

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

LUÍS FERNANDO FIRMINO DEMETRIO

**PROCESSO DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA, COM
AQUECIMENTO SOLAR E ADIÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2014

LUÍS FERNANDO FIRMINO DEMETRIO

**PROCESSO DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA, COM
AQUECIMENTO SOLAR E ADIÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kátia Valéria Marques
Cardoso Prates

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Tatiane Cristina Dal
Bosco

LONDRINA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Processo de compostagem em pequena escala, com aquecimento solar e adição de micro-organismos eficientes.

por

Luís Fernando Firmino Demetrio

Monografia apresentada no dia _____ ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Prof. Dr. Janksyn Bertozzi
(UTFPR)

Profa. Dra. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Ivan e Raquel por todo o apoio dedicado a mim, sempre me incentivando a buscar meus objetivos, sem isso não seria possível alcançar o tão sonhado diploma. Ao meu irmão Lucas, pela disposição em me ajudar quando foi necessário.

À professora Tatiane Cristina Dal Bosco, por todo o conhecimento e inspiração transmitidos para a realização do trabalho desde a disciplina de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, além de toda paciência e compreensão no decorrer dos experimentos.

Aos professores Janksyn Bertozzi e Roger Nabeyama Michels por todo o tempo dedicado e pelos conhecimentos repassados, sempre dispostos a sanar minhas diversas dúvidas. Ao professor Marcelo Hidemassa Anami, pela experiência e conselhos referentes à execução do experimento. Ao professor Ajadir Fazolo pela leitura e contribuição ao trabalho.

Agradeço profundamente à professora Kátia Valéria Marques Cardoso Prates por todas as oportunidades que me propiciou durante a graduação ao realizar iniciação científica e estágio como seu orientando, sem esse incentivo a desenvolver melhor responsabilidade e foco, dificilmente estaria nesta da etapa da graduação.

Agradeço a todos que me ajudaram no decorrer do experimento, no laboratório de saneamento: Pedro, Andressa, Jaqueline, Ivan, Jéssica e Vitor. E no laboratório de Microbiologia Ambiental: Renan, Camila, Eduardo, Giselly, Laura e Melina. Em especial à Ana Alícia, Francielli, e a Gabriella pela grande contribuição.

Agradeço ao meu amor Danielle, companheira para todos os momentos, sempre me ajudando no que podia. Sem você não sei se aguentaria passar por tudo o que passei. Muito obrigado.

RESUMO

DEMETRIO, Luís Fernando Firmino. **Processo de compostagem em pequena escala, com aquecimento solar e adição de micro-organismos eficientes**. 2014. 73p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

Uma das alternativas para o tratamento de resíduos orgânicos é a compostagem, que é um processo aeróbio controlado de decomposição microbiana realizado sob condições necessárias para que os micro-organismos decompositores se desenvolvam. O objetivo do trabalho foi avaliar o processo de compostagem em pequena escala utilizando sistema de aquecimento solar e adição de micro-organismos eficientes. Desse modo, foram montadas caixas de compostagem utilizando resíduo de restaurante e poda de árvore, aplicando 4 tratamentos: com aquecimento e com Micro-organismos eficientes (EMs) (CC), com aquecimento e sem EMs (CS), sem aquecimento e sem EMs (SS) e sem aquecimento e com EMs (SC). Foi realizado monitoramento físico-químico e microbiológico durante 42 dias de compostagem. Os parâmetros físico químicos avaliados foram: temperatura, pH, relação Carbono/Nitrogênio (C/N), sólidos voláteis, condutividade elétrica e umidade. No monitoramento microbiológico foram quantificadas, pelo método da contagem padrão em placa, as bactérias heterotróficas e os EMs: leveduras, actinomicetos, fungos filamentosos e bactérias fermentadoras de lactose. Em relação aos micro-organismos analisados, todos os tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao longo do processo de compostagem. Ao final de 42 dias a quantidade de bactérias heterotróficas, actinomicetos, fungos filamentosos, leveduras e bactérias fermentadoras de lactose estavam na ordem de 10^8 , 10^8 a 10^9 , 10^5 a 10^6 , 10^7 a 10^8 e 10^4 a 10^5 , respectivamente. Todos os tratamentos atingiram a fase termofílica com as maiores temperaturas obtidas de 49,7°C, 49°C, 48,2 e 47,7°C, respectivamente para os tratamentos SS, CC, CS e SC. O valor de pH de todos os tratamentos ao final do processo de compostagem foi próximo de 7,5. A relação inicial de C/N dos tratamentos foi de aproximadamente 10/1 e a redução nos tratamentos SS, CC, CS e SC foram, respectivamente, 20,2%, 1,0%, 1,0% e 9,8%. A redução de peso após 42 dias de compostagem variou de 67 a 76%, e a redução de volume em todos os tratamentos foi por volta de 60%. A condutividade elétrica apresentou um incremento de 218%, 309% 254% e 290% nos tratamentos SS, CC, CS e SC, respectivamente quando comparado com o valor inicial. A umidade nos tratamentos apresentou-se dentro da faixa de 50 a 60%, o que está dentro dos limites desejáveis para esse parâmetro. A redução de sólidos voláteis ao longo do processo de compostagem ficou na faixa de 5,0% para todos os tratamentos. Pela análise dos dados constatou-se que o sistema de aquecimento e os EMs adicionados não diferiram no processo de compostagem para os quatro tratamentos.

Palavras-chave: resíduo orgânico, sistema de aquecimento, monitoramento microbiológico.

ABSTRACT

DEMETRIO, Luís Fernando Firmino. **Composting process on a small scale with solar heating and addition of effective microorganisms**. 2014. 73p. Course Conclusion Work (Bachelorship in Environmental Engineering). – Environmental Engineering Course – Federal Technological University of Parana, Londrina, 2014.

An alternative for the treatment of organic waste is composting, which is a controlled aerobic microbial decomposition process conducted under conditions in which the decomposing microorganisms to develop. The objective was to evaluate the composting process on a small scale using solar heating system and adding efficient micro-organisms. Thereby, composting boxes were mounted using restaurant residue and tree pruning, applying 4 treatments: with heating and efficient Micro-organisms (EMs) (CC), with heating and without EMs (CS), without heating or EMs (SS) and without heating and with EMs (SC). Was performed physicochemical and microbiological monitoring for 42 days of composting. The evaluated physical-chemical parameters were: temperature, pH, ratio Carbon/Nitrogen (C/N), volatile solids, electrical conductivity and humidity. Microbiological monitoring were quantified by standard counting method plate, the heterotrophic bacteria and EMs: yeasts, actinomycetes, fungi and bacteria fermenters lactose. In relation to analyzed microorganisms, all treatments showed similar behavior over the composting process. At the end of 42 days the number of heterotrophic bacteria, actinomycetes, filamentous fungi, yeasts and bacteria fermenters lactose were on the order of 10^8 , 10^8 a 10^9 , 10^5 a 10^6 , 10^7 a 10^8 e 10^4 a 10^5 , respectively. All treatments reached the thermophilic stage with the highest temperature collected from 49,7°C, 49,0°C, 48,2°C and 47,7°C, respectively for the treatment SS, CC, CS and CS. The pH of all treatments at the end of the composting process was close to 7,5. The initial ratio of C/N of the treatments was approximately 10/1 and reduction treatments at the SS, CC, CS and CS were, respectively, 20,2%, 1,0%, 1,0% and 9,8%. The weight reduction after 42 days of composting ranged 67-76%, and the volume reduced in all treatments was about 60%. The electrical conductivity showed an increase of 218%, 309%, 254% and 290% in treatments SS, CC, CS and SC, respectively compared to the initial value. The humidity in the treatments was presented within the range 50-60%, which is within the limits desirable for this parameter. The reduction in volatile solids over the composting process was in the range of 5,0% in all treatments. For data analysis, it was found that the heating system and the EMs made no difference in the composting process to the four treatments.

Keywords: organic waste, heating system, microbiological monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil.....	14
Figura 2. Fluxos de entrada e saída no processo de compostagem.	17
Figura 3. Variação da temperatura na leira de compostagem ao longo do processo.....	21
Figura 4. Evolução da relação C/N durante o processo de compostagem.....	23
Figura 5. Variação do pH no processo de compostagem.....	24
Figura 6. Decomposição de partículas sólidas.	27
Figura 7. Vista parcial da Estufa na UTFPR - Londrina. (A) Caixa de aquecimento; (B) Caixas de compostagem.....	32
Figura 8. Característica do arroz após o período de coleta dos micro-organismos eficientes na mata.	33
Figura 9. Procedimento metodológico da diluição seriada.	34
Figura 10. Disposição das caixas de compostagem e identificação dos tratamentos do sistema experimental.	35
Figura 11. Caixa plástica de hortifrúti utilizada para montagem dos sistemas de compostagem.....	36
Figura 12. Estrutura e dimensões da caixa de aquecimento.....	38
Figura 13. Fixação de madeiras para direcionamento do fluxo de ar no interior da caixa de aquecimento.....	39
Figura 14. Colocação de brita no interior da caixa de aquecimento.....	39
Figura 15. Caixa de aquecimento pronta para ser utilizada.	40
Figura 16. Dutos de 4 polegadas para coletar o ar quente da caixa de aquecimento.	40
Figura 17. Interior da caixa utilizada para compostagem dos tratamentos CC e CS.	41
Figura 18. Sistema baseado no emprego de placa arduino. (A) Sistema para coleta de dados (B); Sensor DS18B20.	41
Figura 19. Ponto de monitoramento da temperatura nas caixas contendo o resíduo. ...	44
Figura 20. Termohigrômetro utilizado durante o monitoramento do processo de compostagem.....	44
Figura 21. Procedimento metodológico para a identificação e quantificação dos micro-organismos presentes nas caixas de compostagem.....	45

Figura 22. Quantidade de bactérias heterotróficas (BH), actinomicetos (ACT), fungos filamentosos (FUG), leveduras (LEV) e bactérias fermentadoras de lactose (BFL) presentes na solução de EMs e nos tratamentos SS, CS, CC e SC.....	46
Figura 23. Quantidade de EMs durante o processo de compostagem: (A) Bactérias heterotróficas; (A) Actinomicetos; (B) Fungos filamentosos; (C) Leveduras e (D) Bactérias fermentadoras de lactose.	48
Figura 24. Comportamento da temperatura média, máxima e mínima dos tratamentos e da temperatura média ambiente ao longo do processo de compostagem: (A) SC; (B) SS; (C) CC e (D) CS.	52
Figura 25. Comparação da temperatura média diária dos tratamentos, temperatura média diária ambiente e temperatura média diária do sistema de aquecimento.....	53
Figura 26. Comportamento do pH durante o processo de compostagem.	54
Figura 27. Comportamento de Carbono Total durante o processo de compostagem.	56
Figura 28. Comportamento do Nitrogênio Total durante o processo de compostagem.	57
Figura 29. Massa inicial e final em cada tratamento.	60
Figura 30. Volume inicial e final em cada um dos tratamentos.	61
Figura 31. Comportamento da condutividade elétrica ao longo do processo de compostagem.....	62
Figura 32. Comportamento da umidade durante o processo de compostagem.	63
Figura 33. Comportamento dos sólidos voláteis durante o processo de compostagem.	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACT	Actinomicetos
BFL	Bactérias fermentadoras de lactose
BH	Bactérias heterotróficas
C	Carbono
CC	Compostagem com aquecimento e com adição de EMs
C/N	Carbono/Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
CS	Compostagem com aquecimento e sem adição de EMs
CT	Carbono Total
FUG	Fungos filamentosos
EMs	Micro-organismos Eficientes (do inglês "Efficient Microorganisms")
LEV	Leveduras
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
SC	Compostagem sem aquecimento e com adição de EMs
SS	Compostagem sem aquecimento e sem adição de EMs
UFC	Unidade Formadora de Colônia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	14
3.2 COMPOSTAGEM.....	16
3.2.1 Compostagem em pequena escala.....	18
3.2.2 Fatores que influenciam na compostagem.....	20
3.2.2.1 Temperatura	20
3.2.2.2 Relação Carbono/Nitrogênio.....	22
3.2.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)	23
3.2.2.4 Aeração	25
3.2.2.5 Umidade	25
3.2.2.6 Granulometria	26
3.2.3 Microbiologia do processo de compostagem	27
3.3 MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES.....	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	32
4.2 OBTENÇÃO, ATIVAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS MICRO- ORGANISMOS EFICIENTES	33
4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL	35
4.3.1 MONTAGEM DAS CAIXAS DE COMPOSTAGEM	36
4.3.2 MONTAGEM DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	37
4.3.3 Operação do sistema experimental.....	42
4.4 MONITORAMENTO DO SISTEMA EXPERIMENTAL	42
4.4.1 Monitoramento físico-químico	43

4.4.2 Monitoramento microbiológico	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO	46
5.2 TEMPERATURA	51
5.3 PH	54
5.4 CARBONO TOTAL	56
5.5 NITROGÊNIO TOTAL	57
5.6 RELAÇÃO C/N	58
5.7 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME	59
5.8 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	61
5.9 UMIDADE	62
5.10 SÓLIDOS VOLÁTEIS	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil vem aumentando de forma acelerada. Com 53 milhões de toneladas em 2008, 57 milhões em 2009, 60,8 milhões em 2010 e chegando a 62 milhões em 2012, num crescimento superior ao populacional nesse período (ABRELPE, 2010; ABRELPE, 2011, ABRELPE 2013).

Em vista dos problemas ocasionados pela geração de resíduos é fundamental buscar formas de minimizar e prevenir o impacto do lançamento destes resíduos no ambiente. O desenvolvimento tecnológico de processos físico-químicos tem resultado em ganhos para o tratamento de resíduos de uma forma geral, mas o emprego de processos biológicos apresentam-se como uma opção na tarefa de controle da poluição e os custos são significativamente menores ao serem tratados resíduos de origem predominantemente orgânica (BERNARDES; SOARES, 2005).

A Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos prioriza a não geração, a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Existem diversas formas de tratamento e disposição dos resíduos no meio ambiente, sendo uma delas a compostagem, que é um processo de decomposição biológica do material orgânico onde ocorre a aceleração da decomposição resultando em um produto que pode ser utilizado como condicionador do solo. Sendo necessárias condições adequadas para que os micro-organismos se desenvolvam como: temperatura, umidade, aeração, pH e nutrientes disponíveis. (ANVISA, 2014; EMBRAPA, 2004; KIEHL, 1985).

A compostagem pode ser realizada em pequena escala, nos quintais das próprias residências, utilizando resíduos orgânicos domésticos, como restos de alimentos, podas de árvores, entre outros. Porém, algumas dificuldades são encontradas, como por exemplo, o não favorecimento da manutenção de temperaturas acima de 40°C, (PEREIRA NETO, 2007; FUREDY, 2001). Neste sentido, uma das alternativas para que seja atingida a temperatura necessária para o processo é a utilização de aquecimento artificial, utilizando um sistema baseado no aquecimento do ar pelo sol.

A temperatura é um fator determinante no processo. Quando se atinge temperaturas na faixa termofílica (40 a 60°C) se favorece a multiplicação de actinomicetos, fungos e bactérias termofílicas. As bactérias termofílicas degradam os lipídeos e frações de hemicelulose, enquanto que os actinomicetos e fungos degradam a celulose e a lignina (KIEHL, 1985). Esta condição de temperatura é essencial para a degradação de celulose e hemicelulose em unidades de açúcares assimiláveis pelos micro-organismos (SIQUEIRA, 2006).

Segundo Pereira Neto (2007), a manutenção de temperaturas termofílicas (acima de 40°C) controladas é um dos requisitos básicos para a eficiência do processo, uma vez que assim aumenta-se a velocidade de degradação da matéria orgânica pelos micro-organismos.

O tempo de compostagem pode chegar até 170 dias (PEREIRA NETO, 2007), o que para sistemas domésticos pode ser considerado um tempo grande. A adição de Micro-organismos Eficientes (EMs) pode auxiliar na aceleração do processo, visto que atuam na degradação da matéria orgânica. Os EMs são uma mistura de micro-organismos, compostos por bactérias fermentadoras de lactose, leveduras, actinomicetos, bactérias fotossintéticas e outros tipos de organismos (HIGA; PARR, 1994; BONFIM et al., 2011).

Destacada a importância da fase termofílica e a ação catalizadora dos EMs no processo de compostagem, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um método para aquecimento de composteiras, em pequena escala, combinado com a aplicação de EMs ao processo, de modo a verificar sua viabilidade de acordo com a qualidade do composto gerado e os parâmetros ao longo do processo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de compostagem em pequena escala utilizando sistema de aquecimento solar e adição de micro-organismos eficientes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver e testar um sistema de aquecimento solar para sistemas de compostagem em pequena escala.

- Monitorar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que influenciam no processo de compostagem de quatro sistemas experimentais, contemplando as combinações de adição de EMs e insuflação de ar quente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O resíduo gerado nas cidades tem demandado grande preocupação na sociedade moderna. A principal causa apontada é o constante desenvolvimento industrial, que cria bens de consumo que são cada vez mais inerentes à sociedade atual, bens estes, que em sua maioria são descartados em um curto período (PEREIRA NETO, 2007).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2013) em 2012 foram gerados $348,5 \text{ kg.hab}^{-1}$ de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos. A geração de resíduos aumentou em 15,83% de 2010 para 2012, sendo este crescimento superior ao populacional urbano do país (1,76%) no mesmo período (ABRELPE, 2010; ABRELPE, 2012).

A Figura 1 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, e na Tabela 1 a participação de diferentes materiais na fração total dos resíduos.

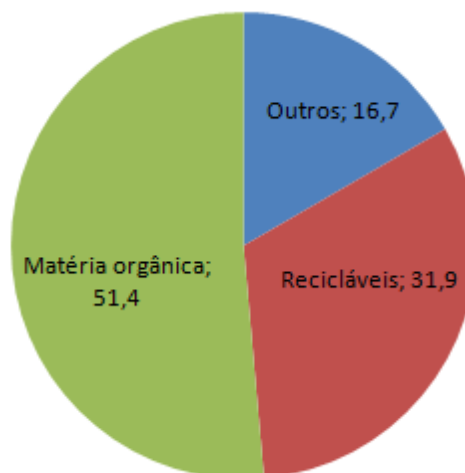


Figura 1. Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil.
Fonte: ABRELPE, 2012.

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

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

Fonte: ABRELPE, 2012.

Como demonstrado na Tabela 1, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é constituída por matéria orgânica. Como este resíduo, na maioria das vezes, não é coletado separadamente, acaba sendo encaminhado para disposição final, juntamente com os resíduos domiciliares. Para a maioria dos municípios brasileiros esta prática acaba acarretando em um gasto que poderia ser evitado caso a matéria orgânica fosse separada na fonte e encaminhada para um tratamento específico (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Segundo Zanta e Ferreira (2003) os resíduos sólidos orgânicos são compostos por restos alimentares, flores e podas de árvores. As composições químicas da fração orgânica de resíduos sólidos são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos.

Constituinte	Peso Seco (%)	Sólidos Voláteis (%)
Sólidos Voláteis	78,6	-
Celulose	51,2	40
Hemicelulose	11,9	-
Proteínas	4,2	5,6
Lignina	15,2	27,3
Lipídios	-	6
Amido+Açúcar Solúvel	0,5	3,3
Pectina	<3,0	-
Açúcar Solúvel	0,35	-

Fonte: PINTO et al., 2000.

O crescimento acentuado da geração de resíduos sólidos e a sua concentração espacial acabam alterando, se descartados inadequadamente, a qualidade da água, do solo e do ar, ou seja, do meio físico, afetando o meio antrópico e biológico (fauna e flora) (ZANTA et al., 2006).

Os principais agentes de degradação dos meios hídricos são a matéria orgânica facilmente biodegradável, de elevada demanda bioquímica de oxigênio, os nutrientes

presentes, principalmente nitrogênio e fósforo, micro-organismos patógenos quando existentes e, eventualmente, metais pesados e micropoluentes orgânicos. (GONÇALVES, 2006). Dentre as alternativas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, destacam-se: aterros sanitários, incineração, reaproveitamento, reciclagem e compostagem (PESSIN et al., 2006).

Essa grande quantidade de resíduos tem a possibilidade de ser tratada e transformada em composto orgânico pelo método da compostagem, uma forma eficiente quando se trata de reciclagem de resíduos orgânicos (PEREIRA NETO, 2007). Uma das vantagens da utilização desse método é a diminuição da quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários, aumentando assim a sua vida útil, sendo que, segundo Pessin et al. (2006), um dos maiores impactos ambientais provocados pelos aterros sanitários está relacionado à biodegradação da matéria orgânica aterrada e a consequente geração de gases e lixiviados, e estes quando não tratados de maneira correta podem trazer sérios problemas ambientais.

3.2 COMPOSTAGEM

Desde a História Antiga é praticada a compostagem, porém, somente a partir de 1920 o processo passou a ser pesquisado cientificamente por Albert Howard, e nos anos seguintes muitos trabalhos científicos lançaram base para o desenvolvimento dessa técnica (PESSIN et al., 2006).

Segundo Kiehl (1985) a compostagem pode ser definida como um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação da massa heterogênea de matéria orgânica, transformando-a em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

Rynk (1992) define compostagem como um processo biológico onde os micro-organismos convertem materiais orgânicos como esterco, lodo, folhas, papel e restos de comida em um material para ser utilizado no solo, chamado de composto. Ainda segundo o mesmo autor, a compostagem é o mesmo processo da decomposição de folhas e

outros detritos orgânicos da natureza, porém, tem as condições controladas para que o material tenha uma decomposição mais rápida.

Para Pessin et al. (2006) a compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico, sólido e heterogêneo, caracterizado pela produção de CO_2 , água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

Durante a compostagem (Figura 2), os micro-organismos consomem oxigênio ao degradarem a matéria orgânica. A atividade microbiana gera calor considerável, e grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água que são liberados para a atmosfera. A perda de CO_2 e água pode atingir metade do peso dos materiais iniciais, sendo assim, o processo de compostagem reduz o volume e a massa da matéria-prima, transformando-os em um valioso condicionador de solo. O carbono, proteína, e a água presente no composto final são inferiores à das matérias-primas. O composto final fica mais humificado e o volume tem uma redução de 50% ou mais em relação ao inicial (RYNK, 1992).

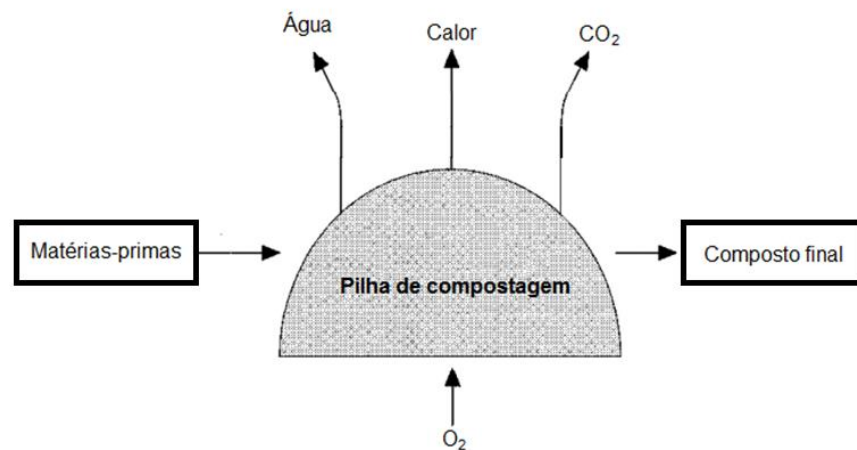


Figura 2. Fluxos de entrada e saída no processo de compostagem.
Fonte: Adaptado de Rynk, 1992.

Um dos benefícios da compostagem como produto final, é a geração do composto orgânico para uso agrícola. Entende-se como composto orgânico o produto final da compostagem, ou seja, é o produto da degradação, da mineralização e da humificação de resíduos orgânicos, obtido através de processo aeróbio controlado (PEREIRA NETO, 2007; INÁCIO; MILER, 2009). Este processo possibilita o cumprimento

dos itens considerados como fundamentais no conceito de desenvolvimento sustentável para o tratamento e disposição de resíduos sólidos, como a minimização de impactos ambientais, minimização de rejeitos e maximização da reciclagem (INÁCIO; MILER, 2009).

Na prática, significa que, a partir de resíduos orgânicos com características desagradáveis (odor, aspecto, contaminação por micro-organismos patogênicos, entre outros), a compostagem permite transformar esses resíduos em composto orgânico, que é um insumo agrícola, de odor agradável, de fácil manipulação e livre de micro-organismos patogênicos (PESSIN et al., 2006).

Segundo Gomes (2001), a compostagem oferece atrativos na gestão de resíduos sólidos municipais, como:

- tecnologia de tratamento bem aceita pela população;
- redução significativa na emissão de gases com potencial efeito de aquecimento global;
- o composto final tem três aplicações: como condicionador de solos auxiliando no combate à erosão, como fonte de matéria orgânica na agricultura enriquecendo os solos em nutrientes e como meio de cultura na horticultura;
- permite uma redução de volume e massa de 70% e 50% respectivamente, reduzindo fortemente a quantidade de resíduos que vão para o aterro sanitário.

3.2.1 Compostagem em pequena escala

Segundo Marques e Hogland (2002) os processos de compostagem podem ser classificados de acordo com a escala em que a produção do composto é realizada. Os processos podem ser classificados em grandes (usinas de compostagem), médios (leiras com volumes superiores a 3m³) e pequenos (realizadas em composteiras ou leiras com volume inferior a 3m³).

O processo de compostagem em grande escala, geralmente ocorre em usinas de triagem, onde os resíduos são separados após passar por um processo de coleta

convencional, para posteriormente serem compostados. Entretanto, essa prática pode ocasionar, por exemplo, a incorporação de metais pesados ao produto final a ser utilizado na adubação orgânica (BRITO, 2008). A compostagem em grande escala também pode ser realizada em fazendas, municípios e algumas indústrias (MASSUKADO, 2008).

A compostagem de médio porte apresenta grande potencial de execução em propriedades de produção agrícola de médio e grande porte, que utilizam os próprios resíduos vegetais e excrementos animais para produzir o adubo orgânico. Entretanto, a aplicação da compostagem de média escala, de forma descentralizada, se torna limitada em ambientes urbanos e em pequenas propriedades agrícolas, por falta de espaço e também por não disporem de uma quantidade de resíduo suficiente para a montagem das leiras. E além do fato das leiras de médio porte ocuparem uma área considerável, são mais complexas de serem revolvidas, podendo resultar em um composto de baixa qualidade (BRITO, 2008).

O processo de compostagem em pequena escala é uma oportunidade para a aplicação do processo, podendo ser empregado em condomínios, em empresas que tenham refeitórios, na agricultura urbana e familiar, em pequenas indústrias e até mesmo em escolas e universidades, servindo também como instrumento de educação ambiental. Além disso, pode também ser realizada no quintal das próprias residências, utilizando os resíduos orgânicos domésticos (BRITO, 2008).

Outro aspecto positivo da compostagem em pequena escala, é que está menos susceptível à contaminações por outros materiais, pois normalmente os resíduos utilizados são gerados no próprio local onde serão utilizados (BRITO, 2008).

Um aspecto negativo da compostagem em pequena escala é em relação à saúde pública, como os problemas com a presença de roedores e de outros vetores de doenças. Além disso, a compostagem de pequena escala pode não alcançar as temperaturas necessárias para eliminar os agentes patógenos (FUREDY, 2001).

Ismael et al. (2013) compararam três tipos de composteiras em pequena escala com uma pilha de compostagem com maiores dimensões. Enquanto a pilha atingiu uma temperatura de 75°C, as composteiras não passaram de 40°C, no entanto, em relação aos modelos de pequena escala, a composteira em caixa de hortifrúti apresentou os melhores resultados entre os modelos avaliados. Os autores ressaltam que apesar de

nem todos os resultados esperados terem sido alcançados, todos os modelos foram eficazes na reciclagem de materiais orgânicos.

Sá (2009) ao avaliar uma composteira doméstica com resíduo orgânico não conseguiu atingir temperaturas acima de 38°C no seu experimento. No entanto, o grau de conversão da matéria orgânica ficou por volta de 50% e obtendo também uma redução de volume de cerca de 60%.

3.2.2 Fatores que influenciam na compostagem

Considerando que a compostagem é um processo biológico, é necessário avaliar os fatores que afetam a atividade microbiana. Dentre os parâmetros se destacam: temperatura, relação Carbono/Nitrogênio, potencial hidrogeniônico, aeração, umidade e granulometria (PEREIRA NETO, 2007).

3.2.2.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro de fácil monitoramento e é o mais útil para monitorar a evolução da compostagem, pois permite detectar a eficiência e as alterações ocorridas durante o processo. Uma diminuição da temperatura indica uma diminuição da degradação, que pode ser causada pela falta de aeração, umidade ou algum nutriente (HERBETS et al., 2005; PESSIN et al., 2006).

Se o processo de compostagem é realizado com grandes massas, as propriedades térmicas dos materiais fazem com que o calor se acumule e a temperatura atinja valores elevados, já com pequeno volume, o calor criado pelo metabolismo dos micro-organismos se dissipa e o material geralmente não apresenta grande aquecimento (KIEHL, 1985).

O processo de compostagem pode ser dividido basicamente em duas fases distintas: a fase ativa ou de bioestabilização e a de maturação ou de cura. Na fase de bioestabilização ocorre o aumento das populações de bactérias e fungos. A temperatura inicial do processo varia entre 20 e 40°C (fase mesofílica) e em seguida sobe até 60°C, onde a população microbiológica passa a incluir majoritariamente micro-organismos termofílicos (denominado fase termofílica), conforme indicado na Figura 3. Na fase termofílica a maioria dos substratos é consumida e ocorre a degradação da celulose e da lignina, o que provoca aumento da temperatura. A temperatura mantém-se nessa faixa por um período de tempo que varia de acordo com o material a ser compostado e em seguida se mantém abaixo de 40°C (HERBETS et al., 2005).

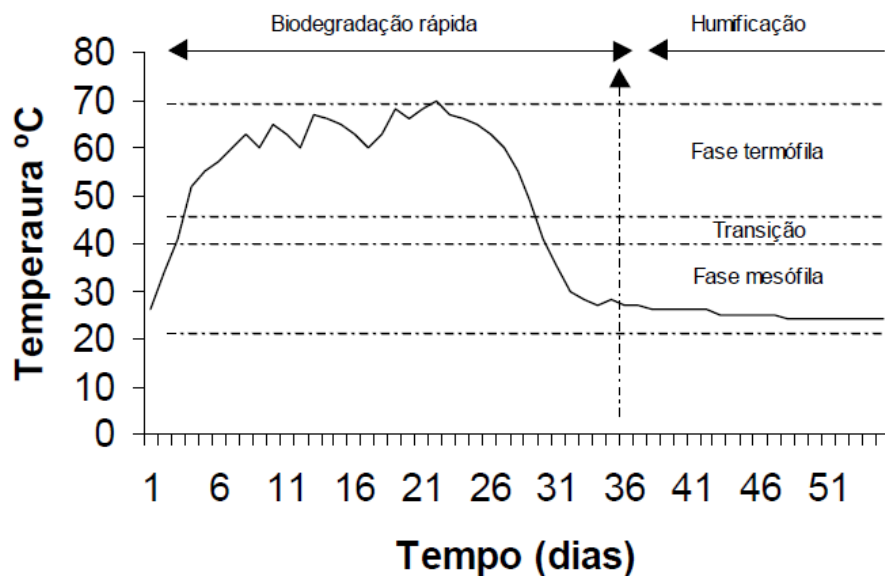


Figura 3. Variação da temperatura na leira de compostagem ao longo do processo.

Fonte: FERNANDES; SILVA, 2014.

Após o esgotamento dos materiais que são facilmente decompostos ocorre uma gradual redução de temperatura com os micro-organismos mesofílicos dando sequência com a degradação dos materiais mais resistentes, no entanto a uma taxa mais lenta comparativamente a fase termofílica. Após a nova fase mesófila, a temperatura sofrerá redução, mantendo-se próxima a ambiente. Nesta etapa diz-se que o composto está

curado, estando portanto a matéria orgânica humificada (BORGES et al., 2006; Kiehl, 1985).

Dentre os principais fatores que influenciam o bom desenvolvimento da temperatura na massa de compostagem se destacam: características da matéria prima; tipo de sistema utilizado; teor de umidade; ciclo de revolvimento; relação C/N inicial; e quantidade de material.

3.2.2.2 Relação Carbono/Nitrogênio

A intensidade da atividade metabólica dos micro-organismos decompositores nos processos de compostagem está estritamente ligado à diversificação e concentração dos nutrientes. Dentre os nutrientes utilizados pelos micro-organismos, dois deles são de extrema importância: o carbono e o nitrogênio, cuja concentração e proporção afeta o desenvolvimento do processo (PEREIRA NETO, 2007).

Uma das funções do carbono é ser utilizado como fonte de energia pelos micro-organismos, já o nitrogênio é necessário para síntese de proteínas e reprodução protoplasmática dos micro-organismos, entre outros (PEREIRA NETO, 2007; PESSIN et al., 2006).

De acordo com Kiehl (1985), relações C/N entre 26 e 35 são as mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem. Relações baixas causam perdas inevitáveis de nitrogênio na forma de amônia, enquanto altas relações tornam o processo prolongado. Em geral, os resíduos palhosos (vegetais secos) são fontes de carbono e os legumes (frescos) e os resíduos fecais são fontes de nitrogênio. Independentemente do valor inicial de relação C/N, o valor final converge para o mesmo valor, entre 10 e 20, pois perde maior quantidade de carbono do que nitrogênio (PESSIN et al., 2006).

O carbono é assimilado pelos micro-organismos para duas finalidades diferentes, onde dez partes do carbono são incorporados ao protoplasma e vinte eliminados como gás, na forma de CO₂. O nitrogênio é assimilado na estrutura na proporção de 10:1 (dez

partes de carbono para uma de nitrogênio). Essas considerações explicam porque o húmus, produto da ação dos micro-organismos, apresenta C/N na proporção 10:1 (KIEHL, 1985; BIDONE; POVINELLI, 1999; PEREIRA NETO, 2007). Na Figura 4 demonstra-se a evolução de C/N durante o processo de compostagem

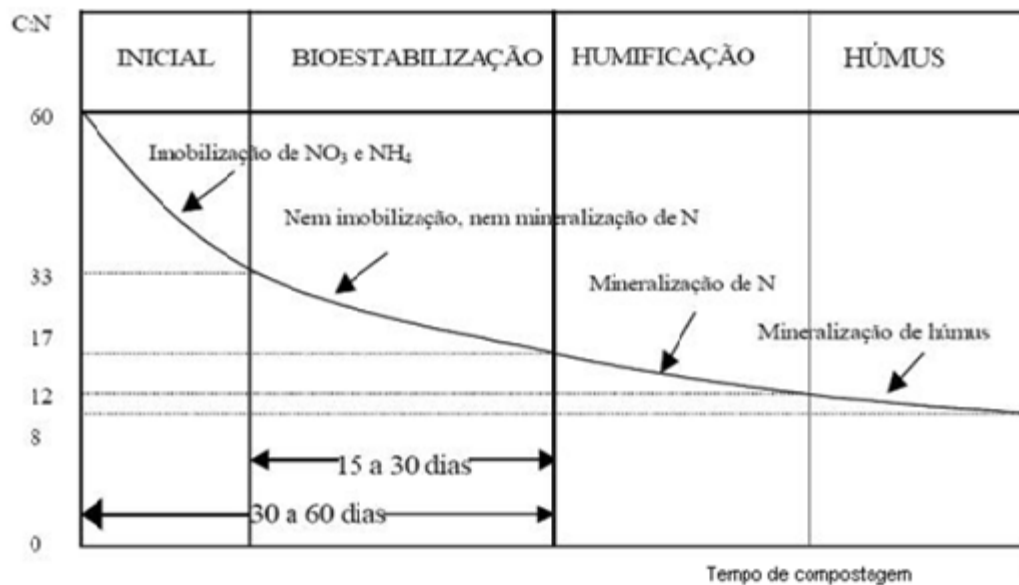


Figura 4. Evolução da relação C/N durante o processo de compostagem
 Fonte: KIEHL, 1985.

Trabalhos analisando os resíduos orgânicos urbanos obtiveram valores de relação C/N, como o de Fortes et al. (2012) que analisaram a fração orgânica da cidade de São José dos Campos - SP e encontraram a relação de 15/1. Já Trombin et al. (2005) avaliando um universo menor, no bairro Universitário da cidade de Criciúma – SC, obtiveram a relação de 25/1 na fração orgânica do resíduo.

3.2.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH condiciona o desenvolvimento dos diferentes micro-organismos, por isso é relevante no processo de compostagem. Entretanto, esse fator não é limitante para o

sucesso do processo, tendo em vista que muitos micro-organismos podem se desenvolver em diferentes faixas de pH (HERBETS et al., 2005).

Segundo Pereira Neto (2007) a compostagem pode ser desenvolvida numa faixa de pH bem ampla, sendo entre 4,5 e 9,5, e os valores extremos são automaticamente regulados pelos micro-organismos por meio da degradação de compostos que produzirão subprodutos ácidos ou básicos.

A compostagem provoca a elevação do pH, porém no início do processo, a degradação da matéria orgânica pelos micro-organismos liberam ácidos minerais e tornam o meio mais ácido, e estes logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino (HAUG, 1993; BIDONE; POVINELLI, 1994), conforme pode ser observado na Figura 5.

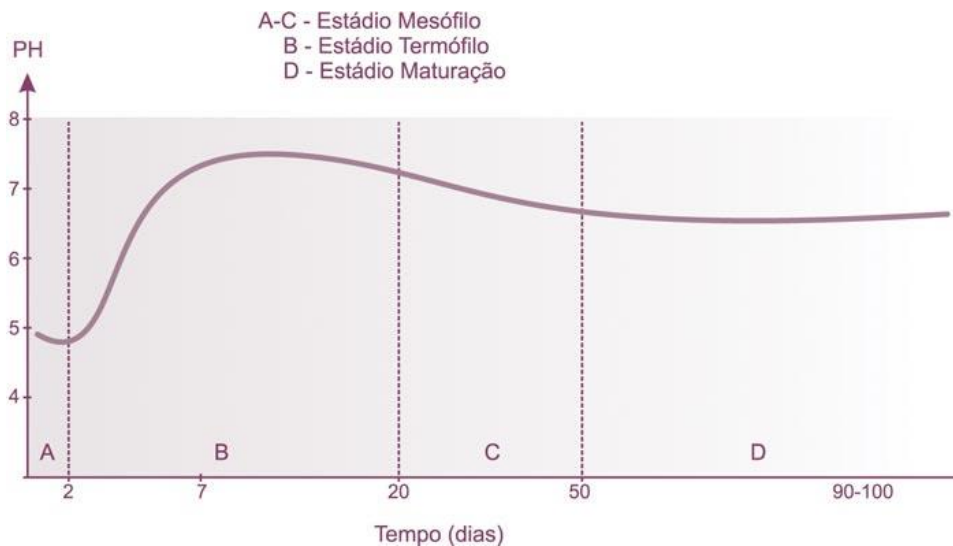


Figura 5. Variação do pH no processo de compostagem.
Fonte: FUNDAÇÃO DEMÓCRITO ROCHA, 2014.

Ao final da compostagem o composto, deverá apresentar pH acima de 7,8. Na compostagem realizada com a fração orgânica do resíduo domiciliar, o valor final geralmente está superior a 8,5, caracterizando assim o adubo orgânico como um ótimo condicionante para os solos ácidos (PEREIRA NETO, 2007).

3.2.2.4 Aeração

A compostagem por ser um processo aeróbio, é imprescindível o fornecimento de ar, pois é vital à atividade microbiana, já que os micro-organismos aeróbios necessitam de O₂ para oxidar a matéria orgânica. Durante o processo de compostagem, a demanda por O₂ pode ser bastante elevada e a falta desse elemento pode limitar a atividade microbiana e prolongar o ciclo de compostagem. A circulação de ar na massa do composto é de extrema importância para a compostagem ser rápida e eficiente (BIDONE; POVINELLI, 1999). Além disso, de acordo com Kiehl (1985), na compostagem aeróbia deve-se garantir a presença de oxigênio do ar atmosférico para evitar a compactação da massa e o encharcamento.

No processo de compostagem, o ambiente aeróbio proporciona decomposição mais acelerada da matéria orgânica, sem odor e sem proliferação de insetos, além de ser um fator limitante para a eficiência do processo. O consumo de oxigênio no processo de compostagem é diretamente proporcional à atividade microbiana (PIRES, 2011).

A massa de compostagem pode ser oxigenada por processos artificiais (mecânicos) ou naturais (revolvimento manual). A aeração serve para suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiana (PEREIRA NETO, 2007). Em alguns processos industriais, injeta-se ou aspira-se o ar sob pressão para renovação do ar no interior do composto (KIEHL, 1985).

3.2.2.5 Umidade

A umidade pode afetar a atividade microbiana no processo de compostagem, influenciando na temperatura e na taxa de decomposição (EPSTEIN, 1997). No composto, o teor ideal de umidade deve situar-se entre 50% e 60% (PESSIN et al., 2006).

Elevados teores de umidade (acima de 65%) fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo assim, a passagem do ar, o que levará ao

aparecimento de zonas de anaerobiose (PESSIN et al., 2006). Caso ocorra a anaerobiose, gases fétidos serão gerados, além da atração de vetores e, conseqüentemente, produção de chorume (BIDONE; POVINELLI, 1999). Com umidade abaixo de 40% tem-se a redução da atividade dos micro-organismos, especialmente das bactérias, sendo que abaixo de 30% a água torna-se um fator limitante no processo de compostagem, com valores abaixo de 12% cessa praticamente toda a atividade microbiana, com o processo apresentando lentidão muito antes de atingir esse valor (KIEHL, 1985).

Materiais fibrosos podem exigir, inicialmente, umidade em torno de 60%, já os lodos de esgoto em geral, com umidades normalmente superiores a 90% requerem uma desidratação prévia antes de serem encaminhados para o processo de compostagem. Os resíduos orgânicos domésticos apresentam naturalmente umidade ao redor de 55%, razão pela qual a compostagem representa uma interessante alternativa para sua transformação em húmus. (BIDONE; POVINELLI, 1999).

3.2.2.6 Granulometria

A granulometria está relacionada com a propriedade física dos materiais e afeta diretamente no processo de compostagem, pois influencia na aeração. Quanto mais fina é a granulometria, maior é a área exposta à atividade microbiana e também aumenta a área superficial em contato com o oxigênio, o que promove o aumento das reações bioquímicas (PESSIN et al., 2006). Segundo Bidone e Povinelli, (1999), as dimensões ideais para a compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem estar compreendidas entre 1 e 5 cm.

A área superficial disponível é um fator importante para a atividade microbiana aeróbia, pois a maior parte da decomposição aeróbia de compostagem ocorre na superfície das partículas. A população de micro-organismos aeróbios se acumula na camada de líquido em torno da superfície de partículas. Os micro-organismos utilizam o oxigênio disponível na superfície da partícula, deixando o interior essencialmente

inalterado em um estado anaeróbico (Figura 6). Os micro-organismos vão degradando a partícula de fora para dentro, e conforme a partícula vai sendo degradada ela diminui de tamanho (RYNK, 1992).

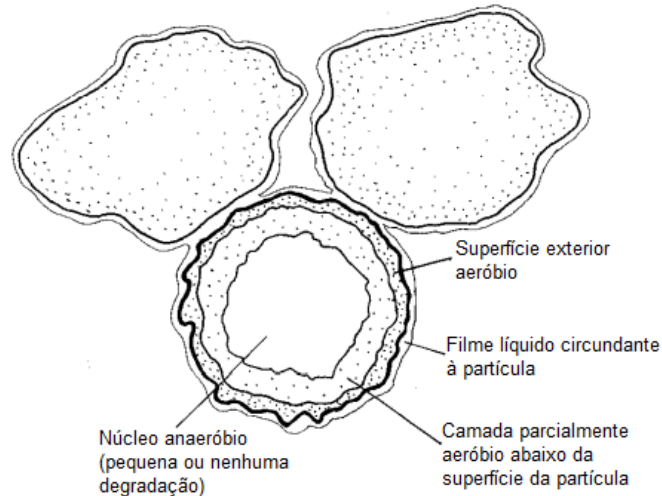


Figura 6. Decomposição de partículas sólidas.
Fonte: Adaptado de Rynk, 1992.

3.2.3 Microbiologia do processo de compostagem

O mecanismo básico do processo de compostagem é a decomposição ou estabilização da matéria orgânica, conduzida principalmente por uma população diversificada de bactérias, fungos e actinomicetos (PEREIRA NETO, 2007).

Durante a compostagem há uma sucessão de predominância de micro-organismos de acordo com a influência de determinados fatores, são eles: presença de substâncias químicas, matéria prima que está sendo digerida, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, temperatura, relação C/N e o pH. A combinação desses fatores proporciona o crescimento de determinados micro-organismos, fazendo com que esses predominem durante determinada fase do processo (BRITO, 2008).

A principal função das bactérias heterotróficas é a decomposição de açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil decomposição, sendo muito ativas na fase termofílica realizando as maiores alterações na matéria orgânica no

processo de compostagem. Ainda nas fases mesófila e de maturação continuam ativas, especialmente na parte interior da massa de resíduo, já que essa região é desfavorável para o desenvolvimento de fungos e actinomicetos (KIEHL, 1985).

Segundo Pereira Neto (2007), uma forma sucinta de abordar as mudanças que ocorrem no processo de compostagem é fazer um paralelo com relação ao desenvolvimento da temperatura.

Quando começa o processo de compostagem (logo após a montagem) predomina a flora mesofílica. A energia liberada na forma de calor fica retida na massa de resíduos, devido às características da matéria orgânica, ocasionando, dessa maneira, o aumento de temperatura. Subsequentemente, com as condições favoráveis de projeto (nutrientes, umidade, aeração, entre outros), a população mesofílica multiplica-se, aumentando a atividade de degradação e, com isso, a temperatura atinge a faixa termofílica. Após atingir temperatura acima de 40°C, a atividade microbiológica mesofílica começa a ser suprimida pela termofílica (PEREIRA NETO, 2007).

As bactérias termofílicas, fungos e actinomicetos multiplicam-se tão logo a temperatura atinja entre 55 e 60°C e iniciam a quebra dos polissacarídeos, como o amido, a celulose e as proteínas, transformando-os em subprodutos, como açúcares simples e aminoácidos, e que são utilizados por várias outras espécies de micro-organismos (PEREIRA NETO, 2007).

Esgotadas as fontes de carbono mais imediatas, a temperatura no interior da massa de compostagem começa a cair, iniciando-se assim um processo gradativo de queda de temperatura. Nessa fase, os micro-organismos mesofílicos, principalmente os fungos e os actinomicetos, situados nas zonas periféricas da leira, reinvadem a massa em processo de compostagem, recomeçando a degradar os compostos mais resistentes, como a celulose e a lignina, tornando-se predominantes, embora a temperatura continue decrescendo até atingir a temperatura ambiente (PEREIRA NETO, 2007).

Segundo Bidone e Povinelli (1999) a função das bactérias pode ser resumida nas seguintes atividades: decompor a matéria orgânica, aumentar a disponibilidade de nutrientes e fixar o nitrogênio. As bactérias heterotróficas utilizam a matéria orgânica para síntese de novo material celular ou como fonte de energia ((RODRIGUES; HAANDEL;

CAVALCANTI, 2005). Já os fungos e os actinomicetos possuem como função: decomposição dos resíduos resistentes formação do húmus e fixação do nitrogênio.

Segundo Day e Shaw (2005) as bactérias heterotróficas se encontram durante todo o processo de compostagem e são a maioria dos organismos presentes, chegando a ser 100 vezes superior ao número de fungos. E de acordo com Graves e Hattemer (s/d apud COELHO, 2007) a população de bactérias depende do tipo de resíduo e das condições locais, tendo uma boa distribuição no composto e decompõem sobretudo hidratos de carbono e proteínas.

3.3 MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES

O conceito de Micro-organismos Eficientes (EMs) teve avanço desde o trabalho pioneiro do Dr. Teruo Higa, que desenvolveu um inóculo com micro-organismos capazes de melhorar a qualidade do solo, crescimento das plantas e produtividade das culturas. (HIGA; PARR, 1994). Posteriormente, foram feitas experimentações com EMs em campo e foi confirmada a eficiência do EMs na ciclagem da matéria orgânica (BONFIM et al., 2011).

Os EMs consistem em uma mistura de micro-organismos, sendo os de maior predominância as bactérias fermentadoras de lactose e leveduras, e em menor quantidade os actinomicetos, as bactérias fotossintéticas e outros tipos de organismos. Todos esses micro-organismos são compatíveis uns com os outros e podem coexistir em cultura líquida (HIGA; PARR, 1994).

As bactérias fermentadoras de lactose produzem ácido láctico o qual possui a propriedade de controlar micro-organismos nocivos, e fermentam a matéria orgânica liberando nutrientes que contribuem para a qualidade do composto final da compostagem. As leveduras produzem substâncias bioativas, tais como hormônios e enzimas, melhorando na qualidade do composto (BONFIM et al., 2011), e também auxiliam na degradação da matéria orgânica, pois podem utilizar um componente orgânico como aceptor final de elétrons (TORTORA et al., 2005).

Os actinomicetos atuam na decomposição dos resíduos resistentes de animais ou vegetais, auxiliam na formação de húmus e na fixação de nitrogênio, também tendo a capacidade de controlar fungos e bactérias patogênicas (BIDONE; POVINELLI, 1999), pois liberam antibióticos produzidos principalmente como metabólitos secundários ao final do ciclo de crescimento (ENSGN, 1978). As bactérias fotossintéticas utilizam a energia solar em forma de luz e calor, e também utilizam substâncias como: aminoácidos, ácidos nucleicos, substâncias bioativas e açúcares. As bactérias fotossintéticas aumentam a população de outros micro-organismos eficazes, como os fixadores de nitrogênio e os actinomicetos (BONFIM et al., 2011).

Os EMs utilizam a matéria orgânica como fonte de alimento, e nessa decomposição há redução do todo em partes e compostos menores que são liberados no ambiente. Muitos desses compostos são nutrientes, hormônios, vitaminas que alimentam os próprios micro-organismos, além de plantas e animais. Os micro-organismos ainda liberam no ambiente alguns compostos que aumentam a resistência das plantas aos insetos e doenças (BONFIM et al., 2011).

Pelo fato dos EMs decomporem a matéria orgânica, eles têm ampla atuação como: aplicação no solo, nas plantas, no tratamento de água, tratamento de efluentes e na compostagem. A utilização de EMs na compostagem é indicado principalmente para resíduos de decomposição lenta, como por exemplo: resíduos com alta relação C/N (partes lenhosas da planta, troncos, galhos, palhadas), gramíneas, gorduras, entre outros. Os EMs atuam na aceleração da decomposição, reduzindo assim o tempo de compostagem (BONFIM et al., 2011).

Vicentini (2009) realizou teste com e sem EMs no preparo da compostagem, e obteve como conclusão que a adição de EMs no momento da preparação das pilhas de compostagem demonstrou reduzir o tempo de preparo do composto.

Estudo realizado por Jusoh, Manaf e Latiff (2013) avaliou a utilização de EMs na compostagem de palha de arroz, esterco de cabra e resíduos verdes. Os resultados demonstraram que no composto resultante da compostagem onde houve aplicação de EMs houve maior concentração de nitrogênio, fósforo e cálcio comparando com o composto do processo sem a adição de EMs. Os autores sugerem que a aplicação de EMs é adequada para aumentar a mineralização no processo de compostagem.

Wangen et al. (2013) concluiu em seu trabalho que os EMs contribuíram para acelerar o processo de compostagem, utilizando cama de aviário, sendo então uma ferramenta de auxílio na otimização de tratamento.

Os resultados dos parâmetros analíticos obtidos por Sharma et al. (2014) também demonstraram que a inserção de EMs na compostagem auxiliou na aceleração do processo, possibilitando a obtenção de um composto maturo em um tempo menor.

Dados da literatura e os estudos realizados apontam resultados satisfatórios na utilização de EMs, tornando esse um método atrativo para o processo de compostagem.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

O sistema experimental foi instalado em uma estufa na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina (Figura 7), com o sistema de aquecimento ficando na parte exterior. A compostagem empregada neste trabalho foi de pequena escala e realizada em caixas utilizando resíduo orgânico de um restaurante de Londrina e poda de árvore também da cidade de Londrina, sendo o período de experimento compreendido entre 06 de outubro e 17 de novembro de 2014, totalizando 42 dias.



Figura 7. Vista parcial da Estufa na UTFPR - Londrina. (A) Caixa de aquecimento; (B) Caixas de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

4.2 OBTENÇÃO, ATIVAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS MICRO-ORGANISMOS EFICIENTES

Os EMs foram obtidos conforme a metodologia descrita no Caderno dos Micro-organismos Eficientes (BONFIM et al., 2011), através da utilização da serapilheira do local escolhido que fica em uma propriedade rural a 5 quilômetros do distrito de Warta - PR, com acesso pela rodovia PR-445 (23°10'56"S e 51°12'46"O).

O período de captura dos EMs teve duração de 15 dias, sendo que, ao final desse período, o arroz apresentava coloração rosada, azulada, amarelada e alaranjada (Figura 8).



Figura 8. Característica do arroz após o período de coleta dos micro-organismos eficientes na mata.
Fonte: Autoria própria.

Após a captura, os EMs foram ativados em caldo de cana-de-açúcar e água (para cada 900 mL de água foi acrescentado 100 mL de caldo de cana-de-açúcar) por um período de 20 dias. Os recipientes foram deixados no laboratório e o gás decorrente da ação dos micro-organismos liberado todos os dias. Após o período de produção de gás,

a solução com EMs apresentava uma coloração alaranjada com cheiro doce agradável. A solução obtida foi mantida sob refrigeração até o momento de sua utilização.

A fim de conhecer a quantidade de EMs a ser adicionada ao sistema experimental procedeu-se a caracterização e quantificação dos EMs. Esse procedimento foi realizado retirando-se uma amostra de 1 mL da solução de EMs e então executando a diluição seriada em solução salina 0,85%, até a diluição 10^{-5} (Figura 9).

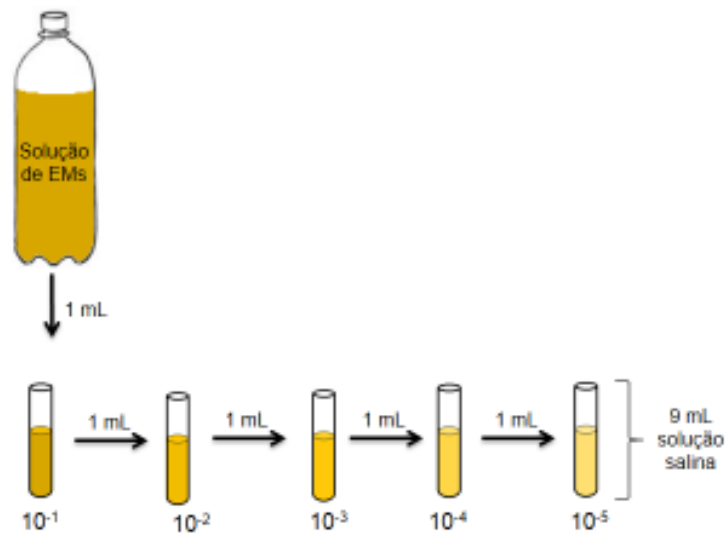


Figura 9. Procedimento metodológico da diluição seriada.
Fonte: Autoria própria.

Após o procedimento da diluição seriada realizou-se a inoculação de 0,1 mL em placa de Petri das diluições 10^{-1} , 10^{-3} e 10^{-5} na sequência realizando o espalhamento com swab para posterior contagem das unidades formadoras de colônia por mL (UFC/mL) (método da contagem padrão em placa). Os micro-organismos a serem identificados e os respectivos meios de cultura específicos utilizados estão descritos no Quadro 1.

Micro-organismo	Meio de cultura	Temperatura/Tempo de incubação
Actinomicetos	Amido Caseína	$28^{\circ}\text{C}\pm 1/24-48$ h
Bactérias Fermentadoras de Lactose	Agar MRS	$36^{\circ}\text{C}\pm 1/24$ h
Bactérias Heterotróficas	Brain Heart Infusion Agar	$36^{\circ}\text{C}\pm 1/24$ h
Fungos filamentosos	Potato Dextrose Agar	$25^{\circ}\text{C}\pm 1/1$ semana
Leveduras	Yeast Peptone Dextrose	$30^{\circ}\text{C}\pm 1/24$ h

Quadro 1. Micro-organismos a serem identificados da solução de EMs e seus respectivos meios de cultura específicos, temperatura e tempo de incubação.

Finalizado o período de incubação foi realizada a contagem das UFCs características desenvolvidas nas placas de Petri e, posteriormente, determinada a quantidade de UFC/mL de EMs por meio da Equação 1.

$$\frac{UFC}{mL} = NC . FD . FC \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

NC = número de colônias por placa

FD = fator de diluição

FC = fator de correção para 1 mL (FC=10)

4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

O sistema experimental foi composto por 4 tratamentos, sendo que cada um destes tratamentos possuía 4 repetições, totalizando, portanto, 16 caixas de compostagem. As caixas ficaram dispostas conforme Figura 10, devido a necessidade dos tratamentos que receberam insuflação de ar quente ficarem próximos a caixa de aquecimento.

CS1	CC2	CS3	CC4	SC1	SS2	SC3	SS4
CC1	CS2	CC3	CS4	SS1	SC2	SS3	SC4
Tratamentos				Identificação			
Sem aquecimento e sem adição de EMs				SS			
Com aquecimento e sem adição de EMs				CS			
Sem aquecimento e com adição de EMs				SC			
Com aquecimento e com adição de EMs				CC			

Figura 10. Disposição das caixas de compostagem e identificação dos tratamentos do sistema experimental.

Fonte: Autoria própria.

4.3.1 Montagem das caixas de compostagem

Foram utilizadas caixas plásticas de hortifrúti (Figura 11) para a realização da compostagem, tendo as seguintes dimensões internas: 32 cm de largura, 50 cm de comprimento e 29 cm de altura. No entanto, apenas cerca de 24 cm de altura foram utilizados no experimento. Desta forma, foi possível calcular o volume de material a ser utilizado em cada caixa (Equação 2).

$$\text{Volume} = \text{base} * \text{comprimento} * \text{altura} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Volume} = 0,32\text{m} * 0,50\text{m} * 0,24\text{m}$$

$$\text{Volume} = 0,0384 \text{ m}^3 = 38,4 \text{ L}$$



Figura 11. Caixa plástica de hortifrúti utilizada para montagem dos sistemas de compostagem.
Fonte: CATRAL, 2014.

Para a montagem dos experimentos utilizou-se resíduo orgânico obtido de um restaurante e poda de árvore da cidade de Londrina/PR. Para se definir a quantidade de resíduo a ser colocado em cada caixa, foram obtidos dados de umidade, Carbono Total e Nitrogênio Total relativos à poda e ao resíduo orgânico de trabalhos que tiveram início pouco antes deste. De posse destes dados foram realizadas simulações relativas a massa, volume, carbono e nitrogênio de cada material, definindo-se por utilizar uma relação C/N de 15:1 para simular no experimento uma condição mais próxima da

realidade, já que para se realizar o processo com uma relação próxima de 30:1 (relação ideal) a quantidade de resíduo orgânico proveniente do restaurante seria muito pequena, tendo que se utilizar quase que na totalidade apenas poda de árvore.

A disposição dos materiais na caixa de compostagem foi feita em camadas intercalando uma camada de poda com uma camada de resíduo orgânico e assim sucessivamente. A medida de massa e volume dos materiais a serem compostados foi realizada utilizando um balde que possuía marcação de volume e pesados em balança comum separadamente.

4.3.2 Montagem do sistema de aquecimento solar

O sistema de aquecimento foi baseado no modelo de Santos (2004), com adaptações. A estrutura da caixa de aquecimento foi confeccionada em madeira com as dimensões descritas na Figura 12 e posteriormente pintada com tinta óleo de cor preta. No interior da caixa de madeira foi inserida uma estrutura inclinada para melhor aproveitamento da energia solar, mantendo-se a mesma inclinação da latitude do local. Também visando um melhor aproveitamento da energia solar, a caixa de aquecimento ficou com a sua parte inclinada direcionada para o norte geográfico, que foi encontrado conforme Santos e Michels (2012).

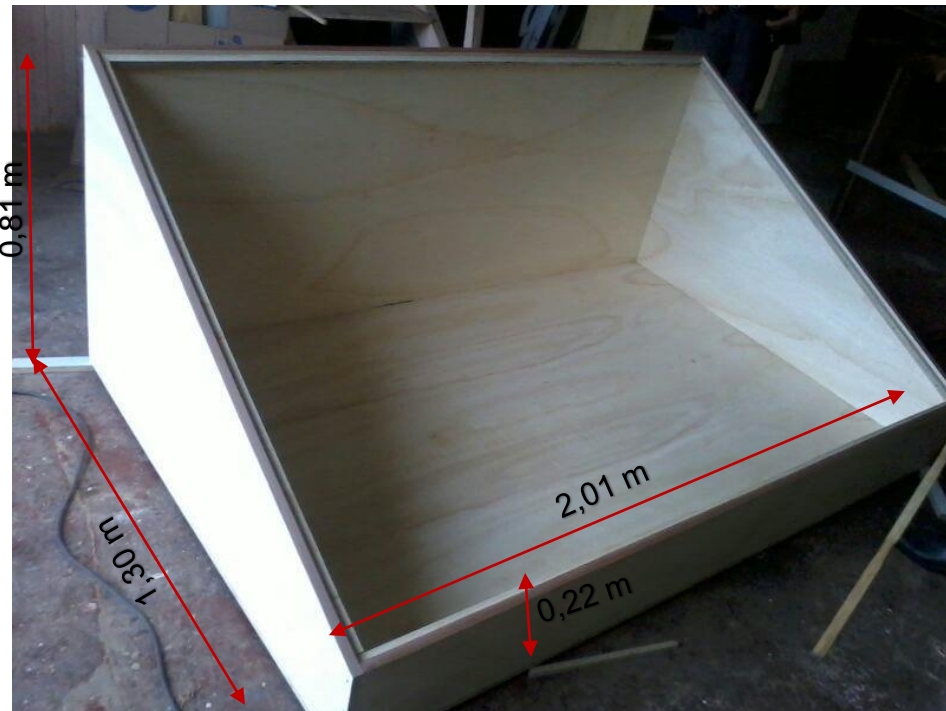


Figura 12. Estrutura e dimensões da caixa de aquecimento.
Fonte: Autoria própria.

Na sequência, foram fixadas madeiras na estrutura inclinada para direcionar o fluxo de ar (Figura 13), fazendo com que o mesmo percorresse toda a extensão do coletor. Para garantir estabilidade de temperatura no interior da caixa de aquecimento, optou-se por utilizar brita por ser um material de boa inércia térmica (Figura 14) (SANTOS, 2004). Após esses procedimentos a caixa foi então tampada com vidro e feita a vedação utilizando silicone (Figura 15).



Figura 13. Fixação de madeiras para direcionamento do fluxo de ar no interior da caixa de aquecimento.

Fonte: A autoria própria.



Figura 14. Colocação de brita no interior da caixa de aquecimento.

Fonte: A autoria própria.



**Figura 15. Caixa de aquecimento pronta para ser utilizada.
Fonte: Autoria própria.**

Na parte inferior esquerda foram feitos furos para que a renovação do ar do interior da caixa ocorresse, enquanto na parte superior direita foram instalados dois eletrodutos de 4 polegadas de diâmetro para coletar o ar aquecido (Figura 16), sendo instalado um exaustor no final de cada eletroduto. Após isso, interligou-se 4 eletrodutos de $\frac{3}{4}$ polegada de diâmetro aos exaustores (Figura 17) que então direcionavam o ar para os tratamentos CS e CC.



**Figura 16. Dutos de 4 polegadas para coletar o ar quente da caixa de aquecimento.
Fonte: Autoria própria.**

Um eletroduto de $\frac{3}{4}$ polegada foi instalado na base das caixas de compostagem, onde foram feitos diversos furos para a saída do ar quente, conforme a Figura 17.



Figura 17. Interior da caixa utilizada para compostagem dos tratamentos CC e CS.
Fonte: Autoria própria.

Para evitar que, em períodos onde não ocorresse a incidência solar o sistema ficasse impulsionando ar mais frio do que a temperatura de ar presente dentro das caixas de compostagem, foi utilizado um sistema baseado no emprego de placa arduino (Figura 18A) e sensores DS18B20 (Figura 18B).

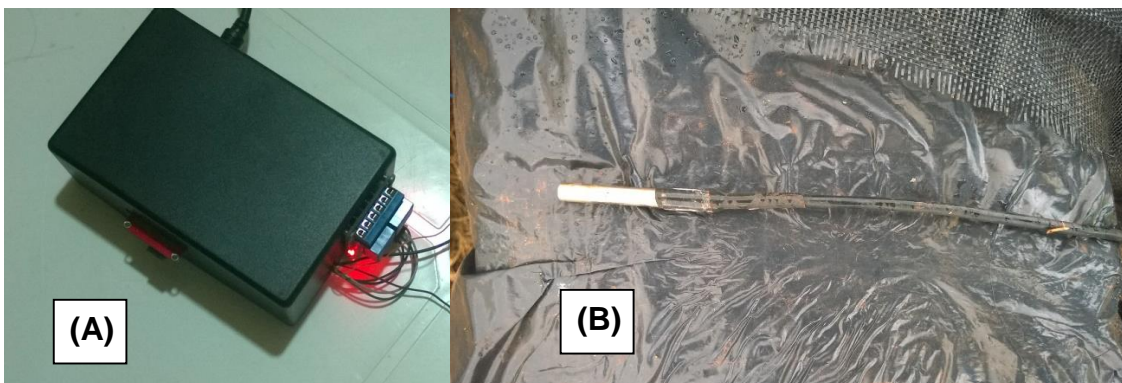


Figura 18. Sistema baseado no emprego de placa arduino. (A) Sistema para coleta de dados (B); Sensor DS18B20.
Fonte: Autoria própria.

4.3.3 Operação do sistema experimental

O experimento com as caixas de compostagem teve início na segunda semana de outubro, se estendendo até o dia 17 de novembro, totalizando 42 dias. Os EMs foram adicionados apenas no início do processo, sendo utilizada a concentração com melhores resultados de acordo com Caetano (2014), sendo a quantidade de 500 mL inserida nos tratamentos SC e CC observando-se até que ocorresse a percolação, enquanto nos tratamentos CS e SS adicionou-se a mesma quantidade de água.

No que tange ao sistema de aquecimento, foram utilizados 18 sensores DS18B20, sendo 1 na saída de ar da caixa de aquecimento, 1 dentro da estufa para medir a temperatura ambiente e 1 no centro de cada caixa de compostagem, com um sistema arduino para regular o funcionamento dos exaustores. Os sensores DS18B20 em conjunto com o sistema arduino funcionaram da seguinte maneira: os exaustores direcionados para os tratamentos CS e CC apenas eram acionados quando a temperatura indicada pelo sensor na caixa de aquecimento era superior à temperatura nas caixas de compostagem, caso contrário ele permanecia desligado. Além disso, caso as caixas com compostagem estivessem com temperatura acima de 60°C, os exaustores não seriam ligados.

4.4 MONITORAMENTO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

Durante a realização do experimento, realizou-se monitoramento físico-químico e microbiológico das amostras retiradas das caixas de compostagem, destinados para avaliar a eficiência da adição de EMs e do aquecimento solar no processo. Foi realizado revolvimento manual duas vezes por semana em todas as caixas de compostagem, visando aeração e homogeneização dos resíduos. Além disso, monitoramento da umidade, adicionando sempre que necessário uma quantidade conhecida de água às caixas.

4.4.1 Monitoramento físico-químico

Os parâmetros físico-químicos analisados durante o estudo estão descritos no Quadro 2.

Parâmetro	Dias de análise	Método	Referência
Sólidos Totais	Inicial, 7°, 14°, 21°, 28°, 42° dia	2540 G – Determinação de sólidos totais	APHA; AWWA; WEF (2012)
Sólidos Voláteis	Inicial, 14°, 28°, 42° dia	2540 G – Determinação de sólidos voláteis	APHA; AWWA; WEF (2012)
Umidade	Inicial, 7°, 14°, 21°, 28°, 42° dia	2540 G – Cálculo da umidade	APHA; AWWA; WEF (2012)
Carbono Orgânico	Inicial, 14°, 28°, 42° dia	Método para determinação do carbono orgânico	Walkley e Black (1934), de acordo com Kiehl (1985)
Carbono Total	Inicial, 14°, 28°, 42° dia	2540 G – Método da mufla	APHA; AWWA; WEF, 2012; Kiehl (1985)
Nitrogênio Total	Inicial, 14°, 28°, 42° dia	Método do destilador de Kjeldahl	Malavolta et al. (1997)
Potencial Hidrogeniônico	1ª semana (diário), 2ª semana (a cada 2 dias), 14°, 21°, 28°, 35°, 42° dia	Método do eletrodo de vidro	Tedesco et al. (1995)
Condutividade Elétrica	Inicial, 14°, 28°, 42° dia	Método do condutivímetro	Tedesco et al. (1995)

Quadro 2. Parâmetros físico-químicos monitorados, e seus respectivos dias de análise e método.

A temperatura das caixas de compostagem foi monitorada diariamente por meio dos sensores DS18B20 colocados no centro de cada caixa (Figura 19), coletando um dado de temperatura aproximadamente a cada 2 segundos, além do monitoramento da umidade relativa do ar por meio de um termohigrômetro (Figura 20).

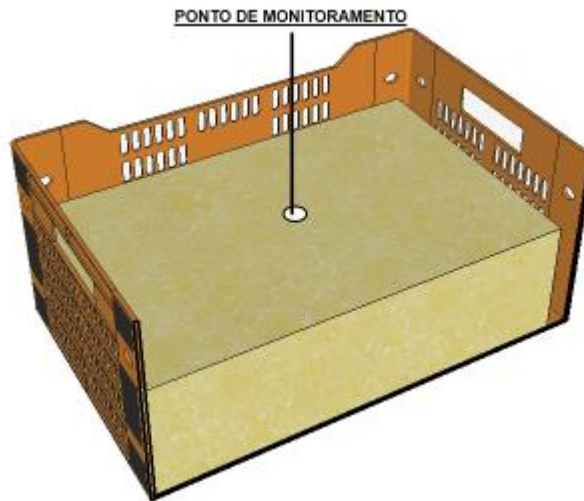


Figura 19. Ponto de monitoramento da temperatura nas caixas contendo o resíduo.

Fonte: Aatoria Própria.



Figura 20. Termohigrômetro utilizado durante o monitoramento do processo de compostagem.

Fonte: Aatoria própria.

4.4.2 Monitoramento microbiológico

A fim de avaliar o desenvolvimento da comunidade microbiológica no sistema experimental foi realizado o monitoramento ao longo do experimento. Os microorganismos avaliados foram: bactérias heterotróficas, fungos filamentosos, bactérias fermentadoras de lactose, leveduras e actinomicetos. As análises foram realizadas no início do experimento, no 7°, 14°, 21°, 28° e 42° dia.

Para a identificação e quantificação dos micro-organismos retirava-se uma amostra de 10 gramas da caixa de compostagem e procedia-se a diluição seriada em solução salina (0,85%) até a concentração de 10^{-6} . Das diluições 10^{-2} , 10^{-4} e 10^{-6} eram retiradas alíquotas de 0,1 mL e espalhadas em placas de Petri com o meio de cultura específico para cada micro-organismo (Figura 21). O tempo de incubação e a temperatura de crescimento dos micro-organismos estão descritos no Quadro 3.

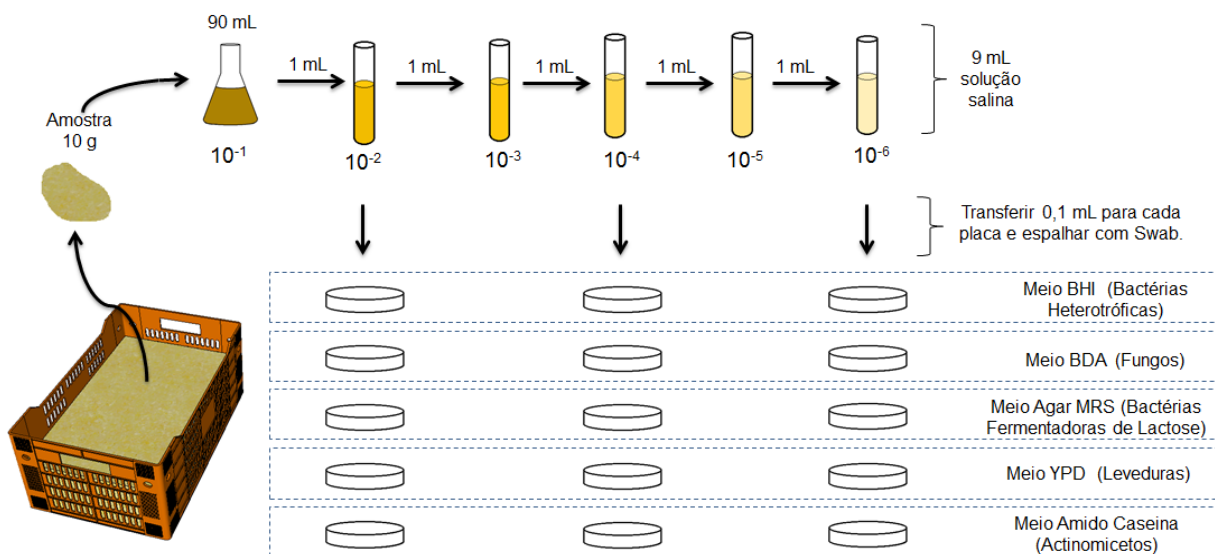


Figura 21. Procedimento metodológico para a identificação e quantificação dos micro-organismos presentes nas caixas de compostagem.

Fonte: Autoria própria.

Micro-organismo	Meio de cultura	Temperatura/Tempo de incubação
Actinomicetos	Amido Caseína	28°C±1/24-48 h
Bactérias Fermentadoras de Lactose	Agar MRS	36°C±1/24 h
Bactérias Heterotróficas	Brain Heart Infusion Agar	36°C±1/24 h
Fungos filamentosos	Potato Dextrose Agar	25°C±1/1 semana
Leveduras	Yeast Peptone Dextrose	30°C±1/24 h

Quadro 3. Micro-organismo a ser identificado e seus respectivos meio de cultura e temperatura de incubação.

Após o período de incubação, realizava-se a contagem das colônias formadas nas placas de Petri e, determinava-se a quantidade de UFC/g de composto utilizando a Equação 1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MONITORAMENTO MICROBIOLÓGICO

No início do processo de compostagem foi adicionado 500 mL da solução de EMs nos tratamentos CC e SC. Os valores iniciais dos micro-organismos presentes na solução de EMs e nos tratamentos podem ser visualizados na Figura 22.

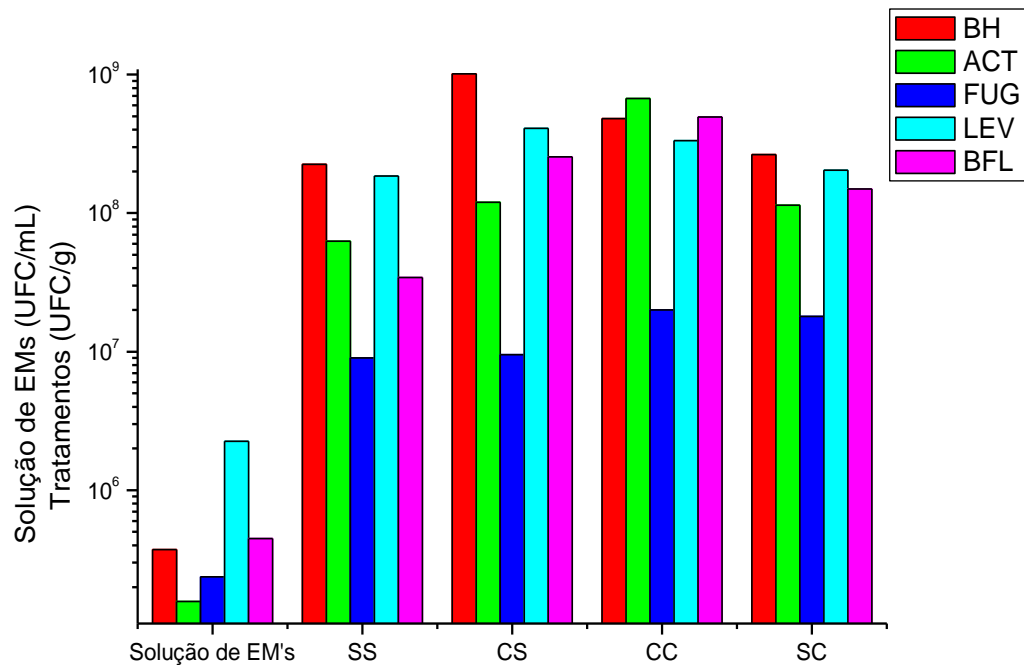


Figura 22. Quantidade de bactérias heterotróficas (BH), actinomicetos (ACT), fungos filamentosos (FUG), leveduras (LEV) e bactérias fermentadoras de lactose (BFL) presentes na solução de EMs e nos tratamentos SS, CS, CC e SC.

Fonte: Autoria própria.

Percebe-se na Figura 22 que na mistura de resíduo utilizado para o processo de compostagem já possuía os mesmos grupos de micro-organismos presentes na solução de EMs, sendo que após a sua adição na massa houve um pequeno incremento na população dos EMs, porém não o suficiente para que se notasse diferenças nos parâmetros analisados que serão discutidas nos próximos itens.

Todos os tratamentos apresentaram comportamento semelhante, não se observando diferenças entre os tratamentos sem adição de EMs (SS e CS) e os tratamentos com inoculação de EMs no começo da compostagem (CC e SC).

Pelo fato da solução de EMs ser constituída de micro-organismos presentes em mata fechada, não apresentou diferença quando adicionados ao composto, já que um dos resíduos era poda de árvore, o que pode justificar a presença destes organismos nos diferentes tratamentos mesmo sem a adição da solução de EMs.

A Figura 23 apresenta os dados referentes ao comportamento dos micro-organismos ao longo do processo de compostagem.

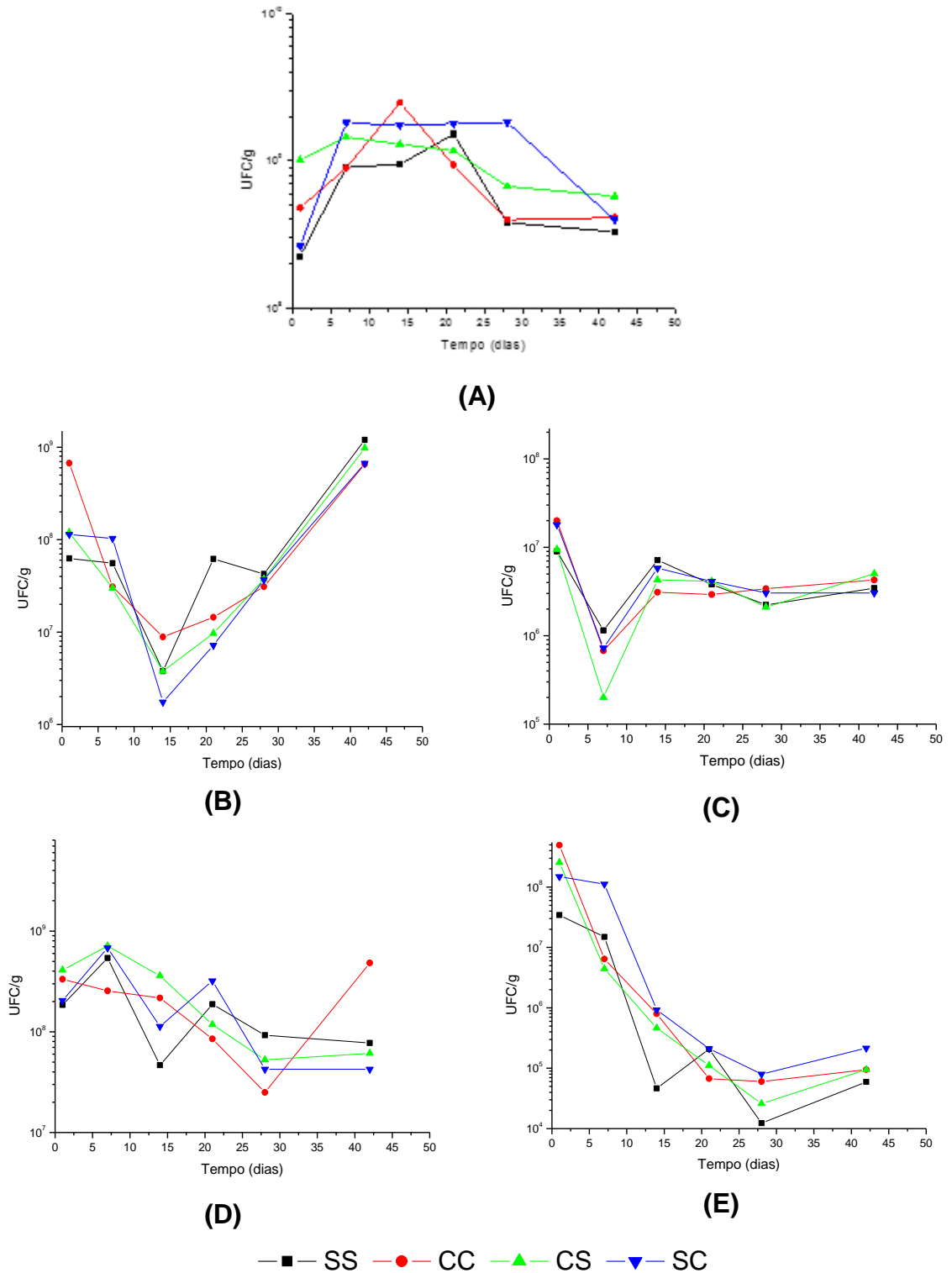


Figura 23. Quantidade de EMs durante o processo de compostagem: (A) Bactérias heterotróficas; (B) Actinomicetos; (C) Fungos filamentosos; (D) Leveduras e (E) Bactérias fermentadoras de lactose.

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que todos os tratamentos tiveram um aumento de bactérias heterotróficas na análise do 7º dia. O aumento desses micro-organismos pode estar associado com a fase termofílica, pois esta fase está associada com a degradação ativa da matéria orgânica, desse modo aumentando a população desses micro-organismos.

No tratamento SC é possível verificar que mesmo após a fase termofílica a quantidade de bactérias heterotróficas permaneceu constante até o 28º dia. Nos demais tratamentos o decaimento da população de bactérias heterotróficas ocorreu anteriormente.

Em relação às Bactérias Heterotróficas (Figura 23A) nota-se que o valor inicial e no 42º de tratamentos se mantiveram na ordem de 10^8 UFC/g para todos os tratamentos. Sabendo-se que este grupo de bactérias utiliza a matéria orgânica para se desenvolver, pode-se supor que ainda havia matéria orgânica passível de degradação, uma vez que a quantidade de unidades formadoras de colônia ainda era elevada, na ordem de 10^8 UFC/g.

No trabalho de Heck et al. (2013) as bactérias heterotróficas estavam presentes ($2,5 \times 10^6$ UFC/g) no composto após aproximadamente 150 dias de compostagem de lodo de esgoto, resíduos orgânicos domiciliares e poda vegetal. Hoffmeister et al. (2005) encontraram em seus resultados do processo de compostagem de resíduo urbano a quantidade de 8×10^7 células de bactérias heterotróficas por g de composto ao final de 154 dias de compostagem. Enquanto no presente trabalho, após 42 dias de compostagem obteve-se valores por volta de 10^8 UFC/g de bactérias heterotróficas.

Com relação aos actinomicetos (Figura 23B) observa-se um decaimento no 14º dia e posteriormente acréscimo até o 42º dia. O decaimento pode estar associado com o fato de os actinomicetos serem maus competidores (PROSAB, 2014b) e neste período a concentração de bactérias heterotróficas no composto ser alta.

Os actinomicetos têm a capacidade de degradar moléculas mais complexas como a celulose e a lignina (OUHDOUCH; BARAKATEA; FINANCEB, 2001), e como estes compostos são de difícil degradação e tem menos organismos capazes de degradá-las os actinomicetos conseguem se desenvolver melhor ao final do processo. A quantidade máxima de actinomicetos nos tratamentos SS, CC, CS e SC foi

respectivamente de $1,2 \times 10^9$ (42º dia), $6,72 \times 10^8$ (inicial), $9,78 \times 10^8$ (42º dia) e $6,7 \times 10^8$ UFC/g de composto (42º dia).

No início da compostagem a quantidade de fungos filamentosos (Figura 23C) nos tratamentos SS, CC, CS e SC foi de 9×10^6 , 2×10^7 , $9,5 \times 10^6$ e $1,8 \times 10^7$ UFC/g, respectivamente, sendo que estes valores foram os máximos encontrados durante todo o processo analisado. Nos primeiros dias houve um decréscimo da quantidade desses micro-organismos, chegando a $1,2 \times 10^6$ no tratamento SS, $6,8 \times 10^5$ no CC, $2,0 \times 10^5$ no CS e $7,2 \times 10^5$ no SC. Tal fato pode ter ocorrido pelo aumento da temperatura nos primeiros dias do processo de compostagem (fase termofílica), pois segundo Splittstoesser (1991) os fungos filamentosos, na sua maioria, são pouco resistentes ao calor, uma vez que este destrói facilmente conídios e hifas. Após o término da fase termofílica observa-se um pequeno incremento no número de UFC, mantendo-se na ordem de 10^6 . No 42º dia os valores de fungos filamentosos nos tratamentos SS, CC, CS e SC foram respectivamente de $3,4 \times 10^6$, $4,3 \times 10^6$, $5,0 \times 10^6$ e $3,0 \times 10^6$ UFC/g de composto.

A quantidade de leveduras (Figura 23D) no início do processo nos tratamentos SS, CC, Cs e SC foi de $1,8 \times 10^8$, $3,3 \times 10^8$, $4,1 \times 10^8$ e 2×10^8 UFC/g de composto. Ao longo do processo de compostagem a quantidade de leveduras variou na ordem de 10^7 a 10^8 UFC/g de composto. Os valores máximos de leveduras durante o processo no tratamento SS, CC, CS e SC foram de $5,4 \times 10^8$ (inicial), $4,8 \times 10^8$ (42º dia), $7,1 \times 10^8$ (7º dia) e $6,8 \times 10^8$ (7º dia) UFC/g de composto.

As bactérias fermentadoras de lactose (Figura 23E) apresentaram decréscimo ao longo do processo de compostagem, possivelmente pela diminuição do substrato favorável para esses micro-organismos. Os valores iniciais dos tratamentos CC, CS e SC foram da ordem de 10^8 UFC/g de composto e do tratamento SS na ordem de 10^7 UFC/g de composto. No final do processo a quantidade destes micro-organismos estava entre 10^4 e 10^5 UFC/g composto. Os valores máximos encontrados de $3,43 \times 10^7$ UFC/g de composto (inicial) no tratamento SS, $4,95 \times 10^8$ UFC/g de composto (inicial) no CC, $2,55 \times 10^8$ UFC/g de composto (inicial) e $1,49 \times 10^8$ UFC/g de composto (inicial) no SC, todos obtidos na análise inicial.

Caetano (2014) avaliou a compostagem de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino com adição de EMs. Durante o processo constatou-se valores mínimos de

bactérias heterotróficas, bactérias fermentadoras de lactose e actinomicetos no 20º dia, sendo que a partir deste ponto os micro-organismos tiveram aumento até o fim da compostagem aos 50 dias.

Em compostagem com lodo de esgoto e poda de árvores, Araújo (2011) obteve valor máximo de 3×10^9 UFC/g para bactérias heterotróficas, diminuindo conforme os resíduos foram degradando. Os fungos filamentosos e as leveduras atingiram valores máximos de, respectivamente, 3×10^6 UFC/g e 1×10^5 UFC/g, e ao final do processo atingiram 10^3 - 10^4 UFC/g (ARAÚJO, 2011).

No trabalho de Aragão et al. (2000) foi realizada compostagem com resíduos de frutas e verduras misturadas com bagaço de cana e poda. Os autores observaram que o valor máximo de bactérias foi de 2,0 a $3,0 \times 10^9$ UFC/g, de actinomicetos 1,0 a $7,5 \times 10^8$ UFC/g e fungos variou em torno de $1,0 \times 10^6$ UFC/g. Diante disso, notou-se que os valores obtidos nesse experimento estão próximos dos encontrados na literatura.

5.2 TEMPERATURA

Os resultados de temperatura ao longo do processo de compostagem são apresentados na Figura 24.

Verifica-se que em todos os tratamentos a fase termofílica foi atingida, sendo a temperatura máxima nas caixas de compostagem superior a 40°C, o que de acordo com Souza (2002) estão enquadradas na fase termofílica da compostagem. Os maiores valores médios de temperatura dos quatro tratamentos foram obtidos entre o 3º e 15º dia do experimento, sendo o período de fase ativa de aproximadamente 12 dias. As maiores temperaturas obtidas foram de 49,7°C, 49°C, 48,2 e 47,7°C, respectivamente para os tratamentos SS, CC, CS e SC.

Segundo PROSAB (2014) a fase termofílica em sistemas com aeração deve durar aproximadamente 21 dias e representa a fase de degradação ativa do composto. Neste estudo o tempo de degradação não foi compatível com o apresentado na literatura,

já que o sistema permaneceu apenas 12 dias na fase termofílica, provavelmente por ser um sistema em pequena escala.

Sá (2009), ao realizar compostagem em pequena escala não conseguiu alcançar a fase termofílica, tendo uma temperatura máxima de cerca de 38°C durante seu experimento. Resultados semelhantes foram obtidos por Ismael et al. (2013) avaliando três tipos de composteiras, onde o experimento não alcançou temperaturas termofílicas.

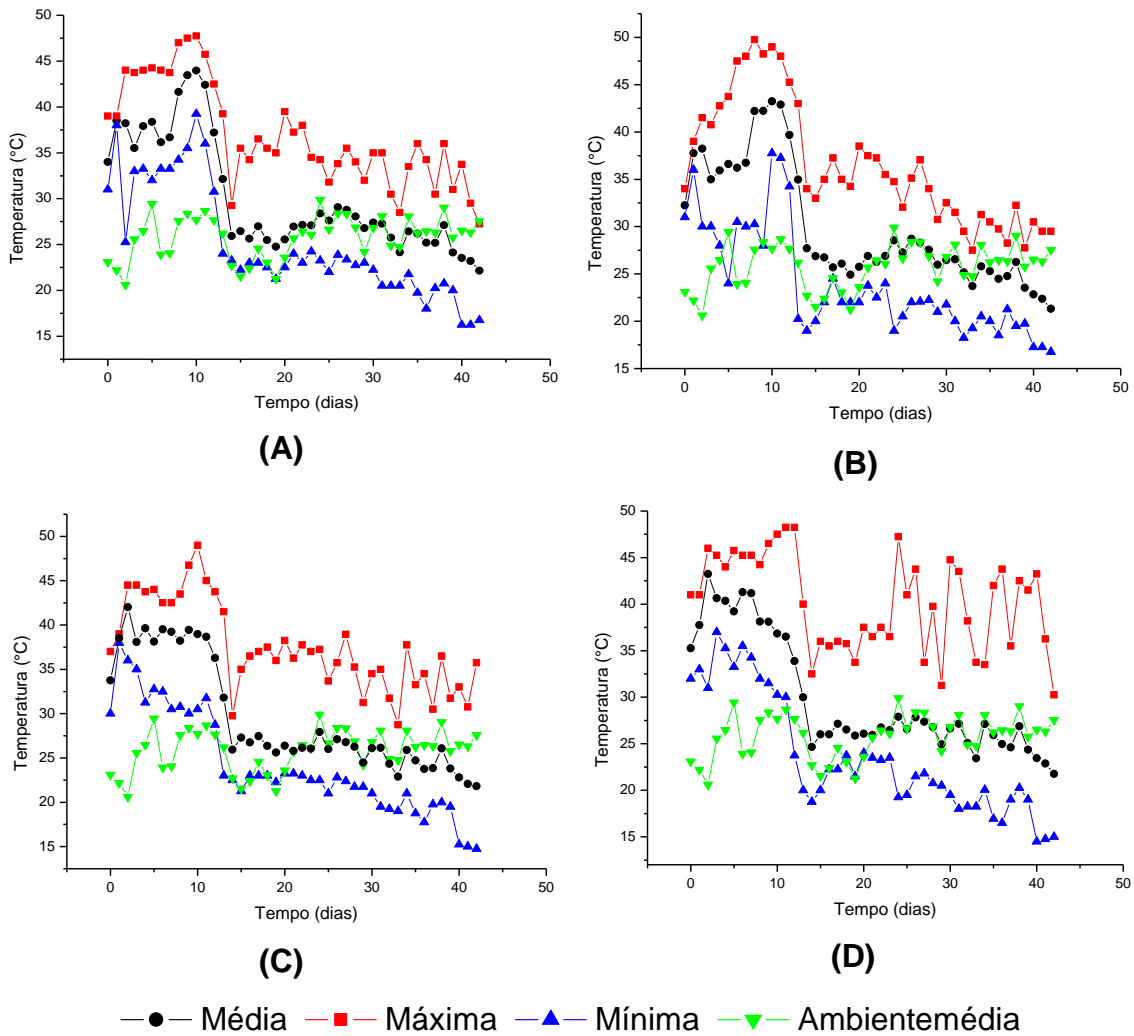


Figura 24. Comportamento da temperatura média, máxima e mínima dos tratamentos e da temperatura média ambiente ao longo do processo de compostagem: (A) SC; (B) SS; (C) CC e (D) CS.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 25 apresenta-se a comparação da temperatura média diária dos tratamentos, temperatura média diária ambiente e temperatura média diária do sistema

de aquecimento. Verifica-se que na caixa de aquecimento as temperaturas foram superiores à temperatura nas caixas CC e CS, que receberam a insuflação de ar aquecido, entretanto percebe-se que o sistema de aquecimento não contribuiu para aumentar a temperatura nas caixas de compostagem com aquecimento, o que poderia favorecer e prolongar a fase termofílica. Além disso, os tratamentos com aquecimento (CC e CS) apresentaram comportamento parecido ao dos tratamentos sem aquecimento (SS e SC) (Figura 25). Uma das causas possíveis é que a vazão de ar dos exaustores utilizados foi insuficiente para aquecer a massa de resíduo.

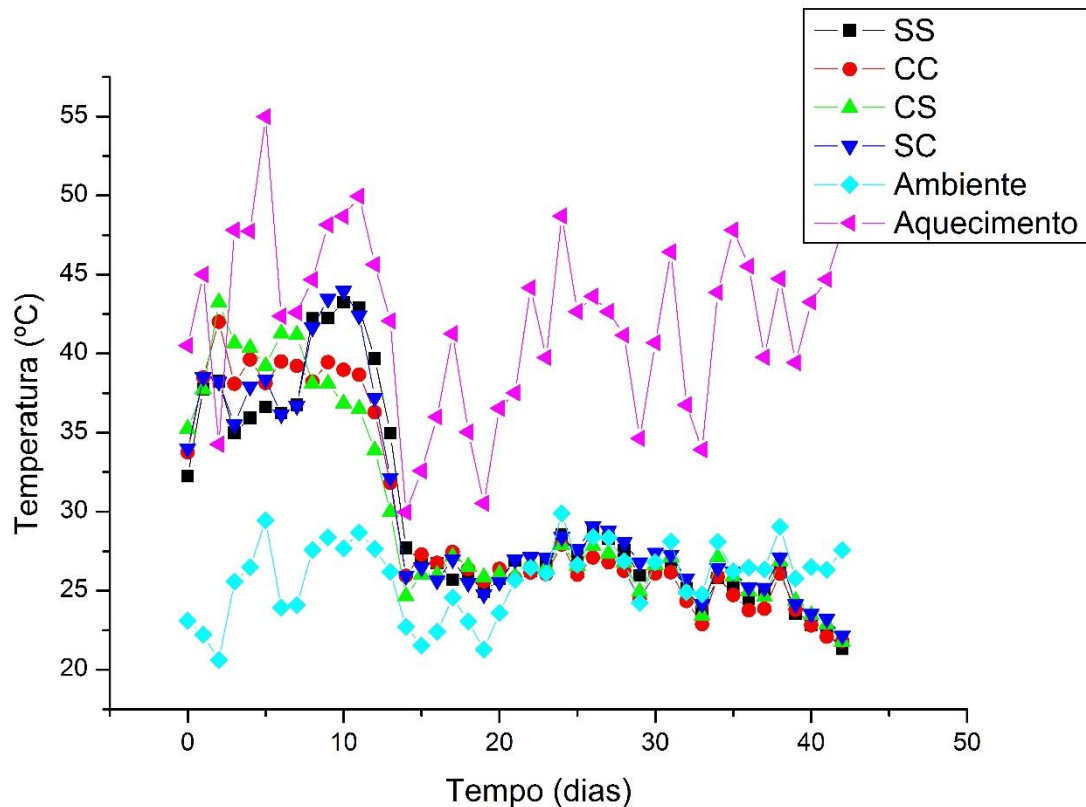


Figura 25. Comparação da temperatura média diária dos tratamentos, temperatura média diária ambiente e temperatura média diária do sistema de aquecimento.
 Fonte: Autoria própria.

No trabalho de Maragno et al. (2007) foram montadas 4 minicomposteiras com resíduos orgânico doméstico e restaurante com adição de serragem, e verificaram que a fase termofílica iniciou-se por volta do quarto dia e permaneceu até o décimo dia,

contabilizando seis dias nesta fase. Diferentemente do experimento realizado, que permaneceu o dobro do tempo (12 dias) na fase termofílica.

No trabalho de Jusoh, Manaf e Latiff (2013) foi testada a aplicação de EMs no processo de compostagem de resíduos de palha de arroz, esterco de cabra, vegetais e frutas. As temperaturas máximas obtidas durante os 90 dias de compostagem foram de 58,2°C no tratamento com EMs e 56,2°C no tratamento sem adição de EMs.

5.3 pH

Na Figura 26 é apresentada a variação do pH em relação ao tempo de compostagem para os quatro tratamentos analisados. Observa-se que no início do processo, os valores de pH apresentaram-se ácidos, com valores próximos de 4,5. O valor de pH aumentou gradativamente até o pH 8,5, sendo que após este valor o pH dos quatro tratamentos foi próximo de 7,5. Dos resultados de pH não foi possível constatar comportamento diferenciado entre os quatro tratamentos.

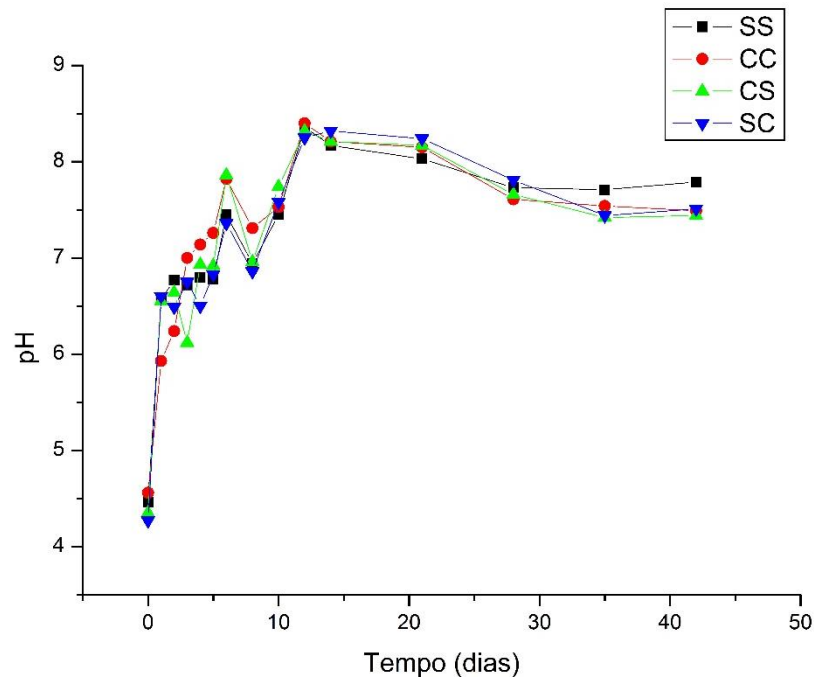


Figura 26. Comportamento do pH durante o processo de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

Segundo HERBETS et al. (2005), o pH do início do processo geralmente fica na faixa de 5,0 a 6,0, podendo nos primeiros dias do processo ocorrer ligeira queda, em decorrência da produção de ácidos orgânicos. No presente trabalho os valores de pH iniciaram na faixa de 4,5, na sequência aumentando para cerca de 6 a 6,5 para todos os tratamentos.

De acordo com Kiehl (2002) no processo de compostagem o pH inicia-se baixo, tornando-se alcalino e atingindo valores próximos de 9,0. Segundo o referido autor, o pH permanece nesta faixa enquanto houver nitrogênio amoniacal, baixando um pouco em seguida, quando este passa para a forma de nitrato. O fato exposto explica o comportamento encontrado, onde o pH atingiu valores próximos a 8,5 no 12º dia e ao 28º dia o valor baixou para 7,5. O pH do composto após 42 dias apresentou-se na faixa de 7,5, sendo este valor próximo da neutralidade.

Segundo MAPA (2009), o pH do composto final deve estar acima de 6,5, o que coincide com os valores encontrados no presente trabalho. O trabalho de Nord (2013) avaliou a compostagem de folhas, verduras, legumes e folhas com e sem adição de EMs. Os autores encontraram valores finais de pH próximos a 7,5 e não houve diferença significativa entre os dois tratamentos.

No trabalho de Jusoh, Manaf e Latiff (2013), os valores de pH se estabilizaram por volta de 45 dias, sendo que em ambos os tratamentos, com e sem EMs, o valor de pH foi próximo de 7,5. Já no trabalho de Wangen et al. (2013), utilizando esterco bovino, cama de aviário e EMs comercial obteve-se valores de pH do composto final de 6,2 para o tratamento com EMs e 6,1 para o tratamento sem EMs.

Em compostagem com casca de verduras e frutas, sobras de comida e folhas secas, Medeiros et al. (2009) encontraram valor inicial de pH de 5,8 e durante a degradação da matéria orgânica esse valor aumentou, chegando a 8,2.

5.4 CARBONO TOTAL

Os resultados das análises de Carbono Total (CT) podem ser visualizados na Figura 27. Os valores iniciais no tratamento SS, CC, CS e SC foram respectivamente: 42,5%, 42,7%, 42,3% e 43,0%, sendo que os quatro tratamentos apresentaram queda em relação aos seus valores iniciais.

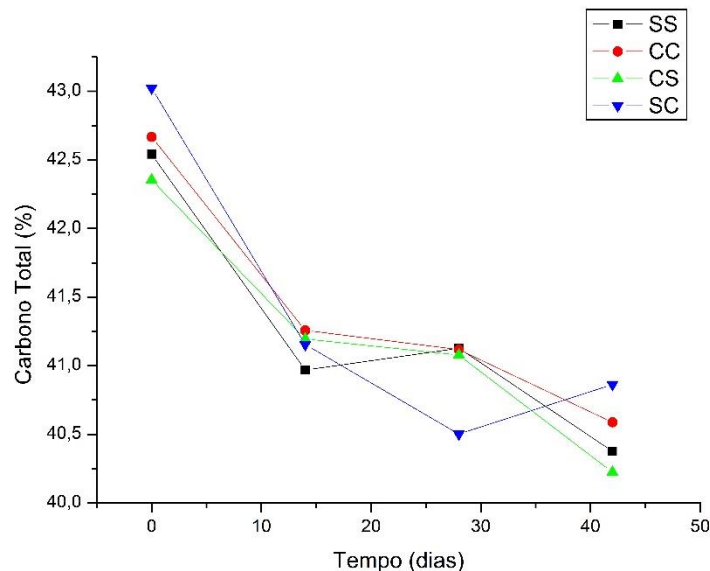


Figura 27. Comportamento de Carbono Total durante o processo de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

Todos os tratamentos apresentaram pequenos valores de redução do teor de CT, sendo de 5,1% para o tratamento SS, 4,9% para o CC, 5,0% para o CS e de 5,0% para o SC. Observando semelhanças entre os quatro tratamentos em relação à variável CT, desse modo, o inóculo de EMs adicionado não proporcionou uma degradação superior dos tratamentos CC e SC, tampouco foi efetivo, em relação à degradação de CT, o uso do aquecimento nos tratamentos CC e CS.

Segundo Garg e Gupta (2011), as reduções de carbono são decorrentes da liberação deste composto na forma de gás carbônico, sendo que a atividade ocorre com mais intensidade na fase inicial da compostagem, pois é o momento com maior disponibilidade de substrato, e posteriormente segue um período de degradação lenta.

Tal fato pode ser observado nos resultados da Figura 27, onde se observa que a redução entre as duas primeiras análises foi a que teve maior intensidade (fase em que as temperaturas máximas foram superiores a 40°C).

No trabalho de Jusoh, Manaf e Latiff (2013) a porcentagem inicial de Carbono Total era de 48,6% para tratamento com EMs e 47,6% para o tratamento sem EMs. Segundo os autores, o comportamento dos dois tratamentos foram bastante semelhantes entre si. No 45º dia de compostagem a porcentagem de carbono estava por volta de 30% em ambos os tratamentos.

5.5 NITROGÊNIO TOTAL

Os valores de nitrogênio total (NT) presentes no composto estão apresentados na Figura 28. Os tratamentos CC, CS e SC apresentaram valores iniciais de 4,2%, 4,13% e 4,22%, respectivamente. Já o tratamento SS apresentou valor inicial de NT ligeiramente menor, de 3,74%. Nos tratamentos SS e SC observou-se um aumento de NT no composto, já nos tratamentos CC e CS um decréscimo.

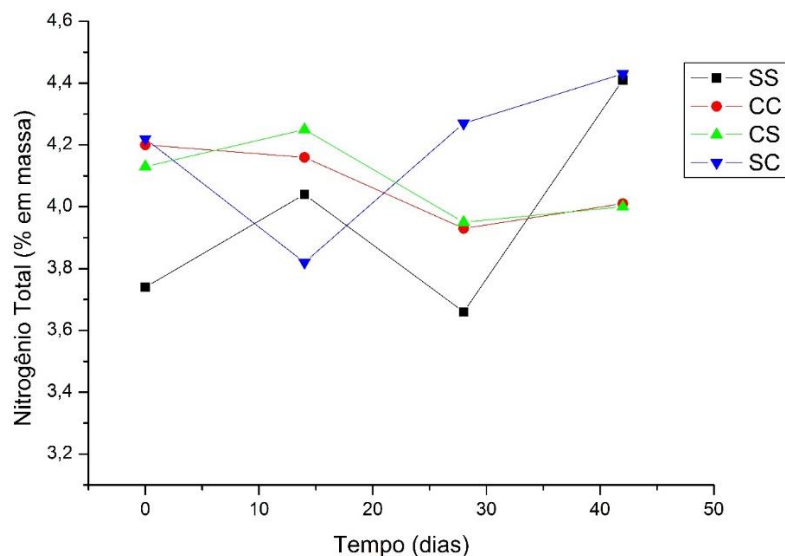


Figura 28. Comportamento do Nitrogênio Total durante o processo de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

Segundo KIEHL (1985), a perda de nitrogênio pode ocorrer na forma de amônia por causa de baixas relações C/N, já a presença de umidade ajuda na retenção da amônia no composto, uma vez que combinado com a água resulta em hidróxido de amônio, podendo reduzir as perdas de nitrogênio. Em relação ao aumento que ocorreu nos tratamentos SS e SC, Brito (2008) também teve essa ocorrência que pode ser justificada pela diminuição de matéria orgânica através de sua oxidação a CO₂.

Kolling et al. (2013) ao realizar compostagem com quatro tratamentos também obtiveram resultados com variação nos teores de nitrogênio, tendo acréscimo em dois tratamentos e queda nos outros.

5.6 RELAÇÃO C/N

A relação C/N é utilizada para avaliar a taxa de decomposição da matéria orgânica durante o processo de compostagem, uma vez que este pode refletir a maturação do composto. Na Tabela 3 são apresentados os valores iniciais e finais e suas respectivas porcentagens de redução ao longo dos 42 dias de compostagem.

Tabela 3. Relação C/N inicial e final dos quatro tratamentos.

Tratamento	Inicial	Final	Redução (%)
SS	11,4/1	9,1/1	20,2
CC	10,2/1	10,1/1	1,0
CS	10,2/1	10,1/1	1,0
SC	10,2/1	9,2/1	9,8

Fonte: Autoria própria.

Observando os dados verificou-se que o tratamento que obteve maior redução de relação C/N foi o tratamento SS (20,2%) que tinha o maior valor de C/N no início do experimento, já os tratamentos CC e CS obtiveram uma redução de apenas 1,0%. Os valores iniciais dos tratamentos estavam próximos de 10/1, sendo menor do que o proposto pela literatura, pois o valor recomendado para o início de uma compostagem

está entre 26 e 35 e o valor final é entre 10 e 20 (KIEHL, 1985). No presente trabalho esta relação foi menor do que o proposto pela literatura pelo fato de pretender simular no experimento uma condição mais próxima da realidade, já que para se realizar o processo com uma relação próxima de 30:1 (relação ideal) a quantidade de resíduo orgânico proveniente do restaurante seria muito pequena, tendo que se utilizar quase que na totalidade apenas poda de árvore.

Santos e Flores (2012) avaliaram a utilização de um acelerador de compostagem (Embiotec® Line) composto de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) (10^4 UFC/mL) e as bactérias produtoras de ácido láctico (*Lactobacillus plantarum*) (10^5 UFC/mL). No tratamento onde a relação C/N era de 30/1 os valores finais de C/N foram de 28/1 para o tratamento sem acelerador e 34/1 no tratamento com acelerador, já nas leiras onde o composto inicial havia relação C/N de 22/1 os valores foram de 18/1 e 24/1, respectivamente.

No trabalho de Ismael et al. (2013), utilizando compostagem em pequena escala com relação C/N inicial de 30/1, tiveram resultados finais próximos a 10/1 após 73 dias de experimento.

5.7 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME

Uma das vantagens de se fazer compostagem de resíduos sólidos é a redução da massa e do volume do composto. Na Figura 29 é apresentada a redução de massa do composto para os quatro tratamentos. A redução porcentual foi a seguinte: tratamento SS, 71%; CC, 76%; CS, 75% e SC, 67%.

Caetano (2014), realizando compostagem em pequena escala de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino com adição de EMs, obteve uma redução máxima na massa de 47,4% em relação ao inicial após 50 dias de compostagem. Já Maragno et al. (2007), realizando compostagem de pequena escala com resíduo orgânico e serragem, atingiram uma redução de massa de 82% após 73 dias. Diante disso nota-se que o experimento teve uma diminuição satisfatória de sua massa em apenas 42 dias.

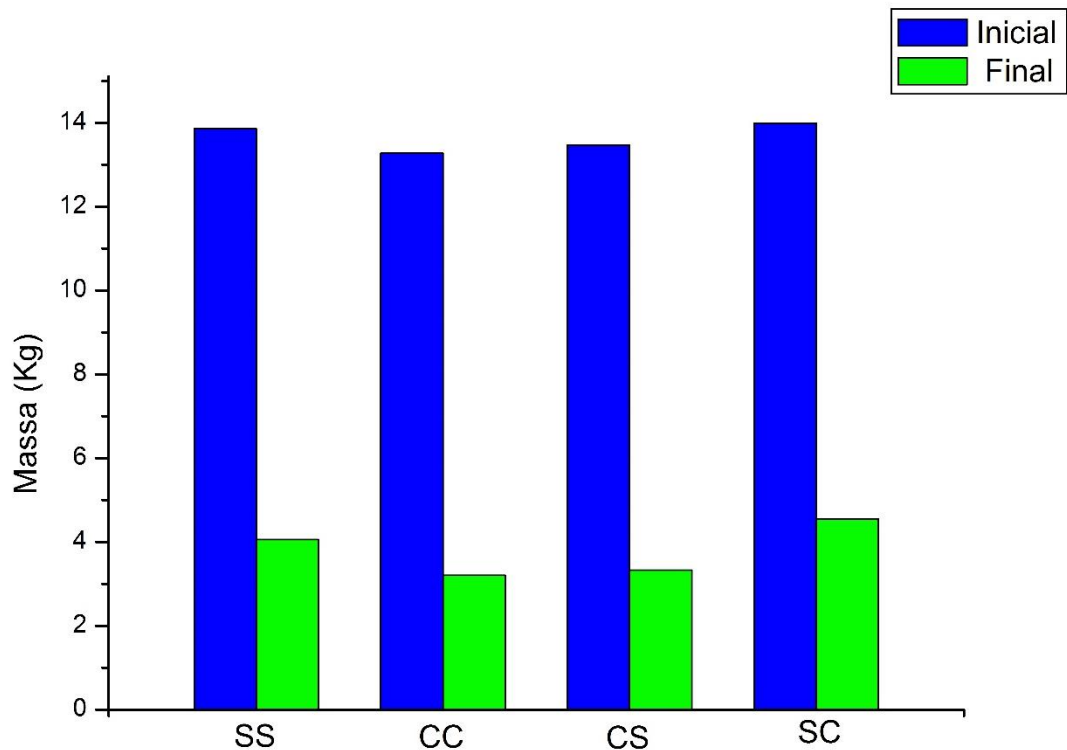


Figura 29. Massa inicial e final em cada tratamento.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 30 é possível observar o volume inicial e final obtidos nos quatro tratamentos, sendo que todos os tratamentos apresentaram diminuição por volta de 60%, com o melhor resultado obtido em CS com redução de 63%. Já o tratamento com menor redução de volume, assim como no quesito massa, foi o SC apresentando valor de 59%.

Ao avaliar uma composteira doméstica com resíduo orgânico Sá (2009), conseguiu atingir uma redução de 60% do volume inicial, valor muito próximo ao encontrado neste experimento. Santos e Flores (2012) obtiveram reduções de volume na faixa de 40 a 50%, isso em um processo de compostagem de 26 dias utilizando-se o sistema de leiras. Valores semelhantes foram obtidos no experimento, já que ficaram na faixa de 60% de redução do volume inicial.

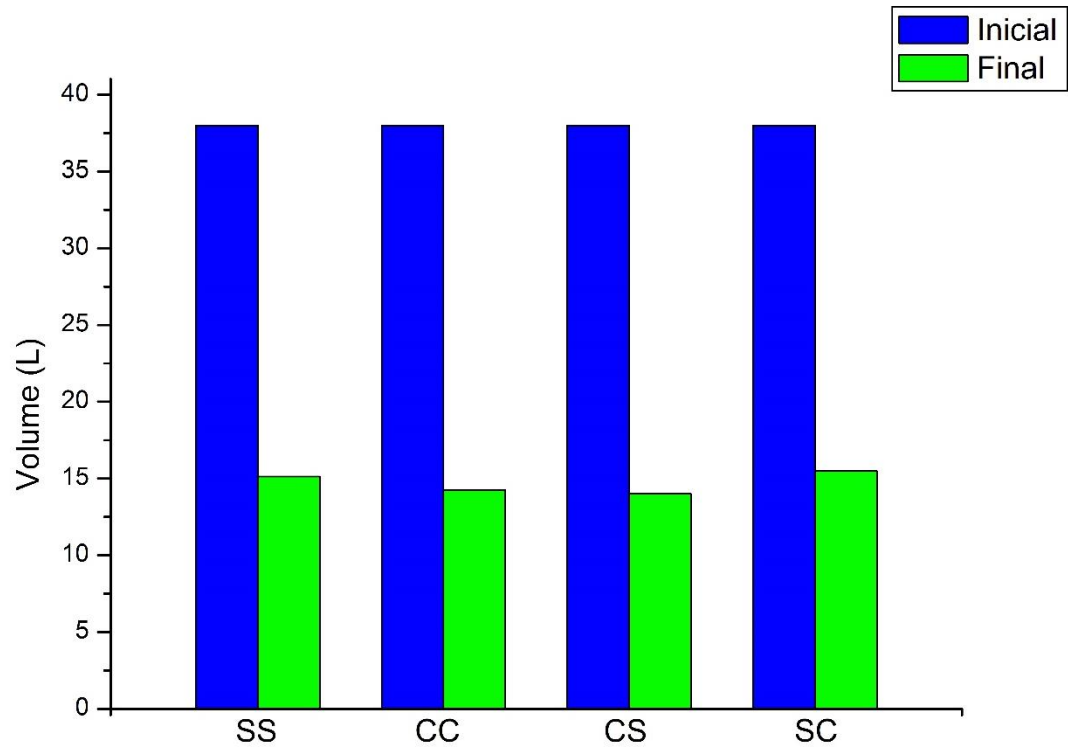


Figura 30. Volume inicial e final em cada um dos tratamentos.
 Fonte: Autoria própria.

5.8 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Na Figura 31 é possível observar o comportamento da condutividade elétrica nos quatro tratamentos. Observa-se que nos primeiros 14 dias de compostagem o valor de condutividade elétrica aumentou em todos os tratamentos, chegando a valores próximos de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Uma hipótese para esse aumento foi a recirculação de chorume realizada na primeira semana, com o objetivo de reintroduzir os micro-organismos no composto. Os valores finais de condutividade elétrica nos tratamentos SS, CC, CS e SC foram, respectivamente, 2004, 2394, 2322 e 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que representam incrementos de 218%, 309%, 254% e 290%.

No trabalho de Ismael et al. (2013), utilizando resíduos de marmeleiro, jurema-preta, cascas de banana e esterco bovino para compostagem em pequena escala, encontrou-se após 73 dias valores de condutividade elétrica na faixa de 360 a 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

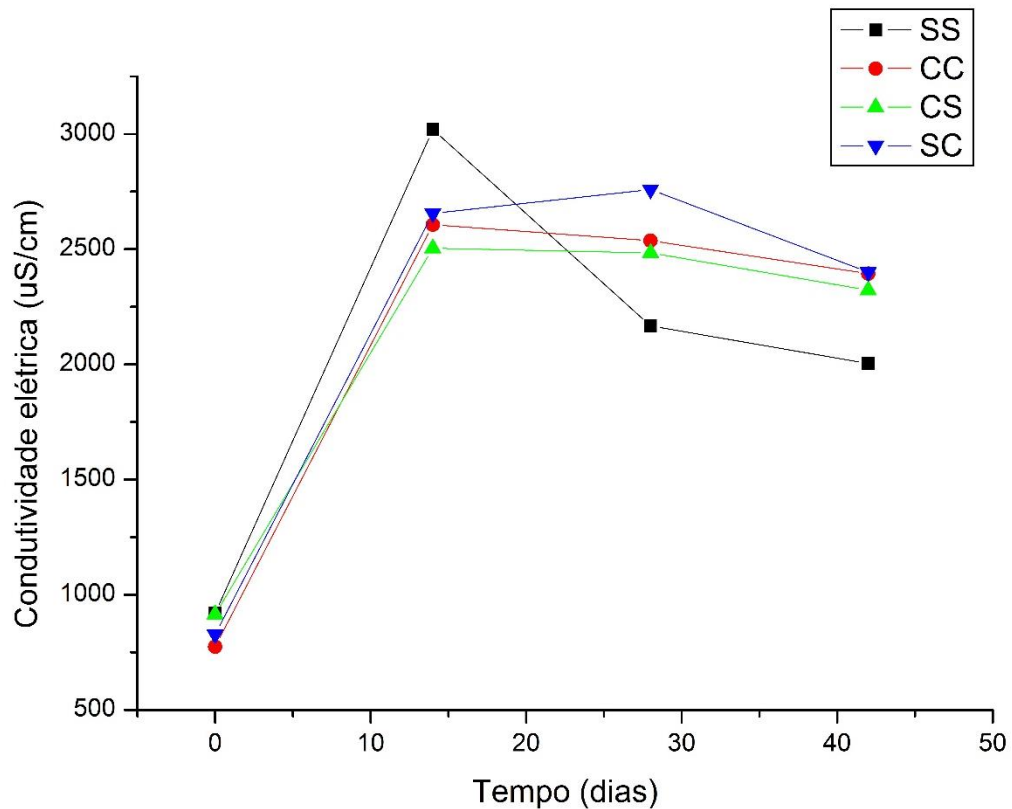


Figura 31. Comportamento da condutividade elétrica ao longo do processo de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

O comportamento de condutividade elétrica não foi como o descrito por Kiehl (1985), onde a condutividade elétrica dos compostos orgânicos tendem a cair e se estabilizar ao longo do processo, porém, mesmo não se comportando como o esperado o composto final apresentou valor final dentro da faixa citada pelo autor, que é de 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.9 UMIDADE

Na Figura 32 mostra-se o acompanhamento dos teores de umidades que foram monitorados ao longo do processo de compostagem. Observa-se que os valores iniciais apresentaram alto teor de umidade, 70% no tratamento SS, 65% no CC, 69% no CS e

71% no SC. Estes valores foram maiores por causa da umidificação inicial com a solução de EMs nos tratamentos CC e SC e da umidificação dos outros dois tratamentos com água.

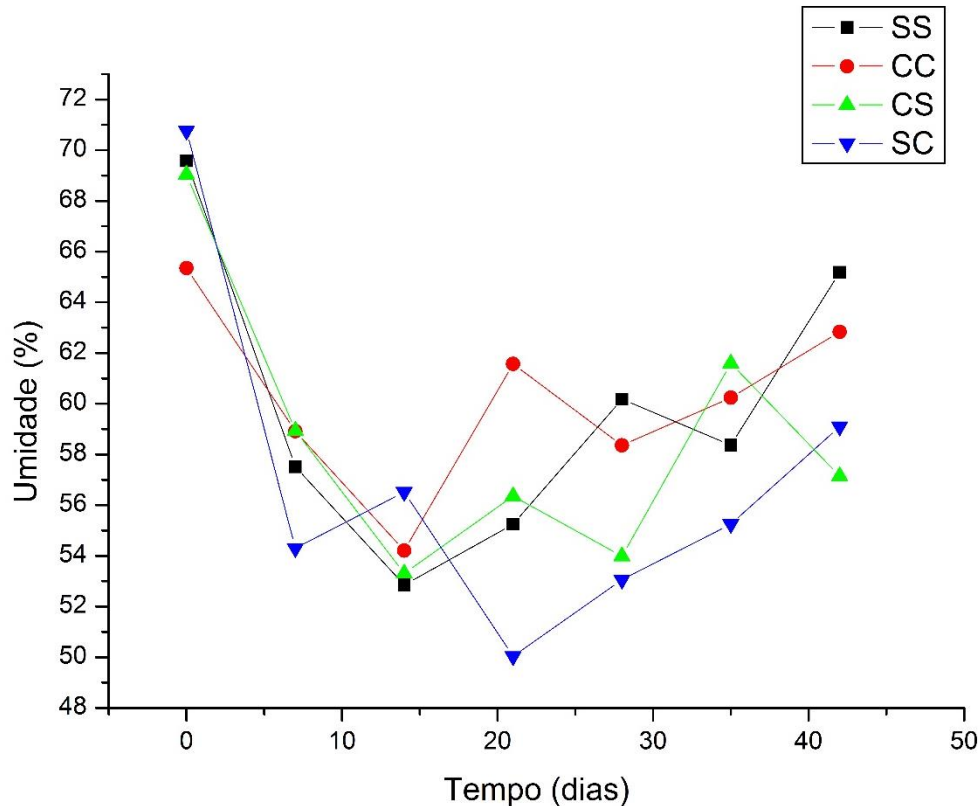


Figura 32. Comportamento da umidade durante o processo de compostagem.
Fonte: Autoria própria.

Ao longo do processo de compostagem observa-se que a umidade nos tratamentos esteve dentro da faixa de 50 a 60%, o que segundo Kiehl (1985), está dentro dos limites desejáveis para esse parâmetro. Notou-se que mesmo utilizando ar quente nos tratamentos CC e CS, não ocorreu um maior ressecamento do material em relação ao SS e SC.

O monitoramento da umidade é importante pelo fato de valores abaixo do ideal reduzir a atividade dos micro-organismos e, valores acima do ideal são prejudiciais para o processo de compostagem. Caetano (2014) constatou em seu trabalho que a fase termofílica não foi alcançada possivelmente pelo fato do alto teor de umidade dos compostos que permaneceu na faixa de 70%.

5.10 SÓLIDOS VOLÁTEIS

A Figura 33 apresenta os valores de sólidos voláteis ao longo dos 42 dias de processo de compostagem. Os valores foram decrescendo ao longo do processo, sendo que a redução dos valores iniciais de sólidos voláteis nos tratamentos SS, CC, CS e SC foram de 5,0%, 4,8%, 5,0% e 5,0% respectivamente.

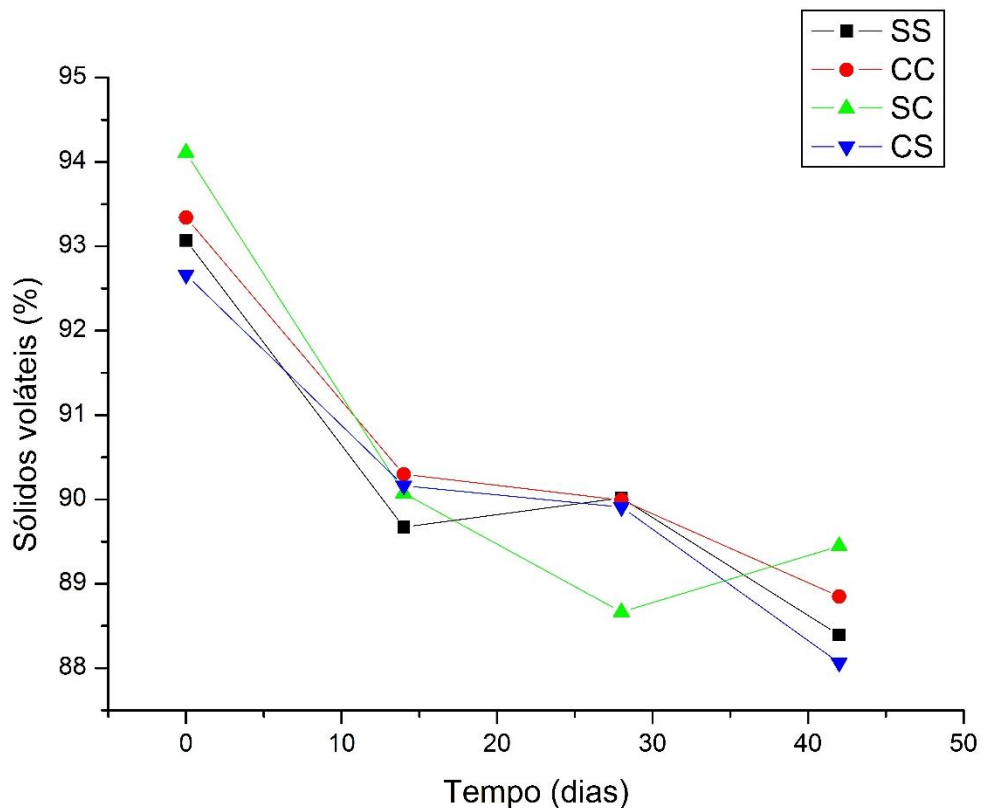


Figura 33. Comportamento dos sólidos voláteis durante o processo de compostagem.

Fonte: Autoria própria.

Segundo Pereira Neto (2007) um processo de compostagem é considerado eficiente se apresentar redução média do teor inicial de sólidos voláteis de 40%. Esta proporção de redução não ocorreu no presente trabalho, o que se faz presumir estar relacionada com a baixa redução do carbono total.

Ismael et al. (2013) avaliou a compostagem de resíduos de cascas de frutas e verduras, esterco bovino, folhas de mangueira e grama, obtendo no final do processo o valor médio de redução de sólidos voláteis de 43,7%. Já Caetano, avaliando esterco bovino e palha de cana de açúcar com adição de EMs obteve redução de aproximadamente 15%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de EMs nos tratamentos CC e SC não apresentou diferenças que puderam ser notadas em relação aos demais tratamentos. Tal fato pode ser explicado pelo fato dos resíduos utilizados no processo de compostagem já possuir os microorganismos considerados como EMs. Desse modo, o comportamento de bactérias heterotróficas, actinomicetos, fungos filamentosos, leveduras e bactérias fermentadoras de lactose foram semelhantes nos quatro tratamentos.

A utilização do sistema de aquecimento nos tratamentos CC e CS não apresentou diferença com os tratamentos sem a utilização do aquecimento, visto que nos tratamentos SS e SC, a fase termofílica foi alcançada. Uma das causas possíveis é que a vazão de ar dos exaustores utilizados foi insuficiente para aquecer a massa de resíduo.

Em relação aos parâmetros físico-químicos analisados constatou-se que todos os tratamentos apresentaram comportamento semelhante, ressaltando assim que a quantidade de EMs adicionado ao sistema não foi o suficiente para prover diferença entre os tratamentos.

Diante disso, sugere-se para estudos posteriores aumentar a vazão de ar inserida no processo de compostagem, além de buscar utilizar materiais que propiciem uma relação C/N mais adequada para o processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2009. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm>. Acesso em: outubro, 2014.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2010. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm>. Acesso em: outubro, 2014.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm>. Acesso em: outubro, 2014.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em: outubro, 2014.

ANVISA. **Tratamento e disposição final dos RSS**. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/cc06fe004745928b9ad8de3fbc4c6735/Tra tamento+e+Disposi%C3%A7%C3%A3o+Final.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/cc06fe004745928b9ad8de3fbc4c6735/Tra%20tamento%20e%20Disposi%C3%A7%C3%A3o%20Final.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: novembro, 2014.

APHA, AWWA & WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC : American Public Health Association, 1998.

ARAGÃO, J. M. S.; SANTOS, S. M.; ARAÚJO. Ocorrência de actinomicetos com atividade antifúngica em compostagem de resíduos sólidos. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000.

ARAÚJO, M. G. C. **Controle microbiológico e atividade enzimática em compostagem de resíduos de poda de árvore e lodo de esgoto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2011.

BERNARDES, R. S.; SOARES, S. R. A. **Fundamentos de respirometria no controle da poluição da água e do solo**. Editora Universidade de Brasília: Finatec, 2005.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BONFIM, F. P. G.; et al. **Caderno dos Micro-organismos Eficientes (EM):** Instruções práticas sobre o uso ecológico e social do EM. 2. ed. Viçosa: 2011.

BORGES, W. L.; PASSOS, S. R.; ALMEIDA, A. M.; PEIXOTO, R. T. G.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Efeito da aplicação de rochas silicáticas sobre a comunidade microbiana durante o processo de compostagem. **Espaço & Geografia**. v. 9, n. 2, p.195-214, 2006.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Diário oficial. Brasília, DF, 23 de dezembro de 2010.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto substrato**. 2008. 124f. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes. Aracaju, 2008.

CAETANO, M. I. **Micro-organismos Eficientes (EM's) na compostagem de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino**. 2014. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

CATRAL. **Caixas plásticas e térmicas**. Disponível em: <<https://www.catral.com.br/product.aspx?idproduct=6621080&iddept=78>>. Acesso em: setembro, 2014.

COELHO, L. I. G. **Compostagem de resíduos agro-industriais: monitorização do processo e avaliação da qualidade do composto**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Algarve. Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais. 2007.

DAY, M., SHAW, K. Processos Biológicos, químicos, físicos del compostaje. In: **Stollella, P. & Kahn, B. (eds.)**, Utilización de compost en sistemas de cultivo hortícola. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 17-50, 2005

EMBRAPA. **Tratamento de resíduos sólidos**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAMN-2009-09/19890/1/textoresiduos.pdf>>. Acesso em: novembro, 2014.

ENSIGN, J. C. Formation, properties, and germination of actinomycetes spores. **Annual review microbiology**. Boston, v.32, p. 185-219, 1978.

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Boca Raton: CRC PRESS, 1997.

FORTES, N. L. P.; EVANGELISTA, F. O.; NETO, P. F.; SILVA, E. M. A. M.; SILVA, F. C.; BALLESTERO, S. D. Quantificação da liberação de C-CO₂ e relação C/N durante a compostagem de lixo urbano. In: **IV Congresso Internacional de Cooperação Universidade-Indústria**. São Paulo, 2012.

FUNDAÇÃO DEMÓCRITO ROCHA. **Compostagem e minhocultura**. Disponível em: <<http://fdr.com.br/formacao/2013/compostagem-e-minhocultura/fatores-que-influenciam-na-compostagem/>>. Acesso em: novembro, 2014.

FUREDY, C. Reduzindo os Riscos para a Saúde do Uso do Lixo Orgânico Sólido Urbano. **Revista Agricultura Urbana**. n.3, março, 2001.

GARG, V. K.; GUPTA, R. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 74, n.1, p. 19-24, 2011.

GOMES, A. P. D. **Fundamentos da compostagem de resíduos**. 2001. 333 f. Dissertação (Doutorado em Ciências aplicadas ao ambiente) – Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2001.

GONÇALVES, V. P. **Eliminação de *Escherichia coli* shigatoxigênica não-O157 em compostagem de esterco bovino**. 2006. 56 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

HAUG, R.T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Lewis, Boca Ratón, 1993.

HECK, K.; MARCO, E. G.; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; DER SAN, S. T. 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.

HERBETS, R. A. COELHO, C. R. A.; MILETTI, L. C.; MENDONÇA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**. v.6. n. 1. Junho, 2005.

HIGA, T.; PARR, J. F. **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Atami: International Nature Farming Research Center, 1994.

HOFFMEISTER, D; GERMANI, J. C.; SAND, S. T. V.D. Characterization of bacterial population during composting of municipal solid waste. **Acta Scientiae Veterinarie**. v.33, p. 283-290, 2005.

INÁCIO, C. T.; MILER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2009.

ISMAEL, L. L.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, C. A. S.; FARIAS, E. T. R. Avaliação de composteiras para reciclagem de resíduos orgânicos em pequena escala. **Revista Verde**. v. 8, n. 4, p. 28-39, out-dez, 2013.

JUSOH, M. L. C.; MANAF, L. A.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. **Irian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**. 2013.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda: 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem “Maturação e qualidade do Composto”**. Piracicaba. 2002. 171p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 Ed. Piracicaba: Potafos, 1997.319p.

MARAGNO, E. S; TROMBINI, D. F.; VIANA, E. O uso de serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 12, n. 4, p.355-360, 2007.

MARQUES, M. HOGLAND, W. Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas. In: **XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 2002. México.

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.** 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Instrução normativa nº25, de 23 de julho de 2009. **Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes destinados à agricultura.** 2009

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: setembro 2014.

NORD, E. Qualidade química na compostagem de resíduos urbanos com inoculação biológica. **Revista de Estudos Sociais.** v. 15 n. 30. p. 149-174, 2013.
OUHDOUCH, Y.; BARAKATEA, M.; FINANCEB, C.; Actinomyces of Moroccan habitats: in Isolation and screening for antifungal activities. **Eur. J. Soil Biol.** V.37, 2001, p. 69-74. Nancy – França.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** 1 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

PESSIN N. et al. Métodos de transformação e aproveitamento da fração orgânica: minimização da quantidade de resíduos dispostos em aterro. In: **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PINTO, D. M. C. et al. Procedimento para elaboração de resíduo sólido urbano doméstico padrão. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro, v. 5. n. 1/2. 2000.

PIRES, A. B. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos.** 2011. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2011.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>>. Acesso em: novembro 2014.

PROSAB. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e Valorização**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabbidonefinal.pdf>>. Acesso em: novembro, 2014b.

RYNK, R. **On-Farm Composting Handbook**. Northeast Regional Agriculture Engineering Service. New York: Cooperative Extension, 1992.

RODRIGUES, A. Q.; HAANDEL, A.; CAVALCANTI, P. F. F. Caracterização das bactérias heterotróficas de sistema de lodo ativado, geradas a partir de esgoto bruto e esgoto digerido. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2005.

SÁ, E. V. M. **Validação de um modelo de compostagem usando um compostor doméstico**. 2009. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade de Aveiro, 2009.

SANTOS, B. M. **Metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para secagem de produtos agrícolas**. 2004. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SANTOS, D. A. D.; FLORES, M. **Compostagem acelerada de resíduos alimentares utilizando o acelerador de compostagem Embiot®**. Limeira: Monografia (Graduação) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, 2012.

SANTOS, J. A. A.; MICHELS, R. N. Influência da temperatura, irradiação solar e poluição sobre o funcionamento de painéis fotovoltaicos: um estudo de caso. **Revista Fatecnológica**.v. 5, n. 1, 2012.

SHARMA, A.; SHARMA, R.; ARORA, A.; SHAH, R.; SINGH, A.; PRANAW, K.; NAIN, L. Insights into rapid composting of paddy straw augmented with efficient microorganism consortium. **Int J Recycl Org Waste Agricult**. 2014.

SIQUEIRA, F. G. **Efeito do Teor de Nitrogênio Inoculantes e Métodos de Compostagem para Cultivo de *Agaricus blazei***. 2006. 124f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Lavras. Lavras, MG, 2006.

SOUZA, F. C.; PEREIRA NETO, J. T.; CEBALLOS, B. S. O. Avaliação da compostagem mesofílica e termofílica. In: **VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2002.

SPLITTSTOESSER, D. F. Fungi of importance in processed fruits. In: ARORA, D. K.; MUKERJI, K. G.; MARTH, E. H. (Eds.) **Handbook of Applied Mycology -Foods and Feeds**. New York: Marcel Dekker Inc., 1991. v. 3 ,ap. 7, p. 201-219.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.Ed. Porto Alegre: Dpto. de solos da UFRGS. 1995, 174p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

TROMBIN, D. F.; VIANA, E.; RÉUS, G. Z.; BALLMANN. A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma – SC. In: **XXV Encontro Nac. de Eng. De Produção** – Porto Alegre – RS, 2005.

VICENTINI, L. S.; CARVALHO, K.; RICHTER, A. S. Utilização de Microorganismos Eficazes no Preparo da Compostagem. **Ver. Bras. de Agroecologia**. v. 4. n.2. novembro, 2009.

WANGEN, D. R. B.; PENA, P. R. A.; CAMARGO, A. P. F.; SANTOS, M. S.; PIRES, M. R. Emprego de inoculante à base de micro-organismos na compostagem de cama de aviário. **Enclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer. v.9. n. 17. Goiânia. 2013.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. PROSAB. Rima Artes e Texto – São Carlos-SP, 2003.

ZANTA, V. M. et al. Resíduos sólidos, saúde e meio ambiente: impactos associados aos lixiviados de aterro sanitário. In: **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.