componente que apresenta o menor teor de carbono, com apenas 24,2%.

Ainda, a partir da caracterização química dos alimentos, foi possível determinar os percentuais de contribuição de cada elemento, componente dos resíduos de alimentos, de carbono e nitrogênio em relação à massa total dos resíduos de alimentos, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros de umidade, NTK e COT de cada componente dos RA e o percentual de contribuição de NTK e COT de cada elemento em relação à massa total dos RA

RA	Peso Úmido (g)	Umidade (%)	Peso Seco (g)	NTK (g)	COT (g)	NTK/TPN (%)	COT/TPC (%)
Abóbora	700	87,3	89	2,2	22,8	0,7	0,3
Aipim	1.355	73,5	360	3,9	94,6	1,2	1,1
Alface	8.450	95,4	391	13,9	118,2	4,4	1,3
Banana (casca)	70.850	68,9	22.041	214,2	7.229,4	67,7	81,6
Cebola	10.300	86,1	1.427	16,0	368,5	5,1	4,2
Cheiro verde	3.600	86,8	475	7,6	76,1	2,4	0,9
Laranja	6.050	70,7	1.773	22,2	576,3	7,0	6,5
Mamão	5.550	86,6	746	13,2	189,2	4,2	2,1
Melancia (casca)	5.550	93,3	372	13,3	90,0	4,2	1,0
Pepino	2.650	93,1	183	5,8	53,0	1,8	0,6
Pimentão	2.000	92,2	156	3,9	44,3	1,2	0,5
<b>Total</b>	<b>Total Peso Úmido (g)</b>	-	<b>Total Peso Seco (g)</b>	<b>Total Peso NTK (TPN) (g)</b>	<b>Total Peso COT (TPC) (g)</b>	-	-
	117.055		28.011	316	8.863	100	100

Fonte: Próprio autor

Observa-se que a casca de banana, componente mais abundante dos resíduos de alimento com aproximadamente 70 kg, teve contribuição de 81,6% e 67,7% em teores de carbono e nitrogênio, respectivamente. Apesar das menores quantidades dos outros constituintes, que variaram entre 0,7 e 10,3 kg, observa-se que de acordo com a sua composição eles contribuíram com maior porcentagem de nitrogênio quando comparado ao carbono.

## 5.2. Processo de compostagem

### 5.2.1. Parâmetros físicos e químicos

As 20 composteiras foram monitoradas diariamente durante 111 dias. Em todas as composteiras, houve um rápido aumento da temperatura nas primeiras 24 horas. No entanto, não ocorreu predominância da fase termofílica, e os maiores picos de temperatura foram em média  $45 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , após 16,5 horas de experimento. Após 35 horas, a temperatura caiu para aproximadamente  $36^\circ\text{C}$  e se manteve assim por 10 horas. Após 22 dias, a temperatura em todas as composteiras foi inferior a  $28^\circ\text{C}$ , se aproximando ainda mais da temperatura ambiente a partir do 43º dia (Figura 21).

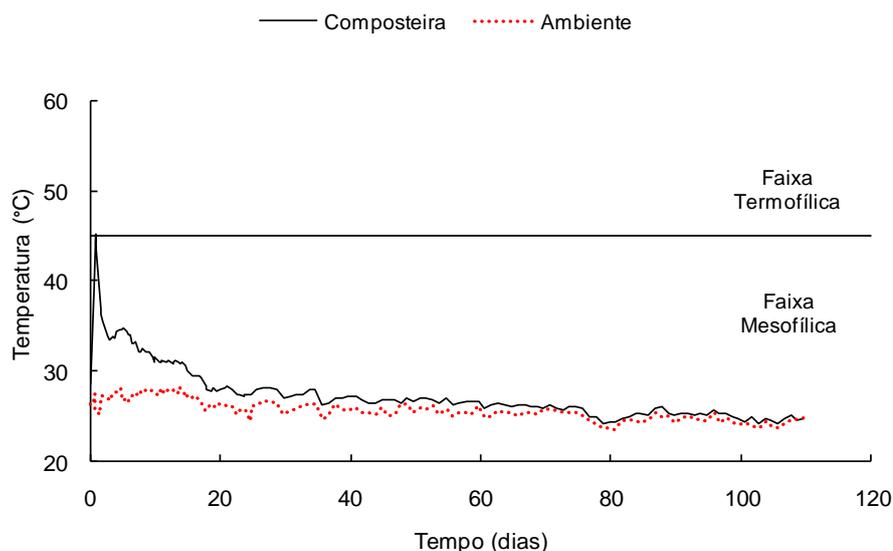


Figura 21 – Comportamento do perfil da variação temporal da temperatura

Fonte: Próprio autor

Observa-se que o processo de compostagem evoluiu em um ambiente com predominância da temperatura na faixa mesofílica. Tal ocorrência está de acordo com alguns experimentos realizados em pequenos reatores (Tatàno *et al.*, 2015; Guidone *et al.*, 2013; Karnchanawong & Suriyanon, 2011 e Colón *et al.*, 2010). Possivelmente, tal perfil de temperatura esteja relacionado com o tamanho em pequena escala dos recipientes utilizados na compostagem nesse estudo, corroborando com Karnchanawong & Suriyanon (2011), que registraram valores entre 29,1°C e 31,1°C em compostagem realizada com recipiente de 200L. Do mesmo modo, Tatàno *et al.* (2015), em uma de suas composteiras de 310L, atingiu o valor máximo de temperatura de 38°C. Contrariamente, nesse mesmo estudo, o valor registrado para a composteira que alcançou a temperatura termofílica foi de 58°C. Ainda, Vich *et al.* (2015), registraram temperatura máxima de 40,3°C para composteiras de 10L, mostrando um padrão do comportamento da temperatura semelhante ao encontrado nessa pesquisa, provavelmente, devido a pequena escala dos experimentos.

Em todas as composteiras foi realizado o monitoramento do teor de umidade à 65°C e à 105°C. No início do experimento, o teor de umidade à 65°C na massa de compostagem foi de 71,2±1,42%. Foi observado um aumento até o 3º dia, quando foi registrado teor de 78,2%. A partir de então, a umidade diminuiu lentamente,

mostrando alguma variabilidade. No 40º dia de compostagem, o teor de umidade foi de  $73,3 \pm 0,17\%$  e, a partir de então, houve queda constante da mesma, resultando ao final do processo de 111 dias um teor de umidade de  $62,8 \pm 0,09\%$  (Figura 22). O comportamento da umidade determinada à  $105^\circ\text{C}$  seguiu o mesmo padrão daquela determinada à  $65^\circ\text{C}$ , com diferença de aproximadamente 1% entre os métodos.

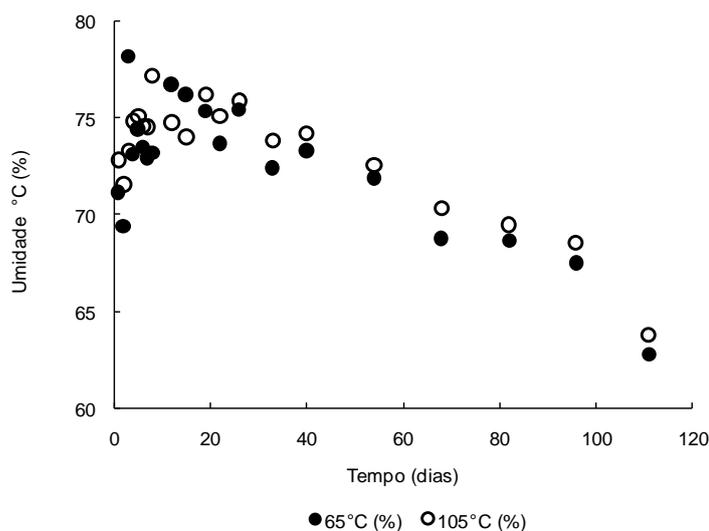


Figura 22 – Teor de umidade determinado à temperatura de  $65^\circ\text{C}$  e  $105^\circ\text{C}$

Fonte: Próprio autor

O aumento da umidade no início do processo de compostagem pode estar relacionado com a condensação da água dentro do sistema durante a decomposição da matéria orgânica, de modo que ao ser liberada na forma de vapor esta retornou à composteira que até então se encontrava vedada com a tampa.

O teor de umidade em um resíduo compreende diferentes estados da água. Estudos sobre os estados da água em alimentos e lodos provenientes de estações de tratamento de água ou de esgoto mostraram que o balanço do estado da água é afetado pelas características do material (teor de umidade, composição química, estrutura física), e os diferentes estados da água ocorrem de acordo com a redução do teor de umidade. À medida que o processo de compostagem progride, as características do resíduo mudam claramente, assim como os estados da água (Shen *et al.*, 2015).

Em um sistema com matéria orgânica mista, ou seja, diferentes tipos de materiais, os estados da água, geralmente, podem ser divididos em duas frações: água livre e

água de constituição. A fração de água livre consiste de água aprisionada ou absorvida (AA) e água capilar (AC). A fração de água de constituição consiste de água molecular de múltipla camada (AMMC) e água de mono camada. AA é absorvida por membranas e redes de géis macromoleculares, e AC é mantida nos capilares por força capilar. AMMC se refere à água de constituição que forma várias camadas de moléculas ao redor de grupos hidrofílicos dissolvidos em água e pontes de hidrogênio água-água. A água de mono camada é a primeira camada de água em componentes não aquosos, e é associada à grupos polares (como grupos carboxil, amino e hidroxil) por pontes de hidrogênio íon-água e dipolo-água (Shen *et al.*, 2015).

A água livre (AA e AC) e AMMC podem ser removidas pelo aquecimento do material, mas, a água de mono camada dificilmente evapora mesmo a 105°C. Como a porcentagem da água de monocamada se mantém em torno de apenas 0,5%, as demais frações podem ser estudadas no processo de compostagem de resíduos de alimentos. Estudos acerca dos estados da água usam técnicas de gradientes de evaporação, e consideram que a água removida até 70° C é água livre (30-50°C – AA; 60-70°C – AC) e acima desta temperatura é água de constituição (80-105°C – AMMC).

Diante do exposto pode-se aferir que, nesse experimento, a água de constituição correspondeu a 1% do total de água presente na massa de compostagem.

À medida que a matéria orgânica é degradada a porcentagem de sólidos totais voláteis (STV) tende a diminuir. Assim, por meio desse parâmetro, acompanhou-se a biodegradação dos resíduos durante o processo de compostagem (Figura 23).

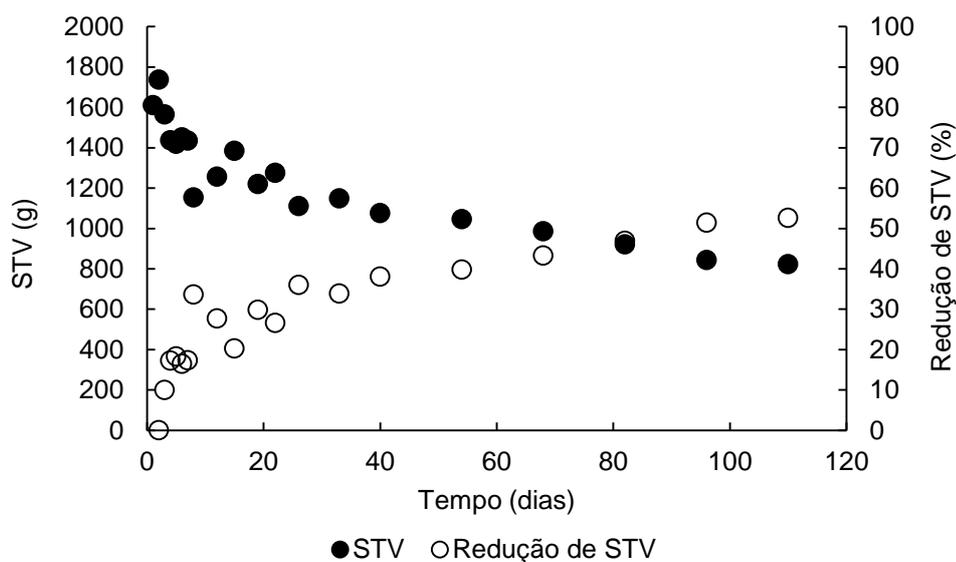


Figura 23 – Redução de STV e de massa ao longo do processo de compostagem

Fonte: Próprio autor

Ao final do processo de compostagem, com duração de 111 dias, a redução do teor de STV foi de aproximadamente 53%. Paralelamente, a massa inicial de 1.686 kg dentro da composteira também foi reduzindo chegando ao final do experimento com 0,890 kg, em peso seco. Tais resultados mostram que a taxa de biodegradação da matéria orgânica foi significativa ao longo do processo de compostagem, apresentando valores próximos aos apresentados por Karnchanawong & Suriyanon (2011), em torno de 41 a 50%.

A degradação da matéria orgânica (MO) foi estimada pela redução de STV ao longo do tempo de compostagem e obedeceu a uma cinética decrescente de primeira ordem, que pode ser expressa pela (equação 4).

$$STV = STV_{\text{máx}}(1 - e^{-kt})$$

(equação 4)

Na qual, STV representa o teor da matéria orgânica (g) ao longo do tempo t (dias),  $STV_{\text{máx}}$  representa a máxima quantidade de STV (g) e k representa a constante de velocidade da degradação.

Para conhecer a constante de velocidade (k) da equação de primeira ordem, os dados obtidos de redução de STV (g) foram linearizados conforme representado pela Figura 24.

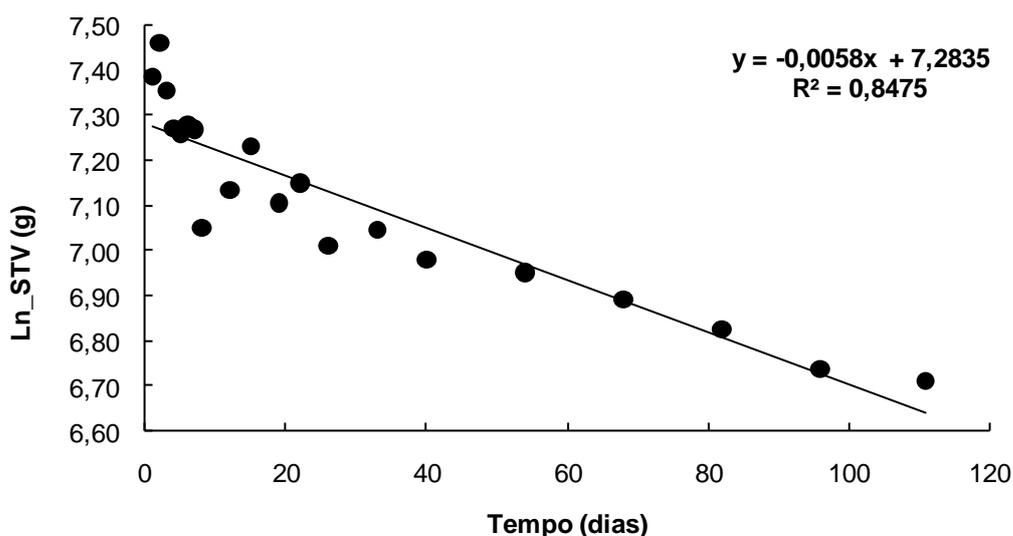


Figura 24 – Linearização dos dados de STV (g) para determinação da constante de velocidade de degradação da matéria orgânica

Fonte: Próprio autor

A constante de velocidade de degradação da matéria orgânica considerando os 111 dias de observação, foi de  $5,8 \times 10^{-3} \text{ dia}^{-1}$ . A Figura 25a e a Figura 25b, mostram a constante de velocidade considerando esse processo em duas etapas. Na primeira etapa, que corresponde a primeira semana (Figura 25a), o comportamento e a constante encontradas podem ser explicados pela maior facilidade de biodegradação do RA. Já na segunda etapa (Figura 25b), a velocidade se reduz uma vez que no material restante a ser degradado predomina a presença de lascas de madeira que possui na sua constituição, elementos mais resistentes a biodegradação, como lignina e hemicelulose.

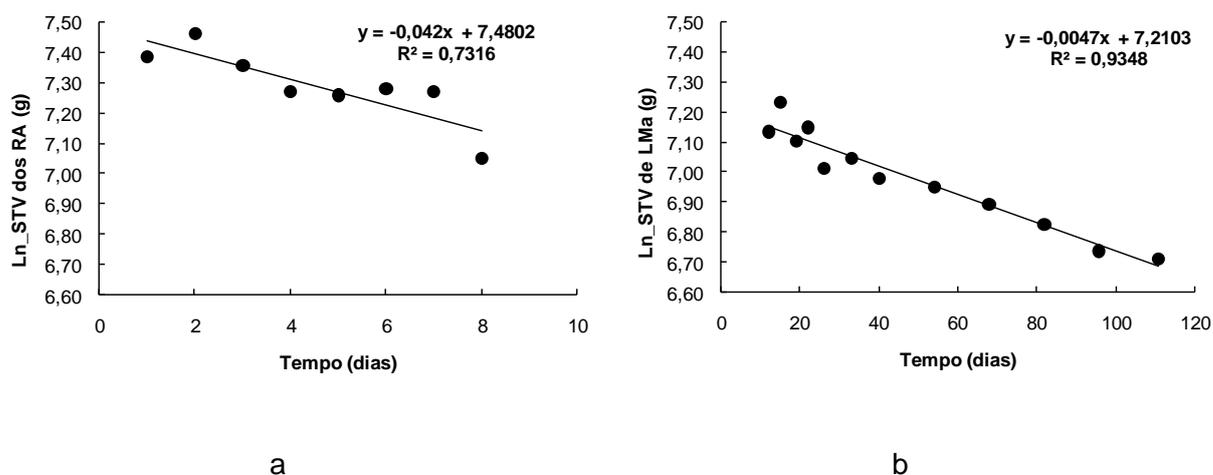


Figura 25 – Linearização dos dados de STV (g) para determinação da constante de velocidade de degradação da matéria orgânica dos RA (a) e da LMa (b)

Fonte: Próprio autor

Na Figura 25a, a constante de velocidade de degradação dos RA ( $k=4,2 \times 10^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) é maior do que a velocidade de degradação da LMa que é de  $4,7 \times 10^{-3} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 25b). Esses resultados estão de acordo com Brito *et al.* (2014), ao relatarem duas fases de degradação durante a compostagem de biomassa de acácia (mais de 80% de *Acácia longifolia* e o restante de *A. dealbata* e urze) com casca de pinheiro (*Pinus pinaster*). Nesse estudo, os autores indicaram que a primeira fase ( $k = 0,190 \text{ dia}^{-1}$ ) da compostagem está relacionada com a rápida decomposição do substrato de fácil degradação e elevada taxa de atividade microbiana. Já na segunda fase ( $k = 0,006 \text{ dia}^{-1}$ ), o ritmo de degradação foi mais lento devido a permanência dos substratos mais resistentes à biodegradação.

O valor do pH das amostras coletadas foi determinado em duplicata, tanto para as análises realizadas em solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 0,01M (Figura 26a) como para aquelas determinadas em  $\text{H}_2\text{O}$  destilada (Figura 26b).

Até o segundo dia de compostagem, o valor do pH na massa de compostagem estava ácido em ambas metodologias. Contudo, os valores em  $\text{CaCl}_2$  0,01M, mesmo após elevação do pH, mostraram-se sempre menores. A faixa alcalina foi alcançada já a partir do terceiro dia de compostagem para as análises realizadas em  $\text{H}_2\text{O}$  destilada com valores acima de 8,0 e foi aumentando até atingir valores de pH acima de 9,0. Por sua vez, as análises em  $\text{CaCl}_2$  0,01M, mantiveram o pH entre 6,0 e 7,8 chegando ao final do experimento com pH igual a 7,96. Tal diferença nos valores de

pH realizados em H<sub>2</sub>O destilada ou em CaCl<sub>2</sub> 0,01M, se justifica pelo fato de que em água apenas os hidrogênios dispersos serão determinados, enquanto que em CaCl<sub>2</sub> 0,01M, determina-se a concentração dos íons hidrogênios dispersos na solução mais os retidos por adsorção na superfície dos colóides orgânicos (Kiehl, 2008). A legislação brasileira por meio do manual de métodos analíticos oficiais (MAPA, 2007) recomenda a determinação do pH em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01M.

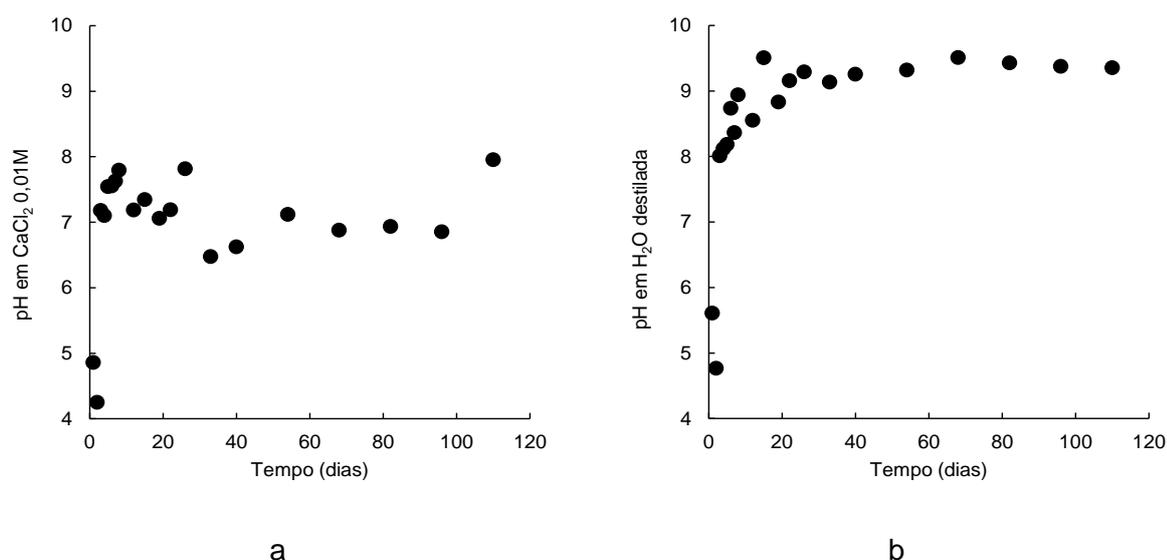


Figura 26 – Variação do pH ao longo do processo de compostagem: (a) H<sub>2</sub>O destilada e (b) CaCl<sub>2</sub>

Fonte: Próprio autor

No geral, a variação do valor de pH durante o período de compostagem está de acordo com o registrado na literatura científica. O valor do pH começa ácido e aumenta gradualmente até se tornar básico com a atividade microbiana degradando os ácidos orgânicos (Diaz *et al.*, 1993 *apud* Karnchanawong & Suriyanon, 2011).

Em média, os vegetais são constituídos por 88% de água, 8,6% de carboidratos, 1,9% de proteínas, 0,3% de gorduras e 0,84% de cinzas (Jay, 2005). Portanto, os RA utilizados nesse experimento apresentam em sua constituição grande quantidade de carboidratos que foram rapidamente oxidados durante a fase intensa da atividade microbiana.

Mudanças na concentração de carbono e nitrogênio sugerem, respectivamente, a decomposição da matéria orgânica e transformação do nitrogênio (Kumar *et al.*, 2010).

Na Figura 27a, observa-se um aumento na concentração de carbono orgânico total (COT) na fase inicial da compostagem e sua diminuição ao final do processo. Nota-se que o COT partiu de  $35,4\% \pm 1,2$  para  $40,3\% \pm 0,5$  no 19º dia e diminuiu para  $34,0\%$  no produto final com 111 dias de experimento. De acordo com Kumar *et al.* (2010), o aumento na concentração do COT pode ser explicado pela hidrólise do material orgânico sólido para matéria orgânica solúvel em água pela ação dos microorganismos e pela elevada disponibilidade inicial de proteínas no resíduo de alimentos.

A concentração de nitrogênio total está representada na Figura 27b. Observa-se que houve aumento na concentração de nitrogênio total ao longo do processo de compostagem, partindo de  $0,68\%$  para  $1,49\%$  ao final do experimento. Tal resultado está em concordância com o apresentado por Tatano *et al.*, (2015), ao explicar que este aumento está relacionado com a decomposição gradual da matéria orgânica que provoca uma perda de peso da massa e, conseqüentemente, um aumento relativo na concentração de nitrogênio. Para Kiehl (2012), esse aumento é relativo, e pode estar relacionado à perda de outros componentes por volatilização enquanto o nitrogênio se manteve.

A relação C/N diminuiu de  $52/1$  no início do experimento para  $22,8/1$  ao final da compostagem (Figura 27c). A relação C/N inicial foi maior do que a recomendada na literatura indicando a possibilidade de retardar o processo de compostagem (Tatano *et al.*, 2015). Assim, pode-se considerar que o produto obtido ao final de 111 dias de experimento é um composto bioestabilizado ( $<25/1$ ), mas estando próximo da relação C/N máxima recomendada pela IN 25/2009 do MAPA que é de  $20/1$  (Brasil, 2009) para fertilizantes orgânicos classe C.

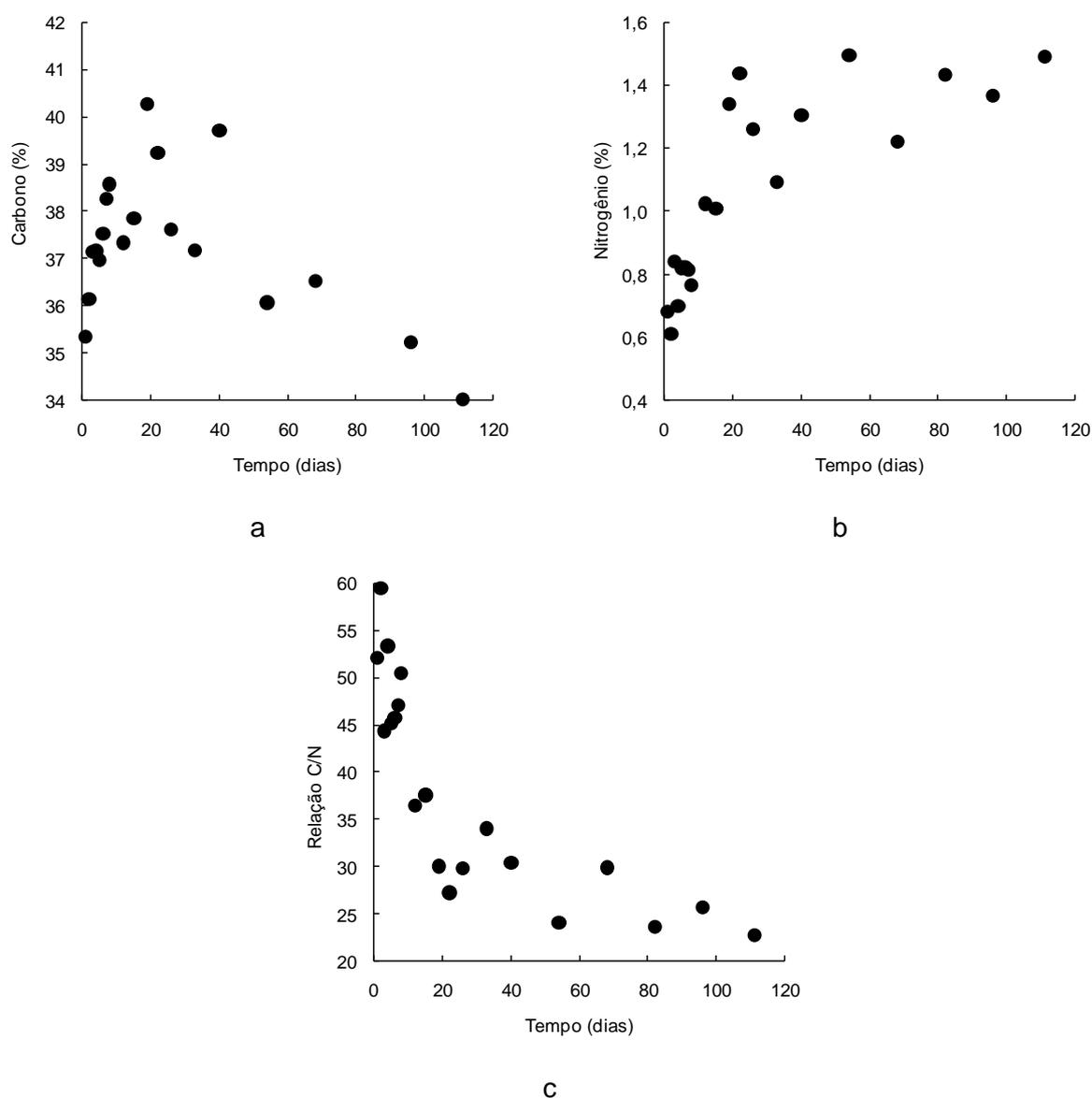


Figura 27 – Variação dos teores de carbono (a), nitrogênio (b) e da relação C/N (c) ao longo do processo de compostagem

Fonte: Próprio autor

A relação C/N elevada no início do experimento limitou o crescimento microbiano devido a ausência de nitrogênio e fez com que o consumo de carbono fosse lento, como pode ser observado na Figura 28. Nota-se que a velocidade de consumo do COT apresenta uma constante  $k$  igual a  $6,3 \times 10^{-3} \text{ dia}^{-1}$ .

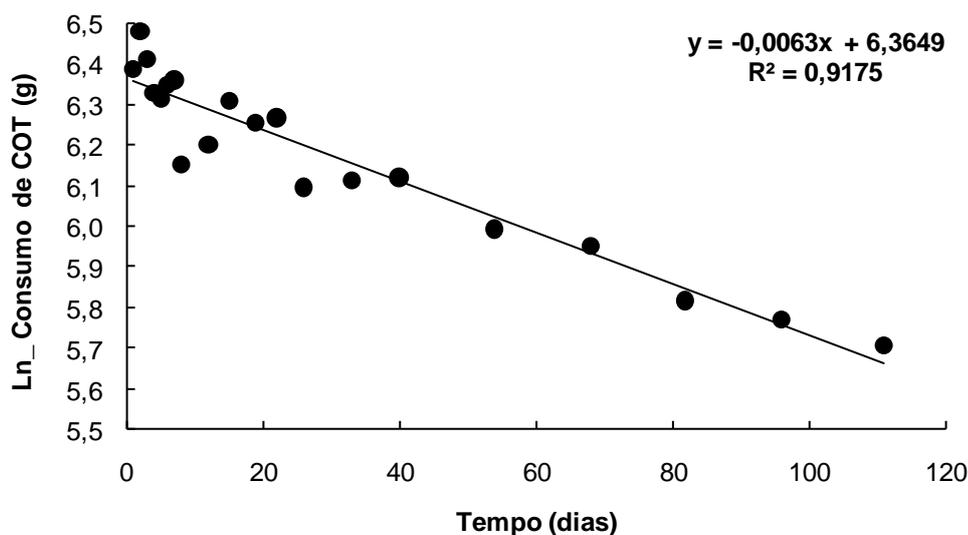


Figura 28 – Linearização dos dados de COT (g) para determinação da constante de velocidade de consumo de COT

Fonte: Próprio autor

### 5.2.2. Parâmetros microbiológicos

A Figura 29a, apresenta a variação na concentração de coliformes totais ao longo do processo de compostagem. Inicialmente, a concentração de coliformes totais era de  $8,6 \times 10^6$  NMP/g<sub>(ST)</sub> e, já no terceiro dia de compostagem, ocorreu um pico na concentração de coliformes totais aumentando para  $248,9 \times 10^7$  NMP/g<sub>(ST)</sub>. Ao longo do tempo a concentração desses micro-organismos diminuiu gradativamente para  $43,7 \times 10^4$  NMP/g<sub>(ST)</sub> ao final de 111 dias de experimento.

Com relação à presença da população de *E. coli*, a Figura 29b mostra que houve um aumento significativo entre o terceiro e sexto dia do processo de compostagem, passando a diminuir gradualmente logo após esse período. Com 54 dias do experimento a população de *E. coli* caiu para  $11,8 \times 10^2$  NMP/g<sub>(ST)</sub>. No 68º dia, houve uma brusca redução de *E. coli* ( $3,1 \times 10$  NMP/g<sub>(ST)</sub>), e a partir do 82º dia foram registrados níveis menores do que 1 NMP/g<sub>(ST)</sub>, permanecendo assim até o final do experimento. Tais resultados estão de acordo com os valores de referência utilizados pela Instrução Normativa 46/2011 (Brasil, 2011), como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos para coliformes termotolerantes que é de  $10^3$  NMP/g de ST.

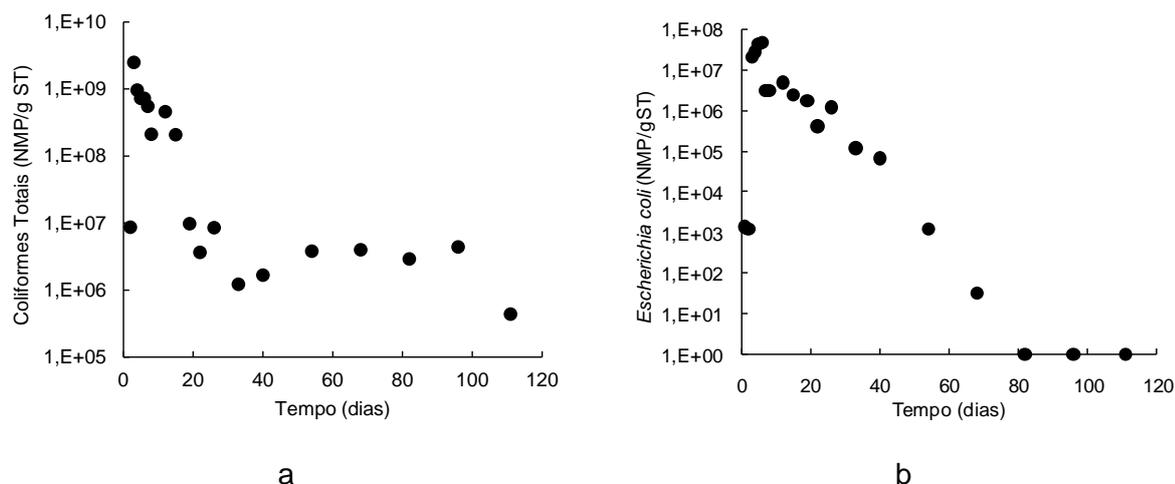


Figura 29 – Concentração de micro-organismos ao longo do processo de compostagem: (a) Coliformes Totais e (b) *Escherichia coli*

Fonte: Próprio autor

A Figura 30 mostra que logo no início da compostagem quando a temperatura ultrapassou  $40^{\circ}\text{C}$ , houve um aumento na população de coliformes totais e *Escherichia coli*. Esse aumento na população de *E. coli* evidencia que, nessa faixa de temperatura, o ambiente é considerado favorável para o crescimento desses micro-organismos, conforme relatado por Hess *et al.* (2004). Somente a partir do sétimo dia, que a concentração de *E. coli* começa a diminuir, porém, mantendo-se ainda presente por um bom período. Os resultados desse experimento, corroboram com a afirmação de Hess *et al.* (2004), ao mencionar que além da necessidade de atingir altas temperaturas para garantir a completa destruição dos patógenos, o maior tempo de duração do processo de compostagem é, também, um fator importante para garantir a sanitização do produto final em composteiras em que ocorre a predominância de temperaturas mesofílicas ao longo do processo.

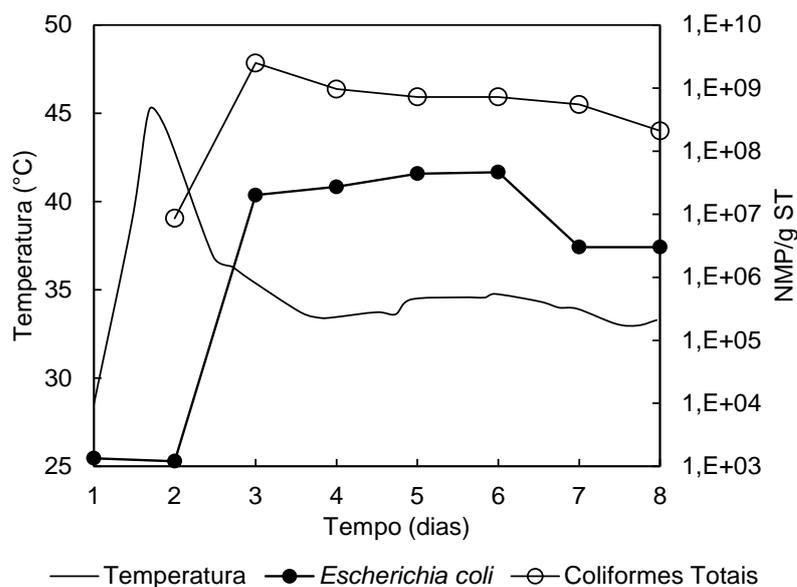


Figura 30 – Influência da temperatura na concentração de micro-organismos na primeira semana do processo de compostagem

Fonte: Próprio autor

### 5.2.3. Granulometria do produto final

A Figura 31 apresenta o tamanho das partículas ao final do processo de compostagem para a composteira operada com revolvimento em comparação com outra que não foi revolvida. A IN 25/2009 (Brasil, 2009), determina que os fertilizantes orgânicos apresentem as especificações de acordo com a sua natureza física em granulado (1,0 – 4,0mm), pó (0,3 – 2,0mm), farelado (0,5 - 3,36mm) e farelado grosso (1,0 - 4,8mm).

Ao contrário da composteira que não foi revolvida (C1), nota-se que há uma quantidade maior de materiais com partículas de dimensões menores para a composteira com revolvimento (C20), 1,5% e 2,5%, respectivamente, podendo ser caracterizado como pó (entre 0,4mm e 2,0mm), pela IN 25/2009 (Brasil, 2009). Proporcionalmente, partículas acima de 9,5mm foram em maior quantidade para a composteira sem revolvimento (3,4%), do que para aquela que sofreu o revolvimento (0,9%).

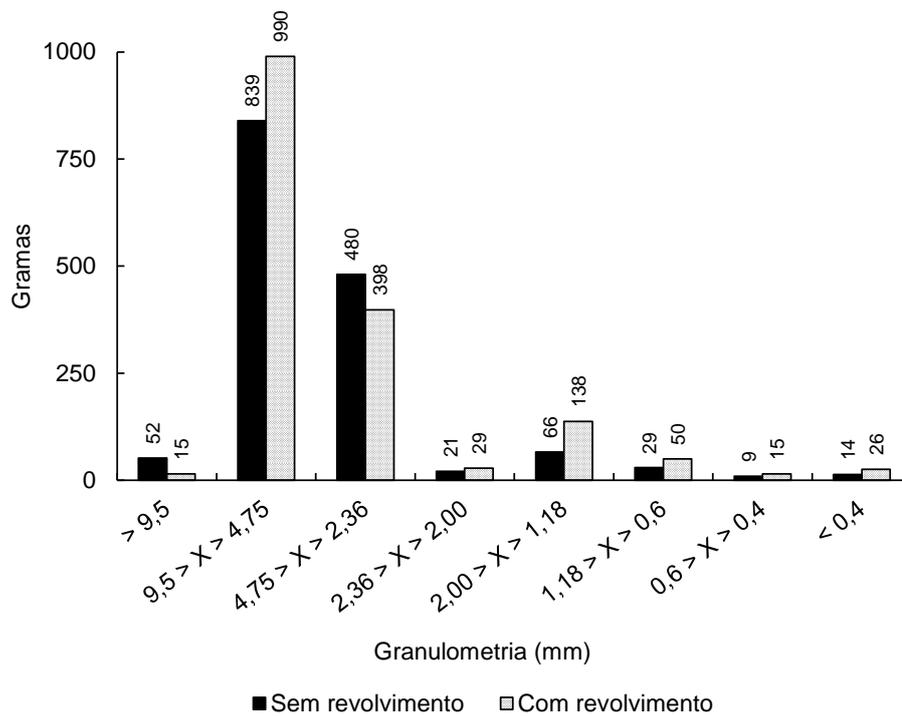


Figura 31 – Caracterização granulométrica do composto final nas composteiras sem revolvimento e com revolvimento

Fonte: Próprio autor

Diante dos resultados apresentados, pode-se inferir que o procedimento de revolvimento da massa de compostagem também pode influenciar na granulometria do composto ao final do processo.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados nesse trabalho, conclui-se:

- Em relação aos parâmetros físico-químicos:
  - A umidade inicial a 65°C observada na mistura de RA e LMa (71,2%±1,42) foi acima da faixa de 50-60% recomendada para a partida da compostagem na literatura científica. Do mesmo modo, a relação C/N determinada foi de 52/1, enquanto que o recomendado para a partida da compostagem é de 30/1. Assim as condições iniciais foram diferentes dos valores recomendados, no entanto, não inibiu a evolução do processo de compostagem.
  - Os valores de umidade a 65°C e a relação C/N no composto produzido ao final do período de observação foram, respectivamente, 62,8%±0,09 e 22,8/1. Esses valores são próximos dos valores recomendados pela IN 25/2009 do MAPA, ou seja, 50% para umidade a 65°C e de 20/1 para a relação C/N (Brasil, 2009).
  - Ao longo do processo de compostagem o teor de nitrogênio aumentou de 0,68% para 1,49%, e o pH variou de ácido para neutro, isto é, de 4,86 para 7,96. Esse comportamento é compatível com o relatado na literatura (Tatano et al., 2015 e Karnchanawong & Suriyanon, 2011).
  - Ainda em relação aos parâmetros nitrogênio e pH, observou-se que o composto final obtido nesse estudo, atende ao recomendado pela IN 25/2009/MAPA com valores mínimos de Ntotal e pH para fertilizantes orgânicos classe C de 0,5% e de 6,5, respectivamente.
  - A faixa de temperatura observada na primeira quinzena foi mesofílica atingido temperatura termofílica por no máximo 5 horas. Esse comportamento da temperatura pode ser explicado pela redução de alimento facilmente degradável para os micro-organismos e pelo pequeno volume de massa compostada que pode ter favorecido a perda de calor para o ambiente externo.
  - No 96º dia de compostagem observou-se que os valores de Nitrogênio e Carbono Total já atendiam aos requisitos da IN 25/2009 (Brasil, 2009) e o limite máximo de coliformes termotolerantes IN 46/2011 (Brasil, 2011). Como também 51% da redução de matéria orgânica biodegradável em termos de

STV. Até o final do período de observação (111º dia) o acréscimo de redução de STV foi de apenas 1,2%. Desse modo, considera-se que o composto produzido se encontrava bioestabilizado e com condições de ser utilizado após 96 dias de compostagem.

- Em relação aos parâmetros microbiológicos:
  - A população de *E. coli* identificada no RA foi de  $524,7 \times 10^2$  NMP/g<sub>(ST)</sub>. Provavelmente, essa alta concentração de micro-organismo patogênico no RA se deve à manipulação do próprio alimento durante suas fases de produção e distribuição e mesmo durante o seu preparo para consumo. Outra via de contaminação pode ocorrer durante a coleta, armazenamento e processamento do RA.
  - A partir do terceiro dia de compostagem a temperatura mesofílica propiciou o aumento da população de coliformes totais até valores de  $248,9 \times 10^7$  NMP/g<sub>(ST)</sub> e de *E. coli* até valores de  $46,4 \times 10^6$  NMP/g<sub>(ST)</sub> no sexto dia.
  - A temperatura máxima alcançada durante o experimento foi de 45°C no segundo dia, diminuindo para 36,9°C em menos de 24 horas. Entretanto, observou-se que apesar do processo ter atingido a faixa termofílica por um curto período de tempo, a sanitização do composto foi obtida após 68 dias de experimento com concentração de *E.coli* igual a  $3,1 \times 10$  NMP/g<sub>(ST)</sub>, atendendo a IN 46/2011. Ao final do período de observação (111 dias) a concentração de *E. coli* foi reduzida para níveis não detectáveis (<1 NMP/g de ST).
  - Nesse estudo, no que se refere à qualidade microbiológica do composto produzido em composteira doméstica de pequena escala, pode-se concluir que a sanitização do composto orgânico foi determinada pelo maior tempo de compostagem, cerca de 70 dias, e não pela temperatura termofílica.
- Sugestões para trabalhos futuros:
  - Recomenda-se que em novos estudos os parâmetros de umidade e relação C/N na partida do processo, utilizando os mesmo tipos de materiais e volume de recipiente, estejam mais próximos do recomendado na literatura (50% a 60% e 30/1, respectivamente), para então, tentar obter um composto maturado

em menor tempo de compostagem. Além desses parâmetros, sugere-se também a análise para ovos viáveis de helmintos e *Salmonella sp.*

- Além disso, visto que os resíduos de alimentos são materiais facilmente biodegradáveis, pode-se em pesquisas futuras, estudar a compostagem destes resíduos com materiais estruturantes menos complexos. Ou então, pode-se utilizar a serragem, porém, com tamanho de partículas variado e ainda menor do que as lascas de madeira.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, I. M. de O.; Junqueira, A. M. R.; Peixoto, J. R. e Oliveira, S. A. de. **Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 30(Supl.1): 108-118, maio 2010.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22<sup>th</sup> ed. Washington, 2012.

BASTOS, R. K. X.; Bevilacqua, P. D. e Mara, D. D. **Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileiras, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola**. Revista DAE nº 191. Jan-Abr, 2013.

BHATIA, A.; Madan, S.; Sahoo, J.; Ali, M.; Pathania, R. e Kazmi, A. A. **Diversity of bacterial isolates during full scale rotary drum composting**. Waste Management 33, 1595–160, (2013).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375** de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 30 de ago. 2006

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009**. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma Anexos à presente Instrução Normativa. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 28 de Jul. 2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa nº 46 de 06 de outubro de 2011**. Estabelecer o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, bem como as listas de Substâncias Permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, na forma desta Instrução Normativa e dos seus Anexos I a VII. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 07 de Out. 2011.

BRITO, Luis Miguel; Mourao, Isabel e Coutinho, João. **Compostagem de biomassa de acácia com casca de pinheiro**. Revista de Ciências Agrárias, vol.37, n.1, p. 59-68, 2014.

BUSNELLO, J. Fábio; Kolling, F. Daniel; Dalla Costa, Rodrigo; Moura, C. Leonardo. **pH e granulometria em compostagem de pequena escala com diferentes fontes de resíduos**. VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Porto Alegre/RS, 2013.

CHRONI, C., Kyriacou, A., Irene, G., Manios, T., Kotsou, M., Lasaridi, K. **Microbial characterization during composting of biowaste**. Waste Manage. 5, 1520–1525, 2009.

COLÓN, J.; Martinez - Blanco, J.; Gabarrell, X.; Artola, A.; Sánchez, A.; Rieradevall, J.; Font, X.. **Environmental assessment of home composting**. Resources, Conservation and Recycling p. 893–904, 2010.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. ISBN 978-85-7383-430-7.

FORSYTHE, Stephen J. **Microbiologia da segurança alimentar**. Porto Alegre: Artmed, 2002. ISBN 85-7307-988-6.

FRANCO, B. D. C. de M & Landgraf, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008.

GUIDONI, L. L. C.; Bittencourt, G.; Marques, R. V.; Corrêa, L. B.; Corrêa, E. K.. **Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo**. Revista *Tecnológica*, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 1, p. 44-51, Jan/jun. 2013.

HASSEN, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., Boudabous, A.. **Microbial characterization during composting of municipal solid waste**. Bioresource Technology 80 (3), 217–225, 2001.

HECK, K.; Marco, E. G. de; Hahn, A. B. B.; Kluge, M.; Spilki, F. R. e Van der Sand, S.. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p.54–59, 2013.

HESS, T.F., Grdzlishvili, I., Sheng, H., Hovde, C.J.. **Heat inactivation of E. Coli during manure composting**. Compost Science and Utilization 12 (4), 314–322, 2004.

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

JAY, James M. **Microbiologia de alimentos**. 6.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2005. ISBN 978-85-363-0507-3.

JIANG, X., J. Morgan e M.P. Doyle. **Fate of Escherichiacoli O157:H7 during composting of bovine manure in alaboratory-scale bioreactor.**, *1, Food Prot.*, 66:25-30, 2003.

KARNCHANAWONG, S., Suriyanon, N. **Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration**. *Resour. Conserv. Recycl.* 55, 548–553, 2011.

KUMAR, M., Ou, Y.L. e Lin, J.G. **Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio**. *Waste Manage.* 30, 602–609, 2010.

KUMAR, P. R. Ambika J.; Somashekar, R. K.; **Assessment of the performance of different compost models to manage urban household organic solid wastes**. *Clean Techn Environ Policy*; pp. 473–484; Department of Environmental Science, Bangalore University, Bangalore, India, 2009.

LANGE, L.C. *et al.* **Estudo comparativo de metodologias para análises físico-químicas de resíduos sólidos urbanos**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2002.

LI, Z., Lu, H., Ren, L., He, L.. **Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review**. *Chemosfere* 93, 1247-1257, 2013.

LOUREIRO, D. C.; Aquino, A. M.; Zonta, E.; Lima, E.. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. *Pesquisa agropecuária*. Brasília, v.42, n.7, p.1043-1048, jul. 2007.

LUNG, A.J., CM. Lim, J.M. Kim, M.R. Marshall, R. Nordstedt, N.P. Thompson, e C.I. Wei. **Destruction of Escherichiacoli O157:H7 and Sahnnonella enteritidis in cow manure composting**. *Food Pwt.*, 64:1309-1314, 2001.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília. 141 p. 2007.

NAKASAKI, K., Minoto, H., Tran, Q. N. M., Oinuma, A.. **Composting of food waste subjected to hydrothermal pretreatment and inoculated with *Paecilomyces* sp. FA13**. *Bioresource Technology* 180, 40-46, 2015.

ROCHA, V. E.; Santos, H. M. N. dos; Cândida, A. C.; Fehr, M. **Desenvolvimento Sustentável, Educação Ambiental e Gestão de Resíduos Sólidos em Araguari-MG/Brasil**. *Revista Geográfica da América Central*. jul. 2011, Costa Rica.

RODRÍGUEZ, L.; Cerrillo, M. I.; García-Albiach, V. e Villaseñor, J. **Domestic sewage sludge composting in a rotary drum reactor: Optimizing the thermophilic stage**. *Journal of Environmental Management*, v.112, p.284 - 291, (2012).

SANTOS, L. L. T. & Machado, V. **Os Impactos Socioeconômicos e Ambientais do Uso da Compostagem em Pequenas Propriedades Agrícolas: o Caso do Assentamento Sumaré - SP**. *Revista Tékhne e Lógos*. jun. 2011, Botucatu, SP.

SHEN, D. S., Yang, Y. Q., Huang, H. L., Hu, L. F., Long, Y. Y. **Water state changes during the composting of kitchen waste**. *Waste management* 38, 381-387, 2015.

SOARES H M, Cardenas B, Weir D et al., 1995. **Evaluating pathogen re-multiplication in biosolids compost**. *Biocycle*, 36: 70–72.

TATÀNO, F.; Pagliaro, G.; Di Giovanni, P.; Floriani, E. e Mangani, F. **Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control**. *Waste Management*, v.38, 72–85, (2015).

TEDESCO, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S.J. (1995). **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Boletim Técnico n° 5 (2ª. Edição revisada e ampliada) – Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS. 174p.

TRABULSI, L. R. e Alterthum, F. **Microbiologia**. 5.ed. – São Paulo: Atheneu, 2008.

VICH, D. V.; Miyamoto, H. P.; dos Santos, C. V.; Queiroz, L. M.; Zanta, V. M. **Domestic composting of food waste using small-scale composter**. In: 3rd International Conference on Sustainable Solid Waste Management, 2015, Tinos Island, Greece.

WANGER, D. R. B. & Freitas, I. C. V. **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos.** Revista Brasileira de Agroecologia. abr. 2010, Cruz Alta, RS.

WELCH, R. A. **The Genus Escherichia.** In: The *Prokaryotes* – 3<sup>rd</sup> edn. volume 6. p:60-71. Springer, New York, 2006.