UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

JÚLIA INFORZATO GUERMANDI

Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2015

JÚLIA INFORZATO GUERMANDI

Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Assoc.

Valdir Schalch

São Carlos

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

I929a Inforzato Guermandi, Júlia
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS PRODUZIDOS
PELAS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM DA
FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COLETADA
EM ESTABELECIMENTOS ALIMENTÍCIOS DE SÃO CARLOS/SP /
Júlia Inforzato Guermandi; orientador Valdir Schalch.
São Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2015.

1. resíduos sólidos orgânicos. 2. revolvimento. 3.
trituração. 4. leiras de alambrado. 5. Eisenia foetida.
6. Política Nacional de Resíduos Sólidos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **JULIA INFORZATO GUERMANDI**.

Título da dissertação: "Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP".

Data da defesa: 02/10/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Valdir Schalch (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Profa. Dra. **Luciana Miyoko Massukado**
(Instituto Federal de Brasília/IFB)

APROVADA

Prof. Dr. **Marcus Cezar Avezum Alves de Castro**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP – Rio Claro)

APROVADA

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Aos interessados na área de resíduos sólidos e de compostagem
Aos que separam minuciosamente os restos de casca de frutas e legumes e desfrutam do
prazer de ver sementinhas germinando e minhocas surgindo em suas composteiras

AGRADECIMENTOS

Gostaria de esclarecer de que este tópico é tão importante quanto os elementos textuais da dissertação. Em todo o momento estive aparada por amigos, familiares, professores, técnicos e funcionários, sendo que esse apoio foi fundamental para eu me manter firme, andar para frente e continuar.

Aos meus pais, Miro e Deily, pelo exemplo e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Ao meu pai, “mestre da gambiarra”, um agradecimento especial pelo auxílio técnico prestado na concepção das leiras.

Aos 19 estabelecimentos envolvidos: Pé na praça, Barone, La vila, Tempero Manero, Laranjeiras, Dona Fruta, Top Açaí, Frei Damião, Mamãe Natureza, Vovô moço, Bistrô, Creche SEMEI, Lanchonete Paladar, Tempero Manero Av. São Carlos, Recanto das Frutas, Farol Restaurante, Alojamentos da USP e Restaurante Donnadora. Obrigada por aceitarem participar do projeto e tornarem possível sua execução! Agradeço desde o proprietário por aceitar meu convite aos funcionários por colaborarem na separação dos resíduos.

A Carol Bianco, ao meu irmão Vitor e ao Bruno “Macau” de Paula pela ajuda braçal, moral e intelectual que foi importantíssima! Gratidão meus companheiros! Carol, minha amiga e desbravadora da compostagem, obrigada por toda ajuda nas minhas coletas, trituração dos resíduos, “lodadas” na testa, compartilhamento de desventuras, afogamento de mágoas e apoio pessoal; Vitor, obrigada pela injeção de ânimo e pela boa vontade, por me fazer rir das minhas desgraças, pelo apoio ao abdicar de uma semana das suas férias para vir para São Carlos me ajudar a coletar, triturar e terminar de preencher as leiras no dia do seu aniversário. É muita força jovem!; Bruno, obrigada pela amizade, conversas compostáveis, apoio braçal intenso, maceramento das amostras aos finais de semana, ajuda nas análises e trocas de e-mails químicos. Além do mais, agradeço aos três por me aguentarem quando eu mesmo não me aguentava!

A Fernanda Vilela, pela ajuda nas coletas, dimensionamentos, trituração e anotações de pesagens.

Ao Willame Cavalcanti “Quixeramobim”, pela disposição, boa vontade e ânimo em acordar sexta de manhã e me ajudar a revirar as leiras.

Ao Alcino, quebra-galho, encaixador de peças aleatórias, consertador das engrenagens do mundo USPiano, por atender minhas milhares ligações e solicitações de consertos.

Gustavo Romero, pela amizade, paciência e disposição em andar a Av. Getúlio Vargas inteira até encontrar os benditos pallets.

Ao Leonadro Dal Picolo e a Anne Negrão, pela ajuda na contagem das minhocas, reviramentos e eventuais alocação de compostos.

Ao Felipe Pucci, pelos planejamentos, esboços de leiras e reviramentos.

Ao Júlio, Bianca e Sabrina do Laboratório de Saneamento, pela colaboração durante minha pesquisa.

A Prof.^a Maria Olímpia e ao Leandro Mendes do Laboratório de Química Ambiental pelos esclarecimentos de dúvidas e ao Darlan Silva pela imensa ajuda e paciência nas análises.

Ao Prof. Wilson Tadeu da Embrapa Instrumentação, pelas conversas e pelo apoio nas análises.

Ao Zé Luís do Laboratório de Solos, pela prestatividade e simpatia durante os ensaios granulométricos.

A Prof.^a Sandra, pela oportunidade e acolhimento, e as meninas do LAMAM de Araras pela ajuda nas análises.

Ao Prof. Wanderley de Melo da UNESP Jaboticabal pelos esclarecimentos nas trocas de e-mail.

Ao pessoal de Araras, Marquinho, Gratidão e Jéssica's, pela hospedagem em todos os momentos que precisei e pelas conversas que me descontraíam entre uma análise e outra.

Ao Carlos Radaik, pela colaboração na distribuição dos compostos.

Ao pessoal do transportes, pelo auxílio na coleta.

Ao pessoal do NEPER, pelas sugestões e conselhos na prévia da minha apresentação e a Joyce Celestino, que apesar de não ser diretamente do NEPER, também contribuiu bastante.

Ao pessoal do Grupo de Resíduos Sólidos da Federal, especialmente a Cristine Santiago, Camila Milano e a Prof.^a Érica Pugliesi pelas discussões, conversas, sugestões e todo o apoio e motivação.

A toda a galera que morou comigo nesses dois anos aqui em São Carlos, Léo, Anne, Leandro, Antônio, Boto, Carla, Loide, Txê, Chapinha e Alfredinho, pelos almoços, conversas, desentendimentos seguidos de entendimentos e risadas.

Ao Leonardo Biral, pela amizade, pelas identificações botânicas e por todo apoio nos meus momentos de crise.

A Bárbara Junqueira e ao Filipe Doranti, por aceitarem minha ideia maluca e pelo total apoio nas filmagens e edição do vídeo.

A todos que me encontraram caminhando na USP com um isopor enorme e cheio de amostras e me ajudaram no carregamento e desobstrução de caminho.

Aos amigos de São Carlos, por tornarem minha vida muito mais agradável, colorida e cheia de novas ideias. Especialmente o pessoal do Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento, pelas alegrias, risadas e festas.

Ao querido Prof. Marcelo Garcia da UNESP de Rio Claro, pela abertura de portas ao mundo acadêmico, amizade, ajuda em todos os momentos que precisei e pela esperança de um corpo docente mais íntegro e que leve o aluno em consideração.

Aos membros de minha banca avaliadora que tanto contribuíram para esta dissertação, Luciana Massukado e Marcus Castro.

Ao meu orientador, Prof. Valdir Schalch, pela oportunidade concedida.

“Quem caminha sozinho pode chegar até mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe”

Clarice Lispector

Gratidão por serem parte e por me ajudarem a fechar mais um ciclo de minha vida!

“Isto nós sabemos – a Terra não pertence ao homem – o homem pertence à
Terra.

Isto nós sabemos.

Todas as coisas estão ligadas como o sangue que une uma família.

Todas as coisas estão ligadas.

Tudo o que acontece à Terra – acontece aos filhos da Terra.

O homem não teceu a teia da vida – ele é meramente um fio dela.

O que quer que ele faça à teia, ele faz a si mesmo.”

Declaração Chefe Seattle

RESUMO

GUERMANDI, J. I. Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP. 2015. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Apesar dos elevados teores de matéria orgânica nos resíduos domiciliares e da implantação da compostagem para os resíduos sólidos orgânicos ser prevista pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), a adoção da prática como forma de tratamento ainda apresenta ações incipientes no país. Este trabalho teve como proposta a coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) produzida em 19 estabelecimentos comerciais de São Carlos para a realização da compostagem e vermicompostagem. A primeira etapa do trabalho consistiu na verificação da adaptação dos proprietários dos estabelecimentos em relação ao sistema de segregação proposto e na avaliação da percepção dos mesmos em relação à separação dos resíduos orgânicos e da compostagem, sendo esta análise realizada através da aplicação de questionários. Na segunda etapa, foi realizada a compostagem em quatro leiras cilíndricas de alambrado de 1,2 m de diâmetro e 1 m de altura. Testou-se os seguintes tratamentos em cada leira: trituração e revolvimento, não trituração e revolvimento, não trituração e não revolvimento (controle) e não trituração e não revolvimento com tubos de PVC. Verificou-se, através do monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e de análises estatísticas, as diferenças e similaridades entre os tratamentos. A terceira etapa iniciou-se após a estabilização dos compostos. Foram inoculadas 500 minhocas da espécie *Eisenia foetida* em uma quantia entre 20-25 kg de composto retirado das leiras revolvidas e os mesmos parâmetros da etapa anterior foram monitorados na vermicompostagem. Os resultados encontrados na etapa 1 indicaram que: os estabelecimentos realizaram a correta segregação dos resíduos, mostrando-se bem adaptados; quase a metade dos entrevistados desconheciam a técnica de compostagem; e, embora a maioria realizasse a separação da FORSU, a mesma era coletada de forma não diferenciada e encaminhada diretamente ao aterro. Na etapa 2, constatou-se que: o revolvimento influenciou na manutenção da temperatura termofílica por períodos mais prolongados, na correção da umidade, nos valores de pH, nitrogênio, relação C/N, CRA, metais, macro e micro nutrientes e granulometria; em relação à trituração, com exceção da granulometria, os demais parâmetros monitorados foram similares a leira não triturada, demonstrando pouca influência de sua adoção no processo de compostagem; na leira composta por tubos de PVC, os registros de temperatura foram menores que as demais, de forma que o dispositivo ocasionou um resfriamento excessivo. Concluiu-se que somente a etapa 2 foi suficiente para o atingimento dos limites legais estabelecidos para os fertilizantes orgânicos, sendo os benefícios da adoção da vermicompostagem na etapa 3 relacionados aos incrementos das propriedades agronômicas de fertilidade de solo.

Palavras-chave: resíduos sólidos orgânicos, revolvimento, trituração, leiras de alambrado, *Eisenia foetida*, Política Nacional de Resíduos Sólidos

ABSTRACT

GUERMANDI, J. I. **Evaluation of physical, chemical and microbiological parameters of an organic fertilizer produced by the composting and vermicomposting of organic fraction of municipal solid wastes collected in São Carlos city.** 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Despite the presence of high levels of organic matter in household wastes and the implementation of composting for organic wastes provided by the National Policy on Solid Waste (Law No. 12,305 / 10), the composting practice as a treatment is still incipient in Brazil. This study aimed at the selective collection of the organic fraction of municipal solid wastes (OFMSW) produced in 19 establishments in São Carlos city for use in composting and vermicomposting techniques. The first stage of the study consisted in an investigation on the adaptation to the segregation system proposed and evaluation of the owners' perceptions regarding the separation of organic waste and composting through questionnaires. The second stage was devoted to the composting. The collected waste was deposited onto four cylindrical piles of 1.2 m diameter and 1 m height. The treatments evaluated in each pile were trituration and turning, no trituration and turning, no trituration and no turning (control), and no trituration and no turning of PVC pipes. The monitoring and statistical analysis of the physical, chemical and microbiological parameters revealed differences and similarities in each treatment. The third stage started after the stabilization of the compost. Five hundred earthworms of *Eisenia foetida* specie were inoculated in 20-25 kg of compost taken from two piles and the same parameters of the previous step were monitored. In step 2, the turning influenced the maintenance of the thermophilic stage for longer periods, humidity correction, values of pH, nitrogen, C/N relation, WRC, metals, micro and macronutrient and particle size. Except for the particle size, trituration exerted little influence on the parameters. The lowest temperatures were recorded in a pile composed of PVC pipes. It can be concluded that only the second step was sufficient for the achievement of legal limits for organic fertilizers and the benefits of vermicomposting as a post treatment technique (step 3) are related to the increase in the agronomic properties of soil fertility.

Keywords: organic solid waste, turning, trituration, fence pile, *Eisenia foetida*, National Solid Waste Policy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos resíduos segundo o artigo 13 da Lei 12.305/2010. Fonte: Schalch (2013)	33
Figura 2 - Antiga prática de compostagem realizada na Horta municipal de São Carlos - à esquerda leiras de compostagem e à direita canteiros de hortaliças que utilizavam o composto produzido. Fonte: Vianna (2007) <i>apud</i> Massukado (2008).....	36
Figura 3 - Esquema simplificado do processo de compostagem. Fonte: Fernandes e Silva (1999)	37
Figura 4 - Sistematização e distinção entre o modelo centralizado e descentralizado no estado de São Paulo. Fonte: Siqueira (2014)	43
Figura 5 – Porcentagem extintas e ativas nas experiências centralizadas e descentralizadas no estado de São Paulo. Fonte: Siqueira (2014).....	43
Figura 6 - Manual de compostagem das composteira doméstica distribuídas no Projeto Composta São Paulo. Fonte: Morada da Floresta (2014 a)	45
Figura 7 - Discussões do grupo “Composta São Paulo” do Facebook.....	46
Figura 8 - Disseminação da prática de compostagem através dos envolvidos no projeto. Fonte: Morada da Floresta (2015)	47
Figura 9 - morador depositado seus resíduos no PEV (esquerda) e coleta das bombonas no bairro (direita). Fonte: Abreu (2013).....	48
Figura 10 - Utilização do composto orgânico pelas famílias envolvidas na Revolução dos Baldinhos. Fonte: Abreu, 2013.....	49
Figura 11 – Placa localizada em frente ao terreno com as instruções do que dispor no recipiente de coleta (esquerda) e instruções para o uso da composteira comunitária (direita) 50	
Figura 12 – Pátio de compostagem localizado no campus 2 da USP São Carlos	51
Figura 13 - Variação do pH durante a compostagem. Fonte: Peixoto (2005)	58
Figura 14 - Ranking de importação de fertilizantes referentes ao período de 2006-2009. Fonte: FAO, 2015	66
Figura 15 - Localização dos restaurantes que aderiram ao Projeto Separe!. Legenda: □ Limite USP São Carlos; A: Pé na praça, B: Barone, C: La vila, D: Tempero Manero, E: Laranjeiras, F: Dona Fruta, G: Top Açaí, H: Frei Damião, I: Mamãe Natureza, J: Vovô moço, K: Bistrô, L: Creche SEMEI, M: Lanchonete Paladar, N: Tempero Manero Av. São Carlos, O: Farol Restaurante, P: Recanto das Frutas, Q: Restaurante Donnadora, R: Alojamento Bloco C, S: Alojamento Bloco E	74
Figura 16 – Esquerda: Leiras de Alambrado. Dimensão: altura = 1,0 m, diâmetro = 1,2 m, volume = 1,13 m ³ , perímetro = 3,8 m. Direita: Layout da distribuição das leiras no Laboratório de Compostagem. Vista Superior. Legenda: □ Área destinada para o revolvimento; ○ Leiras de Alambrado	75
Figura 17 - Impermeabilização dos <i>pallets</i> com verniz.....	75
Figura 18 – A: Fixação da lona nos <i>pallets</i> com tachinhas percevejo; B: Utilização de tachinhas percevejo para fixação; C: Alocação da tela artística; D: Inserção da tela mosquiteiro sobre o suporte; E: Estrutura finalizada.	76
Figura 19 - “Calço” para inclinação e escoamento do chorume.....	76
Figura 20– Esquerda: Tubulações de PVC utilizadas nas leiras estáticas; Direita: distribuição dos orifícios ao longo do tubo de PVC.....	77

Figura 21- A: Coleta nos restaurantes; B: alocação dos sacos e baldes no veículo; Resíduos coletados no dia 27/06 (C) e 2/07 (D) E: descarregamento dos resíduos coletados; F: homogeneização dos resíduos para o preenchimento das leiras	79
Figura 22– Preenchimento das leiras até a altura final	80
Figura 23– Grama batatais (<i>Paspalum notatum</i>) (esquerda) e adição da serragem (direita) ...	81
Figura 24- Triturador Tapp 200 utilizado (esquerda) e resíduos após a trituração (direita)	82
Figura 25 - Medição da densidade em balde graduado.....	82
Figura 26- Caixas de madeiras utilizada para a vermicompostagem.....	83
Figura 27– A: alocação dos compostos nas caixas; B: inserção das minhocas nas caixas; C: tamanho médio das minhocas adicionadas; D e E: cobertura com folhas secas; F: Estrutura finalizada e sensor inserido	84
Figura 28- Esquerda: trituração das amostras; Direita: moinho de facas utilizado	86
Figura 29- Resíduos antes (esquerda) e depois (direita) da passagem pelo moinho de facas..	86
Figura 30– Esquerda: Fixação do espagete termocontrátil no sensor; Direita: Termômetro MT-405	87
Figura 31- Esquerda: quarteador utilizado para homogeneizar as amostras; Direita: conjunto de peneiras e agitador mecânico utilizado nos ensaios	88
Figura 32- Pesagem de 10 mg realizada em balança analítica com precisão de cinco casas decimais	90
Figura 33- Filtração e vácuo (esquerda) e titulação (direita) com NaOH.....	92
Figura 34– Ensaio de capacidade de retenção de água	93
Figura 35– Adição dos reagentes no tubo de teflon nos (esquerda) e filtração após a digestão no micro-ondas (direita).....	95
Figura 36- Preparação das amostras (esquerda) e posterior diluição (direita)	97
Figura 37– Detecção de coliformes termotolerantes através da exposição de cartelas de incubação a luz UV	98
Figura 38– Esquerda: Pesagem do composto no fluxo; Direita: kit utilizado no 1-2 test para detecção de <i>Salmonella</i>	99
Figura 39 – Esquerda: Porcentagem de adesão ao projeto SEPARE!; Direita: Motivos alegados pelo proprietário a não adesão ao projeto	100
Figura 40 - Respostas dos estabelecimentos em relação respeito do questionário aplicado..	101
Figura 41 - Rejeitos encontrados nos sacos de coleta de resíduos orgânicos	103
Figura 42 - Proliferação de cogumelos e plântulas em LC_NTNR (esquerda) e LNTR (direita). Data: 25/07/2014.....	104
Figura 43 - Revolvimento 11/07. Esquerda: Abertura do alambrado e “desmanche” das leiras; Direita: estratificação das camadas de grama, serragem e resíduos (LTR)	105
Figura 44 - Revolvimento 25/07. Esquerda: Presença de gases e vapores ao se desmontar as leiras; Direita: Composto pouco decomposto com a presença de restos de frutas e legumes pouco decompostos	105
Figura 45 - Esquerda: Composto da LNTR (não triturada); Direita: tela mosquiteiro adicionada na parte interna das leiras de alambrado. Data: 08/08/14.....	106
Figura 46 - Diferença de coloração entre LPVC_NTNR, LTR, LNTR e LC_NTNR. Amostras secas e não peneiradas no dia 22.08 (esquerda) e amostras secas e peneiradas do dia 5/09 (direita).....	106
Figura 47 - Composto da LTR já bem estabilizado. Data: 03/10/20014	107
Figura 48 - Materiais resistentes a compostagem em LNTR. Esquerda: casca de ovo; Direita: caroço de manga parcialmente decomposto. Data: 03/10/20014.....	107

Figura 49 - Diminuição da altura das leiras conforme o tempo de compostagem. Legenda: LPVC_NTNR (—■—) LTR (—●—) LNTR (—★—) LC_NTNR (—▼—)	108
Figura 50 - Composto final LPVC_NTNR (esquerda) e LC_NTNR (direita)	108
Figura 51- Variação temporal das temperaturas em LTR. Legenda: Revolvimento () ; Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—★—) e base (—▼—)	112
Figura 52- Variação temporal das temperaturas em LNTR. Legenda: Revolvimento () ; Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—★—) e base (—▼—)	112
Figura 53 – Variação temporal das temperaturas em LC_NTNR. Legenda: Temperatura: ..	113
Figura 54 – Variação temporal das temperaturas em LPVC_NTNR. Legenda: Temperatura:	113
Figura 55- Variação temporal do pH em LTR (—●—), LNTR (—★—), LC_NTNR (—▼—) e LPVC_NTNR (—■—)	115
Figura 56- Variação temporal da umidade em LTR (—●—), LNTR (—★—), LC_NTNR	116
Figura 57- Variação temporal da matéria orgânica em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR	118
Figura 58- Variação temporal de C (—■—), N(—*—) e relação C/N (—■—) em LTR	121
Figura 59 - Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LNTR.	121
Figura 60- Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LC_NTNR	122
Figura 61 - Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LPVC_NTNR	122
Figura 62 - Variação temporal do nitrogênio em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR (■) e LPVC_NTNR (■)	123
Figura 63 - Evolução temporal da CTC em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR	125
Figura 64- Curva granulométrica dos compostos finais. Legenda: LTR (—●—), LNTR (—★—) e LC_NTNR (—▼—) e LPVC_NTNR (—■—)	131
Figura 65 - Compostos após 60 dias com a inoculação da <i>E. foetida</i> ; Esquerda: composto seco; Direita: composto peneirado	140
Figura 66- Variação da temperatura na caixa 1. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)	142
Figura 67- Variação da temperatura na caixa 2. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)	142
Figura 68- Variação da temperatura na caixa 3. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)	143
Figura 69- Variação da temperatura na caixa 4. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)	143
Figura 70 - Variação temporal do pH nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)	144
Figura 71- Variação temporal da umidade nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)	145
Figura 72- Variação temporal da matéria orgânica nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)	146
Figura 73- Curva granulométrica dos compostos após 60 dias de vermicompostagem. Legenda: Caixa 1 (—■—); Caixa 2 (—●—); Caixa 3 (—●—); Caixa 4 (—●—)	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura e tempo de manutenção para destruição de alguns organismos. Fonte: EPA (2005) <i>apud</i> Andreoli (2001).....	54
Tabela 2 - Porcentagem mássica, quantia compostada e relação C:N utilizada em diferentes trabalhos de co-compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda.....	55
Tabela 3 - Relação C:N de diferentes resíduos orgânicos utilizados na compostagem.....	55
Tabela 4 – Diferenças e entre o Decreto nº86.955 e nº 4954/2004.....	67
Tabela 5 - Parâmetros admitidos pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos e limites de contaminantes admitidos pela I.N nº 27 de 5 de junho de 2006 para fertilizantes orgânicos.....	71
Tabela 6 – Classificação granulométrica dos compostos de acordo com a I.N nº 25 de 23 de junho de 2009.....	72
Tabela 7 – Cronograma de revolvimento de LTR e LNTR.....	78
Tabela 8 - Quantidade de resíduos (kg) adicionada em cada dia de preenchimento.....	80
Tabela 9– Quantia total de cada tipo de material (Kg) adicionado nas leiras (base úmida)....	80
Tabela 10 - Quantia total de cada tipo de material (Kg) adicionado nas leiras (base seca)....	80
Tabela 11- Densidade média (kg.m^{-3}) dos resíduos não triturados, triturados, serragem e grama.....	81
Tabela 12 - Quantidade de composto e de minhocas, densidade e teor de umidade nas caixas de vermicompostagem.....	83
Tabela 13- Parâmetros analisados na compostagem e vermicompostagem.....	85
Tabela 14 - Características dos compostos finais após 120 dias (LTR e LNTR) e 150 dias (LPVC_NTNR e LC_NTNR) de compostagem.....	109
Tabela 15 - Condições iniciais da mistura dos substratos brutos (base seca).....	109
Tabela 16- Quantia de água (L) adicionada em cada leira.....	117
Tabela 17 - Evolução da Relação CTC/C durante a compostagem.....	125
Tabela 18 - CRA e CE nos compostos finais.....	126
Tabela 19 - Concentração de metais (mg.kg^{-1}) encontrados nos compostos finais.....	127
Tabela 20– Concentração de metais (mg.kg^{-1}) em fertilizantes orgânicos produzidos em diferentes estudos.....	128
Tabela 21- Teores de macro e micronutrientes (mg.kg^{-1}) encontrados nos compostos finais.....	129
Tabela 22– Análise de macro e micronutrientes em fertilizantes orgânicos produzidos em diferentes estudos (mg.kg^{-1}).....	130
Tabela 23- Valores encontrados nos ensaios granulométricos feitos com os compostos produzidos.....	131
Tabela 24- Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP.g^{-1} de M.S*) encontrada nos compostos finais.....	133
Tabela 25 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos compostos finais em cada tratamento.....	135
Tabela 26- Máximos e mínimos dos valores de temperatura, pH, M;O, C, N e relação C/N nos diferentes tipos de tratamento. Os tratamentos seguidos por letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey com $P < 0,05$	136
Tabela 27- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LTR.....	137
Tabela 28- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LNTR.....	138
Tabela 29 - Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LC_NTNR.....	138
Tabela 30- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LPVC_NTNR.....	139

Tabela 31- Características dos compostos antes e depois da adição das minhocas	139
Tabela 32- Quantidade de água (L) adicionada em cada caixa	145
Tabela 33- Variação dos teores de C, N e relação C/N nas caixas 1, 2, 3 e 4.....	147
Tabela 34 - Variação da CTC e da relação CTC/C nas caixas 1, 2, 3 e 4	148
Tabela 35- Valores de CRA e CE encontrados após 60 dias de vermicompostagem	149
Tabela 36- Concentração de metais pesados (mg.kg ⁻¹) antes e após a vermicompostagem ..	150
Tabela 37- Concentração de nutrientes (mg.kg ⁻¹) antes e após a vermicompostagem.....	151
Tabela 38- Valores encontrados nos ensaios granulométricos feitos com os vermicompostos produzidos	153
Tabela 39 - Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP.g ⁻¹ de M.S*) encontrada nos vermicompostos produzidos nas caixas 1, 2, 3 e 4.....	154
Tabela 40 – Registros de temperatura na Etapa 2	174
Tabela 41 – Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na LPVC_NTNR.....	175
Tabela 42- Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na LTR	176
Tabela 43- Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na LNTR	176
Tabela 44 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na LC_NTNR.....	177
Tabela 45 - Registros de temperatura na Etapa 3	177
Tabela 46 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na caixa 1	178
Tabela 47 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na caixa 2	178
Tabela 48 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na caixa 3	178
Tabela 49 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg ⁻¹) na caixa 4	179

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

C – carbono

CE – condutividade elétrica

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

C/N – relação carbono/nitrogênio

CRA – capacidade de retenção de água

CTC – capacidade de troca catiônica

FORSU – fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos

LC_NTNR – leira controle, não triturada e não revolvida

LPVC_NTNR – leira composta por tubos de PVC, não triturada e não revolvida

LNTR leira não triturada e revolvida

LTR – leira triturada e revolvida

MO – matéria orgânica

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

N - nitrogênio

NBR – Norma Brasileira

NMP – número mais provável

ONG – organização não governamental

PEV – ponto de entrega voluntária

pH – potencial hidrogeniônico

RO – resíduos orgânicos

RSU – resíduos sólidos urbanos

UTC – Usina de Triagem e Compostagem

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	32
2. OBJETIVOS	31
2.1 Objetivo Geral	31
2.2 Objetivos Específicos	31
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
3.1 Os Resíduos Sólidos Urbanos no Contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos	32
3.2 Panorama dos RSU: Geração e Destinação	33
3.3 Situação Atual dos RSU no Município de São Carlos	35
3.4 Formas de Tratamento dos RSU	37
3.4.1 Compostagem	37
3.4.2 Vermicompostagem	38
3.4.3 Biometanização	40
3.5 Práticas centralizadas <i>versus</i> práticas descentralizadas no tratamento da FORSU	40
3.5.1 Experiências com descentralização e/ou segregação na fonte na gestão da FORSU	44
3.5.1.1 Projeto Composta São Paulo	45
3.5.1.2 Revolução dos Baldinhos	48
3.5.1.3 Projeto Giro	49
3.5.1.4 Compostagem no bandeirão do Campus da USP São Carlos	50
3.5.1.5 Sistema alternativo de coleta dos resíduos sólidos urbanos no municípios de Ibiporã	51
3.6 Parâmetros físico-químicos envolvidos na transformação da FORSU em fertilizante orgânico	52
3.6.1 Micro-organismos e temperatura	52
3.6.2 Relação C/N e materiais estruturantes	55
3.6.3 pH e transformações do nitrogênio	57
3.6.4 Umidade	60
3.6.5 Aeração e revolvimento	62
3.6.6 Tamanho das partículas	63
3.6.7 Capacidade de troca catiônica (CTC)	63
3.6.8 Outros parâmetros de avaliação da maturação do composto: Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica	65
3.7 Potencial agrônomo e aplicação do composto gerado	66
3.7.1 Legislações referentes à aplicação do composto	67
4. MATERIAS E MÉTODOS	73
4.1 Etapa 1: Apresentação do projeto, aplicação de questionário e avaliação do desempenho dos estabelecimentos no decorrer do projeto	73
4.2 Etapa 2: Compostagem	74
4.2.1 Estruturação e montagem das leiras	74
4.2.2 Tratamentos avaliados em cada leira	77
4.2.3 Operacionalização e preenchimento das leiras	78
4.3 Etapa 3: Vermicompostagem como pós tratamento da compostagem	82
4.4 Análises realizadas nas etapas 2 e 3	84
4.4.1 Coleta e preparo das amostras	85
4.4.2 Parâmetros físicos	86
4.4.2.1 Temperatura	86
4.4.2.2 Umidade	87
4.4.2.3 Granulometria	88
4.4.2.4 Densidade	89
4.4.3 Parâmetros químicos	89
4.4.3.1 Matéria Orgânica	89

4.4.3.2 pH.....	89
4.4.3.3 Carbono e Nitrogênio.....	89
4.4.3.4 Capacidade de troca catiônica.....	90
4.4.3.5 Condutividade Elétrica.....	93
4.4.3.6 Capacidade de Retenção de Água - CRA	93
4.4.3.7 Metais, macro e micronutrientes	94
4.4.3.8 Fósforo	95
4.4.4 Parâmetros Microbiológicos	95
4.4.4.1 Coliformes termotolerantes.....	96
4.4.4.2 Salmonella sp	98
4.5 Análise Estatística	99
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
5.1 Etapa 1.....	100
5.2.1 Acompanhamento visual e revolvimento.....	104
5.2.2 Caracterização do Substrato Bruto.....	109
5.2.3 Monitoramento dos parâmetros físico, químicos e biológicos	110
5.2.3.1 Temperatura	110
5.2.3.2 pH.....	114
5.2.3.3 Umidade	115
5.2.3.4 Matéria orgânica	117
5.2.3.5 Carbono e Nitrogênio.....	119
5.2.3.6 CTC.....	123
5.2.3.7 Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica	126
5.2.3.8 Metais.....	127
5.2.3.9 Macro e micronutrientes	129
5.2.3.10 Granulometria	131
5.2.3.11 Análises microbiológicas	132
5.2.3.12 Compilação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do composto final	134
5.2.3.13 Análise estatística.....	135
5.3 Etapa 3.....	139
5.3.1 Acompanhamento visual.....	139
5.3.2 Monitoramento dos parâmetros físico, químicos e biológicos	140
5.3.2.1 Temperatura	140
5.3.2.2 pH.....	144
5.3.2.3 Umidade	144
5.3.2.4 Matéria orgânica	146
5.3.2.5 Carbono, nitrogênio e relação C/N	147
5.3.2.6 CTC.....	147
5.3.2.7 Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica	148
5.3.2.8 Metais.....	149
5.3.2.9 Macro e micronutrientes	151
5.3.2.10 Granulometria	152
5.3.2.11 Análises Microbiológicas.....	154
6. CONCLUSÕES	155
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	158
8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	159
REFERÊNCIAS.....	160
APÊNDICE A – Folder Com explicações a respeito do Projeto <i>Separe!</i>	172
APÊNDICE B – Cartaz com instruções a respeito do projeto na Moradia Estudantil	173

APÊNDICE C – Planilhas com os dados de medições	174
---	-----

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei ° 12.305), cujo processo de tramitação durou quase 20 anos, foi aprovada em agosto de 2010 e regulamentada em dezembro do mesmo ano pelo Decreto n° 7.404 (BRASIL, 2010 a; BRASIL, 2010 b). Sua concepção e regulamentação apresenta um marco inovador e ousado na implementação da gestão compartilhada do meio ambiente, propugnada pelo art. 225 da Constituição Federal, ao conceber uma abrangente e multiforme articulação entre o poder público das diferentes esferas, o setor econômico empresarial e os demais segmentos da sociedade civil, com vistas à gestão e ao gerenciamento integrado dos resíduos sólidos (JARDIM; VALVERDE; YOSHIDA, 2012).

A PNRS estabelece uma hierarquização na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, de forma que se deve priorizar a ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Dessa forma, somente o que não for passível de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis deve ser encaminhado ao aterro sanitário (BRASIL, 2010 a).

A produção dos resíduos sólidos, tanto em quantidade como em qualidade, tem se intensificado em decorrência das alterações no estilo de vida e nos modos de produção e de consumo da população que acompanham o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e a revolução tecnológica (GOUVEIA, 2012). A geração dos resíduos sólidos urbanos, que englobam os resíduos domiciliares e de limpeza urbana, cresceu, do ano de 2012 para 2013, 4,1 %, superando assim o índice do crescimento populacional de 3,7% no mesmo período (ABRELPE, 2014). Dessa forma, a problemática relacionada ao gerenciamento inadequado dos RSU, que gera impactos ambientais e na saúde da população, vem ganhando destaque no quadro contemporâneo (GOUVEIA, 2012).

Apesar da maioria das campanhas de segregação de resíduos domiciliares estarem vinculadas aos recicláveis, é a matéria orgânica que, embora ainda apresente práticas incipientes de separação na fonte, corresponde a maior porcentagem em peso. Sua correta segregação permite a aplicação de técnicas de tratamento que agreguem valor ao produto gerado, como o caso da compostagem. Entretanto, a eficiência deste processo depende de fatores que propiciem as melhores condições para atuação dos micro-organismos aeróbios (VALENTE et al, 2009), sendo o monitoramento dos parâmetros físico-químicos essencial para um maior controle do processo.

A adoção da compostagem na gestão municipal dos resíduos orgânicos pode proporcionar o aumento no tempo de vida útil de aterros sanitários e diminuir a emissão de gases de efeito estufa (SENG et al, 2013). Além disso, o composto produzido, rico em matéria orgânica e nutrientes, pode ser utilizado para fins agrícolas, sendo inclusive demonstrado por estudos recentes que sua aplicação apresenta um potencial contra o de ataque de pragas em culturas (MEHTA et al, 2014).

O Art. nº 36 da PNRS delega ao titular de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a implantação da compostagem para os resíduos sólidos orgânicos e a articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido (BRASIL, 2010 a). Dessa forma, a utilização da compostagem visando a redução de resíduos enviados à aterros associada ao fornecimento de um composto que atenda aos limites estabelecidos pelas instruções normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA para comercialização, está em plena consonância com as exigências legais. Soma-se a isto, o fato de diversas regiões brasileiras apresentarem solos ácidos e com baixa concentração de nutrientes, de forma que a aplicação de fertilizantes orgânicos poderia melhorar as condições de produção, reduzindo assim a aplicação de fertilizantes exclusivamente minerais.

Dentro desse contexto, este trabalho discute a aplicação das técnicas de compostagem e vermicompostagem em resíduos orgânicos coletados seletivamente em 19 estabelecimentos do município de São Carlos/SP. Através do monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, acompanhou-se a transformação de mais de 2 toneladas de resíduos em fertilizantes orgânicos. Avaliou-se também a vermicompostagem com forma de pós-tratamento, verificando sua necessidade a fim de que limites legais estabelecidos sejam atingidos e a complementação proporcionada pela técnica em relação as propriedades do solo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Aplicar as técnicas de compostagem em leiras de alambrado e vermicompostagem como pós-tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos produzida e coletada em diferentes estabelecimentos alimentícios do município de São Carlos, a fim de verificar a adaptação dos locais ao sistema de separação na fonte e analisar a adequação do composto final às normas e legislações específicas.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar, através da aplicação de questionário, a percepção dos proprietários dos estabelecimentos quanto à prática de segregação dos resíduos orgânicos e o conhecimento dos mesmos a respeito da compostagem;
- Averiguar, através de observações em campo, a adaptação dos proprietários e funcionários à proposta de separação dos resíduos orgânicos gerados nos estabelecimentos.
- Analisar a diferença de comportamento dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos em leiras estáticas e revolvidas;
- Avaliar a influência de tubulações perfuradas em leiras estáticas e a influência da trituração dos resíduos em leiras revolvidas através da análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos;
- Avaliar se o sistema de compostagem proposto atende aos limites previstos nas Instruções Normativas nº 27 de 2006 e nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e se há a necessidade da integração com a vermicompostagem a fim de atingir tais exigências.
- Identificar e discutir o incremento das propriedades do solo através da análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do vermicomposto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Os Resíduos Sólidos Urbanos no Contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº 12.305/10 regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes e gerenciamento, responsabilidades dos geradores e do poder público e instrumentos econômicos aplicáveis. Essa lei diferencia o conceito de destinação final ambientalmente adequada, como aquela que inclui reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, do conceito de disposição final ambientalmente adequada, como a disposição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010 a; BRASIL, 2010, b).

O primeiro conceito aplica-se aos resíduos sólidos, ou seja, a materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultante de atividades humanas em sociedade, e o segundo refere-se aos resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010 a). A importância que se dá na distinção desses dois conceitos decorre do fato de que muitos materiais que poderiam ser reaproveitados ou recuperados através de processos tecnológicos, são simplesmente dispostos em aterros sem nenhuma seleção prévia.

O termo “resíduo domiciliar” provém de uma subdivisão dos resíduos classificados como resíduos sólidos urbanos que englobam, além desse, os resíduos de limpeza urbana (Figura 1). Sua origem está relacionada ao cotidiano dentro de residências, nas quais os habitantes descartam resíduos como cascas de frutas, restos de comida, jornais e revistas, garrafas, embalagens, fraldas descartáveis, entre outros (FRÉSCA, 2007). Embora haja alguns resíduos tóxicos como pilhas, baterias e aparelhos eletrônicos, os resíduos domiciliares brasileiros apresentam em sua constituição uma grande parcela de fração orgânica.

Embora a Lei nº 12.305/10 distinga resíduos sólidos urbanos e resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, classificando-os quanto a origem e, dessa forma, como uma tipologia diferenciada de resíduos, a Lei Estadual nº 12.300/06, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo, engloba ambos e mais os resíduos de logradouros públicos e drenagem urbana na categoria de resíduos sólidos urbanos (SÃO PAULO, 2006). Sendo assim, desde que sejam considerados como não perigosos, podem ser

agrupados na mesma categoria, como foi o caso do diagnóstico realizado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

Figura 1 - Classificação dos resíduos segundo o artigo 13 da Lei 12.305/2010. Fonte: Schalch (2013)

3.2 Panorama dos RSU: Geração e Destinação

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado a partir de dados do IBGE e outros artigos, o Brasil gera $183.481,50 \text{ t.dia}^{-1}$ de RSU, sendo 31,9% materiais recicláveis, 51,4% matéria orgânica e 16,7% classificados na categoria “outros” (BRASIL, 2012). As porcentagens variam geralmente conforme o porte das cidades, de forma que cidades menores apresentam maiores teores de matéria orgânica em relação às metrópoles.

O Estado de São Paulo é o maior gerador de RSU do Brasil. Há uma divergência em relação a quantia gerada de acordo com a metodologia aplicada (SIQUEIRA, 2014): segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos de 2013 são $26.246 \text{ t.dia}^{-1}$ (CETESB, 2014), bem diferente dos $56.626 \text{ t.dia}^{-1}$ apontados pelo Panorama dos Resíduos Sólidos 2012

(ABRELPE, 2014). Já a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico aponta para uma quantia de 37.839 t.dia⁻¹ para os resíduos domiciliares e/ou públicos.

Quanto a destinação final, o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2013, aponta que as quantias encaminhadas para aterro sanitário, aterro controlado e lixão, são, respectivamente, 110.232, 46.041 e 32.946 t.dia⁻¹ (ABRELPE, 2014). Destaca-se que 98% dos lixões encontram-se em municípios de pequeno porte e 57% estão localizados região nordeste (BRASIL, 2012).

Na parte de diretrizes e estratégias do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado em 2012, um dos pontos mais importantes foi a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, com uma diretriz específica visando a eliminação de lixões e aterros controlados até agosto de 2014. Para isso, foi proposto um conjunto de estratégias para seu cumprimento, como aporte de recursos e linhas de financiamento, estabelecimento de linhas específicas destinadas a captação e assistência técnica e ao desenvolvimento institucional, implementação de sistemas de informação e fortalecimento dos consórcios públicos constituídos e a fomentação da padronização dos procedimentos relacionados ao licenciamento ambiental visando uma simplificação do empreendimento.

Mesmo com diversas iniciativas do poder público, o prazo inicial para erradicação dos lixões (2 de agosto de 2014) não foi cumprido por grande parte dos municípios, sendo proposta então uma medida provisória (MP) 651/2014 cuja emenda número 5 discorria sobre a prorrogação do prazo por mais quatro anos. A medida foi vetada, sendo a decisão foi publicada dia 14 de novembro de 2014 no Diário Oficial da União. Dessa forma, ficariam então previstas as penalidades apontadas por lei aos municípios que não cumpriram a meta (PORTAL FEDERATIVO, 2014).

A disposição de resíduos sólidos em lixões é crime desde 1998, quando foi sancionada a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98) (BRASIL, 2013a), sendo previsto no Artigo 54 que causar poluição pelo lançamento de resíduos sólidos em desacordo com leis e regulamentos é crime ambiental (BRASIL, 1998). Sendo assim, os lixões que se encontram em funcionamento estariam em desacordo com as Leis nº 12.305/2010 e 9.605/98.

Porém, o Plenário do Senado aprovou no dia 1 de julho de 2015 o projeto PLS 425/2014 que prorroga, de forma escalonada, o prazo para o encerramento dos lixões e para a elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Os novos prazos variam de 2018 a 2021 de acordo com o porte do município, de forma que municípios menores possuem mais tempo para se adequarem, sendo a falta de capacitação profissional nas nestas cidades uma das principais justificativas para maiores prazos (SENADO FEDERAL, 2015). Até o momento de

conclusão do presente trabalho, esta foi a última notícia a respeito do cumprimento do artigo 54 da PNRS.

3.3 Situação Atual dos RSU no Município de São Carlos

Segundo Frésca (2007), os resíduos domiciliares de São Carlos apresentam uma composição de 59,08% de matéria orgânica, 6,44% de papel e papelão, 10,47% de plásticos, 1,31% de metal e alumínio, 1,67% de vidro, 0,94% de tetra pak e 20,09% de rejeitos/outros. Dessa forma, a maior porcentagem de resíduos domiciliares corresponde à matéria orgânica, o que indica a necessidade de medidas focadas nesse componente.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que deve conter especificações para cada tipo de resíduos gerado no município, é uma condição para que os municípios tenham acesso aos recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010 a). Porém, o município ainda não dispõe de tal instrumento. Segundo informações fornecidas por membros da prefeitura, o PMGIRS está sendo realizado pela Secretaria de Serviços Públicos e sua conclusão está prevista para o final de 2015.

Em relação aos resíduos recicláveis, segundo Santiago et al (2013), São Carlos foi uma cidade pioneira no país ao incentivar a realização da coleta seletiva por meio de uma cooperativa. O histórico de formação da Coopervida, atual cooperativa, denota do ano de 2001, quando cerca de 40 pessoas que trabalhavam como catadores no aterro foram retiradas após uma ação judicial movida pela CETESB e pelo Ministério Público. Iniciou-se então o processo de criação de cooperativas de coleta, triagem e comercialização de recicláveis a partir de grupos organizados. Em 2002 foi implantado o Programa de Coleta Seletiva que era composto por três cooperativas (Coopervida, Ecoativa e Coolevida), sendo o apoio de infraestrutura, maquinário e parte financeira e jurídica fornecidos pela prefeitura. As cooperativas apresentavam um desempenho considerável e chegaram a atingir cerca de 75% da área urbana. Entretanto, devido a problemas legais da Ecoativa e da Coolevida e da queda do valor dos commodities no ano de 2009 em virtude da Crise Econômica Mundial, houve uma fusão das três cooperativas em uma única no ano de 2010, a Coopervida, sendo as atividades iniciadas oficialmente em 15/04/2010 (SANTIAGO et al, 2013).

Atualmente porém, de acordo com informações dos funcionários da Coopervida, a cooperativa apresenta-se com problemas operacionais desde o final de 2013 devido à falta de

caminhões e de suporte financeiro, sendo que apenas a coleta em grandes geradores, como prédios e condomínios, está sendo realizada. A coleta porta-a-porta não é mais executada.

No tocante dos resíduos orgânicos, segundo Massukado (2008), em 2006 iniciou-se um projeto piloto para a coleta dos resíduos orgânicos provenientes de restaurantes, lanchonetes, mercados e varejões que eram encaminhados a Horta Municipal, para realização da compostagem (Figura 2).

Figura 2 - Antiga prática de compostagem realizada na Horta municipal de São Carlos - à esquerda leiras de compostagem e à direita canteiros de hortaliças que utilizavam o composto produzido. Fonte: Vianna (2007) *apud* Massukado (2008)

Segundo Massukado (2008), o programa chegou a contar com a adesão de aproximadamente 50 estabelecimentos que geravam certa de $1,5 \text{ t.dia}^{-1}$, sendo o custo de operação (coleta, transporte e operação da compostagem), na época, de R\$84,00. Porém, desde o final do ano de 2012, os resíduos deixaram de ser encaminhados à horta e a compostagem deixou de existir no município, sendo as iniciativas atuais apenas relacionadas à entidades não governamentais em locais pontuais (Item 3.5.1.3). Os resíduos orgânicos são recolhidos juntos com os demais e dispostos no aterro sanitário do município.

Foi feita uma consulta pública no ano de 2013 no *website* da prefeitura de São Carlos com a seguinte pergunta: “A seu ver, o Município de São Carlos deve regulamentar a compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos (lixo doméstico) como alternativa ao descarte no aterro sanitário?”. A pesquisa contou com 331 contribuições sendo que os entrevistados podiam apresentar suas opiniões e justificativas a respeito da escolha (contra/a favor). Das respostas apresentadas, 4 foram contra e 327 a favor, resultando em 98,79% de apoio à prática de compostagem por parte dos entrevistados (CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS, 2013).

A implementação da compostagem como técnica de tratamento dos resíduos orgânicos na cidade de São Carlos, além de ser uma das melhores formas de equacionar o problema da equivocada disposição desses resíduos em aterros, conta com o embasamento legal da PNRS,

sendo a sua não adoção somada aos atuais problemas da coleta seletiva um retrocesso em termos de gestão e políticas públicas.

3.4 Formas de Tratamento dos RSU

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos – FORSU é composta pela matéria orgânica presente nos resíduos domiciliares e os restos de poda e capina dos resíduos de limpeza urbana. Já a não orgânica corresponde aos resíduos recicláveis que são recolhidos pela coleta seletiva, compactados e vendidos por cooperativas de catadores. Além disso, tem-se também os rejeitos, que não possuem nenhum tipo de tratamento viável e são encaminhados para aterro, como fraldas, papel higiênico e outros materiais não recicláveis.

Neste tópico será focado na FORSU e nas três principais técnicas conhecidas seu tratamento: compostagem, vermicompostagem e biometanização. Dentre estas, a compostagem é a mais conhecida e difundida, sendo entretanto pouco aplicada no âmbito municipal; a vermicompostagem é utilizada normalmente como pós-tratamento da compostagem ou em escalas menores em caixas conhecidas como “minhocasa”; e a biometanização, diferentemente das duas primeiras, é uma técnica anaeróbia de tratamento onde há a possibilidade de utilização do biogás como fonte de energia, sendo pouco aplicada no Brasil e mais difundida em países europeus.

3.4.1 Compostagem

Segundo Fernandes e Silva (1999), compostagem é a oxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de água, CO₂, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

Figura 3 - Esquema simplificado do processo de compostagem. Fonte: Fernandes e Silva (1999)

Kumar (2011) menciona três tipos principais de sistema de compostagem: *windrow*, leiras estáticas aeradas e reatores. O primeiro consiste em uma pilha de materiais sujeitos a decomposição onde a aeração ocorre por revolvimento, geralmente mecânico, e a temperatura é usada como parâmetro indicativo para o revolvimento das leiras, de forma que quando um

valor normalmente entre 55-60°C é atingido, o revolvimento ocorre. As leiras estáticas aeradas são similares, com a diferença que a aeração é fornecida por sopradores ou difusores de ar. A fim de evitar odores e manter a temperatura, um composto selecionado é disposto na parte superior. Devido ao custo, a utilização de reatores biológicos (*In-Vessel*) ocorre normalmente quando um composto é requerido para utilização no solo. O reator possui controle de temperatura, concentração de oxigênio e odores. Segundo Fernandes e Silva (1999) nesses reatores o ciclo da fase termófila é menor e eles são mais eficientes no controle de patógenos. Porém, o fato da fase termófila ser reduzida e de o tempo de detenção variar de 7 a 10 dias, não exime a necessidade de um período de maturação de cerca de 60 dias.

De acordo com Kiehl (2004), a compostagem apresenta três fases distintas. A primeira etapa (fase fitotóxica) apresenta como característica o desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂. São desenvolvidos traços de ácidos minerais e em maior quantidade ácidos orgânicos, que são toxinas maléficas às plantas.

Depois de 10 a 20 dias da fase fitotóxica, a matéria entra na fase de bioestabilização (semicura). Ao completar essa etapa, o composto deixa de ser fitotóxico, porém, ainda não apresenta as propriedades e características ideais. A terceira fase (maturação ou humificação) representa o estágio final da degradação da matéria orgânica, quando as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas adquirem níveis desejáveis. Kiehl (2004) ressalta que não se deve confundir maturidade com qualidade do composto, pois o composto pode estar maturado e humificado e ainda assim apresentar baixa qualidade.

3.4.2 Vermicompostagem

A vermicompostagem é um tipo de compostagem onde minhocas são utilizadas para a digestão da matéria orgânica através da microflora presente em seus tratos digestivos, ocasionando degradação da matéria orgânica, maior arejamento e drenagem do material em fase de maturação. O processo de compostagem combinado a ação das minhocas altera, qualitativamente e quantitativamente, a composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos (BIDONE; POVINELLI, 1999; AQUINO; ALMEIDA; SILVA, 1992).

Diferentemente da compostagem, onde há a necessidade de aeração, na vermicompostagem as minhocas realizam essa função. Outra diferença entre as técnicas é que na vermicompostagem a pilha apresenta uma espessura reduzida, a fim de evitar que temperaturas superiores a 35°C, que podem matar as minhocas, sejam atingidas (HAIMI; HUHTA, 1986). Tal diferença implica em um maior requerimento de área, o que poderia gerar um problema de aplicabilidade. Porém, essa área pode se tornar menor quando os resíduos são

previamente compostados, obtendo-se uma redução de 20-60% (KIEHL, 2004), e a vermicompostagem é utilizada como pós-tratamento

Dessa forma haverá dois estágios na compostagem. No primeiro a matéria orgânica é compostada de acordo com os padrões normais visando eliminação de patógenos, homogeneização do material e retorno a temperatura ambiente. No segundo estágio, o material compostado é transferido para leitos rasos onde se faz a inoculação das minhocas, obtendo-se um vermicomposto pronto em cerca de 60 a 90 dias depois (BIDONE; POVINELLI, 1999). Segundo Aquino (2005), o tempo para que o vermicomposto fique pronto varia conforme a composição original dos resíduos.

As minhocas consomem os resíduos orgânicos retirando sua nutrição deles e depois excretam-os em partículas muito finas constituídas de terra e matéria orgânica digerida, os coprólitos. Estes representam um material muito mais microbiologicamente ativo do que os ingeridos pelas minhocas, com uma maior concentração de nutrientes do que o solo em que se encontram. Importantes nutrientes vegetais, como fósforo, nitrogênio, cálcio e potássio, são convertidos pela ação microbiológica em formas mais solúveis e disponíveis para as plantas (SARTORI, 1998; KIEHL, 1985). O material mais estabilizado, com carbono na forma humificada, apresenta como vantagens a maior capacidade de troca de cátions, maior retenção de umidade e mineralização mais lenta (AQUINO; ALMENIDA; SILVA, 1992).

A espécie mais utilizada pelos produtores de vermicomposto é a *Eisenia foetida*, conhecida como minhoca vermelha da Califórnia ou minhoca de esterco. Essa preferência decorre do fato dessa espécie de minhoca conseguir converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado e da fácil adaptação da espécie em cativeiro (AQUINO; ALMENIDA; SILVA, 1992; BIDONE; POVINELLI, 1999). Os principais parâmetros que influenciam no processo de vermicompostagem são: temperatura, que deve ser mantida numa faixa de 13-22°C (KIEHL, 1985); pH, numa faixa de 4,5-9,7 conforme a espécie (SARTORI, 1998); umidade, recomendando-se um valor de 70 a 75% (LOFTY; EDWARDS, 1976 *apud* SARTORI, 1998); oxigenação, que deve apresentar um teor mínimo de 3mg/L, o que é possível com leiras de 30 cm (BIDONE; POVINELLI, 1999); relação carbono/nitrogênio, sendo o valor de 10/1 apropriado para a atuação das minhocas (BIDONE; POVINELLI, 1999); e estrutura, sendo que a menor granulometria facilita a ingestão e acelera o processo. Os micro-organismos envolvidos na vermicompostagem são os mesmos da compostagem (bactérias e fungos).

3.4.3 Biometanização

Outra forma de tratamento dos resíduos orgânicos é a biometanização que, diferentemente das técnicas de compostagem e vermicompostagem, apresenta como principal característica a ausência de oxigênio e a produção de metano e hidrogênio que podem ser utilizados como potencial energético.

Nos últimos 20 anos diversas tecnologias tem sido pesquisadas e desenvolvidas no que diz respeito à digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos. A Europa, por exemplo, dispunha de três plantas em 1990 com capacidade de 87.000 t.ano⁻¹, passando para 171 em 2009 e com uma estimativa de 520.400 t.ano⁻¹ em 2010 (DE BAERE; MATTHEEUWS, 2008 *apud* GOMES, AQUINO; COLTURATO, 2012).

Quanto a experimentos acadêmicos, muito se encontrou a respeito da utilização de digestores anaeróbios para inóculos constituídos por lodo ou esterco e resíduos sólidos urbanos (FORSTER-CARNEIRO; PÉREZ; ROMERO, 2008; POGGI-VARALDO et al., 2005; LASTELLA et al. 2002; LEITE e POVINELLI, 1999; MATA-ALVAREZ e LLABRÉS, 1990), sendo que pesquisas exclusivas com a utilização de resíduos sólidos urbanos foram pouco encontradas. Além disso, esses experimentos foram realizados na maioria das vezes em escala laboratorial com poucas abordagens do uso em escala maior.

A PNRS inclui em seus objetivos a recuperação e o aproveitamento energético e a proteção da saúde pública e qualidade ambiental, de forma que a minimização da matéria orgânica enviada a aterros sanitários, seu tratamento e aproveitamento como condicionante no solo e a recuperação do biogás com possível utilização para geração de energia, são fatores diretamente interligados a esses objetivos.

Entretanto, segundo os estudos de Fricke, Santen e Wallmann (2005), os compostos finais dos biometanizadores necessitam da compostagem como técnica de pós tratamento a fim de completar a estabilização do biofertilizante. Dessa forma, mesmo utilizando-se da biometanização, o tratamento aeróbio deve ser consorciado a fim de atender as legislações vigentes.

3.5 Práticas centralizadas *versus* práticas descentralizadas no tratamento da FORSU

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), mesmo com a elevada quantia de matéria orgânica (94.335,5 t.dia⁻¹), apenas 1,6% do que é coletado é levado para a compostagem.

No Estado de São Paulo, embora 97,9% dos resíduos sejam dispostos adequadamente em aterros sanitários (CETESB, 2014), a adoção da compostagem caminha em sentido oposto

à PNRS. No ano de 2004, os estudos de Barreira, Philippi Jr e Rodrigues (2006) apontavam para o funcionamento de 14 Usinas de Triagem e Compostagem (UTC), ao passo que no ano de 2013, este número caiu para 6 (CETESB, 2014; SIQUEIRA, 2014).

A criação dessas UTCs surgiu a partir de incentivos através de uma proposta de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) na década de 80. No estudo denominado *Usinas de Reciclagem de lixo: Aspectos Sociais e Viabilidade Econômica* é exposto o projeto de implementação dessas usinas. Foram selecionados os municípios que apresentavam, de acordo com o senso do IBGE de 1980, mais de 80 mil habitantes, sendo um total 180 municípios, e partir do perfil desses municípios foram feitas hipóteses da composição média do lixo, do consumo interno de recicláveis e da receita com a venda dos recicláveis (NARDIN; PROCHNIK; CARVALHO, 1987).

Analisando-se os dados apresentados no documento, é possível notar uma série de premissas equivocadas. No que diz respeito a composição gravimétrica, as hipóteses levantadas foram que a matéria orgânica correspondia a apenas 34,40% dos componentes, quantia bem inferior aos dados encontrados atualmente. De acordo com as informações fornecidas, a usina “separa todo o material inorgânico (papel, plástico, metias, vidros) e mói e fermenta o material orgânico, produzindo adubo – ou composto orgânico” (NARDIN; PROCHNIK; CARVALHO, 1987), fato este contestado por estudos como os de Barreira, Philippi Jr e Rodrigues (2006) e Castro (1996). Os autores supracitados analisaram, respectivamente o composto produzido em 14 UTCs do Estado de São Paulo e a usina de reciclagem e compostagem de São Matheus-SP operada no sistema DANO. Em ambos os estudos, problemas como a presença de vidro e papelão em compostos se mostraram presentes. Nas 14 usinas analisadas, os compostos apresentaram valores de nutrientes poucos satisfatórios e na usina de São Matheus houve uma baixa eficiência de remoção de materiais recicláveis.

Segundo Monteiro et al (2001), as usinas de compostagem e reciclagem foram apresentadas por fabricantes, que prometiam o fim dos lixões e afirmavam que a operação geraria receita para os municípios, como uma solução definitiva para os resíduos sólidos urbanos.

“Otimistas com a hipótese de resultados econômicos positivos com a tecnologia apresentada, diversos municípios no Brasil implantaram usinas de reciclagem e compostagem sem qualquer estudo prévio e o resultado foi muito ruim, pois a maioria das unidades foi desativada logo após a inauguração e outras sequer iniciaram a operação (MONTEIRO et al; 2001)”

Dessa forma, é possível inferir que a não adoção da prática de compostagem no âmbito nacional advém de uma série de experiências mal sucedidas, com metodologias pouco concisas e propostas mal fundamentadas. As experiências realizadas demonstram que, caso a compostagem seja implementada no contexto das UTCs, sem qualquer tipo de separação prévia, o desenvolvimento do processo será pouco satisfatório (SALOMÃO, 2009; BARREIRA; PHILIPPI JR; RODRIGUES, 2006; CASTRO, 1996).

O poder público, através de medidas educativas que conscientizem a população a respeito da importância da separação de orgânicos, recicláveis e rejeitos, tem um papel fundamental para a implementação da técnica de compostagem, tendo inclusive o respaldo legal da Política de Educação Ambiental (Lei nº9.795/99) que prevê o incentivo da difusão, por intermédio dos meios de comunicação de massa, em espaços nobres, de programas e campanhas educativas e de informações acerca de temas relacionados ao meio ambiente (BRASIL, 1999).

No que diz respeito a redução de resíduos sólidos urbanos úmidos dispostos em aterros sanitários, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos propõe estratégias relacionadas à medidas específicas para o caso de estabelecimentos como feiras, CEASAs e demais pontos de concentração e resíduos orgânicos e o aproveitamento de poda e capina. Além disso, é apresentada uma meta de redução de 25% de resíduos orgânicos enviados para aterros sanitários até 2015 para a região sudeste (BRASIL, 2012; SIQUEIRA, 2014).

Há uma discrepância em não se valorizar esses resíduos “limpos” (sem possíveis contaminantes de resíduos inertes) gerados em grandes quantidades em restaurantes, supermercados e feiras, que poderiam ser diretamente direcionados a um sistema de compostagem (SIQUEIRA, 2014). Só na cidade de São Paulo existem 833 feiras livres onde elevadas quantidades de resíduos orgânicos são acumulados sem qualquer tratamento (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014 *apud* SIQUEIRA, 2014). Quanto aos resíduos de poda e capina, de acordo com o levantamento realizado pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos, embora 112 dos 645 municípios tenham recorrido a FEHIDRO e a FECOP para o financiamento da compra de trituradores de galhos, 45% dos municípios ainda não realizam algum tipo de aproveitamento desses resíduos (SÃO PAULO, 2014).

Segundo Siqueira (2014), rotas tradicionais de gestão de resíduos baseiam-se em oferecer serviços públicos e privados de coleta, transporte e destinação de resíduos, a partir de sistemas de cobrança. Este modelo considera pouco a integração com a população e a participação ativa das estruturas e instituições no processo de gerenciamento. A autora realizou um levantamento de experiências com compostagem de RSU no estado de São Paulo o qual considerou empreendimentos, programas ou projetos, ativos ou extintos, desenvolvidos pelo

primeiro, segundo e terceiro setores em bairros, parques, escolas, universidade, empresas, instituições, pátios e usinas de compostagem. As experiências foram sistematizadas em modalidades, de acordo com a Figura 4.

Figura 4 - Sistematização e distinção entre o modelo centralizado e descentralizado no estado de São Paulo. Fonte: Siqueira (2014)

Foram levantados 115 experiências, sendo 49 centralizadas e 66 descentralizadas. A porcentagem de cada categoria que se apresenta em funcionamento atualmente pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 – Porcentagem extintas e ativas nas experiências centralizadas e descentralizadas no estado de São Paulo. Fonte: Siqueira (2014)

Quanto as experiências centralizadas, a elevada quantia de UTCs desativadas (85%) reflete a dificuldade da continuidade de experiências com resíduos provenientes de coleta convencional, sem a separação na fonte, sendo que em muitas UTCs a utilização do composto para fins agrícolas estava proibida devido a problemas de contaminação (SIQUEIRA, 2014).

Em relação as Usinas de Adubo Orgânico, também enquadrada em tal categoria, estas se tratam de empreendimentos que geralmente recebem apenas resíduos orgânicos limpos, porém, das 14 usinas de adubo orgânico operadas no ano de 2013, apenas 4 recebiam algum tipo de resíduo urbano, sendo que a maioria processava resíduos industriais e agrícolas (SIQUEIRA, 2014). Os estabelecimentos em funcionamento enquadrados em tal categoria pela autora foram o Walmart, Carrefour, CEAGESP e Prefeitura de Piracicaba.

Quanto as unidades descentralizadas, houve um surgimento de diferentes iniciativas a partir da década de 1990, sendo que tal categoria apresenta uma maior diversidade de arranjos organizacionais e atores envolvidos, variando em escala, público e ambientes no espaço urbano (SIQUEIRA, 2014). A interrupção da maioria das experiências ocorreu por falta de apoio público, vulnerabilidade institucional e descontinuidade político administrativas. A descentralização, além priorizar o estímulo à separação na fonte e promover a valorização dos processos educacionais propagadores de novos hábitos, também apresenta estrutura geralmente formada por arranjos institucionais abertos a otimização de processo (SIQUEIRA, 2014).

Segundo Massukado (2008) há uma variedade de combinações possíveis que o poder público municipal pode conceber na inserção da compostagem na gestão municipal de resíduos sólidos, abrangendo desde parcerias com comunidades, Ong's e contemplando até mesmo a iniciativa privada para executar ou gerenciar uma unidade descentralizada de compostagem.

Destaca-se também a importância da compostagem domiciliar, incentivada através de oficinas ministradas geralmente por ONGs (vide item 3.5.1.1 Projeto *Composta São Paulo*) e instituições educacionais, promovendo a mudança de hábitos na população pela separação dos resíduos orgânicos e a possibilitando a utilização do composto em hortas caseiras. Estudos como os de Pirsae, Khosravi e Sharafi (2013) tem demonstrado a viabilidade de tal técnica, uma vez que, além da produção de um biofertilizante dentro da maioria dos parâmetros de aplicação no solo, há a redução de custos de transporte ao se tratar os resíduos orgânicos diretamente na fonte.

3.5.1 Experiências com descentralização e/ou segregação na fonte na gestão da FORSU

A seguir são abordados alguns casos de gestão descentralizada e/ou a segregação na fonte dos resíduos orgânicos. O tópico 3.5.1.5 *Sistema alternativo de coleta dos resíduos sólidos urbanos no municípios de Ibiporã*, diferentemente dos demais casos, é um relato de uma experiência bem sucedida com a adoção da compostagem centralizada, sendo neste caso a segregação na fonte e a coleta seletiva o diferencial em relação as experiências mal sucedidas relatadas anteriormente.

3.5.1.1 Projeto Composta São Paulo

A Prefeitura de São Paulo lançou no dia 16 de junho de 2014 um projeto de compostagem doméstica onde foram distribuídas 2.000 composteiras em caráter experimental a fim de avaliar a participação/percepção da população. As composteiras eram constituídas por duas caixas digestoras, localizadas na parte superior, e uma caixa coletora de chorume, localizada na parte inferior. A articulação com a população foi feita pela ONG Morada da Floresta através da seleção de participantes de diversos perfis sociais. (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2014).

Figura 6 - Manual de compostagem das composteira doméstica distribuídas no Projeto Composta São Paulo. Fonte: Morada da Floresta (2014 a)

Foi criado um site “Composta São Paulo” onde os interessados puderam se inscrever (MORADA DA FLORESTA, 2014b). Após a seleção, os participantes tiveram como dever a participação em oficinas, que eram feitas para explicar com mais detalhes o manejo e funcionamento das composteiras, e pesquisas sobre o andamento das composteiras em suas residências. Além disso, foi criada uma comunidade no Facebook (<https://www.facebook.com/compostasaopaulo>) a fim de proporcionar trocas de experiência de compostagem, esclarecimento de dúvidas e compartilhamento de problemas e soluções.

De acordo com informações fornecidas no site Composta São Paulo, os objetivos do projeto foram:

1. Desenvolver metodologias e estratégias de replicabilidade para a multiplicação da prática da compostagem doméstica na cidade;
2. Gerar dados e fornecer informações pertinentes à construção de uma política pública que estimule a prática da compostagem doméstica na cidade de São Paulo;

3. Construir uma comunidade/canal referência de conhecimento coletivo sobre compostagem e formentar um movimento cívico por uma cidade mais sustentável;
4. Reduzir o lixo enviado para aterros compostando 300 toneladas de resíduos durante os primeiros 5 meses;
5. Promover hábitos alimentares mais saudáveis;
6. Impulsionar o descarte adequado de outros resíduos;
7. Estimular o plantio urbano e resgatar a conexão com a natureza;
8. Conscientizar sobre problemas e soluções sobre o meio ambiente.

O balanço do projeto foi publicado em junho de 2015 no site www.compostasaopaulo.eco.br/resultados2014. Os resultados apresentados indicam que, embora 13,8% tivessem pensado algumas vezes em desistir, apenas 2,3% realmente o fizeram. Dentre as dificuldades encontradas, a de maior ocorrência foi a presença de mosquitos e drosófilas, sendo queixas relacionadas a nojo ou desconforto com o composto produzido de baixa incidência.

Em relação a solução para os problemas encontrados, 40% resolveram fazendo perguntas no grupo online do projeto, sendo que 85% utilizam o grupo do Facebook para tirar dúvidas, evidenciando dessa forma a importância das redes sociais no envolvimento comunitário.

Figura 7 - Discussões do grupo “Composta São Paulo” do Facebook

Em relação a avaliação da compostagem doméstica, 55% acharam a prática “muito fácil”, sendo que 97,8% encontram-se satisfeitos ou muito satisfeitos, 78,4% relatam que a compostagem já foi incorporada aos hábitos e 98% acreditam que a compostagem doméstica é uma boa solução para cidade de São Paulo. Dessa forma, os resultados indicam um grande êxito na utilização das composteiras nas residências (MORADA DA FLORESTA, 2015).

No que diz respeito a compostagem como agente de conhecimento e transformação de comportamento, as pesquisas apresentaram indícios de que a prática leva a reflexões e relações mais profundas sobre o consumo, alimentação, relação com os outros resíduos não compostáveis, com a sustentabilidade e com a própria cidade. Dos entrevistados, 84% afirmam ter ampliado seus conhecimentos sobre sustentabilidade urbana, 91% afirmam que participar do projeto lhes incentivou a separar outros tipos de resíduos e 81,6% alegam que após o projeto passaram a ter ou a se dedicar mais as plantas (MORADA DA FLORESTA, 2015).

Após o projeto, 59,1% incentivam diversas pessoas a participar, 29% ajudaram diretamente alguém a montar, instalar ou manusear uma composteira e 27% doaram minhocas para que alguém pudesse fazer a compostagem (MORADA DA FLORESTA, 2015).

Figura 8 - Disseminação da prática de compostagem através dos envolvidos no projeto. Fonte: Morada da Floresta (2015)

Segundo informações do site, ainda que seja pertinente um canal de informações que consolide os conhecimentos produzidos, a inteligência coletiva mostrou-se um modelo viável de suporte e a proatividade na disseminação boca a boca nas redes de relacionamento pessoal apresentou um potencial de conversão enorme, possibilitando dessa forma que a compostagem seja muito mais conhecida e praticada em pouco tempo.

3.5.1.2 Revolução dos Baldinhos

O Centro de Saúde do bairro Monte Cristo da cidade de Florianópolis promoveu uma reunião com instituições do bairro a fim de construir uma estratégia frente a epidemia de ratos que vinha acontecendo no local. Durante as reuniões foi exposto a população que medidas de eliminação utilizando venenos não estavam sendo suficiente e que era necessário que não se dispusesse os restos alimentos nas ruas, em sacolas ou sem acondicionamento, pois isso faria com que os ratos retornassem (ABREU, 2013).

Frente a esse problema, o Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo – CEPAGRO juntamente com outras instituições educativas criaram o projeto denominado “Revolução dos Baldinhos”. O termo “baldinhos” surgiu do incentivo às famílias a utilizarem baldes para a separação e acondicionamento dos seus resíduos orgânicos (Figura 9). Foi feita uma campanha de conscientização incentivando a população a separar os resíduos adequadamente e foi entregue um balde para as famílias que aderiram ao projeto a fim de armazenar os resíduos orgânicos que depois seriam encaminhados a Pontos de Entrega Voluntária - PEV. Após coletados, os resíduos eram encaminhados para uma escola onde se realizava a compostagem (ABREU, 2013).

Figura 9 - morador depositado seus resíduos no PEV (esquerda) e coleta das bombonas no bairro (direita). Fonte: Abreu (2013)

O Projeto foi financiado inicialmente por um edital de fundo social e contou com a participação de bolsistas da comunidade que auxiliaram no projeto, além de estudantes vinculados ao CEPAGRO. A iniciativa ganhou o prêmio ambiental Centro Ecumênico de Solidariedade, o que possibilitou a ampliação do quadro pessoal. Depois disso o projeto foi contemplado com vários outros prêmios e editais, o que possibilitou a continuação de seu funcionamento e o aprimoramento (ABREU, 2013).

A Revolução dos Baldinhos realiza a gestão comunitária dos resíduos orgânicos na comunidade Chico Mendes desde o ano de 2009, promovendo o elo entre a compostagem e a agricultura urbana. Cerca de 14 toneladas de resíduos orgânicos oriundos de 200 residências e

9 instituições de ensino locais são coletados mensalmente por integrantes do projeto (COORDEIRO et al, 2013). O composto resultante é utilizado nos próprios quintais e hortas escolares da comunidade, sendo uma menor fração comercializada (ABREU, 2013).

Figura 10 - Utilização do composto orgânico pelas famílias envolvidas na Revolução dos Baldinhos. Fonte: Abreu, 2013

3.5.1.3 Projeto Giro

Projeto Gestão Integrada de Resíduos Orgânicos – Giro, promovido pela Associação Veracidade, tem como objetivo a descentralização da gestão dos resíduos orgânicos na cidade de São Carlos através da compostagem em bairros. O modo de funcionamento é focado em iniciativas de auto-gestionamento de PEVs, onde a comunidade regional possa dispor os resíduos e um gestor tutore as leiras de compostagem (VERACIDADE, 2014).

Em parceria com o grupo Vivências e Discussões em Agroecologia – VIDA, articulado por estudantes e demais interessados, foi iniciado um projeto no bairro Cidade Jardim onde vem sendo realizada a prática da compostagem. Em frente ao terreno onde estão montadas as leiras foram dispostas lixeiras com as respectivas instruções a respeito do tipo de resíduo que deve ser disposto, sendo o objetivado que a própria população local disponha seus resíduos orgânicos nos recipientes. Os mesmos são periodicamente retirados e dispostos nas leiras através de mutirões organizados por responsáveis pelo projeto. Além disso são realizados plantios de culturas de baixo manejo (como mandioca e milho) no local visando o incentivo a alimentos orgânicos.

Figura 11 – Placa localizada em frente ao terreno com as instruções do que dispor no recipiente de coleta (esquerda) e instruções para o uso da composteira comunitária (direita)

3.5.1.4 Compostagem no bandeirão do Campus da USP São Carlos

O projeto denominado *Compostagem dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário do Campus II da USP-São Carlos*, aprovado pelo Edital 2013 – Incentivo a Sustentabilidade na USP da Superintendência de Gestão Ambiental da USP, surgiu a partir da iniciativa dos alunos do curso de Engenharia Ambiental que tinham como objetivo compostar os resíduos orgânicos do restaurante universitário que, até antes da aprovação do projeto, haviam deixado de ser compostados na horta municipal e estavam sendo dispostos no aterro sanitário de Guatapará, distante a 67 km do município.

O projeto foi financiado na fase de implantação e divulgação pelo Edital Olimpíadas USP do Conhecimento, onde se pode fazer as compras dos materiais básicos, e posteriormente foi contemplado pelo Edital de “Desenvolvendo a Sustentabilidade da na USP” da Superintendência de Gestão Ambiental (OLIVEIRA, 2013). A partir da verba obtida foi construído um barracão de suporte e foram adquiridos materiais e ferramentas para a construção e manuseio das leiras de alambrado.

O projeto quebrou um paradigma no âmbito acadêmico, uma vez que havia uma relutância em se desenvolver compostagem no *campus* devido a preocupações com atração de vetores e emanção de odores, o que demonstrava falta de informações mais bem fundamentadas e preconceito.

Os alunos envolvidos no projeto dispõem os resíduos três vezes por semana em leiras de alambrado, acrescentado materiais estruturantes de poda e capina oriundos do próprio *campus*. O projeto visa também a análise físico-química dos compostos e o envolvimento da comunidade local através de oficinas relacionadas à temática da compostagem.

Figura 12 – Pátio de compostagem localizado no campus 2 da USP São Carlos

3.5.1.5 Sistema alternativo de coleta dos resíduos sólidos urbanos no municípios de Ibiporã

O município de Ibiporã/PR foi um exemplo de implantação de coleta diferenciada para orgânicos, recicláveis e rejeitos. Após o aterro onde os resíduos municipais eram dispostos ter sido interditado, o município passou a encaminhá-los para a Central de Tratamento de Resíduos (CTR). Porém, como este local não era apropriado para o recebimento de RSU não segregados, a Secretaria do Meio Ambiente de Londrina embargou os serviços (BARROS, 2011).

Com a finalidade de equacionar o problema, foi proposto então um termo de referência com a Promotoria do Meio Ambiente, com a Secretaria Municipal do Ambiente - SEMA, com o Instituto Ambiental do Paraná – IAP, com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAMAE de Ibiporã e com a empresa terceirizada que realizava os serviços de coleta. A principal condição estabelecida no termo foi a implantação de um sistema que segregasse orgânicos, recicláveis e rejeitos (BARROS, 2011).

Foi proposto então um modelo alternativo com a premissa da segregação na fonte, Foram entregues sacos diferenciados para a população, dividiu-se a cidade em setores e a coleta foi estruturada em dias alternados para cada tipo de resíduo. Os resíduos orgânicos passaram a ser encaminhados à compostagem, os recicláveis a CTR e os rejeitos foram dispostos em valas impermeabilizadas. Destaca-se que medidas de educação ambiental foram de suma importância para o êxito do projeto, sendo estas feitas através da distribuição e folders, campanhas com carro de som nas ruas, distribuição de ímãs de geladeira, divulgação na imprensa local, reunião com formadores de opinião através da realização de palestras, apresentação do teatro em escolas municipais para conscientização infantil e campanhas comerciais na TV denominada “Agora é

100%”, com uma série de 4 comerciais de 40 segundos sobre cada tipo de resíduos, a fim de tirar dúvidas da população (BARROS, 2011).

Apesar de algumas dificuldades iniciais relativas a adequação à correta segregação por parte da população e do maior custo com o novo sistema de coleta, os resultados foram promissores. Em relação aos recicláveis, houve uma elevada eficiência na segregação, poupando dessa forma insumos naturais, e no tocante dos resíduos orgânicos, a compostagem foi viabilizada e os fertilizantes orgânicos foram distribuídos para os produtores rurais. Dessa forma, os resíduos que estavam sendo dispostos no aterro em valas da cidade foram reduzidos de forma expressiva (BARROS, 2011). Barros (2011) ressalta que as diversas campanhas educativas influenciaram de sobremaneira a melhoria na separação.

3.6 Parâmetros físico-químicos envolvidos na transformação da FORSU em fertilizante orgânico

A seguir, são apresentados os principais parâmetros que influenciam na compostagem e vermicompostagem e exemplos de trabalhos práticos encontrados. A CTC, embora não seja enquadrada por muitos autores entre os principais parâmetros, foi incluída devido a sua importância na transformação da matéria orgânica no solo.

3.6.1 Micro-organismos e temperatura

Os principais componentes da matéria orgânica são: carboidratos, proteínas, lipídios e lignina. A capacidade dos micro-organismos a assimilarem depende de suas habilidades na produção de enzimas necessárias para a degradação do substrato, de forma que, quanto mais complexo o substrato, mais extenso e abrangente será o requerimento para a síntese enzimática (TUOMELA et al, 2000). As moléculas de menor peso molecular, como aminoácidos livres, ácidos orgânicos, mono e polissacarídeos, são utilizáveis pela bactérias, possuindo a capacidade de penetração celular e controlando dessa forma o rendimento bacteriano. Já a matéria orgânica polimerizada e compostos húmicos necessitam de hidrólise exoenzimática para transformação em substrato direto. Dessa forma, é através da ação e do sinergismo dos micro-organismos que complexos compostos orgânicos são degradados em moléculas menores, podendo assim ser utilizado pelas células microbianas (KIEHL, 2004; TUOMELA et al, 2000). Destaca-se também a participação também de outros organismos como algas, protozoários, nematoides, vermes, insetos e suas larvas na degradação da matéria orgânica (KIEHL, 2004)

Os micro-organismos são agentes fundamentais para a transformação de compostos orgânicos biodegradáveis em um produto final estável e rico em matéria orgânica. Eles

requerem carbono como fonte de energia e macronutrientes (como nitrogênio, fósforo, carbono e determinados elementos traços) para seu crescimento (TUOMELA et al, 2000).

Segundo Tuomela et al (2000), a compostagem é um processo dinâmico com uma rápida sucessão microbiológica de populações. Embora o número de organismos não apresente uma mudança significativa durante o processo, a diversidade microbiana pode variar de acordo com cada fase. Conforme o processo de compostagem avança, tem-se a proliferação de bactérias e fungos e que vão se sucedendo de acordo com as características do meio.

A temperatura é essencial no que diz respeito a atuação de micro-organismos, uma vez que influencia na taxa na qual muitos dos processos biológicos ocorrem e desempenha um papel seletivo na evolução e sucessão da comunidade microbiológica (HASSEN et al, 2001).

Na fase inicial mesófila (20 a 45°C), predominam bactérias mesofílicas responsáveis pela quebra inicial de matéria orgânica, promovendo assim a liberação de calor na leira de compostagem. O número de bactérias mesofílicas, segundo Hassen et al. (2001), pode variar de $8,5 \cdot 10^8$ - $5,8 \cdot 10^9$ g bactéria/resíduo seco, tendendo a aumentar até o 25º dia. Nessa fase ocorre também a presença de fungos, organismos heterotróficos que se proliferam em ambientes ácidos, toleram uma ampla faixa de pH e possuem uma faixa ótima de crescimento entre 25-30°C, que utilizam matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e por outros micro-organismos (TUOMELA et al, 2000; VALENTE et al. 2009).

Com o aumento da temperatura ocorre a morte dos organismos mesófilos e o composto entra na fase termofílica (45 a 65°C). Quanto as bactérias termofílicas, Strom (1985) relata que mais de 87% são *Bacillus*, gênero que possui como característica a produção de enzimas hidrolíticas extracelulares que degradam polímeros complexos (polissacarídeos, ácidos nucléicos e lipídeos), permitindo assim que organismos utilizem esses produtos como fontes de carbono e doadores de elétron (MADIGAN, MARTINKO, PARKER, 2004). Actinomicetos¹ e fungos termofílicos também emergem, sendo responsáveis pela degradação de lignina e celulose, enquanto que lipídeos e frações de hemicelulose são degradados pelas bactérias (VALENTE et al. 2009). Segundo Kiehl (2004), temperaturas prolongadas de 70-75°C, reduzem a atividade benéfica dos micro-organismos e aumentam a possibilidade de volatilização de amônia.

Para Hassen et al. (2001), há uma terceira fase denominada fase de resfriamento e maturação onde a temperatura decresce, atingido valores no interior da leira de cerca de 30°C.

¹ Bactérias com filamentos multicelulares que se assemelham a fungos.

Durante essa fase a relação C/N tende a estabilizar e há a ressurgência das bactérias e fungos mesofílicos.

O atingimento de temperaturas termofílicas visa também a eliminação de patógenos que possam estar presente na matéria prima compostada. A seguir são listados alguns tipos de organismos patogênicos e tempo e temperatura necessária para sua eliminação.

Tabela 1 - Temperatura e tempo de manutenção para destruição de alguns organismos. Fonte: EPA (2005) *apud* Andreoli (2001)

Organismo	Tempo (minuto)	Temperatura (°C)
<i>Salmonella</i> spp.	15 a 30	60
	60	55
<i>Shigela</i>	60	55
<i>Streptococcus</i> fecais	60	70
<i>Escherichia coli</i>	5	70
	15 a 20	60
	60	55
Coliformes fecais	60	70
<i>Ascaris</i> spp. (ovos)	60	55
	7	60

Acrescenta-se que a leira deve ainda ter um volume mínimo de 1m³, a fim de impedir a dissipação rápida de calor (RODRIGUES, 2004, *apud* MASSUKADO, 2008,) e que a duração da compostagem depende da matéria orgânica e da eficiência do processo (KIEHL, 2004).

Degradação de Lignocelulose:

Uma das principais dificuldades na degradação de materiais compostos por papéis e derivados de madeiras ocorre em virtude da lignocelulose, que corresponde a uma mistura de celulose, hemicelulose e lignina. A última, por ser um componente integral da parede celular cuja função é o fortalecimento e resistência da planta à degradação microbiana, apresenta o maior obstáculo na degradação (TUOMELA et al, 2000). Além disso, pouco é conhecido a respeito da temática em virtude das dificuldades de realizar ensaios que isolem e sintetizem o composto (TUOMELA et al, 2000).

No que diz respeito aos micro-organismos que atuam na degradação de tal composto, destacam-se os fungos e actinomicetos. Os fungos das espécie *Phanerochaete chrysosporium*, conhecidos por “White-rot”, são um dos organismos mais eficientes na degradação de lignina. Entretanto, os mesmo não toleram temperaturas elevadas e são eliminados na fase termófila. Acredita-se que a capacidade dos fungos de hidrolisar hemicelulose é mais comum do que a de celulose. Já os actinomicetos degradam celulose, solubilizam lignina e podem tolerar picos mais elevados de pH e temperatura do que os fungos. Apesar de possuir uma habilidade menor na

degradação dos compostos mencionados do que os fungos, são importantes na degradação de lignocelulose nesses picos de temperatura (TUOMELA et al, 2000).

Enquanto o crescimento dos fungos decresce com o esgotamento de carbono e nitrogênio e a capacidade lignolítica aparece como metabolismos secundário, nos actinomicetos a degradação da lignina ocorre como via metabólica primária e com níveis elevados de nitrogênio. Muitas cepas de bactérias, em especial actinomicetos, podem solubilizar e modificar a estrutura da lignina, mas a habilidade para mineralizá-la é limitada (TUOMELA et al, 2000).

3.6.2 Relação C/N e materiais estruturantes

A relação C/N é uma das formas de avaliar o nível de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento biológico, uma vez que a atividade dos micro-organismos dependem tanto do C como fonte de energia, quanto do N para a síntese proteica (VALENTE et al., 2009). O ideal é que relação C/N seja determinada no material a ser compostado, sendo relação inicial recomendada, segundo Kiehl (2004), de 25 a 35:1. Entretanto, devido a limitações técnico-operacionais, como custo de análise e necessidade de espera dos resultados, muitas vezes utiliza-se valores consultados em bibliografias como base da proporção. A Tabela 2 apresenta um levantamento bibliográfico de pesquisas utilizando diferentes proporções de resíduos verdes e resíduos castanhos e a

Tabela 3 indica os valores de diferentes tipos de resíduos para a relação C/N.

Tabela 2 - Porcentagem mássica, quantia compostada e relação C:N utilizada em diferentes trabalhos de co-compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda

Porcentagem mássica		Peso da leira (kg)	Relação C:N	Fonte
Resíduos Orgânicos Domiciliares (%)	Poda (%)			
70	30	671	23:1	REIS (2005)
100	0	400	13,6:1	GORGATI (2001)**
87	13	518	n.d.	MASSUKADO (2008)
70	30	n.d.	n.d.	BRITO (2008)*

*O autor utilizou diversas proporções, entretanto a mencionada foi a que apresentou os melhores resultados.

** Média obtida nas leiras operadas nas quatro estações do ano.

n.d. = Não determinado.

Tabela 3 - Relação C:N de diferentes resíduos orgânicos utilizados na compostagem

Material	Relação C:N*	Fonte
Lodo de esgoto	5,4:1	Sánchez-Montero, Roig e Bernal (2001)
Resíduo Domiciliar	14,95:1	Sánchez-Montero, Roig e Bernal (2001)

Tabela 3 – Continuação

Casca de Pinheiro	191:1	Sánchez-Montero, Roig e Bernal (2001)
Capim Napier	29,9:1	Matos et al. (1998)
Palha de Café	36:1	Matos et al. (1998)
Esterco Bovino	32:1	Kiehl (1985)
Esterco Suíno	16:1	Kiehl (1985)
Esterco Equino	18:1	Kiehl (1985))
Esterco Ovino	32:1	Kiehl (1985)
Laranja (bagaço)	18:1	EMBRAPA (2014)
Gramma batatais	36:1	EMBRAPA (2014)
Gramma seda	31:1	EMBRAPA (2014)

*Valores calculados em base seca

BRITO (2008), realizando compostagem com resíduos de poda e capina e resíduos orgânicos de feiras livres constatou que as leiras com maior porcentagem dos últimos apresentaram maiores teores de nitrogênio ao longo do monitoramento. Gorgati (2001), utilizando exclusivamente resíduos orgânicos domiciliares, obteve valores baixos na relação C/N, com uma média de 13,6:1, valor próximo ao indicado por Sánchez-Montero, Roig e Bernal (2001) para resíduos domiciliares (14,95:1).

Valente et al (2009) afirmam que uma ampla faixa de variação na relação C/N pode ser obtida conforme a matéria prima utilizada para a compostagem. Apesar da disponibilidade de C ser a maior fonte de energia para os micro-organismos e de sua demanda ser maior que a de N, sua eficiência não é de 100%. Quando parte do C disponível é de difícil degradação, como a celulose, lignina e hemicelulose, é aconselhável uma relação C/N maior, uma vez que o C disponível será menor que o C total. Porém, é a carência de N o fator limitante no processo, uma vez que tal elemento é essencial para o crescimento e reprodução dos micro-organismos. (VALENTE et al, 2009).

Os resíduos com maior teor de nitrogênio, como o caso dos resíduos orgânicos domiciliares, são chamados “resíduos verdes” e os resíduos com maior teor de carbono, como palhas e serragens, são chamados “resíduos castanhos” (MASSUKADO, 2008). Segundo Valente et al. (2009), a relação C/N adequada é alcançada através da mistura de diferentes resíduos orgânicos.

Caso um composto com relação elevada C/N seja aplicado diretamente ao solo, os micro-organismos, além de reciclarem o nitrogênio dos que morrem, retiram também nitrogênio do solo na forma nítrica ou amoniacal, procurando assim reduzir a proporção de forma carbono em relação a de nitrogênio. Na compostagem altos valores na relação C/N podem retardar o processo, enquanto que em relações baixas, como nas de lodo, por exemplo, os organismos

utilizam toda a fonte de carbono e eliminam o nitrogênio na forma amoniacal, reduzindo assim o teor de nitrogênio. As perdas de nitrogênio são mais acentuadas na fase termófila e com pH alcalino, sendo que o revolvimento também facilita a volatilização da amônia (KIEHL, 1985).

Reis (2005) indica que os resíduos castanhos devem ser dispostos na base e na cobertura da leira a fim de evitar a proliferação de odores pois os mesmos funcionam como filtro para a absorção e umidade. Além disso, segundo Fernandes e Silva (1999), os resíduos castanhos possuem altos teores de sólidos voláteis biodegradáveis para o fornecimento de energia para os micro-organismos e função importante como material estruturante e “balanceador” da relação C/N.

O decréscimo inicial de nitrogênio na compostagem está associada a perda do elemento na forma de amônia que, por sua vez, depende do tipo de material e da relação C/N. Compostos com uma relação baixa resultam em uma perda maior de N do que os que possuem uma relação elevada (GOYAL et al, 2005).

Conforme a degradação da matéria orgânica ocorre devido à perda de carbono (principalmente na forma de CO_2), o conteúdo de material compostável decai com o tempo e o conteúdo de N por unidade de material aumenta, o que resulta num decréscimo da relação C/N (GOYAL et al, 2005). Dessa forma, a matéria orgânica bioestabilizada apresentará uma relação C/N em torno de 18:1, indicando o início do processo de mineralização do nitrogênio (KIEHL, 2004).

Embora a relação C/N normalmente decaia no decorrer da decomposição da matéria orgânica, Goyal et al (2005) ao utilizar resíduos de aves como substrato para compostagem encontrou um aumento na relação C/N devido à perda de N pela volatilização da amônia. Ao se utilizar aguapé como substrato, o autor supracitado encontrou também um pico na relação no 30º dia devido à perda de N, porém, o valor da relação voltou a decair com o decorrer da decomposição, evidenciando assim que o comportamento dos teores de C e N variam conforme o substrato utilizado.

A Relação C/N, segundo os resultados obtido por Reis (2005), também influenciará na temperatura. De acordo com a autora, diminuindo a proporção de resíduos castanhos é reduzido também o período termofílico.

3.6.3 pH e transformações do nitrogênio

A reação da matéria orgânica tanto de origem animal como de origem vegetal possui, normalmente, natureza ácida, de forma que uma leira posta para ser decomposta terá

inicialmente um caráter ácido. A medida que o processo avança os ácidos minerais vão desaparecendo e os ácidos orgânicos reagem com bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando o composto e resultando em um produto final com característica alcalina (KIEHL, 2004; BIDONE E POVINELLI, 2010). São formados também humatos alcalinos através da reação dos ácidos húmicos com elementos básicos, o que pode ocasionar, muitas vezes, valores de pH acima de 8,0 (KIEHL, 2004).

No início da compostagem o valor do pH situa-se normalmente na faixa de 5-6, sendo que a decomposição que ocorre no começo que possui caráter ácido pode favorecer o crescimento de fungos e a degradação da lignina. Com o decorrer do processo, o parâmetro atinge valores entre 6,0-8,0, permanecendo nessa faixa até o final do processo (PEIXOTO, 2005).

Figura 13 - Variação do pH durante a compostagem. Fonte: Peixoto (2005)

Segundo Baird (2002), o sistema carbônico compreende CO_2 , HCO_3^- e CO_3^{2-} , os quais variam em função do pH. No caso do CO_2 , o mesmo provém da decomposição da matéria orgânica e da respiração microbiana, podendo se apresentar no solo sob diversas formas. Quando o elemento supracitado reage com a umidade do substrato, uma pequena porção (menos de 1%) é hidratada para formar H_2CO_3 . Parte desse ácido se dissocia formando HCO_3^- bem como íons de hidrogênio, reduzindo assim o pH. Porém, em sentido contrário, esta reação resulta em outro próton. Se o pH aumenta, como resultado da absorção de CO_2 pelos microorganismos, o equilíbrio move-se para produção de CO_3^{2-} . Por outro lado, valores mais baixos de pH que são resultantes do processo de decomposição e respiração, predominando-se as formas de CO_2 e H_2CO_3 (Wetzel, 1983 *apud* Valente et al 2009)

Outro ponto a se considerar são as transformações do nitrogênio no solo, uma vez que estas influenciam nos valores de pH. A maioria do nitrogênio encontrado na compostagem está na forma orgânica, principalmente como parte da estrutura de proteínas e peptídeos. Uma pequena porção desse nitrogênio orgânico é mineralizada para amônia (NH₃) através de reações de amonificação resultantes das atividades microbianas (SANCHEZ-MONEDERO et al 2000). Segundo Cardoso (1992), essa conversão é um passo limitante da mineralização e é realizada por diversos micro-organismos quimiorganotróficos, tanto em condições aeróbias como em condições anaeróbias, sendo o processo mais lento no último caso.

A amônia formada passa por diferentes condições dependendo da mistura compostada. Por exemplo, ela pode estar tanto dissolvida como amônio (NH₄⁺), e ser então imobilizada pelos micro-organismos da mistura que a utilizam como fonte de nitrogênio, transformando-a novamente para N orgânico, como ser despreendida através da volatilização, fato que acontece quando se tem altas temperaturas e pH acima de 7,5. O NH₄⁺ pode ser também transformado a nitrato (NO₃⁻) sob condições de aeração favoráveis e temperaturas abaixo de 40°C (SANCHEZ-MONEDERO et al 2000).

A intensa atividade microbiana e a degradação da matéria orgânica nas primeiras semanas de compostagem leva a formação de amônia como consequência da amonificação do N orgânico (SANCHEZ-MONEDERO et al 2000). A hidrólise da amônia acarreta o aumento do pH devido a produção de hidroxilas, transformando-a em amônio (Equação 3).

As bactérias nitrificantes porporcionam então a queda do pH do meio devido a liberação de íons de hidrogênio, segundo as seguintes equações:

Caso ocorra a falta de oxigenação nas leiras, os organismos podem utilizar NO₃⁻ como fonte de oxigênio, o que resulta na desnitrificação e paralisa a nitrificação (SANCHEZ-MONEDERO et al 2000).

Sanchez-Monedero et al (2000) realizando a compostagem de resíduos domiciliares orgânicos e sorgo numa porporção de 97:3 (base seca), observaram que, embora a degradação da matéria orgânica tenha sido intensa nesses resíduos, a concentração do íon amônio foi baixa,

bem como a concentração inicial de nitrogênio. A justificativa cogitada pelos autores para os baixos valores amônio foi a perda do íon pela volatilização da amônia, uma vez que a mistura apresentou valores iniciais de pH e temperatura altos. Como resultado da baixa disponibilidade de $\text{NH}_4\text{-N}$, os valores de NO_3^- também foram valores baixos. Acrescenta-se que os autores também não encontraram correlação significativa entre o pH e a nitrificação.

Comparada a outras misturas nas quais foram adicionado maiores teores de lignocelulose, nos estudos de Sanchez-Monedero et al (2000), a mistura dos resíduos sólidos orgânicos e sorgo apresentou perda de nitrogênio com valores mais elevados (41%, no final do processo), evidenciando dessa forma a importância em se adicionar materiais estruturantes ricos lignocelulose a fim de se reduzir tais perdas.

Russo (2003) afirma que o pH, embora afete a compostagem, é difícil de ser controlado no desenvolver do processo. Segundo Valente et al (2009), não há problemas em se utilizar substratos com baixos valores de pH uma vez que durante a compostagem ocorrerão diversas reações químicas que regularão a acidez, gerando um produto final entre 7,0 e 8,0.

3.6.4 Umidade

A umidade é indispensável para as atividades metabólicas e fisiológicas dos micro-organismos, sendo que a decomposição biológica da matéria orgânica é totalmente dependente da presença da mesma (PEREIRA NETO; LELIS 1999; VALENTE et al, 2009; KIEHL, 2004). Segundo Bidone e Povinelli (2010) os resíduos orgânicos domiciliares apresentam naturalmente a umidade em torno de 55%, motivo pelo qual a compostagem apresenta uma interessante alternativa para sua transformação em húmus. Pereira Neto e Lelis (1999) acrescentam também que a umidade é o único meio de transporte usado tanto para solubilizar o substrato como para eliminar o material residual digerido.

De acordo com Kiehl (2004), caso a umidade apresente-se abaixo de 40% a decomposição, embora aeróbia, será mais lenta, e se a mesma apresentar valores acima de 60% o material mostrar-se-á molhado ou encharcado, tomando os espaços de ar ocupados e ocasionando uma decomposição anaeróbia, sendo o valor ideal em torno de 55%. Valente et al. (2009) atenta para o fato de que valores abaixo de 30% inibem a atividade microbiana, porém, Lelis e Pereira Neto (1999) afirma que valores próximos a 20% são suficientes para manutenção da atividade microbiana termófila, mas não trazem eficiência em termos de degradação da matéria orgânica.

Nos experimentos realizados por Pereira Neto e Lelis (1999) e Lelis e Pereira Neto (1999), os autores realizaram compostagem com a FORSU onde se testou índices de umidade

de 20-30%, 30-40%, 40-50%, 50-60%, acima de 60% e sem correção de umidade. Quanto à aeração/ciclo de revolvimento, apenas no caso da umidade mantida acima de 60% é que não foi notada sua influência no teor de umidade. Em relação à temperatura, os experimentos com umidade superior a 60% foram os primeiros a apresentar valores inferiores à faixa termófila (a partir do vigésimo segundo dia), levando os autores a concluir que a umidade elevada absorve o calor produzido na massa de compostagem quando as fontes de carbono responsáveis pela reação exotérmica se encontram esgotadas. Os experimentos com umidade entre 20-30% apresentaram um maior período de fase de degradação ativa, permanecendo na faixa termófila por 57 dias, sugerindo assim uma lenta degradação do material quando submetido a baixos teores de umidade. O experimento onde não houve o controle de umidade foram registradas temperaturas termófilas até o vigésimo oitavo dia e a partir de então foi atingida a temperatura ambiente (LELIS; PEREIRA NETO, 1999). No que diz respeito aos teores de sólidos voláteis, a maior redução ocorreu na faixa de umidade entre 40-60%. Foi observado que, mesmo praticamente seca, as reações ativas de degradação podem ser retomadas mediante a correção da umidade. Quanto à contaminação microbiológica, os *Streptococcus fecalis* não apresentaram redução a níveis satisfatórios nos experimentos com umidade superior a 60% em decorrência do baixo período em que permaneceram na temperatura termófila.

A fim de não atingir valores acima de 60%, o que pode levar ao excesso de água na forma de chorume, a FORSU necessita frequentemente de correção de umidade. Materiais celulolíticos porém, suportam umidade muito mais elevada (70-85%) sem que isso afete o processo e a correção da umidade seja necessária (PEREIRA NETO; LELIS, 1999). Por isso, a utilização de materiais como palhas, capins, serragem e afins, além de servirem como materiais estruturantes e proporcionarem a correção da relação C/N, são interessantes no que diz respeito a adequação a umidade.

Em caso de leiras montadas a céu aberto, segundo Pereira Neto e Lelis (1999), a umidade é suscetível a interferência de chuvas até o 10º dia. Após esse período, a leira provavelmente já se apresentará em estágio de degradação e estabilização termófila.

Valente et al (2009) conclui que a umidade, juntamente com aeração, pH, relação C/N, granulometria do material e dimensão das leiras, possui um efeito direto sobre o desenvolvimento de micro-organismos e indireto na temperatura do processo, sendo que o valor considerado ótimo varia em função do tipo de material a ser compostado e do material celulolítico utilizado.

3.6.5 Aeração e revolvimento

Segundo Kiehl (2004), a aeração é o fator mais importante a ser considerado na decomposição da matéria orgânica, podendo influenciar em outros parâmetros como temperatura, velocidade da reação, umidade e velocidade de oxidação (VALENTE et al, 2009).

Tiquia, Tam e Hodgkiss (1997) comparam diferentes frequências de revolvimento em intervalos de 2, 4 e 7 dias para a compostagem de dejetos suínos e serragem. Os resultados das análises físico-químicas para as leiras revolvidas a cada 2 e 4 dias foram similares, sendo que a temperatura ambiente foi atingida em dois meses e meio, enquanto que a leira revolvida a cada 7 dias apresentou uma degradação mais lenta, atingindo a temperatura ambiente em aproximadamente quatro meses. Levando em conta os resultados similares para 2 e 4 dias, os autores sugerem que, para o tipo de resíduo em questão, o revolvimento seja realizado a cada 4 dias, por ser uma frequência menos dispendiosa e que atinge uma estabilização tão boa quanto em 2 dias de revolvimento.

O programa de revolvimento, segundo Kiehl (2004), deve ser baseado na concentração de oxigênio, temperatura e umidade, e sua finalidade é: remover o gás carbônico e introduzir a oxigenação; homogeneizar a massa de compostagem, uniformizando assim a umidade e a comunidade microbiana; e desfazer diferentes camadas estratificantes geradas na leira; efetuar o controle sanitário da leira, uma vez que camadas mais externas não atingem temperaturas elevadas, permanecendo ressecadas, não eliminando assim micro-organismos. Deve-se levar em conta que muitas vezes devido a limitações operacionais, como falta de equipamento e volume elevado das leiras, o revolvimento com uma frequência maior torna-se inviável.

Caso a leira permaneça muito tempo sem ser revolvida, ocorrerá a formação de uma camada superior mais seca e menos densa e outra inferior, interna, mais úmida e mais densa onde pode ocorrer anaerobiose (KIEHL, 2004).

No caso de leiras estáticas, a oxigenação ocorre por sopradores ou aspiradores de ar localizados geralmente na base. A oxigenação pode ser programada através de termostatos acoplados a sensores localizados no interior da pilha a ser compostada.

Tiquia e Tam (1998) realizaram a compostagem de dejetos suínos e serragem e compararam o desenvolvimento de leiras revolvidas a cada 4 dias com leiras estáticas aeradas de fluxo de oxigenação de 19 L.min^{-1} . Os autores encontraram resultados físicos, químicos e microbiológicos similares para ambos os sistemas, indicando que as diferentes metodologias não influenciaram na qualidade do composto.

3.6.6 Tamanho das partículas

A decomposição da matéria orgânica é um processo relacionado superfície específica do material a ser compostado, de forma que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área suscetível ao ataque dos micro-organismos (Kiehl, 1985; Fernandes e Silva, 1999). Bidone e Povinelli (2010) afirmam que as dimensões ideais para os resíduos sólidos orgânicos estão ente 1 e 5 cm.

Embora as partículas finas sejam importantes para a aceleração do processo, deve-se atentar para a questão da compactação que pode ser prejudicial as leiras. Rodrigues et al (2006) menciona que a granulação muito fina ocasiona poucos espaços porosos, dificultando a difusão de oxigênio, favorecendo assim o surgimento de zonas anaeróbias. Neste caso, Bidone e Povinelli (2010) recomendam a adição de agregação de materiais sólidos, como cavacos de madeira, a fim de melhorar a sustentação e porosidade e evitar a compactação.

A trituração, muitas vezes utilizada visando a redução granulométrica, apresenta também a vantagem do aumento da densidade dos resíduos através diminuição das partículas. Dessa forma, é possível que uma massa maior de resíduos seja adicionada em um determinado volume, o que resulta na otimização da área das leiras e, conseqüentemente, em economia.

3.6.7 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC de um solo, de uma argila ou do húmus representa quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condições permutável (Ca^{+2} , Mg^{2+} , K^{+} , H^{+} e Al^{3+}) (RONQUIM, 2010). É um parâmetro de grande importância no que diz respeito ao suprimento de nutrientes às plantas, na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo, pois indica a capacidade total de retenção de cátions que, de uma forma geral, tornar-se-ão disponíveis às plantas (CHAVES et al, 2004; SANTOS et al, 1999).

As cargas negativas, responsáveis pelo incremento da CTC, são consequência dos grupos funcionais carboxílicos ($-\text{COOH}$), fenólicos e álcoois ($-\text{OH}$) e metoxílicos ($-\text{OCH}_3$) que se encontram na periferia dos ácidos orgânicos presentes no húmus (FASSBENDER, 1975 *apud* Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001) e dependem do pH do solo. A influência do pH será maior quanto maior forem a presença de espécies minerais de argilas com cargas dependentes do pH e/ou matéria orgânica que, praticamente, só apresenta esta característica (LOPES; GUILHERME, 2004). Sendo assim, o processo de troca iônica é influenciado pela acidez na solução do solo, de forma que, em soluções ácidas, onde se tem uma alta concentração de H^{+} ,

o íon acaba por bloquear a substituição por outros cátions, resultando em uma menor troca catiônica quando comparado a soluções alcalinas (MENDES, 2012).

Kiehl (2004) afirma que a CTC depende, além do pH e da quantidade de minerais de argila, do grau de decomposição da M.O e Lopes e Guilherme (2004) acrescentam também a superfície específica ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$).

O poder tampão da matéria orgânica do solo ocorre devido a esses íons de hidrogênio pouco dissociados que agem no tamponamento contra presença de substâncias alcalinas, e aos íons de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , com baixos graus de dissociação na solução do solo, adsorvido ao húmus, que atuam no tamponamento contra alterações que certas substâncias possam promover (KIEHL, 1985; ABREU JR.; MURAOKA; OLIVEIRA, 2001).

Se a maior parte da CTC de um solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , este é um solo bom para a nutrição das plantas. Caso contrário, se a maior parte da CTC estiver ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} este será um solo pobre. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e as calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação (RONQUIM, 2010).

A CTC dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes (RONQUIM, 2010).

Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2001) utilizaram o composto produzido na usina de compostagem de São Matheus a fim de testar sua aplicação na presença ou ausência de calcário dolomítico e de adubos minerais, aplicados em diferentes solos. Os autores concluíram que a aplicação do composto produzido na usina elevou os teores de cátions trocáveis, a capacidade de troca de cátions e a saturação das bases de modo igual ou superior às aplicações de calcário com adubo minerais, aplicados aos solos ácidos, e de gesso com adubos minerais, aplicados aos solos alcalinos.

Nos estudos de Raij (1981) desenvolvido em solos do Estado de São Paulo, a matéria orgânica, apesar de ocorrer em teores bem mais baixos que a fração de argila, foi a principal responsável pela CTC, contribuindo com 56-82% do total de cargas elétricas negativas, ressaltando assim a importância do manejo adequado da M.O. quando se visa o incremento da CTC.

A adição de fertilizante orgânico humificado ao solo aumenta a CTC, tornando os metais pesados menos disponíveis. Em relação a elementos químicos potencialmente tóxicos, a CTC

influencia a disponibilidade e a assimilabilidade pelas raízes reduzindo a fitotoxidade da planta. Isso possibilita que fertilizantes orgânicos com maiores quantidades de metais pesados possam ser aplicados. Kiehl (2004) exemplifica que, se a CTC de um solo for 5 me/100g, a dose máxima de cádmio que se pode adicionar é 5kg Cd/ha; se a CTC estiver entre 5-15 me/100g, a dose aumenta para 10 kg Cd/ha; e se a CTC for maior que 15 me/100g, a dose permitida é 20 kg Cd/ha.

3.6.8 Outros parâmetros de avaliação da maturação do composto: Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica

A capacidade de retenção de água pode ser definida como a quantidade de água que permanece em uma amostra depois de ter sido encharcada até a saturação e deixada em condições para que a água escoe pela força da gravidade, nela restando a água retida nos microporos (KIEHL, 2004).

A composição do solo pode influenciar na capacidade de retenção da água. Em solos arenosos há uma infiltração mais rápida da água em função dos espaços porosos que permitem a drenagem livre da água, o que resulta em um solo mais seco devido à baixa retenção de água. Já em solos argilosos os microporos retêm mais água, porém, nesses solos, existe a desvantagem da compactação, reduzindo o espaço poroso e causando um grande escoamento da água superficial da chuva (LOPES, 1989).

A água armazenada no solo é importante uma vez que é a principal fonte deste componente às plantas, além de ser o meio no qual os nutrientes estão solubilizados, podendo assim ser transportados até a planta (KLAR, 1984). A humificação da matéria orgânica pode aumentar a capacidade de armazenamento da água, e o húmus e a matéria orgânica, por serem considerados maus condutores de calor, podem contribuir para reduzir as variações diárias de temperatura (COSTA, 1989). Dessa forma, na compostagem, à medida que a matéria orgânica vai se decompondo a capacidade de retenção de água aumenta (KIEHL, 2004).

Em relação a condutividade elétrica, o extrato da solução da CE é um parâmetro indicador da salinidade do solo, de forma que quanto maior a CE, maior a concentração de sais na solução (TOMÉ JR, 1997). O parâmetro pode ser utilizado para avaliar o grau de qualidade do composto servindo como indicativo de toxicidade, uma vez que elevados valores de condutividade elétrica e alta concentração de ácidos orgânicos inibem a germinação de sementes (MASSUKADO, 2008). De acordo com Tomé Jr (1997), a CE está relacionada com o conteúdo de sais na solução do solo e o excesso destes na zona radicular da planta prejudica

germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas. Isso ocorre porque a maior concentração de sais irá exigir da planta mais energia para conseguir absorver água (efeito osmótico), energia esta que será desviada dos processos metabólicos essenciais.

3.7 Potencial agrônomo e aplicação do composto gerado

Além de ser uma opção para o tratamento da FORSU, a compostagem também pode ser explorada em termos de adubação orgânica. A aplicação do fertilizante orgânico gerado proporciona o incremento das propriedades físico-químicas (Item 3.6) e o fornecimento de nutrientes ao solo, possibilitando assim que culturas apresentem um melhor desempenho (COSTA, 1989). Acrescenta-se ainda que os compostos orgânicos, não só promoverem a melhoria da estrutura física do solo em decorrência das substâncias húmicas colidais que atuam como agentes cimentantes das partículas, como também tem a propriedade de se ligarem com íons metálicos de ferro, manganês, zinco, alumínio e cobre, complexando-os e eliminando, em determinados casos, os efeitos tóxicos do manganês e alumínio (COSTA, 1989).

Estudos recentes demonstram que a população de micro-organismos presentes nos fertilizantes orgânicos atuam contra agentes patogênicos que atacam determinadas plantações, de forma que, a aplicação da compostagem consorciada ao uso agrícola apresenta um potencial de redução de pragas (MEHTA et al, 2014). Consequentemente, pode-se haver a diminuição de perdas alimentícias e de prejuízos econômicos.

A fertilização do solo, antes baseada na ciclagem da matéria orgânica e adubos orgânicos localmente disponíveis, deslocou-se no sentido do uso intensivo de fertilizantes industriais (FAO, 2005 apud SIQUEIRA 2014). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, o Brasil lidera o ranking de importações de fertilizantes (Figura 14), sendo que somente no ano de 2014 a importação de fertilizantes intermediários chegou a 24.618.822 t (ANDA, 2015).

Figura 14 - Ranking de importação de fertilizantes referentes ao período de 2006-2009. Fonte: FAO, 2015

A utilização de fertilizantes orgânicos, embora não supra a demanda de fertilizantes exclusivamente minerais no contexto do modelo de agricultura convencional, apresenta uma opção para sua redução e diversificação. Ressalta-se que, substratos que apresentam uma composição química adequada baseada apenas na adição de fertilizantes minerais, mas que não possuem material orgânico em sua composição, muitas vezes não são o suficiente para proporcionar um bom desenvolvimento de culturas (GUIMARÃES et al, 2006).

3.7.1 Legislações referentes à aplicação do composto

A primeira regulamentação para os fertilizantes orgânicos produzidos ou comercializados no Brasil surge a partir do Decreto Federal nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982 (BRASIL, 1982). A complementação ao decreto veio com a Portaria nº 31 do Ministério da Agricultura, de 8 de junho de 1982, que aprovou os métodos analíticos que passaram a constituir os métodos padrões e oficiais para análise de fertilizantes, e a Portaria nº 1 do mesmo ministério, de 4 de março de 1983, que fixou especificações, garantias e tolerâncias dos produtos (REIS, 2005). Esta portaria define alguns parâmetros que devem ser respeitados para o composto em geral, que é colocado à venda no mercado. Foram fixados parâmetros genéricos, sendo que um bom composto de lodo de esgoto, por exemplo, pode apresentar características muito superiores aos critérios nela definidos. Por outro lado, a Portaria não toca em questões importantes para a qualidade de compostos, como os metais pesados e micro-organismos patogênicos (REIS, 2005).

Alguns conceitos definidos pelo Decreto Federal nº 86.955 foram posteriormente modificados pelo Decreto 4954/2004 (BRASIL, 2004). A Tabela 4 mostra as definições e modificações relativas aos decretos:

Tabela 4 – Diferenças e entre o Decreto nº86.955 e nº 4954/2004

Lei	Definição	
	Decreto nº86.955/82	Decreto 4.954/2004
Fertilizante	Substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas a) Fertilizante Simples - fertilizante formado de um composto químico, contendo um ou mais nutrientes das plantas; b) Fertilizante Misto - fertilizante resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes simples; c) Fertilizante Orgânico - fertilizante de origem vegetal ou animal contendo um ou mais nutrientes das plantas; d) Fertilizante Organo-mineral - fertilizante procedente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos;	IDEM a) fertilizante mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas; b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais; c) fertilizante mononutriente: produto que contém um só dos macronutrientes primários;

Tabela 4 – Continuação.

<i>Tipos de fertilizante:</i>	<p>e) Fertilizante Composto - fertilizante obtido por processo bioquímico, natural ou controlado com mistura de resíduos de origem vegetal ou animal;</p> <p>f-) Fertilizante Complexo - fertilizante contendo dois ou mais nutrientes, resultante de processo tecnológico em que se formem dois ou mais compostos químicos;</p>	<p>d) fertilizante binário: produto que contém dois macronutrientes primários;</p> <p>e) fertilizante ternário: produto que contém os três macronutrientes primários;</p> <p>f) fertilizante com outros macronutrientes: produto que contém os macronutrientes secundários, isoladamente ou em misturas destes, ou ainda com outros nutrientes;</p> <p>g) fertilizante com micronutrientes: produto que contém micronutrientes, isoladamente ou em misturas destes, ou com outros nutrientes;</p> <p>h) fertilizante mineral simples: produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas;</p> <p>i) fertilizante mineral misto: produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos;</p> <p>j) fertilizante mineral complexo: produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes;</p> <p>l) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;</p> <p>m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;</p> <p>n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; e</p> <p>o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos;</p>
Corretivo	<p>Produto que contenha substâncias capazes de corrigir uma ou mais características do solo, desfavoráveis às plantas</p>	<p>Produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, ou como meio para o crescimento de plantas, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais, assim subdividido:</p>
<i>Tipos de Corretivo</i>	<p>a) Corretivo de Acidez ou Alcalinidade - produto que promova a modificação da acidez ou alcalinidade do solo, sem trazer nenhuma característica prejudicial;</p> <p>b) Corretivo de Salinidade - produto que promova a diminuição de sais solúveis no solo;</p> <p>c) Melhorador ou Condicionador do Solo - produto que promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas do solo;</p> <p>d) Poder de Neutralização - Conteúdo de neutralizantes contidos em corretivo de acidez, expresso em equivalente de carbonato de cálcio.</p>	<p>a) corretivo de acidez: produto que promove a correção da acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos;</p> <p>b) corretivo de alcalinidade: produto que promove a redução da alcalinidade do solo;</p> <p>c) corretivo de sodicidade: produto que promove a redução da saturação de sódio no solo;</p> <p>d) condicionador do solo: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo; e</p> <p>e) substrato para plantas: produto usado como meio de crescimento de plantas;</p>

Tabela 4 - Continuação

Biofertilizante	ESTIMULANTE OU BIOFERTILIZANTE - produto que contenha princípio ativo ou agente capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade;	- Produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante
-----------------	--	---

Após a Portaria nº1 foram aprovadas as seguintes Instruções Normativas:

- **IN Nº 10 de 10 de maio de 2004:** classifica os fertilizantes de acordo com a natureza, quantidade de nutrientes, por categoria e modo de aplicação (BRASIL, 2004 a);
- **IN Nº 10 de 18 de outubro de 2004:** aprova as definições e normas para fertilizantes minerais (BRASIL, 2004 b);
- **IN Nº 15 de 22 de dezembro de 2004:** aprova as definições e normas para fertilizantes orgânicos e outros. De acordo com Reis (2005), o composto de “lixo” é definido nesta instrução como fertilizante orgânico composto, obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes.
- **IN Nº 27 de 5 de junho de 2006:** Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V referentes às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas (BRASIL, 2006).
- **IN Nº 25 de 23 de junho de 2009:** aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos anexos à presente instrução normativa (BRASIL, 2009).

O Anexo I da I.N Nº 25/09 apresenta as definições de lodo de esgoto, vermicomposto e composto de lixo, atentando para o fato que os mesmos devem respeitar os limites exigidos pelo Anexo III intitulado “especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos”.

***Lodo de esgoto:** matéria-prima proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, possibilitando um produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;*

Vermicomposto: produto resultante da digestão, pelas minhocas, da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;

Composto de lixo: produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;

O Anexo I da I.N Nº 25/09 estabelece ainda a classificação dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, podendo ser:

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

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

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

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

Dessa forma, o produto oriundo da aplicação da técnica de compostagem e vermicompostagem em resíduos domiciliares orgânicos pode ser enquadrado como **fertilizante orgânico composto Classe C**. Segundo a IN 25/09, os fertilizantes Classe C e D somente poderão ser comercializados para consumidores finais mediante a recomendação técnica firmada por engenheiro agrônomo ou florestal, respeitada a área de competência, sendo esta recomendação impressa na embalagem, rótulo, folheto ou outro documento que a acompanhe,

desde que conste a identificação do responsável técnico e seu registro de conselho de classe (BRASIL, 2009).

No caso dos fertilizantes Classe D, há ainda a restrição de uso somente através de equipamentos mecanizados, sendo que durante o manuseio e aplicação devem ser utilizados equipamentos de proteção individual (EPIs), e a proibição do uso em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (BRASIL, 2009).

A Tabela 5 expressa a síntese dos limites exigidos pela IN 25/09 e 27/06.

Tabela 5 - Parâmetros admitidos pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos e limites de contaminantes admitidos pela I.N nº 27 de 5 de junho de 2006 para fertilizantes orgânicos.

Parâmetros	IN ¹ 27/2006	IN 25/2009 ¹
pH		Mín. 6,5
Umidade % m/m (equivale a g 100g ⁻¹)		Máx. 50
Carbono orgânico %		Mín. 15
Matéria orgânica %		
Nitrogênio Total %		Mín. 0,5
Relação C/N		Máx. 20
CTC ²		Conforme declarado
CTC/C		Conforme declarado
Outros nutrientes		Conforme declarado
Cr (mg Kg ⁻¹)	Máx 200,00	
Pb (mg Kg ⁻¹)	Máx. 150,00	
Ni (mg Kg ⁻¹)	Máx. 70,00	
Cd (mg Kg ⁻¹)	Máx. 3,00	
Se (mg Kg ⁻¹)	Máx. 80,00	
Coliformes termotolerantes (NMP/g de MS)	1.000,00	
Ovos viáveis de helmintos (nº em 4g de ST)	1,00	
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca	

1. Valores expressos na base seca a 65°C

2. É obrigatória a declaração no produto

Quanto a granulometria, as especificações para fertilizantes orgânicos e biofertilizantes, são determinadas também pela IN 25/09, sendo que os que não atendam as especificações da Tabela 6, no rótulo ou na etiqueta deverá constar a expressão “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”.

Tabela 6 – Classificação granulométrica dos compostos de acordo com a I.N n° 25 de 23 de junho de 2009

Natureza Física	ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4 mm	Mínimo 95%	Máximo 5%
	1 mm	Máximo 5%	Mínimo 95%
	2,0 mm	100%	0%
Pó	0,84 mm	Mínimo 70%	Máximo 30%
	0,3 mm	Mínimo 50%	Máximo 50%
Farelado	3,36 mm	Mínimo 95%	Máximo 5%
	0,5 mm	Máximo 25%	Máximo 75%
Farelado	4,8 mm	100%	0%
Grosso	1,0 mm	Máximo 20%	Mínimo 80%

Cabe mencionar também a IN n° 46 de 6 de outubro de 2011 que estabelece o regulamento técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, bem como as listas de Substâncias Permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal e que deve ser seguida por toda pessoa física ou jurídica responsável por unidades de produção em conversão ou por sistemas orgânicos de produção (BRASIL, 2011).

Apesar de restrita para sistemas orgânicos de produção, a IN n° 46/11 reconhece a importância da compostagem e prioriza reciclagem da matéria orgânica como base para a manutenção da fertilidade do solo e da nutrição das plantas para sistemas orgânicos de produção vegetal. Além disso, é estabelecida uma lista de “Valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, resíduos de biodigestor, resíduos de lagoa de decantação e fermentação, e excrementos oriundos de sistema de criação com o uso intenso de alimentos e produtos obtidos de sistemas não orgânicos” no Anexo VI. Os elementos especificados são os mesmos da IN 27/06, porém com incorporação do cobre VI, zinco e a desconsideração do selênio, sendo os limites máximos, com exceção dos parâmetros microbiológicos que permaneceram os mesmos, mais restritivos.

4. MATERIAS E MÉTODOS

Os três primeiros itens desta seção (4.1 a 4.3) foram elaborados em etapas levando em consideração os objetivos específicos propostos no Item 2.2. Os itens 4.4 e 4.5 detalham, respectivamente, os métodos utilizados ensaios físicos, químicos e microbiológicos e as análises estatísticas aplicadas.

4.1 Etapa 1: Apresentação do projeto, aplicação de questionário e avaliação do desempenho dos estabelecimentos no decorrer do projeto

Primeiramente, foi feito um levantamento de diversos estabelecimentos produtores de resíduos orgânicos (como restaurantes, sucos, quitandas, creches e moradia estudantil) no entorno da USP/São Carlos, a fim de facilitar a rota de transporte. Elaborou-se um folder ilustrativo e cartazes (Apêndices A e B) com uma descrição sucinta da proposta e da forma de contribuição.

Partiu-se então para etapa de campo onde ocorreu o primeiro contato com os responsáveis pelos estabelecimentos. Entregou-se o folder e explicou-se com maiores detalhes como seria o projeto e a forma de adesão. O convite de participação foi feito com proposta de que os resíduos orgânicos² fossem segregados pelos proprietários/funcionários e coletados pela responsável do projeto nos dias combinados. Os 19 estabelecimentos que aderiram ao projeto são exibidos na Figura 15.

Nota-se que a maioria dos locais, com exceção do ponto O, encontravam-se em um raio de no máximo 0,5 km da USP, facilitado assim a logística de transporte.

Aplicou-se um questionário nos estabelecimentos que aderiram ao projeto com as seguintes perguntas:

- 1) Qual a destinação dada aos resíduos orgânicos produzidos?
- 2) Vocês tem uma estimativa da geração diária de resíduos orgânicos?
- 3) Na sua opinião, qual o melhor destino para os resíduos orgânicos?
- 4) O estabelecimento realiza a separação de orgânicos e recicláveis?
- 5) Qual o maior empecilho para a separação de orgânicos?
- 6) Vocês tem conhecimento a respeito da prática de compostagem?
- 7) Caso fosse proposto um programa municipal de compostagem, o estabelecimento teria interesse em aderir?

² Os estabelecimentos eram instruídos a separar somente os resíduos de preparo de alimento, como casca de frutas, verduras e legumes, sendo sobras de pratos e alimentos cozidos e fritos não recomendados.

Figura 15 - Localização dos restaurantes que aderiram ao Projeto Separe!. Legenda: Limite USP São Carlos; A: Pé na praça, B: Barone, C: La vila, D: Tempero Manero, E: Laranjeiras, F: Dona Fruta, G: Top Açai, H: Frei Damião, I: Mamãe Natureza, J: Vovô moço, K: Bistrô, L: Creche SEMEI, M: Lanchonete Paladar, N: Tempero Manero Av. São Carlos, O: Farol Restaurante, P: Recanto das Frutas, Q: Restaurante Donnadora, R: Alojamento Bloco C, S: Alojamento Bloco E

O desempenho dos estabelecimentos em relação ao sistema de segregação proposto foi averiguado durante o período de coleta (09/06/2014 a 3/07/2014) através de análises em campo e pela inspeção visual do material separado nos baldes e sacolas utilizados para a coleta.

4.2 Etapa 2: Compostagem

4.2.1 Estruturação e montagem das leiras

Para a compostagem foi utilizado o Laboratório de Compostagem construído a partir do financiamento do programa FINEP-PROSAB-5, Edital 6, vinculado ao Trabalho de Graduação de Coltro (2009). O laboratório localiza-se no *campus* I da USP de São Carlos e dispõe de uma área de 36 m². Acrescenta-se que se trata de um local fechado e com cobertura, de forma que não há influência de fatores externos como ventos, insolação e chuvas.

Tendo em vista a limitação de área útil no Laboratório de Compostagem, utilizou-se composteiras do tipo alambrado (Figura 16) cujo material consiste em arame soldado revestido de PVC, da marca *Fortinet*. A vantagem da utilização dessa composteira, além da otimização da área, é a possibilidade do confinamento e do direcionamento dos resíduos quando houver a necessidade do revolvimento. Para isto basta abrir os encaixes dos alambrados e dispor o

composto do lado desejado, não havendo assim um espalhamento irregular do mesmo. As leiras foram dimensionadas e dispostas conforme o *layout* da Figura 16.

Figura 16 – Esquerda: Leiras de Alambrado. Dimensão: altura = 1,0 m, diâmetro = 1,2 m, volume = 1,13 m³, perímetro = 3,8 m. Direita: Layout da distribuição das leiras no Laboratório de Compostagem. Vista Superior. Legenda: Área destinada para o revolvimento; Leiras de Alambrado

Os suportes das leiras foram feitos com *pallets* cuja a finalidade foi evitar o contato direto dos resíduos com o chão, o que poderia gerar um acúmulo de chorume. Os *pallets* foram impermeabilizados com verniz para evitar a degradação da madeira em virtude do escoamento do chorume.

Figura 17 - Impermeabilização dos *pallets* com verniz

Depois de impermeabilizados, os *pallets* foram dispostos no Laboratório de Compostagem (conforme a disposição do *layout* da Figura 16) e abaixo deles foi colocada uma lona para evitar o escoamento de chorume pelo chão. A lona foi presa nos *pallets* através da utilização de tachinhas percevejo de acordo com a Figura 18 B. Acima dos *pallets*, foi colocada uma tela artística (também conhecida por tela ondulada) de 1” e fio 12 e tela mosquiteiro para que os resíduos não caíssem na lona, direcionando apenas o chorume para a mesma. Foi adicionado também um “calço” em uma das extremidades dos *pallets* a fim de proporcionar um desnível para o escoamento do chorume (Figura 19).

Figura 18 – A: Fixação da lona nos *pallets* com tachinhas percevejo; B: Utilização de tachinhas percevejo para fixação; C: Alocação da tela artística; D: Inserção da tela mosquiteiro sobre o suporte; E: Estrutura finalizada.

Figura 19 - “Calço” para inclinação e escoamento do chorume

Em uma das leiras não revolvidas foi proposto um sistema constituído por quatro tubos de PVC dispostos internamente de maneira equidistante. A finalidade do dispositivo foi verificar se o fenômeno de convecção, ocasionado pela subida do ar quente oriundo do processo de decomposição da matéria orgânica ao longo da tubulação de PCV e pela entrada do ar frio na base do tubo, proporcionaria uma renovação do ar que influenciasse na aceleração do processo de decomposição.

Conforme exibido na Figura 20, as tubulações foram perfuradas até 1m de altura, ou seja, até a altura aproximada de preenchimento dos resíduos no alambrado. A distância entre cada orifício era de, aproximadamente, 4 cm.

O valor gasto para a construção das quatro leiras foi de R\$ 374,00, sendo o valor individual de R\$ 120,50 na leira com o tubo de PVC e R\$84,50 nas demais.

Figura 20– Esquerda: Tubulações de PVC utilizadas nas leiras estáticas; Direita: distribuição dos orifícios ao longo do tubo de PVC.

4.2.2 Tratamentos avaliados em cada leira

Foram avaliados os seguintes tratamentos:

- LTR: Leira com resíduos triturados e com revolvimento quinzenal;
- LNTR: Leira com resíduos não triturados e com revolvimento quinzenal;
- LC_NTNR: Leira controle - sem revolvimento e sem trituração;
- LPVC_NTNR: Leira composta por tubos de PVC - sem revolvimento e sem trituração;

O cronograma de revolvimento apresenta-se na Tabela 7. O primeiro revolvimento foi feito uma semana após o preenchimento das leiras sendo que a partir de então os revolvimentos foram feitos quinzenalmente até o 91º dia de compostagem. A frequência espaçada dos revolvimentos ocorreu em virtude da elevada quantia de resíduos a serem compostados, uma

vez que, não se dispondo de equipamentos mecânicos, revolvimentos semanais tornam-se dispendiosos e inviáveis logisticamente.

Tabela 7 – Cronograma de revolvimento de LTR e LNTR

Revolvimento	Data	Dia referente ao início do monitoramento
1°	11/07	7°
2°	25/07	21°
3°	08/08	35°
4°	22/08	49°
5°	5/09	63°
6°	19/09	77°
7°	3/10	91°

4.2.3 Operacionalização e preenchimento das leiras

As coletas foram realizadas de acordo com a disponibilidade de transporte oferecida pela universidade, compreendendo o período de 9 de junho a 4 de julho. O preenchimento das leiras era realizado de forma intermitente com resíduos acumulados em dois ou três dias de coleta.

A descontinuidade e espaçamento entre as coletas ocorreu em virtude da indisponibilidade de transporte em alguns dias do período supracitado. No mês de junho de 2015 ocorria a Copa do Mundo e o setor de transportes da Universidade permanecia fechado nos dias dos jogos. Além disso, os funcionários de diversos setores do *campus* estavam em greve, resultando na não contribuição dos resíduos oriundos do Restaurante Universitário no projeto devido ao seu não funcionamento.

Os resíduos eram coletados nos estabelecimentos, armazenados no Laboratório de Compostagem em compartimentos protegidos de insolação e à temperatura ambiente e, no dia do preenchimento, homogeneizados, visando uma distribuição uniforme nas leiras. Nas primeiras coletas despejou-se os resíduos em uma lona visando uma melhor homogeneização. Porém devido à dificuldade operacional do procedimento, a partir do segundo preenchimento, os sacos eram abertos, avaliados visualmente e adicionados em proporções iguais nas leiras (Figura 21). Os resíduos de uma mesma tipologia eram dispostos nas mesmas proporções, de forma que, por exemplo, o que era coletado na quitanda era distribuído nas quatro leiras em proporções semelhantes, assim como o coletado em restaurantes, creches e demais categorias, a fim de proporcionar as mesmas condições iniciais em cada tratamento avaliado. Destaca-se que, no caso dos restaurantes e da moradia estudantil, os resíduos segregados pelos responsáveis

eram restos de preparo de alimentos, como cascas de legumes, frutas e verduras, sendo que alimentos como sobras de pratos, cozidos e frituras não se mostravam presentes.

Figura 21- A: Coleta nos restaurantes; B: alocação dos sacos e baldes no veículo; Resíduos coletados no dia 27/06 (C) e 2/07 (D) E: descarregamento dos resíduos coletados; F: homogeneização dos resíduos para o preenchimento das leiras

Antes do primeiro preenchimento, adicionou-se uma camada de grama no interior dos alambrados (acima da estrutura suporte) visando uma melhor contenção dos resíduos (Figura 22). A cada preenchimento os materiais estruturantes eram sempre misturados com os resíduos orgânicos e ao se completar as leiras até a altura final adicionava-se outra camada de grama para evitar o ressecamento dos resíduos.

Para se completar as quatro leiras até a altura de aproximadamente 0,96 m foram necessários 5 dias de preenchimentos, sendo que o preenchimento do dia 11/06 foi referente as coletas do dia 9, 10 e 11, o do dia 25/06 referente aos dias 23 e 24, o do dia 27/06 referente aos dias 25 e 26, o do dia 30/06 referente aos dias 27 e 30 e o do dia 4/07 referente aos dias 1, 2 e 3, totalizando 9 dias de coletas e 2.077,69 kg de resíduos orgânicos (Tabela 8 e 9). Na semana do dia 16/06 não foi possível a realização das coletas devido aos feriados e à indisponibilidade de transporte. Na Figura 22 tem-se o preenchimento gradual das leiras até o atingimento volume de 1,13 m³.

Figura 22– Preenchimento das leiras até a altura final

Tabela 8 - Quantidade de resíduos (kg) adicionada em cada dia de preenchimento

	1° Preenchimento (11/06)				2° Preenchimento (25/06)				3° Preenchimento (27/06)				4° Preenchimento (30/06)				5° Preenchimento (04/07)			
	R.O.	G.	S.	Soma	R.O.	G.	S.	Soma	R.O.	G.	S.	Soma	R.O.	G.	S.	Soma	R.O.	G.	S.	Soma
LTR	120	6,65	5	131,65	64	4,33	2,88	71,21	129,19	7,42	11,94	148,55	142,9	8,20	13,14	164,24	119,65	4,05	11,65	135,35
LNTR	105	6,65	5	116,65	35	2,33	1,55	38,88	71,05	4,08	6,53	81,66	109,6	6,30	10	125,9	180	5,65	17,55	203,2
LC_NTNR	105	6,65	5	116,65	35	2,33	1,55	38,88	71,05	4,08	6,53	81,66	109,6	6,30	10	125,9	180	5,65	17,55	203,2
LPVC_NTNR	105	6,65	5	116,65	35	2,33	1,55	38,88	71,05	4,08	6,53	81,66	109,6	6,30	10	125,9	180	5,65	17,55	203,2

R.O=resíduos orgânicos; G=grama; S=serragem

Tabela 9– Quantia total de cada tipo de material (Kg) adicionado nas leiras (base úmida)

Leira	RO	Grama	Serragem	Soma
LTR	575,74	30,65	44,61	651
LNTR	500,65	25,01	40,63	566,29
LC_NTNR	500,65	25,01	40,63	566,29
LPVC_NTNR	500,65	25,01	40,63	566,29

Tabela 10 - Quantia total de cada tipo de material (Kg) adicionado nas leiras (base seca)

Leira	R.O	Grama	Serragem	Soma
LTR	96,33	16,50	40,99	153,82
LNTR	83,76	13,47	37,34	134,57
LC_NTNR	83,76	13,47	37,34	134,57
LPVC_NTNR	83,76	13,47	37,34	134,57

A partir do segundo dia de preenchimento foi adicionada uma quantia maior de resíduos em LTR (Tabela 8) devido a diferença entre a densidade dos resíduos triturados e não triturados (Tabela 11). Caso se adicionasse a mesma quantia em todas as leiras, LTR ficaria incompleta no final do preenchimento devido a diferença de volume ocupado, o que impossibilitaria que as condições iniciais fossem as mesmas e tornaria a comparação dos tipos de tratamento tendenciosa. Porém, embora a quantidade adicionada em LTR fosse maior do que as demais, a proporção mássica final de 88% de R.O, 4% de grama e 8% de serragem na base úmida ou 62,25% de R.O, 10,01% de grama e 27,75% de serragem na base seca (Tabela 9 e Tabela 10), foi mantida em todas as leiras.

Tabela 11- Densidade média aparente (kg.m^{-3}) dos resíduos não triturados, triturados, serragem e grama

Resíduo	RO	RO triturado	Serragem	Grama
Densidade (kg.m^{-3})	453,0	817,5	160,0	46,8

Em relação aos materiais estruturantes, utilizou-se podas do *campus* que eram constituídas essencialmente de grama “batatais” (*Paspalum notatum*) e pó de serra de uma mistura composta por peroba (*Paratecoma peroba*) e tatajuba (*Bagassa guianensis*) (Figura 23). As podas eram recolhidas e deixadas em leitos de secagem por aproximadamente duas semanas antes de serem adicionadas às leiras. Quanto à serragem, atentou-se para não se utilizar madeira tratada, uma vez que o processo de tratamento ocasiona a presença contaminantes que poderiam prejudicar a qualidade do composto.

Figura 23– Grama batatais (*Paspalum notatum*) (esquerda) e adição da serragem (direita)

Os resíduos da LTR foram triturados com a utilização de um Triturador de Resíduos Orgânicos da marca TRAPP 200 (Figura 24). A densidade média dos resíduos triturados e não triturados foi determinada através da adição de uma determinada quantia de resíduos em um balde graduado de 100L, bem como a determinação da densidade da serragem e da grama (Tabela 11).

Figura 24- Triturador Tapp 200 utilizado (esquerda) e resíduos após a trituração (direita)

Figura 25 - Medição da densidade em balde graduado

Quanto à rega, nas leiras revolvidas a adição de água era realizada no próprio ato do revolvimento. Já nas não revolvidas as regas eram feitas na parte superior da leira com o auxílio de um regador. A adição de água ocorria visando a manutenção do teor de umidade em aproximadamente de 55%.

4.3 Etapa 3: Vermicompostagem como pós tratamento da compostagem

Decorrido quatro meses de compostagem em LTR e LNTR, iniciou-se a vermicompostagem com parte do composto produzido nas leiras supracitadas. A quantidade de

composto e o número de minhocas adicionadas estão explicitados na Tabela 12. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Resíduos Sólidos do SHS-EESC/USP em caixas de madeira de dimensão 0,45 m x 0,45 m x 0,45 m, ou seja, com 0,09 m³. As caixas possuíam frestas e furos laterais, a fim de proporcionar uma maior ventilação, e o interior da caixa foi forrado com tela tipo mosquiteiro.

Figura 26- Caixas de madeiras utilizada para a vermicompostagem

Tabela 12 - Quantidade de composto e de minhocas, densidade e teor de umidade nas caixas de vermicompostagem

Origem do composto		LTR		LNTR	
Caixa		1	2	3	4
Densidade	aparente	360,33		383,5	
	(kg.m ⁻³)				
Teor de Umidade (%)		54,76		56,43	
Quantidade de composto		24,5		24,5	
adicionada (kg)					
Quantidade de minhocas		500		500	
adicionadas					

Foi adicionado um sensor de temperatura na parte central das caixas e cobriu-se o composto com folhas secas a fim de evitar o ressecamento do material. A minhoca utilizada foi a *Eisenia foetida*, popularmente conhecida como minhoca da Califórnia. As minhocas possuíam o tamanho inicial de 4 a 7 cm e pesavam em média 0,16 g.

Figura 27– A: alocação dos compostos nas caixas; B: inserção das minhocas nas caixas; C: tamanho médio das minhocas adicionadas; D e E: cobertura com folhas secas; F: Estrutura finalizada e sensor inserido

Para o caso da vermicompostagem, adicionou-se água destilada, a fim de evitar que o cloro pudesse ter algum efeito prejudicial nas minhocas.

Os compostos e vermicompostos produzidos foram entregues aos proprietários e funcionários dos estabelecimentos contribuintes no projeto.

4.4 Análises realizadas nas etapas 2 e 3

Os parâmetros analisados no composto e vermicomposto com a respectiva frequência de monitoramento são mostrados na Tabela 13.

Quanto ao local das análises dos compostos e vermicompostos, devido à falta de laboratórios com infraestrutura específica para tais tipos de materiais, foram utilizados os laboratórios da Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, EMBRAPA Instrumentação e Centro de Ciências Agrárias de Araras. A granulometria foi analisada no Laboratório de Solos do Departamento de Geotecnia, o pH e a CTC no Laboratório de Saneamento, o fósforo no Laboratório de Química Ambiental (LQA), os metais, macro e micronutrientes foram digeridos no micro-ondas do LQA e posteriormente lidos no Laboratório de Saneamento, todos localizados no *campus* I da USP de São Carlos; o carbono, o nitrogênio e a condutividade elétrica na EMBRAPA Instrumentação de São Carlos; e as análises

microbiológicas foram feitas no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular da Ufscar de Araras, sendo a repetição da análise de coliformes termotolerantes realizada no Laboratório de Saneamento da USP de São Carlos.

Tabela 13- Parâmetros analisados na compostagem e vermicompostagem

	Parâmetro	Frequência (compostagem)	Frequência (vermicompostagem)
Físico	Temperatura	Diariamente no mesmo horário	Diariamente no mesmo horário
	Umidade	Semanal	A cada 10 dias
	Granulometria	Composto final	Vermicomposto final
	Densidade	Composto final	Vermicomposto final
Químico	pH	Semanal	A cada 10 dias
	Macro e micronutrientes	Composto final	Vermicomposto final
	Metais Pesados	Composto final	Vermicomposto final
	Capacidade de troca catiônica	Mensal	Mensal
	Capacidade de Retenção de água	Composto final	Composto final
	Carbono orgânico	A cada 14 dias	Mensal
	Condutividade Elétrica	Composto final	Vermicomposto final
	Nitrogênio total	A cada 14 dias	Mensal
	Matéria orgânica	A cada 14 dias	A cada 10 dias
	Relação C/N	A cada 14 dias	Mensal
Microb	Coliformes Termotolerantes	Composto final	Vermicomposto final
	<i>Salmonella sp</i>	Composto final	Vermicomposto final

4.4.1 Coleta e preparo das amostras

A amostragem e caracterização físico-química da mistura crua foi feita através da coleta de resíduos orgânicos, serragem e grama, nas mesmas proporções mássicas em que foram preenchidos nas leiras (Tabela 9), homogeneizando-os e secando-os em estufa para posterior análise.

A amostragem durante o processo de compostagem foi feita através da retirada de amostras compostas do topo, do meio e da base da leira, conforme as recomendações da NBR 10.007 (ABNT, 2004). Já na vermicompostagem, a amostragem foi feita através da coleta em diversos pontos no interior das caixas utilizadas.

As análises de capacidade de retenção de água, condutividade elétrica e as análises microbiológicas foram feitas com as amostras *in natura*, a análise granulométrica foi feita com as amostras secas a 65°C e as demais foram feitas com as amostras secas a 65°C e homogeneizadas através da passagem por um moinho de facas e por uma peneira de 100 mesh.

Figura 28- Esquerda: trituração das amostras; Direita: moinho de facas utilizado

Figura 29- Resíduos antes (esquerda) e depois (direita) da passagem pelo moinho de facas

4.4.2 Parâmetros físicos

4.4.2.1 Temperatura

A temperatura foi monitorada no topo, na base e no meio das leiras de segunda a quinta-feira por volta das 18h30. Utilizou-se um termômetro MT-405 e um sensor de temperatura MTK-01 da marca Minipa.

Inicialmente, aconteceram certos problemas de oscilações de medidas de temperatura em virtude da degradação dos sensores. Isso ocorria por causa da sensibilidade do terminal de medição que corroía em contato com a massa de resíduos a ser compostada. O problema foi resolvido através da adição de um espaguete termocontrátil que foi colocado com o auxílio de um soprador de calor, protegendo dessa forma os sensores. Depois disso, os problemas de deterioração dos sensores diminuíram consideravelmente.

Figura 30– Esquerda: Fixação do espaguete termocontrátil no sensor; Direita: Termômetro MT-405

Fixou-se os sensores no topo, no meio e na base das leiras a fim de evitar a criação de gradientes de temperatura, o que poderia ocorrer caso se introduzisse os sensores nas leiras toda vez que houvesse a medição de temperatura devido a penetração de ar.

A cada medição de temperatura ocorria também a medição da altura das leiras. Dessa forma, a cada semana os sensores eram reposicionados, pois o recalque da leira provocava o deslocamento no ponto de medição dos mesmos.

As temperaturas em LPVC_NTNR e LC_NTNR foram monitoradas do 5° ao 152° dia e as temperaturas em LTR e LNTR foram monitoradas 5° ao 124° dia. A partir do 130° dia (quinto mês) passou-se a monitorar as temperaturas 3 vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira) nas leiras LPVC_NTNR e LC_NTN.

Na vermicompostagem, foi colocado um sensor de temperatura na parte central das caixas e a temperatura foi monitorada de segunda a sexta feira do 3° ao 59° dia por volta das 18h.

4.4.2.2 Umidade

O procedimento para medição da umidade ocorreu segundo BRASIL (2013b) da seguinte forma:

- I. Pesou-se uma quantidade³ (P0) de amostras em um recipiente de peso conhecido;
- II. As amostras foram transferidas para a estufa a 65°C onde permaneceram durante 48h;
- III. As amostras foram encaminhadas para o dessecador até o resfriamento;
- IV. Pesou-se as amostras secas.

³ Pesou-se 750g na etapa de compostagem e 30g na vermicompostagem. A quantia maior usada na amostragem da etapa de compostagem justifica-se pela heterogeneidade dos resíduos que apresentavam-se pouco decompostos.

A umidade foi então calculada pela fórmula:

$$Umidade (\%) = 100 \times \frac{(P_0 - P)}{P_0} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

P₀=massa da amostra in natura (g)

P= massa da amostra seca (g)

4.4.2.3 Granulometria

Os ensaios granulométricos foram feitos em um agitador de peneiras mecânico composto por 8 peneiras mais a tampa de fundo.

A metodologia utilizada baseou-se em BRASIL (2013b) e foi feita conforme descrito a seguir:

- I. Foram coletados cerca de 320g de amostra composta em diferentes pontos das leiras;
- II. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas até a obtenção de uma massa de 80,00g;
- III. Encaminhou-se as amostras para o agitador mecânico por 10 minutos utilizando-se as peneiras n° 4, 5, 6, 7, 10, 18, 20, 35 e 50
- IV. Pesou-se o material retido em cada peneira.

Figura 31- Esquerda: quarteador utilizado para homogeneizar as amostras; Direita: conjunto de peneiras e agitador mecânico utilizado nos ensaios

A partir das porcentagens retidas classificou-se os compostos de acordo com o Anexo I da IN n° 25/09 (BRASIL, 2009).

4.4.2.4 Densidade

A densidade foi calculada nos resíduos antes e depois do processo de compostagem e vermicompostagem através de uma balança eletrônica e um balde graduado de 100L. O valor era obtido através da relação massa/volume em base úmida.

4.4.3 Parâmetros químicos

4.4.3.1 Matéria Orgânica

Para a determinação e matéria orgânica, pesou-se 30g das amostras secas submetendo-as a calcinação por 550°C durante um período de 4 horas. Após seu resfriamento em um dessecador, foi determinado o percentual de matéria orgânica, entendendo-se a medida como a diferença entre sólidos totais e o conteúdo mineral obtido após a calcinação (NOGUEIRA; SOUZA, 2005).

$$\text{Matéria orgânica (\%)} = 100 \times \frac{(P_0 - P)}{P_0} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

P₀=massa da amostra seca (g)

P= massa da amostra calcinada (g)

4.4.3.2 pH

O pH foi feito de acordo com a adaptação da metodologia proposta por Tedesco (1995) conforme descrito a seguir:

- I. Pesou-se 5 g de amostras secas e maceradas;
- II. As amostra foram diluídas em 50 mL de água destilada;
- III. A solução foi então levada à mesa agitadora por 30 minutos;
- IV. Realizou-se a leitura em pHmetro.

4.4.3.3 Carbono e Nitrogênio

A medição dos teores de carbono e nitrogênio foi realizada através da combustão a seco em um analisador elementar. Realizou-se a pesagem de 10 mg das amostras secas e trituradas em cápsulas de estanho e encaminhou-se as amostras para o analisador elementar CHN Perkin-Elmer, modelo 2400.

Figura 32- Pesagem de 10 mg realizada em balança analítica com precisão de cinco casas decimais

Acrescenta-se que a determinação foi feita com as amostras secas na estufa (65°C por 48h) para os compostos, resíduos crus e serragem e com as amostras secas naturalmente (duas semanas em leitos de secagem) para as gramíneas.

4.4.3.4 Capacidade de troca catiônica

Segundo BRASIL (2013b), a determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em produtos orgânicos se fundamenta, essencialmente, na ocupação dos sítios de troca do material com íons hidrogênio, provenientes de uma solução diluída de ácido clorídrico, eliminação do excesso de ácido, deslocamento dos íons hidrogênio adsorvidos com solução de acetato de cálcio e titulação do ácido acético formado.

Os reagentes foram preparados de forma a se obter:

- Solução de ácido clorídrico com concentração de aproximadamente 0,5 mol.L⁻¹: diluição de 42 mL de HCl concentrado, p.a., em água até completar o volume a 1000 mL em balão volumétrico;
- Solução de acetato de cálcio monohidratado 0,5 mol.L⁻¹: pesagem de 88,10 g do sal monohidratado (CaC₄H₆O₄.H₂O, p.a.) e solubilização com água até um volume de aproximadamente 900 mL. Ajuste do pH da solução a 7,0⁴, transferência para balão volumétrico de 1000 mL e complementação do volume com água.
- Solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L⁻¹, padronizada: pesagem 4,00 g do reagente, dissolver em água e transferir para balão volumétrico de 1000 mL. Completar o volume com água e homogeneizar.

⁴ O pH pode ser ajustado pela adição cuidadosa de soluções de HCl ou NaOH diluídas. No presente trabalho, como o pH apresentava valores abaixo de 7,0, utilizou-se a solução de NaOH 8N para o ajuste.

Além disso utilizou-se de Carvão ativado, purificado, p.a., Ftalato ácido de potássio ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$), p.a., Solução de fenolftaleína a 1% (m/v) em etanol, p.a.

A padronização foi feita da seguinte forma:

- I. Tomou-se uma massa (G1) de 0,5 g de ftalato ácido de potássio, pesada com aproximação de 0,1 mg, em erlenmeyer de 250 mL. Acrescentou-se cerca de 50 mL de água e agitou-se as amostras até completa dissolução. Foram adicionadas 6 gotas de solução indicadora de fenolftaleína.
- II. Transferiu-se a solução preparada de NaOH para uma bureta de 50 mL e foi feita a titulação da solução do erlenmeyer até obter a coloração levemente rosada do indicador.
- III. O volume gasto foi anotado e calculou-se o valor da concentração (M) pela fórmula:

$$M = \frac{1000 \times G1}{204,23 \times V} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

G1 = massa de ftalato ácido de potássio, em g.

V = volume de NaOH gasto na titulação, em mL.

A titulação foi feita em triplicata e utilizou-se a média dos valores de M como valor final da concentração de NaOH.

Foi feito então o procedimento de extração conforme descrito a seguir:

- I. Pesagem (G) de 2 g do fertilizante orgânico seco e pulverizado, com precisão de 0,1 mg. Acrescentou-se 1 g de carvão ativado, pesado com a mesma precisão, e transferiu-se para erlenmeyer de 250 mL.
- II. Acrescentou-se 100 mL de HCl 0,5 mol.L⁻¹, medidos em proveta, tampou-se os erlenmeyers e agitou-se por 30 minutos.
- III. Foi preparado um conjunto de filtração a vácuo: colocou-se sobre a placa do funil de Büchner um disco de papel de filtro de porosidade fina (filtração lenta), de diâmetro suficiente para cobrir o fundo, com excesso de 2-3 mm.
- IV. Umedeceu-se o papel de filtro, aplicou-se sucção moderada e o conteúdo do erlenmeyer foi então transferido, recebendo o filtrado em kitasato de 1000 mL.
- V. Lavou-se o retido com porções de água, procedendo a uma nova lavagem só após todo líquido a lavagem anterior ter sido drenado.

- VI. Foram feitas sucessivas lavagens do material retido no funil até que o filtrado atingisse um volume de 350-400 ml no kitassato, sendo o líquido do kitassato descartado e o kitassato trocado por um limpo de igual capacidade.

Observação: Foi conduzida, simultaneamente, a prova em branco em duplicata, com o carvão ativado, sem a presença da amostra.

Foi feita então uma titulação a fim de se realizar a determinação e cálculo da CTC.

- I. Foram transferidos 100 mL da solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ molL}^{-1}$ para bquer de 250 mL. Este volume de solução foi distribuído sobre toda superfície do material orgânico retido no funil de Büchner em sucessivas porções de 10 a 15 mL, sob vácuo reduzido, para permitir uma lenta percolação. Uma nova porção de solução de acetato de cálcio só foi adicionada após a porção anterior ter sido drenada para o kitassato;
- II. Na sequência, lavou-se com porções de água até a totalização de um volume de cerca de 300 mL no kitassato;
- III. O kitassato foi levado ao sistema de titulação e foi titulado com a solução $0,1 \text{ molL}^{-1}$ de NaOH padronizada, utilizando a solução de fenolftaleína como indicador (6 gotas).

Figura 33- Filtração e vácuo (esquerda) e titulação (direita) com NaOH

A CTC, em mmol.kg^{-1} , foi calculada pela expressão:

$$CTC = \frac{1000 \times M(Va - Vb)}{G} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Va = volume da solução de NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ gasto na titulação da amostra (mL).

Vb = volume médio da solução de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ gasto na titulação das provas em branco (mL)

G = massa da amostra (g)

M = concentração da solução de NaOH padronizada, em mol.L⁻¹

Os procedimentos supracitados foram feitos de acordo com BRASIL (2013b).

4.4.3.5 Condutividade Elétrica

O procedimento foi realizado conforme Raij et al (2001):

- I. Pesou-se 10 mL da amostra em um béquer de capacidade de 50ml;
- II. Adicionou-se 25 mL de água destilada;
- III. Agitou-se a solução com um bastão de vidro por 10 minutos;
- IV. As amostras permaneceram em decantação por cerca de 30 minutos;
- V. A medição do sobrenadante foi feita em um condutivímetro.

4.4.3.6 Capacidade de Retenção de Água - CRA

Pesou-se 20g de composto, em duplicata, com umidade natural, colocou-se sobre um sistema montado com papel filtro acondicionado em funil e montado sobre um erlenmeyer previamente pesado. Adicionou-se, em pequenas porções, 100g de água destilada, cobriu-se com papel alumínio para evitar a evaporação e deixou-se as amostras repousando por uma noite. Foram feitas também testemunhas, em duplicata, a fim de se descontar a água retida pelo filtro. Decorrido o período, foram dadas leves batidas na haste do funil a fim de liberar as últimas gotas de água que ficaram retidas e pesou-se o erlenmeyer.

Paralelamente foi feito um teste de umidade a fim de se encontrar o conteúdo de água existente inicialmente na amostra e o peso seco do solo.

Figura 34– Ensaio de capacidade de retenção de água

A CRA é calculada conforme a equação abaixo:

$$CRA (\%) = \frac{(100 - Wp - Wra + Wi)}{Dwa} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

Wp = peso de água percolada (g)

Wi = conteúdo de água (g) existente inicialmente na amostra.

Wra = peso de água retida no filtro (g)

Dwt = peso seco do solo (g)

Os procedimentos foram feitos com base em Frigheto e Valarini (2000).

4.4.3.7 Metais, macro e micronutrientes

A digestão das amostras foi feita no micro-ondas do LQA e a leitura no Laboratório de Saneamento, ambos conduzidos por técnicos responsáveis e feitos conforme a metodologia utilizada nos laboratórios.

Digestão:

- I. Pesou-se 0,250 g de amostra seca e transferiu-se para o tubo de teflon do micro-ondas
- II. No tubo, adicionou-se 7 mL de ácido nítrico e, gota a gota, 3 mL de H₂O₂;
- III. Esperou-se 20 minutos e em seguida vedou-se os frascos e encaminhou-se as amostras para digestão no micro-ondas (aproximadamente 60 minutos);
- IV. Os tubos foram retirados e resfriados à temperatura ambiente na capela antes de serem abertos;
- V. O conteúdo do tubo foi então filtrado e colocado em um balão volumétrico de 100 mL, sendo o volume completado com água destilada.

Observação: Foi conduzida, simultaneamente, a prova em branco, com ácido nítrico e peróxido, sem a presença da amostra. Os valores encontrados na prova em branco foram descontados dos valores encontrados nas amostras.

Leitura:

A amostra digerida foi encaminhada para a leitura no Espectrofotômetro de Absorção Atômica Modelo AA 240FS, marca Varian, segundo os procedimentos do Standard Methods 22ª Edição (APHA, 2012).

4.4.3.8 Fósforo

Foi feita uma digestão e uma posterior determinação em um espectrofotômetro UV (HACH), segundo metodologia do aparelho. A análise foi conduzida por profissionais responsáveis do LQA da USP de São Carlos conforme a metodologia utilizada pelo laboratório, sendo o acompanhamento da análise feito apenas de forma visual.

Digestão:

Seguiu-se o mesmo procedimento de abertura utilizado para metais, macro e micro nutrientes, com a diferença de que, invés de ácido nítrico, adicionou-se ácido sulfúrico.

Leitura:

- I. Colocou-se 10 mL amostra em uma proveta de 25 mL;
- II. Paralelamente, conduziu-se uma prova em branco também com 10 mL de água deionizada em uma proveta de 25 mL;
- III. Adicionou-se 0,5 mL de solução de molibdato-vanato em cada proveta;
- IV. Completou-se, com água destilada, o volume de cada uma das provetas para 25 mL;
- V. As amostras permaneceram em repouso por 10 minutos e encaminhadas para o espectrofotômetro.

Figura 35– Adição dos reagentes no tubo de teflon nos (esquerda) e filtração após a digestão no micro-ondas (direita)

4.4.4 Parâmetros Microbiológicos

4.4.4.1 Coliformes termotolerantes

Para a avaliação dos coliformes termotolerantes realizou-se a contagem por número mais provável (NMP) a fim de se atender a unidade de medida exigida pelo Anexo V da Instrução Normativa nº27/2006 (BRASIL, 2009).

Inicialmente, foi utilizada a técnica de tubo múltiplos no LAMAM da Ufscar de Araras. Os meios de cultura utilizados foram:

- Caldo lactosado concentração simples: 5g de lactose, 4g de extrato de carne, 5 g de peptona e 1000 mL de água destilada.
- Caldo lactosado concentração dupla: 10 de lactose, 5 g de extrato de carne, 10g de peptona e 1000 mL de água destilada.
- Caldo E.C: 37g em 1000 mL de água destilada.
- Caldo Verde Brilhante: 40g em 1000 mL de água destilada.

O procedimento foi então realizado das seguintes etapas:

I. Preparo das amostras

Foi feita uma solução com 50g de composto fresco e 950mL de água destilada, obtendo-se assim uma diluição de 0,5g/10 mL. As amostras foram então colocadas em um shaker a temperatura de 30°C e rotação de 140 rpm por 2h (HASSEN et al, 2001). Decorrido o tempo de agitação, esperou-se as amostras decantarem e transferiu-se 10 mL do sobrenadante para um erlenmeyer de 100 mL onde foram adicionados mais 40 mL de água destilada a fim de se obter uma concentração de 0,1g/10 mL.

II. Teste Presuntivo

Foram feitas diluições de 0,1, 0,01 e 0,001 através da retirada de alíquotas de 10, 1 e 0,1mL da amostra preparada. Para a primeira diluição foram utilizados três tubos contendo 10 mL (concentração dupla) de Caldo Lactosado e as demais três tubos (para cada diluição) de 5 mL (concentração simples) Caldo Lactosado, sendo adicionados tubos Durhan invertidos em todas as diluições. As amostras foram incubadas a 37°C por 24h.

III. Teste confirmativo

As amostras que apresentaram formação de gás no Caldo Lactosado - fato indicado pela formação de bolhas no Durhan - tiveram alíquotas de 0,5 mL semeadas em tubos de caldo verde brilhante contendo tubos de Durhan invertidos, para o crescimento de coliformes totais, e tubos

com meio de cultura E.C contendo tubos de Durhan invertidos, para o crescimento de coliformes fecais. Os tubos com caldo verde brilhante foram incubados a 37°C por 24h e os tubos de ensaio com E.C foram incubados em banho termostatzado por 24h.

Porém, os resultados obtidos pela técnica de tubos múltiplos foram inconclusivos devido a problemas de replicabilidade. Optou-se então por utilizar a metodologia de Sá (2011) e o procedimento foi feito no Laboratório de Saneamento de São Carlos da seguinte forma:

Diluição:

- Preparou-se uma solução de diluição com 1 grama de peptona bacteriológica e 1.000 mL de água destilada (1g.L^{-1});
- Pesou-se então 20g de amostra em um béquer, adicionou-se 200mL da solução de peptona e agitou-se a amostra com um bastão de vidro por 10 minutos;
- As amostras permaneceram em repouso até a decantação do material;
- A partir da coleta do sobrenadante, as amostras foram diluídas em série até a diluição adequada para a contagem de coliformes termotolerantes, que variou de 10^{-1} a 10^{-2} .

Figura 36- Preparação das amostras (esquerda) e posterior diluição (direita)

Incubação

Adicionou-se colilert aos frascos e agitou-se até a diluição do material. Em seguida, transferiu-se todo o conteúdo do frasco para cartelas de incubação, selando-as e encaminhando-as para estufa a 37°C, durante 24h. A leitura foi feita em câmara com radiação ultravioleta onde a partir da coloração azul nas cartelas foi possível realizar a contagem coliformes termotolerantes por número mais provável (NMP).

Figura 37– Detecção de coliformes termotolerantes através da exposição de cartelas de incubação a luz UV

4.4.4.2 *Salmonella* sp

Para a detecção de *Salmonella* utilizou-se de um meio pré-enriquecido e do 1-2 test para detecção de *Salmonella* da marca Biocontrol. Os testes foram conduzidos por responsáveis do no LAMAM da Ufscar de Araras, sendo o acompanhamento do processo feito através da pesagem das amostras e da observação do processo.

- Meio pré-enriquecimento: 3g de extrato de carne, 5g de peptona, 5g de lactose, 1000mL de água destilada. Ajustar o pH para 6,9, 225 mL transferir a amostras para erlenmeyer de 500 mL. Levar o meio na autoclave e deixar por 15 minutos.

O teste consiste em duas câmaras de plástico interligadas em formato de “L”. Na câmara horizontal fica o caldo de enriquecimento seletivo para *Salmonella* e na vertical o meio semi-sólido, onde se coloca o antisoro flagelar polivalente. Foram fornecidas as seguintes informações pelo fornecedor:

“Test 1-2: Método rápido oficial para detecção de Salmonella através da técnica de imunodifusão. Composto por uma câmara com caldo de enriquecimento seletivo tetrationato e outra câmara com ágar de motilidade peptona. Salmonellas moveis desenvolvem-se e migram formando uma imunobanda que é visualmente observada. O kit acompanha: 1 frasco com solução iodo iodeto, 1 frasco com anticorpos polivalentes h (flagelar).”

Adicionou-se 25g do composto em 225 mL de meio para enriquecimento. As amostras foram então incubada a 37°C por 24h.

O ensaio foi realizado então com o kit para a detecção de *Salmonella* conforme os seguintes procedimentos:

- I. Abriu-se a tampa preta da câmara e adicionou-se 1 gota de do reagente *1-iodine solution*. A tampa foi fechada e o recipiente foi agitado;
- II. A tampa preta foi aberta e o lacre foi retirado com uma pinça flambada. A tampa foi fechada e o recipiente foi agitado;

- III. Novamente abriu-se a tampa preta e pipetou-se 0,1 mL do meio pré-enriquecido e 25 g da amostra que havia sido incubada. A tampa foi fechada e o recipiente foi agitado;
- IV. A tampa branca foi aberta e o “bico” foi cortado com uma tesoura flambada. Adicionou-se então 1 gota do reagente 2 *antibody preparation*. A tampa foi fechada e o recipiente foi agitado;
- V. As amostras foram incubadas a 37°C por 24h.

Observação: o procedimento foi feito dentro do fluxo para evitar contaminações.

Figura 38– Esquerda: Pesagem do composto no fluxo; Direita: kit utilizado no 1-2 test para detecção de *Salmonella*

Como a Instrução Normativa nº27/2006 exige que os parâmetros microbiológicos sejam expressos na base seca, descontou-se o teor de umidade dos resultados obtidos.

4.5 Análise Estatística

Para as análises estatísticas utilizou-se o software o *Action* integrado ao programa Excel do Microsoft Office 2013. Foi feito o teste Tukey de comparações múltiplas para análise de variância e matriz de correlação para verificar a associação entre os parâmetros. As variáveis avaliadas foram temperatura, pH, matéria orgânica, carbono, nitrogênio e relação C/N devido ao maior número de dados coletados, sendo os demais parâmetros insuficientes para uma comparação mais concisa.

Na vermicompostagem, devido a limitação de coleta de dados, não possível a realização das análises estatísticas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados de acordo com as etapas descritas na seção 4.

5.1 Etapa 1

Dos 41 estabelecimentos nos quais se entrou em contato, 19 aceitaram participar projeto, porém 2 desistiram no decorrer das coletas, totalizando uma adesão de 17. Os percentuais de adesão e os motivos alegados para a não adesão apresentam-se na Figura 39

Figura 39 – Esquerda: Porcentagem de adesão ao projeto SEPARE!; Direita: Motivos alegados pelo proprietário a não adesão ao projeto

Os estabelecimentos que desistiram ao decorrer do projeto alegaram dificuldades logísticas na separação dos resíduos orgânicos e a preocupação com a vigilância sanitária ao não se dispor os resíduos no lixo, mesmo sendo argumentado pela responsável do projeto que a coleta seria realizada toda a vez que houvesse a separação dos resíduos.

Constatou-se que, dos estabelecimentos que não aderiram ao projeto, 50% possuíam algum destino para os resíduos orgânicos (doação para “lavageiros”⁵ ou realização da compostagem). Juntamente com a doação para lavageiros, a dificuldade logística foi o maior motivo (32%) para a não adesão ao projeto, sendo as principais alegações relatadas a dificuldade dos funcionários em separar os resíduos e a impossibilidade da correta segregação devido ao movimento intensivo da cozinha nos horários de pico de funcionamento. Os demais estabelecimentos não retornaram contato ou simplesmente não justificaram o motivo da não adesão, dizendo apenas que não teriam interesse em participar.

Dos 17 estabelecimentos que aderiram ao projeto, 11 responderam ao questionário elaborado (Figura 40).

⁵ Criadores de suínos

Figura 40 - Respostas dos estabelecimentos em relação respeito do questionário aplicado

Apenas 1 (9%) dos restaurantes entrevistados realiza a compostagem dos resíduos, sendo este ligado a Associação para Proteção Ambiental de São Carlos (APASC), 36% destinam para a lavagem e a maior porcentagem (55%) encaminham os resíduos para o lixo. A maioria (64%) não tem sequer noção da quantidade produzida.

Quanto a opinião a respeito do melhor destino aos resíduos orgânicos, 46% acreditam ser a utilização para lavagem, 45% a compostagem e 9% não sabem. Entretanto, esses 46% que atribuem a lavagem como melhor destino são quase a maioria dos 45% que desconhecem a compostagem (Pergunta 6), o que evidencia que a escolha está desvinculada da visão da compostagem como uma opção de tratamento.

Cerca de 64% relataram realizar a separação de orgânicos e recicláveis, entretanto, como não existe coleta seletiva para os resíduos compostáveis, o entendimento de “orgânicos” dos estabelecimentos engloba todos os tipos de resíduos que não são recicláveis, incluído os rejeitos. Dos estabelecimentos que alegaram não separar recicláveis, alguns mencionaram a falta de coleta municipal como motivo.

Dentre as dificuldades para a separação de orgânicos, os fatores mencionados na categoria “outro” são a falta de hábito de funcionários para execução de tal prática, a dificuldade em horários de pico e a falta de mão de obra para a separação. A falta de coleta foi alegada por 18,18% dos entrevistados como uma dificuldade logística, entretanto, optou-se por enquadrar tal alegação na categoria “nenhum”, uma vez que a justificativa dada é um aspecto relacionado a falta de incentivo público e não uma dificuldade interna propriamente dita do estabelecimento.

Todos os estabelecimentos demonstraram interesse em aderir, caso houvesse, um programa municipal de separação de resíduos orgânicos para a realização da compostagem. Isso evidencia que, mesmo com algumas dificuldades dos locais entrevistados, o poder público apresenta um papel imprescindível na execução de projetos com compostagem em estabelecimentos geradores de elevada quantidade de resíduos orgânicos. Porém, deve-se atentar que essa porcentagem (100%) diz respeito aos estabelecimentos que aderiram ao projeto, mas que em uma porcentagem considerável (Figura 39) dos locais onde se entrou em contato houve uma resistência em aceitar participar do projeto e segregar os resíduos.

Os contribuintes se mostraram sempre bem dispostos no decorrer do projeto, separando os resíduos de forma adequada e segundo as recomendações dadas. Os únicos rejeitos encontrados ao se abrir os sacos de coleta foram sacolinhas plásticas, principalmente no caso de quitandas, onde os legumes/frutas estavam envolvidos por papel filme.

Figura 41 - Rejeitos encontrados nos sacos de coleta de resíduos orgânicos

A segregação na fonte é um dos primeiros pontos a se considerar para a aplicação de qualquer programa de gestão de resíduos. Inicialmente, alguns restaurantes esqueciam de separar os resíduos, o que causava uma certa dificuldade em se atingir a quantia adequada para o preenchimento das leiras. Porém, com ligações lembrando a respeito da coleta, o problema foi eliminado, demonstrando que tais tipos de dificuldades podem ser superadas com insistência em medidas educativas.

A ausência de incentivo municipal aliada a falta de hábito da população em separar resíduos orgânicos (o que pode ser evidenciado com alegações do tipo “dificuldade logística para separar orgânicos”) são fatores que contrapõe o princípio da responsabilidade compartilhada, prevista na PNRS. Destaca-se a importância da educação ambiental, uma vez que este é um meio através do qual se torna possível promover a cultura da segregação de orgânicos, recicláveis e rejeitos e quebrar barreiras ligadas a preconceitos decorrentes da falta de esclarecimento a respeito dos resíduos e da compostagem.

Mesmo dispondo de duas universidades públicas (USP e Ufscar), quase a metade dos entrevistados nos estabelecimentos geradores de resíduos orgânicos de São Carlos alegam desconhecer a prática de compostagem, evidenciando um distanciamento da sociedade acadêmica com a realidade municipal local. Além disso, a PNRS explicita a implantação da compostagem como forma de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos e a articulação com os agentes econômicos e sociais a respeito das formas de utilização do composto produzido no município. Dessa forma, a população além de não ter conhecimento técnico/prático a respeito da técnica de compostagem, não possui noção de sua exigência legal.

5.2 Etapa 2

5.2.1 Acompanhamento visual e revolvimento

Após o preenchimento das leiras, acompanhou-se diariamente o desenvolvimento do processo, observando-se os principais aspectos relacionados a decomposição dos resíduos e ao comportamento das leiras como um todo, sendo as anotações de campo abordadas neste tópico.

No final do primeiro mês após o preenchimento das leiras ocorreu uma proliferação de fungos e o desenvolvimento de algumas sementes em todas as leiras (Figura 42). Porém, com o desenvolvimento da compostagem esses indivíduos foram desaparecendo, sendo que nas leiras revolvidas os mesmos se manifestaram por um período de tempo mais curto devido a retirada no ato de revolvimento.

Figura 42 - Proliferação de cogumelos e plântulas em LC_NTNR (esquerda) e LNTR (direita). Data: 25/07/2014.

Em relação aos odores, com exceção do cheiro forte dos resíduos na etapa de preenchimento, esse aspecto foi pouco significativo. Notou-se que a adição da serragem proporcionou uma amenização de odor emanado nas leiras, que ocorria, possivelmente, em virtude ao excesso de nitrogênio, indicado pelo forte cheiro de amônia.

Não foi constatada a atração de vetores, exceto a presença de formigas nos primeiros dias de compostagem. Isto ocorria possivelmente devido à atração causada pelas cascas de laranjas.

Em relação aos revolvimentos, os mesmos foram feitos em LTR e LNTR abrindo-se os encaixes laterais e despejando-se os compostos em uma lona. Homogeneizava-se os compostos com o auxílio de pás e enxadas e depois dispunha-se novamente nas leiras de alambrado. As ferramentas de revolvimento eram sempre esterilizadas a fim de evitar possíveis contaminações.

No primeiro revolvimento, notou-se que embora os materiais adicionados nas leiras tivessem sido homogeneizados no ato do preenchimento, era possível visualizar a estratificação das camadas, de forma que ocorria a distinção visual entre porções de grama,

serragem e resíduos orgânicos (Figura 43). Ao se “desmanchar” as leiras ocorria a emissão de gases e vapores.

Figura 43 - Revolvimento 11/07. Esquerda: Abertura do alambrado e “desmanche” das leiras; Direita: estratificação das camadas de grama, serragem e resíduos (LTR)

No segundo revolvimento das leiras notou-se uma emissão ainda mais forte de gases e vapores que se apresentavam acumulados, indicando que a atividade microbiana estava intensa, sendo então liberados após o revolvimento. Além disso, ainda era possível distinguir pedaços de frutas e verduras pouco decompostos (Figura 44).

Figura 44 - Revolvimento 25/07. Esquerda: Presença de gases e vapores ao se desmontar as leiras; Direita: Composto pouco decomposto com a presença de restos de frutas e legumes pouco decompostos

A partir do terceiro revolvimento ocorrido do processo de compostagem (08/08) já não era possível mais se distinguir a presença de pedaços de frutas ou legumes nas leiras revolvidas.

Como a granulometria apresentava-se menor, adicionou-se uma tela mosquiteiro na parte interna das leiras de alambrado a fim de evitar a perda de material (Figura 45).

Figura 45 - Esquerda: Composto da LNTR (não triturada); Direita: tela mosquiteiro adicionada na parte interna das leiras de alambrado. Data: 08/08/14

No quarto revolvimento (22/08) já não havia mais a emissão de gases e vapores. Em relação as leiras não revolvidas (LPVC_NTNR e LC_NTNR), as mesmas apresentaram uma característica mais encharcada e com elevados teores de umidade quando comparadas as revolvidas. Enquanto em LTR e LNTR já não se distinguia mais os pedaços de frutas e alimentos, estágio atingido na quinta semana de compostagem, em LPVC_NTNR e LC_NTNR ainda era possível se encontrar resíduos pouco decompostos. Outro fator de distinção entre as leiras revolvidas e não revolvidas foi a coloração que se apresentava mais escura nas revolvidas, indicando uma maior humificação da matéria orgânica (Figura 46).

Figura 46 - Diferença de coloração entre LPVC_NTNR, LTR, LNTR e LC_NTNR. Amostras secas e não peneiradas no dia 22.08 (esquerda) e amostras secas e peneiradas do dia 5/09 (direita)

No último revolvimento, realizado em 3/10, LTR e LNTR já apresentavam características visuais de composto estabilizado, sem odores, com resíduos decompostos e com coloração bem escura, indicando humificação do material. Em LTR não foi possível distinguir nenhum tipo dos resíduos orgânicos adicionados no início - restos de frutas e legumes, serragem

e grama (Figura 47). Já em LNTR, por não haver trituração, era possível distinguir materiais mais resistentes a compostagem como caroços de manga e casca de ovos (Figura 48).

Figura 47 - Composto da LTR já bem estabilizado. Data: 03/10/20014

Figura 48 - Materiais resistentes a compostagem em LNTR. Esquerda: casca de ovo; Direita: caroço de manga parcialmente decomposto. Data: 03/10/20014

Em relação às alturas das leiras, notava-se que, conforme ocorriam os revolvimentos, as leiras iam ficando cada vez mais baixas devido a decomposição do material e diminuição da granulometria. As leiras não revolvidas apresentavam-se com maiores alturas devido a degradação mais lenta ocorrida pela falta de revolvimento, demorando um mês a mais para atingir o mesmo patamar de altura das não revolvidas (Figura 49). No geral, todas as leiras apresentaram a altura final em torno de 30 cm, de forma que a redução volumétrica foi em torno de 68,4%.

Figura 49 - Diminuição da altura das leiras conforme o tempo de compostagem. Legenda: LPVC_NTNR (—■—) LTR (—●—) LNTR (—★—) LC_NTNR(—▼—)

Ao se encerrar o processo de compostagem em LTR e LNTR, continuou-se monitorando LPVC_NTNR e LC_NTNR por mais um mês. Decorrido o período, os compostos das mesmas foram retirados. Embora a parte central do composto apresentar-se decomposta, com apenas alguns tipos de resíduos mais resistentes como casca de ovos e caroço de manga, nas bordas das leiras, próximo ao alambrado, os pedaços de poda estavam pouco decompostos devido ao não revolvimento. Os Compostos finais obtidos em LPVC_NTNR e LC_NTNR podem ser visualizados na Figura 50.

Figura 50 - Composto final LPVC_NTNR (esquerda) e LC_NTNR (direita)

A Tabela 14 apresenta uma síntese das quantidades de compostos e da densidade antes e depois da compostagem. Nota-se que em LTR, onde houve a trituração dos resíduos, foi

possível a adição de uma quantia de resíduos superior às demais. No entanto, essa adição não foi proporcional a densidade, uma vez que os resíduos não foram adicionados em batelada, mas de forma intermitente (Item 4.2.3), de forma que o intervalo entre os dias de preenchimento proporcionava um recalque das leiras. Além disso, os valores de densidade são teóricos, uma vez que houve apenas a determinação de cada tipo de resíduo, mas não da mistura.

Tabela 14 - Características dos compostos finais após 120 dias (LTR e LNTR) e 150 dias (LPVC_NTNR e LC_NTNR) de compostagem

Leira Etapa	LPVC_NTNR		LTR		LNTR		LC_NTNR	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
Densidade (kg.m ⁻³)	414,03*	339	736,16*	357	414,03*	385	414,03*	330,5
Teor de Umidade (%)	78,00	64,17	78,00	54,76	78,00	56,43	78,00	66,67
Quantidade de composto (kg) – base úmida	566,29	126,51	651,00	90,80	566,29	75	566,29	112,14
Quantidade de composto (kg) – base seca	124,58	45,32	143,22	41,07	124,58	32,68	124,58	37,37
Rendimento (%) – base seca	36,80		28,70		26,30		25,20	

*Densidade teórica, calculada a partir da média ponderada da Tabela 9 e Tabela 11

Quanto à quantidade de composto após o processo, os valores encontram-se levemente subestimados, uma vez que houve a retirada de aproximadamente 45 kg de resíduos com diferentes teores de umidade para a realização da amostragem das leiras. Mesmo assim, nota-se uma acentuada redução de massa que ocorreu em virtude da perda de umidade e da degradação dos resíduos. A densidade apresentou uma redução, atingindo valores de 339 a 385 kg.m⁻³. No final de compostagem, os rendimentos de composto foram similares em LTR, LNTR e LC_NTNR. Já em LPVC_NTNR o rendimento foi maior, o que pode ser um indício de que a leira estava menos degradada, uma vez que a degradação ocasiona perda de massa.

5.2.2 Caracterização do Substrato Bruto

Foi feita uma caracterização físico-química da mistura dos resíduos brutos adicionados às leiras (grama, resíduos orgânicos e serragem) conforme a proporção da Tabela 8. Os parâmetros analisados foram: umidade, matéria orgânica, pH, carbono, nitrogênio e relação C/N

Tabela 15 - Condições iniciais da mistura dos substratos brutos (base seca)

Umidade (%)	MO (%)	pH	C (%)	N (%)	C/N
78,05	95,21	4,72	38,54	1,03	37,34

Pela análise da Tabela 15, é possível notar o elevado teor de umidade, indicando que a maior parte da massa dos resíduos é composta por água. A matéria orgânica também apresentou

uma porcentagem alta devido constituição predominantemente orgânica desses materiais. O pH apresentou caráter ácido em virtude da reação da matéria orgânica de origem vegetal ser normalmente ácida (Kiehl, 2004). A relação carbono/nitrogênio mostrou-se acima da faixa recomendada por Kiehl (2004) de 25-35/1, porém, segundo Valente et al (2009), como parte do carbono é de difícil degradação em virtude da serragem (composta de celulose, hemicelulose e lignina) valores maiores são recomendados.

5.2.3 Monitoramento dos parâmetros físico, químicos e biológicos

5.2.3.1 Temperatura

De uma forma geral, as temperaturas em LPVC_NTNR e LC_NTNR apresentaram uma tendência de decréscimo ao longo do tempo enquanto que LTR e LNTR apresentaram valores crescentes no primeiro mês seguido por uma queda gradual (Figura 54, Figura 51, Figura 52 e Figura 53).

Assim como nos trabalhos Kader et al (2006) e Brito et al (2008), foi constatado a presença de picos após os revolvimentos em LTR e LNTR, essencialmente nos cinco primeiros (dias 7, 21, 35, 49 e 63), indicando que o oxigênio estava sendo limitante do processo, pois caso contrário a curva de temperatura seria contínua. A explicação para tais picos é que, devido ao fato dos micro-organismos atuantes no processo de compostagem serem majoritariamente aeróbios exotérmicos, a introdução do oxigênio aumenta suas atividades metabólicas e, conseqüentemente, há uma maior liberação de calor, resultando assim na elevação da temperatura. Nos revolvimentos dos dias 77 e 91, não ocorreu mais a elevação da temperatura, indicando que o composto apresentava um maior grau de estabilização.

LTR e LNTR apresentaram comportamentos similares, sendo que a fase termófila ocorreu do início do monitoramento até o dia 42 e do dia 53 ao 59 no meio, até o dia 40 no topo e até o dia 41 na base (com pequenos picos nos dias 54 e 55), em ambas as leiras. O maior valor registrado foi 68,5°C nos dias 24 e 25 em LTR e 66°C no dia 24 em LNTR, ambos no meio. As temperaturas nos três pontos de medição começaram a apresentar valores similares a partir do segundo mês em ambas as leiras e valores próximos a temperatura ambiente a partir do 81º dia em LNTR. Comparando-se as médias do topo, meio e base, os valores encontrados foram 40,51 e 38,42, 43,19 e 39,86 e 41,02 e 39,01 em LTR e LNTR, respectivamente, de forma que os valores encontrados em LTR foram levemente maiores em virtude da massa de 85kg a mais que LNTR devido a trituração dos resíduos. Esta diferença, porém, não é considerada significativa estatisticamente ($P < 0,05$) (vide Item 5.2.3.13).

Em LC_NTNR, a fase termófila permaneceu até os dias 47, 68 e 32 no topo, meio e base, respectivamente, sendo maior valor registrado 54°C (meio) nos dias 5, 11 e 20. As temperaturas nos três pontos de medição começaram a apresentar valores similares a partir do 130° dia e valores próximos a temperatura ambiente a partir do 136° dia. De uma forma geral a temperatura no topo apresentou valores maiores que o da base até o dia 52, sendo que depois disso os valores da base passaram a ser maior.

Em LPVC_NTNR, a fase termófila ($> 45^{\circ}\text{C}$) permaneceu até os dias 38, 40 e 11 no topo, meio e base, respectivamente, sendo maior valor registrado 57°C (meio) no 5° dia. Nos registros do meio ocorreram alguns picos termofílicos isolados após o 40° dia. As temperaturas nos três pontos de medição começaram a apresentar valores similares a partir do 95° dia e valores próximos a temperatura ambiente a partir do 130° dia. De uma forma geral as maiores temperaturas foram as do meio e os menores a da base.

Comparando-se LPVC_NTNR e LC_NTNR nota-se que as temperaturas do topo foram similares, mas que as do meio e, principalmente, as da base foram menores em LPVC_NTNR. Isto ocorreu porque o calor gerado no interior de LPVC_NTNR foi dissipado pelos dos tubos de PVC através do processo de convecção térmica, gerando assim um maior resfriamento nas camadas inferiores desta leira e reduzindo o período termofílico. Isto fez com que a temperatura da base de LPVC_NTNR diferisse estatisticamente ($P>0,05$) dos demais tratamentos.

Quanto ao atingimento das temperaturas entre 50-55°C para assegurar a eliminação de patógenos (KIEHL, 2004), somente os valores da base de LPVC_NTNR não cumpriram tal exigência. Ressalta-se que nas leiras revolvidas a faixa de valor supracitada permaneceu por cerca de um mês, enquanto que nas demais o período foi menor, principalmente no topo e na base.

Figura 51- Variação temporal das temperaturas em LTR. Legenda: Revolvimento (↓); Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—▲—) e base (—▼—)

Figura 52- Variação temporal das temperaturas em LNTR. Legenda: Revolvimento (↓); Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—▲—) e base (—▼—)

Figura 53 – Variação temporal das temperaturas em LC_NTNR. Legenda: Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—▲—) e base (—▼—)

Figura 54 – Variação temporal das temperaturas em LPVC_NTNR. Legenda: Temperatura: ambiente (—■—); topo (—●—), meio(—▲—) e base (—▼—)

5.2.3.2 pH

Apesar do valor ácido da mistura bruta de 4,72 (Tabela 15), na primeira medição registrada nas leiras (14º dia) os valores de pH ficaram entre 9-10 (Figura 55), o que pode ser explicado, conforme exposto Item 3.6.3, pela amonificação do N orgânico seguida da hidrólise da amônia, gerando íons amônio e hidroxilas. Conforme o processo vai avançando, ocorre a nitrificação, reduzindo assim os valores de pH em virtude da liberação de íons de hidrogênio.

Nas leiras estáticas (LPVC_NTNR e LC_NTNR) o pH foi mais baixo em quase todas as medições. A tendência do meio em se tornar mais básico em leiras revolvidas em relação a leiras não revolvidas também foi descrito por Cáceres, Floats e Marfa (2005) e Pereira Neto (1986). No caso Cáceres, Floats e Marfa (2005), os autores registraram medições com maiores teores de NH_4^+ em leiras dinâmicas nos dois primeiros meses de compostagem, o que justificou a elevação do pH. Embora não tenha sido feita a medição de NH_4^+ , pode-se inferir que houve uma maior produção de amônio (e consequentemente de hidroxilas) nas leiras revolvidas em decorrência dos valores de pH registrados. A menor produção nas leiras não revolvidas pode ser um indício que houve uma degradação da matéria orgânica menos eficiente, ocasionando uma taxa mais baixa de mineralização do nitrogênio orgânico para NH_3 .

Em relação às leiras revolvidas (LTR e LNTR), a trituração não apresentou influência sobre os valores de pH, que foram similares em todas as medições, e em relação às não revolvidas (LPVC_NTNR e LC_NTNR), com exceção dos dias 14, 28 e 63, os valores foram relativamente próximos, de forma que não houve influência dos tubos. Os valores de LTR e LNTR não apresentaram diferenças de médias significativas estatisticamente ($P < 0,05\%$), assim como os valores de LPVC_NTNR e LC_NTNR. O que diferiu os tratamentos entre si ($P > 0,05\%$) foi o revolvimento.

Comparando-se aos trabalhos que utilizaram substrato similares, Awasthi et al (2014) e Reis (2005) encontraram valores mais baixos de pH, entretanto, Brito (2008) também encontrou valores acima de 9,0, o que pode ter ocorrido, segundo a autora, devido a pequena produção de CO_2 . Haug (1993) *apud* Brito (2008) afirma que a habilidade de neutralizar altos e baixos valores durante a compostagem se deve a formação de ácido fraco (CO_2) e base fraca (NH_3), sendo difícil encontrar valores fora da faixa de 5,0-8,5. Entretanto, Pereira Neto (1987, 1992) *apud* Russo (2003) afirma entretanto que o pH é auto-regulado no processo de compostagem, não merecendo assim uma preocupação especial em controlá-lo.

No final do processo os valores atingidos foram de 7,93, 8,03, 8,23 e 8,36 em LPVC_NTNR, LTR, LNTR e LC_NTNR, atendendo dessa forma o limite mínimo de 6,5 exigidos pela IN 25/2006. Os valores alcalinos encontrados são interessantes, uma vez que a

acidez do solo é um dos fatores mais importantes que limita a produtividade das culturas em várias partes no mundo, inclusive no Brasil, sendo os solos de cerrado e de várzea um exemplo clássico (FAGERIA; STONE, 1999). Nos solos ácidos existem problemas de deficiência e/ou toxidez nutricional, baixa capacidade de retenção de água e baixa atividade de micro-organismos benéficos (FAGERIA; STONE, 1999). Dessa forma, a aplicação dos fertilizantes orgânicos obtidos apresenta potencial em áreas agrícolas visando o aumento do pH e, consequentemente, a melhoria da produção.

Figura 55- Variação temporal do pH em LTR (—●—), LNTR (—★—), LC_NTNR (—▼—) e LPVC_NTNR (—■—)

5.2.3.3 Umidade

Os teores de umidade foram elevados em todas as leiras porque a maior parte da massa a ser compostada era constituída de resíduos orgânicos que possuíam cerca de 83,3% de água. Em LTR e LNTR foi mais fácil o controle da umidade devido aos revolvimentos que proporcionavam uma maior evapotranspiração. Já em LPVC_NTNR e LC_NTNR a umidade permaneceu alta por períodos mais elevados (Figura 56). Segundo Pereira Neto e Lelis (1999), experimentos com com umidade superior a 60% apresentam valores inferiores a faixa termófila mais rápido - o que pode ser constatado no presente estudo - de forma que o excesso de água presente no composto absorve o calor produzido na massa de compostagem quando as fontes de carbono responsáveis pela reação exotérmica se esgotam.

Figura 56- Variação temporal da umidade em LTR (—●—), LNTR (—●—), LC_NTNR (—▼—) e LPVC_NTNR (—■—)

No meio e, principalmente, na base de LPVC_NTNR e LC_NTNR ocorreu um aspecto de encharcamento enquanto que o topo apresentava-se levemente ressecado, ocasionando uma estratificação das camadas em virtude do não revolvimento. Em relação a presença dos tubos, não houve a influência no aumento da taxa de evaporação de água em virtude dos mesmos até o 84º dia, sendo que os valores de LPVC_NTNR maiores que LC_NTNR. Após tal data adicionou-se de forma mais frequente água nessas leiras, pois os valores de umidade estavam diminuindo e poderiam ficar abaixo da faixa recomendada de 50-60% (Fernandes & Silva, 1999). A partir de então os valores de umidade de LPVC_NTNR foram - salvo no 133º dia - menores.

Os registros de umidade foram próximos em LTR e LNTR uma vez que os revolvimentos e adições de água ocorriam de forma sincronizada, sendo a presença/ausência da trituração pouco importante neste caso.

Como as leiras foram montadas dentro do Laboratório de Compostagem, onde não havia ventos e insolação que aumentassem a evapotranspiração, nota-se que a quantidade de água adicionada foi relativamente baixa e as regas foram feitas em períodos espaçados, principalmente nos primeiros meses. LPVC_NTNR foi a que mais demorou para apresentar redução no teores de umidade.

As quantias adicionadas em cada leira apresentam-se na Tabela 16 abaixo.

Tabela 16- Quantia de água (L) adicionada em cada leira

Dia	7	49	63	70	77	88	91	105	110	112	118	131	138	SOMA
LTR	18	5	9	5	5		20	10	5	5	10	10	10	92
LNTR	18	5	9	5	5		20	10	5	5	10	10	10	92
LC_NTNR	18	5				10		10	5	5	10	5	10	78
LPVC_NTNR	18	5				10		10	5	10	10	5	10	82

Apesar dos altos teores de umidade, não houve a presença significativa de chorume.

Gorgati (2001) desenvolvendo a compostagem com fração orgânica dos resíduos domiciliares urbanos em ambientes cobertos e descobertos concluiu que a produção de chorume que chegou a quase 2 mil vezes mais nas leiras descobertas. Dessa forma, a umidade é melhor controlada através da cobertura da área, sendo este um fator a ser considerado e devendo seu custo ser analisado juntamente com o custo do sistema de tratamento de chorume (REIS, 2005; GORGATI, 2011).

Os valores finais de umidade foram 64,17, 54,76, 56,43 e 66,67% para LPVC_NTNR, LTR, LNTR e LC_NTNR, todos acima do recomendado pela IN 25/2009 que prevê um máximo de 50%, de forma que, caso fossem comercializados, esses compostos precisariam ser expostos a leitos de secagem.

5.2.3.4 Matéria orgânica

Em LTR, LNTR e LC_NTNR, embora com um certo grau de oscilação nas medições, os teores de matéria orgânica apresentaram uma tendência de decréscimo ao longo do tempo e em LPVC_NTNR os valores também oscilaram, mas decaíram pouco (Figura 57). Essas oscilações demonstram o problema de amostragem relacionados a heterogeneidade dos resíduos.

Na LTR a faixa de variação foi entre 83-90%, com a diferença entre valor inicial e final de 4,7%. O maior decréscimo no teor de matéria orgânica ocorreu até metade do terceiro mês.

Na LNTR a faixa de variação foi entre 81-90%, com a diferença entre valor inicial e final de 7,83%. O maior decréscimo no teor de matéria orgânica ocorreu até metade do terceiro mês.

Na LC_NTNR a faixa de variação foi entre 81-94%, com a diferença entre valor inicial e final de 12,43%. O maior decréscimo no teor de matéria orgânica ocorreu até o início do quarto mês.

Na LPVC_NTNR, os valores permaneceram na faixa de 86-91%, com pouca variação ao longo do processo. A diferença entre valor iniciais e final foi irrisória (1,44%), o que pode ser um indício de que matéria orgânica foi pouco degradada.

Em termos estatísticos, LC_NTNR e LPVC_NTNR não apresentaram diferenças significativas entre si ($P < 0,05$), mas diferiram de LNTR ($P > 0,05$), e LTR não apresentou diferença ($P < 0,05$) em relação a nenhum dos tratamentos. Isto indica que o revolvimento diferiu LNTR em relação as leiras não revolvidas (LPVC_NTNR e LC_NTNR), mas não a diferiu de LTR, que também apresentava revolvimento.

Figura 57- Variação temporal da matéria orgânica em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR (■) e LPVC_NTNR (■)

Henze et al (1995) *apud* Cáceres, Floats e Marfa (2005) alegam que na fase termófila da compostagem os componentes lábeis da matéria orgânica são degradados por organismos heterotróficos, sendo que a medida que o processo atinge a fase de cura a concentração de matéria orgânica facilmente degradável é cada vez menor. Essa constatação pode ser observada nas leiras revolvidas (LTR e LNTR), onde as temperaturas acima de 45°C permaneceram até o final do segundo mês e o decaimento de M.O. foi mais acentuado.

O fato da M.O. ser mineralizada em taxa superior em leiras revolvidas em comparação a leiras não revolvidas, também foi constatada por Brito et al (2008), uma vez que o aumento do arejamento ocasiona uma maior concentração de O₂ no interior das leiras, elevando assim a atividade metabólica dos micro-organismos e a velocidade do processo de compostagem.

Em relação a outros trabalhos que utilizaram resíduos domiciliares, como os de Reis (2005) e Massukado (2008), os teores de M.O. encontrados neste estudo foram mais elevados, atingindo a recomendação de Silva et al (2002) de um mínimo de 40%.

A matéria orgânica tende a decrescer durante a compostagem devido ao consumo de C orgânico pelos micro-organismos, o que aumenta o total de matéria mineralizada. Entretanto este parâmetro sozinho não deve ser utilizado para estimar o grau de maturação, pois esse procedimento não diferencia carbono biodegradável de carbono mineral. Deve-se avaliar em conjunto parâmetros como a relação C/N, que diminui com o tempo de compostagem, e a CTC, que aumenta devido às cargas orgânicas negativas presentes no húmus (KIEHL, 2004).

5.2.3.5 Carbono e Nitrogênio

Conforme explicado no Item 3.6.2, com o decorrer do processo de compostagem a matéria orgânica é degradada, resultando numa perda de C e aumento de N por unidade de material compostável, diminuindo assim a relação C/N.

Na LTR, embora com um certo grau de oscilação, as porcentagens de carbono apresentaram uma tendência de queda enquanto que as porcentagens de nitrogênio apresentaram uma tendência de aumento. As medições de carbono variaram na faixa de 37 a 44%, atingindo um valor final de 38,13%, e as medições de nitrogênio variaram na faixa de 1,6 a 2,5%, sendo o valor final de 2,48%, o que resulta em uma relação C/N final de 15,38 (Figura 58).

Na LNTR, assim como na LTR, embora com oscilações ao longo do tempo, houve uma tendência de queda para o carbono e uma tendência de aumento para as porcentagens de nitrogênio. As medições de carbono variaram na faixa de 36 a 45%, atingindo um valor final de 38,02%, e as medições de nitrogênio variaram na faixa de 1,8 a 2,5, sendo o valor final 2,24%, o que resulta em uma relação C/N final de 16,95 (Figura 59).

Na LC_NTNR as medições de carbono apresentaram uma faixa de variação de 38 a 43%, com oscilações entre 40-43% até o 98º dia e uma leve tendência de queda a partir de então, atingindo o valor final de 38,64%. As medições de nitrogênio variaram de 1,2 a 2,3% e, embora com oscilações ao longo do tempo, houve uma tendência de aumento ao longo do tempo, sendo o valor final atingido de 1,92%. Esta foi a leira que apresentou valores mais altos na relação C/N, sendo a relação final atingida de 20,12 (Figura 60).

Na LPVC_NTNR, as medições de carbono oscilaram de 35 a 48% ao longo do processo, permanecendo na maioria das medições na faixa entre 39 e 42%, e os teores de nitrogênio

ficaram na faixa de 1,5 a 2,4%, oscilando de 1,5 a 1,9 até o 120º dia e a partir de então apresentando uma tendência de aumento. Os valores finais de carbono e nitrogênio foram 40,40 e 2,39%, resultando em uma relação C/N de 16,93 (Figura 61).

Em relação ao carbono, nenhum dos tratamentos diferiram entre si ($P < 0,05$). Já no caso do nitrogênio e da relação C/N, não houve diferença entre LC_NTNR e LPVC_NTNR, assim como entre LTR e LNTR ($P < 0,05$). Dessa forma, a adição dos tubos de PVC não influenciou as leiras estáticas e a presença/ausência da trituração não influenciou as leiras revolvidas. O que fez os tratamentos de LC_NTNR e LPVC_NTNR diferirem de LTR e LNTR ($P > 0,05$) foi o revolvimento.

Comparando-se LPVC_NTNR e LC_NTNR com LTR e LNTR é possível constatar que nas primeiras há uma maior oscilação (picos seguidos de quedas) no comportamento da relação C/N enquanto que nas últimas há uma tendência mais constante de queda. Isto ocorre em virtude das amostras de LPVC_NTNR e LC_NTNR serem mais heterogêneas devido ao não revolvimento, de forma que a estratificação das camadas faz com tais leiras apresentem pontos com estágios de decomposição mais variáveis.

Até o final do monitoramento de LTR e LNTR (dia 119) os valores das relações C/N de LPVC_NTNR e LC_NTNR eram, respectivamente, 23,24 e 19,86, sendo esses um dos motivos de se optar por manter essas leiras compostando por mais um mês.

Considerando o limite de tolerância de 3 unidades para o caso de LC_NTNR (KIEHL, 2004), todas as leiras se enquadraram dentro do limite da IN 25/09 que prevê um valor máximo de 20 na relação C/N e um teor mínimo de 0,5 e 15% para N e C, sendo porém consideradas como bioestabilizadas (relação C/N em torno de 18/1) mas não humificadas (relação C/N em torno de 10/1) (KIEHL, 2004). Os valores da relação, apesar de dentro dos limites exigidos pela norma, foram maiores quando comparados aos trabalhos de Gorgati (2011) e Massukado (2008), que utilizaram resíduos domiciliares e poda, e quando comparado ao trabalho de Vespa (2005) que utilizou resíduos sólidos urbanos orgânicos coletados no município de São José do Rio Preto.

Em relação a compostos produzidos em Usinas de Triagem e Reciclagem (UTCs), os resultados encontrados de C e de N no presente estudo foram mais elevados (BARREIRA; PHILIPPI JR; RODRIGUES, 2006; DENARDIN; WOLFF; VASCONCELLOS, 2010), o que pode ter acontecido em virtude da segregação, uma vez que a presença de inertes diminui o teor de tais nutrientes.

Figura 58- Variação temporal de C (—■—), N(—*—) e relação C/N (—■—) em LTR

Figura 59 - Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LNTR

Figura 60- Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LC_NTNR

Figura 61 - Variação temporal de C (—■—), N (—*—) e relação C/N (—■—) em LPVC_NTNR

A Figura 62 ilustra de forma melhor a evolução do nitrogênio durante a compostagem, uma vez que nas figuras anteriores a escala elevada dos teores de carbono impedem uma melhor

visualização. Pela análise do gráfico nota-se um comportamento similar no teores de nitrogênio entre as leiras revolvidas (LTR e LNTR) e entre as leiras não revolvidas (LPVC_NTNR e LC_NTNR), de forma que nas primeiras os valores são maiores em virtude mineralização mais eficaz da matéria orgânica. Comparando-se ao estudo de Brito (2008), os teores de nitrogênio medidos no presente estudo foram mais elevados.

O fato do valor inicial da relação C/N do substrato bruto ter ficando acima da faixa recomendada (25 a 35/1) somado a frequência espaçada de revolvimento pode ter ocasionado um retardamento no processo de compostagem, que demorou quatro meses nas leiras revolvidas e cinco nas não revolvidas.

Figura 62 - Variação temporal do nitrogênio em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR (■) e LPVC_NTNR (■)

5.2.3.6 CTC

A CTC do primeiro mês apresentou valores próximos em todas as leiras com uma faixa de variação de 375-405 mmol_c.kg⁻¹, sendo que LTR e LNTR apresentaram valores ligeiramente superiores às demais. A partir de então, LTR e LNTR tiveram um crescimento mais acentuado até o final do terceiro mês, quando LNTR atingiu os maiores valores e LTR se aproximou de LPVC_NTNR e LC_NTNR (Figura 63). Até o final do monitoramento das leiras revolvidas, os

valores de CTC foram 769,671, 789,551, 908,282 e 744,774 $\text{mmol}_c.\text{kg}^{-1}$ para LPVC_NTNR, LTR, LNTR e LC_NTNR.

Durante o período de monitoramento de LTR e LNTR, os valores destas foram maiores em relação as demais, indicando que o revolvimento contribuiu para a elevação da CTC. Entretanto, quando as leiras não revolvidas permaneceram por mais um mês no processo de compostagem, a CTC do composto de LPVC_NTNR atingiu um valor superior e LC_NTNR ficou próxima ao valor da CTC do composto final de LTR, sendo os últimos valores de CTC registrados em LC_NTNR e LPVC_NTNR foram 878,221 e 761,985 $\text{mmol}_c.\text{kg}^{-1}$. A mesma constatação de comportamento também pôde ser observada na relação C/N quando se optou por deixar LC_NTNR e LPVC_NTNR compostando por mais um mês.

Devido a frequência mais espaçada de monitoramento, não foi possível realizar a análise de variância e verificar se os tratamentos diferiram estatisticamente. Porém, os tratamentos nas leiras estáticas apresentaram valores próximos e com tendências de medições similares, assim como os tratamentos nas leiras revolvidas.

De acordo com Reis (2005), um bom composto deve apresentar uma CTC entre 600-800 $\text{mmol}.\text{kg}^{-1}$, valores estes não só atingidos como ultrapassados no presente caso. A CTC aumenta no decorrer da compostagem devido ao maior grau de humificação da matéria orgânica, de forma que, quanto mais humificado o composto, maior a CTC. Comparando-se aos valores encontrados por Massukado (2008) que utilizou resíduos orgânicos domiciliares e resíduos de poda e capina (média de 294,22 $\text{mmol}.\text{kg}^{-1}$), e com os valores encontrados por Melo, Silva e Dias (2008) para composto comercial (311 $\text{mmol}.\text{kg}^{-1}$) e substrato orgânico comercial (674 $\text{mmol}.\text{kg}^{-1}$), os valores encontrados no presente trabalho foram superiores, evidenciando assim um grande potencial agrônomo de aplicação dos fertilizantes orgânicos gerados.

Abreu Jr, Muraoka e Oliveira (2001) ao testar a utilização de compostos produzidos em uma usina de compostagem em diferentes tipos de solo notaram um aumento da CTC, demonstrando assim que a integração da gestão resíduos sólidos orgânicos com práticas agrícolas apresenta bons resultados.

Figura 63 - Evolução temporal da CTC em LTR (■), LNTR (■), LC_NTNR (■) e LPVC_NTNR (■)

A relação CTC/C também pode ser utilizada para estimar o grau de maturação dos compostos, de forma que quanto maior o valor, mais humificado o composto (KIEHL, 2004). Segundo Rodella e Alcarde (1994), a relação CTC/C pode ser considerada mais apropriada para que a relação C/N indicar o grau de humificação de materiais orgânicos, pois esta pode ser afetada pela presença de N amoniacal, como o caso do esterco de galinha, fato este também demonstrado em estudos como os de Paiva et al (2013).

Segundo Brasil (2013b), a relação CTC/C é dada pela razão numérica entre os valores encontrados para a capacidade de troca catiônica (CTC), em mmolc.kg^{-1} , e o carbono orgânico, em porcentagem em massa, ambos referidos à amostra em base seca.

Tabela 17 - Evolução da Relação CTC/C durante a compostagem

Dia	LPVC_NTNR	LTR	LNTR	LC_NTNR
28	9,15	9,69	9,56	8,99
56	9,19	14,15	15,69	9,59
84	13,80	17,62	15,80	11,74
112	16,47	17,86	23,73	19,20
119	21,69	20,71	23,89	18,91
147	21,74	-	-	19,72

Pela análise da Tabela 17, tem-se que os valores iniciais das leiras revolvidas foram maiores até o 84º dia, sendo que a partir de então LNTR atingiu os maiores valores e o valor final de LTR foi próximo a LPVC_NTNR e LC_NTNR, de forma que o composto de LNTR apresentou o maior grau de humificação. Os resultados encontrados na relação foram maiores que os de Massukado (2008) e próximos aos de Melo, Silva e Dias (2008).

Com relação a IN 25/09, não há nenhum limite para a CTC ou para a relação CTC/C, sendo mencionando apenas a obrigatoriedade desta na declaração de registro do produto.

5.2.3.7 Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica

Os valores de CRA e CE foram determinados para o composto final das leiras. Para o caso de LTR e LNTR a data de coleta foi dia 119 e para o caso de LPVC_NTNR e LC_NTNR dia 147.

Tabela 18 - CRA e CE nos compostos finais				
Parâmetro	LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR
CRA (%)	395,5	352,1	467,3	534,3
CE (dS.m ⁻¹)	1,13	1,72	1,30	1,58

A capacidade de retenção de água foi maior para as leiras não revolvidas em relação às revolvidas. Segundo Lopes (1989), a matéria orgânica aumenta a CRA, de forma que LPVC_NTNR, que apresentou 86,18% de teor de M.O, reteve 534,3%, LTR, com teor de M.O 83,57%, reteve 395,5%, LNTR, com 81,83%, reteve 352,1% e LC_NTNR, com 81,13%, reteve 467,3%, porém no caso da última pode ter havido problemas de amostragem, uma vez que duas semanas antes o teor de M.O. era 86,83%. Kiehl (2012) afirma, entretanto, que nem sempre a aumento no teor de matéria orgânica aumenta sua capacidade de estocar água, uma vez que muita água presente nos materiais orgânicos está tão fortemente retida que se torna indisponível para as plantas. Dessa forma, a correlação entre tais variáveis poderia ser afirmada somente se houvesse a coleta de mais amostras que proporcionassem um maior número de dados através do acompanhamento temporal da CRA, o que não ocorreu.

De acordo com Reis (2005), o composto de “lixo” apresenta a CRA igual a três ou quatro vezes seu peso, valores estes superado em alguns dos compostos testados. Os resultados encontrados foram maior do que os de Massukado (2008), onde a CRA ficou entre 83-103%, e que Melo, Silva e Dias (2008), onde a CRA ficou entre 63-82%, entretanto este realizou testes em diferentes tipos de substratos, como esterco, lodo de esgoto, esterco, composto e material húmico, substratos tais, com exceção do composto e do material húmico, com baixo grau de humificação.

Quanto a CE, o parâmetro apresentou valores baixos comparado a trabalhos que utilizaram substratos similares (AWASTHI et al, 2014; OCANA; REBELLÓN, LOZADA, 2014; MELO; SILVA; DIAS 2008, SANCHEZ-MONEDERO et al, 2000) ou resíduos de usinas de compostagem (ABREU JR; MURAOKA; OLIVEIRA, 2001).

Segundo Tomé Jr (1997), valores de condutividade entre 0,0-2,0 dS.m⁻¹ apresentam efeitos de salinidade geralmente negligenciáveis em relação a aplicação em plantas e culturas, demonstrando assim a adequação do fertilizante produzido. Destaca-se a importância da segregação dos resíduos compostáveis na fonte, uma vez que resíduos contendo maiores teores de sal oriundo de sobras de prato podem elevar a CE.

5.2.3.8 Metais

Os resultados das concentrações de metais encontrados em cada tipo de tratamento apresentam-se na Tabela 19. As médias de Pb, Cr e Ni e foram, 63,90, 9,75 e 36,35 mg.kg⁻¹ e os teores de As, Cd e Hg ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho de 0,04 mg.kg⁻¹. Dessa forma, todos os contaminantes ficaram abaixo do limite estabelecido pela IN 27/06. Em relação ao Se, cujo limite previsto pela IN 27/06 é de 80 mg.kg⁻¹, os resultados encontrados através do método utilizado (Item 4.4.3.7) mostraram-se inconsistentes e foram por este motivo descartados.

Observa-se que os valores de Pb e Ni foram maiores nas leiras revolvidas e que os valores Cr variaram de 2 a 23,2 mg.kg⁻¹.

Tabela 19 - Concentração de metais (mg.kg⁻¹) encontrados nos compostos finais

Metais	LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR	Lim. Máx. IN 27/06
As	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	20
Cd	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	3
Pb	88,0	131,6	24,0	12,0	150
Cr	2,8	11,0	23,2	2,0	200
Hg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1
Ni	42,2	48,0	29,2	26,0	80

Devido a medição dos teores de metais ter ocorrido somente no composto final, a análise da influência das tubulações de PVC e da trituração torna-se inviável devido à falta de acompanhamento que pudesse fornecer um maior número de dados. A mesma constatação pode ser estendida para o caso dos macro e micronutrientes, granulometria, CRA e CE.

Na Tabela 20 tem-se um levantamento de diversos fertilizantes orgânicos produzidos pela técnica de compostagem. Através da Tabela 20 pode-se constatar que o As e Hg obtiveram

valores muito pequenos para todos os estudos que analisaram esses elementos (BARREIRA; PHILIPPI JR; RODRIGUES, 2006; MASSUKADO, 2008; DENARDIN et al, 2010); o Se só foi analisado em um dos seis estudos levantados (MASSUKADO, 2008), o que pode indicar falta de método para a detecção de tal elemento; O Cd apresentou os valores mais elevados nos estudos de Gorgati (2001) e Franco-Otero et al (2012), sendo que nestes casos os resíduos não foram segregados de forma diferenciada, o que pode ter ocasionado a presença um pouco maior, porém ainda abaixo do limite de $3,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ estabelecido pela IN 27/06, do contaminante; o Pb e o Cr apresentaram valores variáveis, inclusive no presente estudo onde se utilizou as mesmas matérias primas em todas as leiras, sendo que no caso do Cr Franco-Otero et al (2012) detectaram o maior teor; o Ni apresentou os maiores valores no presente estudo e nos estudos de Franco-Otero et al (2012), permanecendo entretanto dentro do limite recomendado de 80 mg.kg^{-1} .

Tabela 20– Concentração de metais (mg.kg^{-1}) em fertilizantes orgânicos produzidos em diferentes estudos

Presente Estudo				Gorgati (2001) ¹	Franco-Otero et al (2012) ²	Barreira, Philippi Jr e Rodrigues (2006) ³	Brito (2008) ⁴	Massukado (2008) ⁵	Denardin et al (2010) ⁶	
R.O., serragem e poda				FORSU não separada na fonte	RSU	UTCs Estado de São Paulo	R.O e poda	R.O. e poda		Usina de Triagem e Reciclagem Santa Maria – RS
LPVC_NTNR	LTR	LNTR	LC_NTNR					Menor valor	Maior valor	
As	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	N.A.	N.A.	<0,5	N.A.	<0,5	N.D.
Cd	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	2,04	1,0	<LD*	0,025	<0,5	<1,0
Pb	12,0	88,0	131,6	24,0	12,4	77	<LQ**	0,165	<1,0	23
Cr	2,0	2,8	11,0	23,2	20,38	212	N.A.	0,1	13,7	31,1
Hg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<0,5	<0,5
Ni	26,0	42,2	48,0	29,2	N.D.	74	<LD	0,1	0,8	2,1
Se	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	<0,5	<0,5

N.A. = não analisado

N.D. = não detectado

L.D. = limite de detecção

L.Q. = limite de quantificação

1. O material utilizado foi a fração orgânica de resíduos domiciliares urbanos coletados no local de disposição final a partir do rompimento e sacolas e separação manual do material desejado. Os resultados são as médias das leiras que apresentavam cobertura.

2. Compostos produzido a partir de RSU contendo papelão, papel, alimentos podas e outros resíduos orgânicos

3. Média de compostos produzidos em 14 usinas de compostagem de São Paulo

4. Resíduos provenientes de feiras (70%) e podas (30%).

5. Média de 9 leiras produzidas com resíduos orgânicos segregados na fonte e resíduos de poda e capina

6. Média de 3 leiras. A matéria prima utilizada é composta por resíduos urbanos que chegam a Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita – CTRC (Santa Maria – RS) e passam por uma triagem de recicláveis, de modo que no final, supostamente, ficam somente os resíduos orgânicos que são compostados.

5.2.3.9 Macro e micronutrientes

Os resultados das concentrações de macro e micronutrientes encontrados em cada tipo de tratamento apresentam-se na Tabela 21. Os valores médios dos teores de Zn, Fe, Mn, Cu, Co, Mg, Ca, N, K e P foram 138,8, 2.598,5, 115,45, 20,75, 16,25, 4.021, 108.050, 22.575,0, 29.350 e 18.837 mg.kg⁻¹. Quanto ao Mo LPVC_NTNR e LC_NTNR apresentaram um valor médio de 8,0 e LTR e LNTR ficaram abaixo do limite de detecção de 0,04 mg.kg⁻¹.

Pela análise da Tabela 21 é possível constatar que os teores de Zn, Cu, Co, Mo, Ca e K foram próximos em LPVC_NTNR e LC_NTNR, assim como os valores de Zn, Cu, Co, Mo, Mg, Ca e K em LTR e LNTR, de forma que os teores de Zn, Cu, K e, principalmente, de Ca foram maiores nas leiras revolvidas e os teores de Co, Mo e Mg foram maiores nas leiras não revolvidas. Os demais nutrientes apresentaram variações independente do revolvimento.

Tabela 21- Teores de macro e micronutrientes (mg.kg⁻¹) encontrados nos compostos finais

		LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR
Micronutrientes	Zn	155,6	151,6	119,6	128,0
	Fe	2.228,0	2.750,0	3.344,0	2.072,0
	Mn	109,4	145,2	95,6	111,6
	Cu	29,2	28,6	12,4	12,8
	Co	11,2	14,2	19,6	20,0
	Mo	<0,04	<0,04	8,0	8,0
Macronutrientes	Mg	3.036,0	3.068,0	4.572,0	5.408,0
	Ca	180.000,0	179.400,0	34.480,0	38.320,0
	N	24.800,0	22.433,3	19.200,0	23.866,7
	K	32.200,0	31.200,0	26.400,0	27.600,0
	P	17.871,4	20.224,3	20.205,9	17.050,3

A Tabela 22 apresenta um levantamento de fertilizantes produzidos a partir de resíduos orgânicos. Nota-se que os valores dos nutrientes são bem variáveis conforme a bibliografia pesquisada mas que, de uma forma geral, os resultados do presente estudo apresentaram maiores valores de macronutrientes (com exceção dos valores de N encontrados por Barreira, Philippi Jr e Rodrigues (2006)), e menores valores de Fe, Mn e Cu. O Zn apresentou diferentes resultados conforme o estudo realizado e o Mo foi analisado por poucos autores

Tabela 22– Análise de macro e micronutrientes em fertilizantes orgânicos produzidos em diferentes estudos (mg.kg⁻¹)

Presente Estudo					Gorgati (2001) ¹	Franco- Otero et al (2012) ²	Barreira, Philippi Jr e Rodrigues (2006) ³	Massukado (2008) ⁴	Denardin et al (2010) ⁵
R.O., serragem e poda					FORSU não separada na fonte	RSU	UTCs Estado de São Paulo	R.O. e poda	Usina de Triagem e Reciclagem Santa Maria – RS
	LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR					
Micronutrientes	Zn	155,6	151,6	128,0	119,6	77,3	291,0	400,87	60,63
	Fe	2.228,0	2.750,0	2.072,0	3.344,0	24.235,0	8.065,0	N.A.	3.130,00
	Mn	109,4	145,2	111,6	95,6	219,2	143,0	N.A.	135,67
	Cu	29,2	28,6	12,8	12,4	33,75	83,0	205,73	31,77
	Co	11,2	14,2	20,0	19,6	N.A.	N.A.	N.A.	1,51
Macronutrientes	Mo	<0,04	<0,04	8,0	8,0	N.A.	N.A.	N.A.	0,30
	Mg	3.036,0	3.068,0	5.408,0	4.572,0	300,0	4,8	N.A.	2.073,33
	Ca	180.000,0	179.400,0	38.320,0	34.480,0	16.500,0	57.900,0	N.A.	13.566,67
	N	24.800,0	22.433,3	23.866,7	19.200,0	15.500,0	14.100,0	66.200,0	12.966,67
	K	32.200,0	31.200,0	27.600,0	26.400,0	21.900,0	8.000,0	N.A.	N.A.
	P	17.871,4	20.224,3	17.050,3	20.205,9	1.400,0	5.600,0	N.A.	N.A.

1. O material utilizado foi a fração orgânica de resíduos domiciliares urbanos coletados no local de disposição final a partir do rompimento e sacolas e separação manual do material desejado. Os resultados são as médias das leiras que apresentavam cobertura.

2. Compostos produzido a partir de RSU contendo papelão, papel, alimentos podas e outros resíduos orgânicos

3. Média de compostos produzidos em 14 usinas de compostagem de São Paulo

4. Média de 9 leiras produzidas com resíduos orgânicos segregados na fonte e resíduos de poda e capina

5. Média de 3 leiras. A matéria prima utilizada é composta por resíduos urbanos que chegam a Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita – CTRC (Santa Maria – RS) e passam por uma triagem de recicláveis, de modo que no final, supostamente, ficam somente os resíduos orgânicos que são compostados.

Embora estudos como os de Farias, Vieira e Fogo (2011) aleguem que os processos de compostagem e vermicompostagem são técnicas que disponibilizam os nutrientes, mas não substituem efetivamente o uso de certos fertilizantes (devido ao fato do valor nutricional estar atrelado e limitado ao material de origem), a pesquisa desenvolvida por Guimarães et al (2006) direciona a abordagem numa outra perspectiva. Os autores testaram o desenvolvimento de mudas de mamona em experimentos com diferentes substratos orgânicos e uma testemunha composta por fertilizante mineral (GUIMARÃES et al, 2006). Os resultados demonstraram que o substrato que possui apenas boa composição química pela adição de fertilizantes minerais, porém sem a adição de material orgânico que melhore as condições físicas, não é o suficiente para proporcionar o crescimento das mudas (GUIMARÃES et al, 2006). Sendo assim, o ganho proporcionado pelo processo de compostagem apresenta um grande potencial relacionado a

melhoria das propriedades do solo e, conseqüentemente, da produção e desenvolvimento de culturas.

Acrescenta-se ainda que existem linhas de pesquisas que discutem sobre o acréscimo de substratos contendo consórcios microbianos, principalmente fungos, visando o aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica e o incremento de nutrientes, produzindo assim compostos com elevado valor agrônomo (ZHANG; SUN, 2014; AWASTHI et al, 2014).

A IN 25/09, não menciona, com exceção do C e N, exigência alguma quanto aos teores de macro e micronutrientes analisados, determinando apenas que estes devem ser “conforme declarado”.

5.2.3.10 Granulometria

A curva granulométrica dos compostos produzidos nas quatro leiras apresenta-se na Figura 64 com os respectivos valores explicitados na Tabela 23.

Figura 64- Curva granulométrica dos compostos finais. Legenda: LTR (—●—), LNTR (—★—) e LC_NTNR (—▼—) e LPVC_NTNR (—■—)

Tabela 23- Valores encontrados nos ensaios granulométricos feitos com os compostos produzidos

Peneira	Granulometria (mm)	% que passa acumulada			
		LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR
4	4,760	79,44	73,78	62,24	58,95
5	4,000	76,00	70,04	57,40	55,41

Tabela 23 - Continuação

6	3,360	70,10	66,50	55,62	53,82
7	2,830	68,50	62,80	53,80	52,00
10	2,000	59,05	55,28	44,91	43,01
18	1,000	40,50	38,50	29,99	28,17
20	0,841	35,71	33,00	25,21	23,46
35	0,500	19,82	17,70	13,04	10,49
50	0,297	9,24	7,10	8,60	6,82

Analisando-se a Figura 64 e a Tabela 23 pode-se constatar que LTR apresentou a menor granulometria, seguida de LNTR, LC_NTNR e LPVC_NTNR. Como LTR foi constituída de resíduos triturados, esperava-se que seu composto apresentasse um aspecto mais fino. De uma forma geral os compostos de LTR e LNTR apresentaram valores bem próximos entre si, assim como os valores de LPVC_NTNR e LC_NTNR.

Embora os compostos apresentem-se mais próximos da classificação de “farelado grosso”, nenhum se enquadra dentro dos limites da IN n° 25/09, sendo assim, caso o produto fosse comercializado, a rotulagem ou etiqueta de identificação deveria constar a expressão “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”.

5.2.3.11 Análises microbiológicas

Foram feitas as análises de coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.* nos compostos produzidos nos diferentes tratamentos. Não foi feita a análise de ovos viáveis de helmintos prevista pela IN 27/06, porém, como o material de origem é composto por restos de frutas e legumes segregados na fonte a possibilidade de tal contaminante é praticamente nula.

Os resultados de *Salmonella* indicaram “ausência” em todas as amostras, atendo assim as exigências da IN 27/06.

Quanto contaminação fecal, inicialmente, aplicou-se a metodologia de tubos múltiplos (Item 4.4.4.1) visando a detecção de coliformes termotolerantes, parâmetro este exigido pela IN n° 27/06. Porém, os resultados de cada repetição foram pouco conclusivos, mostrando-se completamente diferentes e com ordens de grandeza distintas, não havendo assim replicabilidade do método. Partiu-se então método de colilert que detecta a presença de *E. coli*. Neste caso, a bactéria supracitada está presente em densidades elevadas nas fezes de animais e raramente é encontrada na ausência de poluição fecal, enquanto que as outras espécies de coliformes termotolerantes podem ter origem ambiental (CETESB, 2007), sendo por este motivo considerada o indicador ideal de contaminação fecal. Destaca-se o caso da Resolução CONAMA 357/05 que utiliza coliformes termotolerantes como padrão da qualidade

microbiológica, mas permite a substituição por *E. coli*, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CETESB, 2007). Além disso, a escolha do método foi baseado no trabalho de Sá (2011) que utilizou a detecção de *E. coli* por colilert como indicador de contaminação invés de coliformes termotolerantes. Os resultados obtidos com as análises de colilert para detecção e *E. coli* estão na Tabela 24.

Tabela 24- Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP.g⁻¹ de M.S*) encontrada nos compostos finais

LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR
N.D.	300,00	22,78	8,5.10 ³

*MS=matéria seca, descontando-se a umidade

Com exceção de LPVC_NTNR, as demais leiras ficaram abaixo do limite de 1.000 NMP.g⁻¹ de M.S, sendo que em LTR não foram detectados coliformes e em LNTR e LC_NTNR os valores foram baixos.

As matérias primas compostáveis utilizadas no preenchimento das leiras eram resíduos como casca de frutas e legumes segregados pelos restaurantes, serragem e grama, de forma que a presença de coliformes fecais em elevados valores é pouco justificável. Estudos como os de Paiva et al (2012) e Orrico Jr., Orrico e Lucas Jr. (2009), onde se utilizou, respectivamente, carcaças de frango e a fração sólida de água residuária de suinocultura, apresentaram um decréscimo de coliformes termotolerantes com o avanço do processo de compostagem, de forma que no final foram atingidos valores nulos ou muito baixos. Mesmo que matérias primas como dejetos humanos ou esterco fossem utilizadas, o atingimento de temperaturas elevadas asseguraria a eliminação de patógenos, como nos casos de Sá (2011) e Orrico Jr et al (2012). As quantificações também estão em sentido oposto de Massukado (2008) que encontrou valores bem menores.

A possibilidade de contaminação por dejetos de animais também é pouco provável, pois o processo foi desenvolvido em ambiente fechado. No local onde estavam situadas as leiras nunca foi encontrado indícios que pudessem indicar a passagem de animais, como fezes nas proximidades ou algum tipo de constatação que indicasse que as leiras tivessem sido remexidas. A única possibilidade levantada foi que passarinhos pudessem ter se instalado no interior dos tubos de PVCs, uma vez que estes animais eram vistos algumas vezes no entorno do Laboratório de compostagem. Entretanto, como mencionado, essa constatação tem uma possibilidade pequena pois nunca se encontrou indícios de ninhos, penas ou fezes por cima das leiras.

Hassen et al (2001) acompanharam a evolução de coliformes ao longo do período de compostagem e constataram que, embora houvesse um decréscimo ao longo do processo, na fase de resfriamento ocorreu um pico de aumento. Uma das possíveis explicações levantadas pelos autores foi a recontaminação durante o revolvimento. Essa poderia ser uma explicação para o caso de LPVC_NTNR, mas esta não apresentava revolvimento e quando este era realizado sempre higienizava-se as ferramentas utilizadas. Atenta-se porém para o fato de que LPVC_NTNR foi a leira que apresentou as menores temperaturas, sendo inclusive a faixa necessária para a eliminação de patógenos (50-55°C) não atingida em sua base, o que pode ter ocasionado dificuldades na eliminação de coliformes.

A falta de replicabilidade do método de tubos múltiplos e os resultados obtidos em LPVC_NTNR evidenciam o problema no procedimento de amostragem que ocorre na área de resíduos sólidos. Por mais que se faça a retirada de amostras compostas conforme a recomendação da NBR 10.007 (ABNT, 2004), muitas vezes ocorrem diferenças nas análises. No presente caso, o que pode ter ocorrido é a retirada de certos pontos mais concentrados de colônias em relação a outros. Para uma análise mais conclusiva dos resultados seria necessário um número maior de repetições, o que não ocorreu em virtude das limitações financeiras do projeto.

5.2.3.12 Compilação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do composto final

Devido à grande quantidade de dados e parâmetros apresentados, a Tabela 25 tem como intuito uma melhor visualização dos compostos finais produzidos em cada tipo de tratamento. Atenta-se que os dados fornecidos na Tabela 25 são referentes a um período de compostagem de 4 meses em LTR e LNTR e 5 meses em LC_NTNR e LPVC_NTNR.

Tabela 25 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos compostos finais em cada tratamento

	Parâmetro	Unidade	LTR	LNTR	LC_NTNR	LPVC_NTNR	Legislação
Físico	Umidade	%	54,76	56,43	66,67	64,17	Máximo de 50 (IN 25/2009)
	Granulometria	%	F.E.G.*	F.E.G.*	F.E.G.*	F.E.G.*	Conforme declarado
	Densidade	kg.m ⁻³	357	385	330,5	339	-
Químico	Ph		8,03	8,23	8,36	7,93	Mínimo 6,0 (IN 25/2006)
	Matéria orgânica	%	83,57	81,83	81,13	86,18	-
	Carbono orgânico	%	38,13	38,02	38,65	40,40	Mín. 15 (IN 25/2009)
	Nitrogênio total	%	2,48	2,24	1,92	2,37	Mín. 0,5 (IN 25/2009)
	Relação C/N	-	15,38	16,95	20,13	16,93	Máx. 20 (IN 25/2009)
	CTC	mmol.kg ⁻¹	789,551	908,282	761,985	878,221	Conforme declarado
	CRA	%	395,5	352,1	467,3	534,3	-
	C.E.	dS.m ⁻¹	1,13	1,72	1,30	1,58	-
	Metais Pesados						IN 27/2006:
	As	mg.kg ⁻¹	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	20
	Cd	mg.kg ⁻¹	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	3
	Pb	mg.kg ⁻¹	88,0	131,6	24,0	12,0	150
	Cr	mg.kg ⁻¹	2,8	11,0	23,2	2,0	200
	Hg	mg.kg ⁻¹	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1
	Ni	mg.kg ⁻¹	42,2	48,0	29,2	26,0	80
	Micronutrientes:						
	Zn	mg.kg ⁻¹	155,6	151,6	119,6	128,0	Conforme declarado
	Fe	mg.kg ⁻¹	2.228,0	2.750,0	3.344,0	2.072,0	
	Mn	mg.kg ⁻¹	109,4	145,2	95,6	111,6	
	Cu	mg.kg ⁻¹	29,2	28,6	12,4	12,8	
	Co	mg.kg ⁻¹	11,2	14,2	19,6	20,0	
	Mo	mg.kg ⁻¹	<0,04	<0,04	8,0	8,0	
	Macronutrientes						
	Mg	mg.kg ⁻¹	3.036,0	3.068,0	4.572,0	5.408,0	Conforme declarado
	Ca	mg.kg ⁻¹	180.000,0	179.400,0	34.480,0	38.320,0	
	N	mg.kg ⁻¹	24.800,0	22.433,3	19.200,0	23.866,7	
	K	mg.kg ⁻¹	32.200,0	31.200,0	26.400,0	27.600,0	
	P	mg.kg ⁻¹	17.871,4	20.224,3	20.205,9	17.050,3	
Microbi	<i>Salmonella sp</i>	g de M.S.**	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Ausência em 10g de MS
	Coliformes Fecais	NMP.(g de M.S.) ⁻¹	108	Ausente	10	3,4.10 ⁻³	Máx. 1.000 (IN 27/2006)

* FEG = Fora de especificação granulométrica

**M.S. = matéria seca, descontando-se a umidade

5.2.3.13 Análise estatística

A Tabela 26 apresenta a compilação da análise de variância feita a partir dos dados de monitoramento do pH, MO, carbono, nitrogênio e relação C/N em cada tipo de tratamento. Com relação a umidade, por ser este um parâmetro que era manipulado através da adição de água, a mesma não foi considerada para fins estatísticos. Em relação a CTC, como a coleta dos dados

eram mensais, os registros de medições não foram suficientes para a determinação de testes estatísticos.

Tabela 26- Máximos e mínimos dos valores de temperatura, pH, M;O, C, N e relação C/N nos diferentes tipos de tratamento. Os tratamentos seguidos por letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey com $P < 0,05$.

	T _{TOPO} (°C)	T _{MEIO} (°C)	T _{BASE} (°C)	pH	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C:N
LTR	24,0 – 64,0 a	25,0 – 68,5 a	26,0 – 65,0 b	8,87 – 10,21 b	83,52 – 89,30 ab	37,51 – 43,44 a	1,62 – 2,48 b	18,29 – 25,29 b
LNTR	23,5 – 63,0 a	24,0 – 66,0 a	25,0 – 65,0 b	8,23 – 9,9 b	79,32 – 89,66 b	36,91 – 44,26 a	1,89 – 2,48 b	16,60 – 22,30 b
LC_NT NR	26,0 – 51,0 a	25,0 – 54,0 a	25,0 – 51,0 b	8,16 – 9,91 ^a	81,13 – 93,56 a	38,65 – 42,95 a	1,28 – 2,25 a	17,94 – 32,77 a
LPVC_ NTNR	24,5 – 52,0 a	25,5 – 57,0 a	24,5 – 45,0 a	7,93 – 9,86 a	83,05 – 90,50 a	35,49 – 47,69 a	1,53 – 2,39 a	16,93 – 26,94 a

Conforme já discutido, para o caso do pH, nitrogênio e relação C:N, não houve diferenças entre LPVC_NTNR e LC_NTNR, assim como entre LTR e LNTR, de forma que o que diferiu os tratamentos supracitados ($P > 0,05$) foi o revolvimento. Em relação a temperatura, somente os valores registrados na base de LPVC_NTNR diferiram ($P > 0,05$) dos demais tratamentos, sendo os valores do topo e do meio com diferenças não significativas. Na matéria orgânica, o revolvimento diferiu LNTR de LPVC_NTNR e LC_NTNR ($P > 0,05$), mas não a diferiu de LTR ($P < 0,05$), que também era revolvida.

Foi feita análise de correlação para as variáveis citadas em cada um dos tratamentos, incluindo agora a variável temporal e considerando a média das temperaturas nos três pontos de medições (Tabela 27, Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 30).

Em LTR, a variável temporal mostrou-se correlacionada negativamente com o pH, C, N, relação C/N e temperatura em um nível de significância $< 0,01$. O pH apresentou também uma correlação negativa ($P < 0,01$) com o nitrogênio, indicando que menores valores de pH estão relacionados a maiores valores de nitrogênio, e consequentemente, uma correlação positiva ($P < 0,01$) com relação C/N, pois estes maiores valores de N reduzem também a relação C/N. Esta constatação é reforçada a partir da observação da correlação negativa ($P < 0,01$) entre C/N e N. A temperatura apresentou-se ainda correlacionada positivamente com o pH ($P < 0,01$) e com a relação C/N ($P < 0,05$) (Tabela 27).

Em LNTR, a variável temporal apresentou correlação negativa a nível de significância de $P < 0,01$ com C, relação C/N e temperatura e correlação negativa a nível de significância de $P < 0,05$ com M.O. e pH. A relação C/N se mostrou também correlacionada positivamente

($P < 0,05$) com a matéria orgânica e pH, indicando que a relação aumenta conforme os teores mais elevados destes e, como já esperado, com os teores de N. A temperatura apresentou uma correlação positiva com o pH, matéria orgânica e, embora não possua correlação nem com C e nem com N, com a relação C/N em um nível de significância de $P < 0,01$ (Tabela 28).

Em LC_NTNR, todos os parâmetros analisados apresentaram-se correlacionados com a variável temporal a nível de significância de $P < 0,01$, com exceção do pH, onde o nível de significância foi de $P < 0,05$, sendo o nitrogênio correlacionado de forma positiva e o restante de forma negativa. A matéria orgânica apresentou uma correlação positiva ($P < 0,01$) com o carbono e com a temperatura. A relação C/N apresentou uma correlação negativa ($P < 0,01$) com o nitrogênio e positiva ($P < 0,01$) com a temperatura. A temperatura apresentou também uma correlação, a nível de significância de $P < 0,05$, com o pH, M.O. e C e negativa com N (Tabela 29).

Em LPVC_NTNR, com exceção da matéria orgânica e do nitrogênio, as demais variáveis testadas mostraram-se correlacionadas negativamente com a variação temporal (com $P < 0,05$ para o C e a relação C/N e $P < 0,01$ para o pH e temperatura), indicando seus valores decaem conforme o passar dos dias. A temperatura apresentou-se ainda correlacionada positivamente ($P < 0,05$) com o pH e a relação C/N apresentou uma correlação negativa com o nitrogênio ($P < 0,01$), uma vez que este constitui o denominador da relação, afetando seus valores diretamente (Tabela 30).

Analisando-se de forma global, LPVC_NTNR foi a que apresentou correlações com menores graus de significância na maioria dos parâmetros relacionados ao tempo, o que indica que o a evolução temporal apresentou uma influência menor para o processo de compostagem nesta leira quando comparada com as demais. O nitrogênio, por interferir diretamente na proporção da relação C/N, apresentou correlação com tal parâmetro em todas as leiras. A temperatura apresentou correlação positiva com o pH em todas as leiras e só não apresentou correlação positiva com a relação C/N em LPVC_NTNR. Correlações pontuais - como o pH com N e relação C/N em LTR, matéria orgânica com a relação C/N em LNTR e temperatura com C e N em LC_NTNR - apresentam pouco significado, uma vez que pode ter ocorrido uma coincidência aleatória de dados.

Tabela 27- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LTR

		Tempo	pH	M.O.	C	N	C/N	Temp.
Dia	R	1,000						
	P	1,000						
pH	R	-0,881**	1,000					
	P	0,002	1,000					

Tabela 27 – Continuação

M.O.	R	-0,624	0,629	1,000			
	P	0,072	0,069	1,000			
C	R	-0,754**	0,512	0,402	1,000		
	P	0,019	0,159	0,284	1,000		
N	R	0,675**	-0,756**	-0,436	-0,069	1,000	
	P	0,046	0,018	0,241	0,861	1,000	
C/N	R	-0,859**	0,846**	0,443	0,389	-0,934**	1,000
	P	0,003	0,004	0,232	0,301	<0,001	1,000
Temp.	R	-0,889**	0,850**	0,561	0,594	-0,610	0,750*
	P	0,001	0,004	0,116	0,092	0,081	0,020

* Nível de significância P<5%

** Nível de significância P<1%

Tabela 28- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LNTR

		Tempo	pH	M.O	C	N	C/N	Temp.
Tempo	R	1,000						
	P	1,000						
pH	R	-0,848*	1,000					
	P	0,004	1,000					
M.O.	R	-0,695*	0,642	1,000				
	P	0,038	0,062	1,000				
C	R	-0,795**	0,659	0,477	1,000			
	P	0,010	0,054	0,194	1,000			
N	R	0,442	-0,421	-0,603	0,070	1,000		
	P	0,234	0,259	0,086	0,858	1,000		
C/N	R	-0,839**	0,728*	0,779*	0,520	-0,815**	1,000	
	P	0,005	0,026	0,013	0,151	0,008	1,000	
Temp.	R	-0,889**	0,819**	0,860**	0,574	-0,596	0,839**	1,000
	P	0,001	0,007	0,003	0,106	0,091	0,005	1,000

* Nível de significância P<5%

** Nível de significância P<1%

Tabela 29 - Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LC_NTNR

		Tempo	pH	M.O	C	N	C/N	Temp.
Tempo	R	1,000						
	P	1,000						
pH	R	-0,661*	1,000					
	P	0,027	1,000					
M.O.	R	-0,738**	0,317	1,000				
	P	0,010	0,343	1,000				
C	R	-0,761**	0,241	0,779**	1,000			
	P	0,007	0,475	0,005	1,000			
N	R	0,738**	-0,491	-0,262	-0,268	1,000		
	P	0,010	0,125	0,437	0,426	1,000		
C/N	R	-0,815**	0,507	0,445	0,423	-0,969**	1,000	
	P	0,002	0,111	0,171	0,195	<0,001	1,000	
Temp.	R	-0,965**	0,620*	0,734*	0,664*	-0,732*	0,782**	1,000
	P	<0,001	0,042	0,010	0,026	0,010	0,004	1,000

* Nível de significância P<5%

** Nível de significância P<1%

Tabela 30- Matriz de correlação das variáveis avaliadas em LPVC_NTNR

		Tempo	pH	M.O	C	N	C/N	Temp.
Tempo	R	1,000						
	P	1,000						
pH	R	-0,835**	1,000					
	P	0,001	1,000					
M.O.	R	-0,379	0,232	1,000				
	P	0,251	0,493	1,000				
C	R	-0,615*	0,380	0,536	1,000			
	P	0,044	0,249	0,089	1,000			
N	R	0,450	-0,275	-0,398	0,097	1,000		
	P	0,165	0,414	0,225	0,777	1,000		
C/N	R	-0,670*	0,409	0,599	0,345	-0,892**	1,000	
	P	0,024	0,212	0,052	0,299	<0,001	1,000	
Temp.	R	-0,889**	0,730**	0,199	0,368	-0,411	0,514	1,000
	P	<0,001	0,011	0,557	0,266	0,210	0,106	1,000

* Nível de significância P<5%

** Nível de significância P<1%

5.3 Etapa 3

5.3.1 Acompanhamento visual

A vermicompostagem foi realizada com os compostos produzidos em LTR e LNTR, que já apresentavam um certo grau de estabilização em virtude da compostagem, através da inoculação com 500 minhocas da espécie *E. foetida*.

As minhocas mostraram-se bem adaptadas ao substrato, não sendo notado comportamentos de fuga. No final do processo observou-se uma elevada quantia de casulos, indicando que as condições foram favoráveis a reprodução das minhocas, porém não se notou desenvolvimento significativo no tamanho das minhocas. A Tabela 31 apresenta uma síntese das condições dos iniciais e finais dos compostos.

Tabela 31- Características dos compostos antes e depois da adição das minhocas

Origem do composto	LTR				LNTR			
	INICIAL		FINAL		INICIAL		FINAL	
	1	2	1	2	3	4	3	4
Densidade Aparente (kg.m ⁻³)	360,33		420,00	390,00	383,50		400,00	437,7
Teor de Umidade (%)	54,76		70,94	71,69	56,43		72,68	70,40
Quantidade de composto (kg) – base úmida	24,50		20,30	19,60	24,50		21,65	22,20
Quantidade de composto (kg) – base seca	11,08		5,90	5,55	10,67		5,91	6,57
Quantidade de minhocas	500		572	600	500		441	502

A partir da análise da Tabela 31, pode-se afirmar que a densidade aparente apresentou um aumento, o que pode ser justificado pela elevação dos teores de umidade, de forma que o peso da água influenciou no parâmetro. A quantidade de composto diminuiu em virtude da

retirada de porções para amostragem e da degradação da matéria orgânica, sendo mais difícil estimar o rendimento no caso da vermicompostagem, pois foi utilizada uma massa menor de compostos e estes ainda foram retirados em diferentes momentos com diferentes teores de umidade. Quanto à quantidade de minhocas, nos compostos provenientes de LTR ocorreu um aumento médio de 17% e nos compostos provenientes de LNTR o número de minhocas permaneceu o mesmo ou reduziu, indicando dessa forma que a trituração foi favorável ao desenvolvimento da *E. foetida*.

O monitoramento ocorreu por 60 dias, sendo que no final, os resíduos estavam completamente desintegrados, não sendo mais possível identificar restos de frutas ou legumes, e a coloração apresentava um caráter bem escuro. Ao umedecer as amostras e esfrega-las na palma das mãos verificava-se que elas ficavam revestidas por um aspecto “amanteigado”, devido ao húmus coloidal, conforme descrito por Kiehl (2004).

Figura 65 - Compostos após 60 dias com a inoculação da *E. foetida*; Esquerda: composto seco; Direita: composto peneirado

5.3.2 Monitoramento dos parâmetros físico, químicos e biológicos

5.3.2.1 Temperatura

As temperaturas registradas em todas as caixas apresentaram comportamentos similares, com valores maiores que a temperatura ambiente no primeiro mês. Até o 39º dia, a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura interna foi em média 4°C para todas as caixas, sendo que a partir de então a diferença foi mínima (Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69)

Tanto nas caixas 1 e 2, preenchidas com o composto produzido em LTR (triturada e com revolvimento), como nas caixas 3 e 4, preenchidas com o composto produzido e LNTR (não triturada e revolvida), ocorreram picos de temperatura nos dias 5 e 6 e nos dias 14 a 17 de aproximadamente 10°C a mais que a temperatura ambiente, indicando que os resíduos ainda estavam sendo decompostos pela ação de organismos exotérmicos. A média da temperatura

interna ficou na faixa dos 28°C em todas as caixas enquanto a média da temperatura ambiente foi 25°C.

Os resultados foram diferentes do de Silva (2008), que também realizou vermicompostagem como forma de pós-tratamento da compostagem e encontrou valores no interior das caixas menores que a temperatura ambiente na maior parte do tempo de monitoramento. Outros autores como Gonçalves (2014), que realizou vermicompostagem como forma de pós tratamento da compostagem de esterco de equinos, e Farias (2001), que realizou a vermicompostagem como forma de pós tratamento de diversos substratos previamente compostados, obtiveram valores de temperatura superiores à ambiente, mas menores em relação ao presente estudo. Para o caso do último, foi observado que os substratos compostos de 40 % poda e 60 % de FORSU apresentavam as maiores temperaturas (faixa dos 29°C), indicando assim que a composição do substrato influencia na variação da temperatura. Todos os autores supracitados utilizaram a minhoca *E. foetida*.

Mesmo com a temperatura no primeiro mês um pouco mais elevada, aparentemente não ocorreram problemas de mortalidade das minhocas relacionados a tal fato. Farias (2001) também observou a sobrevivência das minhocas em temperaturas mais elevadas, sendo explicado pelo autor que as minhocas possuem uma grande capacidade de adaptação e, segundo Edwards e Loft (1979) e Reynolds (1977) *apud* Farias, (2001), as minhocas, além de conseguirem regular a temperatura de seus corpos por meio da respiração cutânea, se deslocam constantemente para regiões dos substratos onde possam encontrar condições mais adequadas para sobreviverem.

Figura 66- Variação da temperatura na caixa 1. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)

Figura 67- Variação da temperatura na caixa 2. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)

Figura 68- Variação da temperatura na caixa 3. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)

Figura 69- Variação da temperatura na caixa 4. Legenda: Temperatura caixa (—●—); Temperatura ambiente (—■—)

5.3.2.2 pH

Os valores de pH permaneceram entre 7,8-8,8, com uma faixa de variação de 7,8-8,6, 7,8-8,5, 7,8-8,7 e 8,1-8,7 para as caixas 1, 2, 3 e 4, valores estes próximos aos encontrados por Pirsahab, Khosravi e Sahrafi (2013) e Silva (2008). Exceto no 50º dia na caixa 2, os valores do vermicomposto oriundo das leiras trituradas foi maior ou igual ao das leiras não trituradas em todas as medições realizadas.

Ocorreram oscilações de pouca amplitude no decorrer do tempo de observação e os valores finais apresentaram uma diferença irrisória em relação aos valores iniciais. O requisito da IN 25/09 de que o pH seja maior que 6,0 foi atendido.

Figura 70 - Variação temporal do pH nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)

5.3.2.3 Umidade

Os teores de umidade apresentaram comportamento similar em todas as caixas, com picos e decréscimos nos mesmos instantes. O valor médio de umidade (descontando-se o instante $t=0$, uma vez que este representa os teores de umidade antes da rega feita no dia do preenchimento das caixas) foi 70%, oscilando entre 56-87% (Figura 71).

As regas foram feitas no intuito de manter a umidade na faixa adequada de 70-75% (BIDONE; POVINELLI, 2010). Durante o processo foi possível constatar que, mesmo

permanecendo alguns dias sem rega (Tabela 32), a umidade era mantida no interior do composto, o que podia ser constatado a partir do contato manual com o composto e pelos elevados índices de umidades encontrados, indicando que o vermicomposto possuía uma boa capacidade de retenção de água.

Observa-se entretanto que as primeiras adições de água coincidiram com os picos iniciais de temperatura (Item 5.3.2.1, Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69), o que pode ser um indício de que, embora os teores de umidade estivessem dentro da faixa recomendada, os micro-organismos necessitavam da renovação da água para a manutenção de suas atividades metabólicas.

Tabela 32- Quantidade de água (L) adicionada em cada caixa

Dia	1	5	11	17	21	38	50	Soma
Cx1	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	15
Cx2	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	15
Cx3	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	15
Cx4	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	15

Figura 71- Variação temporal da umidade nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)

A umidade, segundo a IN 25/09 deve conter um teor máximo de 50% para os vermicompostos, dessa forma, caso este fosse comercializado, seria necessário a passagem por leitos de secagem para adequação à recomendação legal.

5.3.2.4 Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica das caixas 1, 2 e 4, embora com oscilações, apresentaram uma tendência de decréscimo ao longo do tempo, atingindo os valores finais de 75,63, 77,92 e 78,41%, respectivamente. Já a caixa 3, apresentou um decréscimo até o 10º dia e a partir de então apresentou oscilações entre 73-79%, atingindo o valor final de 78,57% (Figura 72).

Figura 72- Variação temporal da matéria orgânica nas caixas 1 (■), 2 (■), 3 (■) e 4 (■)

Diversos autores encontraram menores teores de matéria orgânica (PIRSAHEB; KHOSRAVI; SAHRAFI, 2013; SOOBHANY, MOHEE; GARG, 2015; SILVA, 2008, FARIAS, 2001), entretanto Dominguez e Gómez-Brandón (2014), obtiveram porcentagem similares na vermicompostagem de esterco bovino e lodo de esgoto. Atenta-se porém que a mistura de substratos utilizados (serragem, grama e resíduos orgânicos) apresentava um teor de matéria orgânica muito alto (95,21 % - Tabela 15), justificando assim os elevados teores encontrados nos vermicompostos.

O decréscimo da matéria orgânica pode indicar que o processo de degradação e mineralização ainda estava ocorrendo, o que pode ser constatado por outros indícios como a elevação da temperatura.

5.3.2.5 Carbono, nitrogênio e relação C/N

Todas as caixas apresentaram comportamentos similares, sendo que os teores de C apresentaram uma diminuição de 12,98, 5,01, 3,00 e 7,5% e os teores de N apresentaram um aumento de 7, 20, 30 e 24%, para as caixas 1, 2, 3 e 4. Isso resultou em uma redução da relação C/N após o processo de vermicompostagem de 19 e 21% para as caixas 1 e 2 e 25% para as caixas 3 e 4.

Os valores finais de C ficaram entre 33-37% e os valores finais de N entre 2,65-3,00%, resultando em uma relação C/N em torno de 12 (Tabela 33), atendendo assim recomendação da IN 25/09 que prevê um valor máximo de 14 na relação C/N e um teor mínimo de 0,5 e 10% para N e C. Os resultados foram próximos aos de Silva (2008) que utilizou resíduos similares e próximos aos de Dominguez e Gómez-Brandón (2014) que utilizaram esterco de vaca. Nos estudos de Pirsaneh, Khosravi e Sahrafi (2013) onde não foi feita a compostagem como pré tratamento, os valores da relação C/N ficaram em torno de 20, indicando assim a importância dessa primeira etapa a fim de se atingir um melhor grau de estabilização dos compostos.

Tabela 33- Variação dos teores de C, N e relação C/N nas caixas 1, 2, 3 e 4

		Caixa			
		1	2	3	4
Parâmetro					
0 dia	C (%)	38,13		38,2	
	N(%)	2,48		2,24	
	C/N	15,38		16,95	
30 dias	C (%)	35,74	37,40	36,25	31,99
	N(%)	2,82	2,85	2,68	2,45
	C/N	12,67	13,12	13,55	13,06
60 dias	C (%)	33,18	36,19	37,04	35,32
	N(%)	2,66	2,98	2,91	2,77
	C/N	12,47	12,16	12,74	12,73

5.3.2.6 CTC

A CTC apresentou um aumento de 21, 19, 13 e 6% nas caixas 1, 2, 3 e 4 após 60 dias de vermicompostagem. Nas caixas 3 e 4, na medição feita no 30º dia, houve uma redução em relação a valor inicial, o que provavelmente ocorreu em virtude de erros laboratoriais, pois este resultado não apresenta sentido teórico uma vez que a CTC aumenta conforme ocorre a humificação da matéria orgânica. O mesmo pode ser observado comparando-se os valores do dia 60 com o dia 30 das caixas 1 e 2, onde houve decréscimo da CTC.

Tabela 34 - Variação da CTC e da relação CTC/C nas caixas 1, 2, 3 e 4

Caixa Dia	Parâmetro	1	2	3	4
0		789,55		908,28	
30	CTC	976,60	1041,45	897,50	774,81
60		956,90	939,87	1024,01	966,81
0		20,71		23,78	
30	CTC/C	27,32	27,85	24,76	24,22
60		28,84	23,98	27,65	27,37

Os valores finais ficaram entre 930 e 1.030 mmol.kg⁻¹, sendo considerados elevados quando comparados a Silva (2008), que realizou a vermicompostagem com resíduos domiciliares pré-compostados por 90 dias, e a Dores-Silva, Landgraf e Rezende (2013), que utilizaram diferentes substratos compostos por misturas de palha de arroz, esterco bovino, bagaço de cana e resíduos vegetais de hidroponia, e menores quando comparados com trabalhos que utilizam somente esterco bovino, como o de Lamim et al (1997).

Para se ter uma ideia de grandeza, Pignataro Netto, Kato e Goedert (2009) ao avaliar os atributos do latossolo vermelho-amarelo distrófico, típico na região de São Carlos (Primavesi et al, 2008), sob diferentes tipos de uso encontraram valores de 60 a 110 mmol.kg⁻¹.

Os elevados teores de CTC encontrados indicam um grande potencial de aplicação agrônomo, uma vez que os nutrientes ficam retidos com mais facilidades no solo, não sendo lixiviados e tornando-se disponível para as plantas (Item 3.6.7). Santos et al (2001) ao testarem o efeito da adubação orgânica em alfaces observaram que o aumento da dose adubo orgânico aumenta a CTC do solo e proporciona a melhoria no desenvolvimento da planta.

Com relação ao parâmetro CTC/C, os valores aumentaram 39, 16, 16 e 15% depois de vermicompostados nas caixas 1, 2, 3 e 4. Entretanto, conforme já mencionada, na caixa 2 provavelmente ocorreram erros de medição a CTC, de forma que a relação seria maior e mais próxima as demais medições encontradas. Os resultados dos valores encontrados na relação foram maiores que os de Silva (2008) e Dores-Silva, Landgraf e Rezende (2013). A IN 25/09 determina a declaração da relação na rotulagem do composto.

5.3.2.7 Capacidade de retenção de água e condutividade elétrica

Os valores encontrados para a CE e CRA nos vermicompostos encontram-se na Tabela 35.

Tabela 35- Valores de CRA e CE encontrados após 60 dias de vermicompostagem

Caixa	1	2	3	4
Parâmetro				
CRA (%)	437,74	411,00	410,93	383,74
CE (dS.m ⁻¹)	2,93	2,72	2,95	2,66

A CRA apresentou aumento em relação as condições iniciais de 10,68, 3,92, 16,71 e 8,99 %. Entretanto, esse aumento não pode ser atribuído exclusivamente a presença das minhocas uma vez que as leiras que continuaram compostando e não foram submetidas a vermicompostagem (LPVC_NTNR e LC_NTNR) apresentaram valores superiores (Tabela 18). Segundo Kiehl (2012) a CRA está ligada quantidade de húmus que a amostra contém, sendo que húmus puro pode chegar a um valor de 800%.

Na condutividade elétrica houve um acréscimo de 159,3, 140,7, 126,9 e 104,6%. Encontrou-se diferentes comportamentos da evolução da temporal da CE conforme a bibliografia consultada. Gonçalves (2014) constatou que os valores reduziram após a vermicompostagem, decaindo nas primeiras medições e apresentando uma tendência de aumento nas últimas. A justificativa da autora para esta elevação final foi o aumento na liberação dos sais solúveis que ocorreram provavelmente devido a mineralização da matéria orgânica pelas minhocas e pelos micro-organismos presentes em seus intestinos que se intensificaram com o aumento da população de minhocas ocorrida ao longo do processo (GONÇALVES, 2014). Outros autores como Soobhany, Mohee e Garg (2015) encontraram valores similares para compostos que passaram pelo tratamento de compostagem ou vermicompostagem e Pirsahab, Khosravi e Sahrafi (2013) constaram aumento da CE após a vermicompostagem, evidenciando assim a variabilidade do parâmetro conforme os procedimentos empregados.

No caso estudado não houve o acompanhamento da CE, mas foi possível constatar que a matéria orgânica decaiu em média 4,5%, sendo as conclusões mencionadas por Gonçalves (2014) uma possibilidade para o presente caso.

Tomé Jr (1997) relata que na faixa de 2,0-4,0 dS.m⁻¹ a produtividade de culturas muito sensíveis, como o caso de hortaliças como o pimentão, alface e rabanete, pode ser reduzida. Sendo assim, recomenda-se a aplicação para culturas menos sensíveis.

5.3.2.8 Metais

Os valores dos contaminantes foram próximos em todas as caixas e as variações ocorreram independente dos resíduos serem provenientes de LTR ou LNTR, o que pode ser

constatado, por exemplo, pelos teores de Pb, que nas caixas 1 e 2 foram de 56 e 28 mg.kg⁻¹ e nas caixas 3 e 4 foram de 24 e 52 mg.kg⁻¹ ou pelo Cr, que apresentou valores de 100 e 39,2 mg.kg⁻¹ nas caixas 1 e 2 e 8 e 72,4 mg.kg⁻¹ nas caixas 3 e 4. Sendo assim, a variação ocorreu em virtude da amostra e não do pré-tratamento.

Todos os valores encontrados foram inferiores aos limites máximos estabelecidos pela IN 27/06, sendo que o As, Cd e Hg permaneceram abaixo do limite de detecção de 0,04 mg.kg⁻¹ e as médias de Pb, Cr e Ni foram 40, 54,9 e 35,2 mg.kg⁻¹ (Tabela 36). Dessa forma, o vermicomposto produzido não apresenta riscos em relação a presença de tais elementos e pode ser utilizado sem qualquer restrição de aplicação.

Tabela 36- Concentração de metais pesados (mg.kg⁻¹) antes e após a vermicompostagem

Contaminantes	COMPOSTAGEM		VERMICOMPOSTAGEM				IN 27/06
	LTR	LNTR	LTR		LNTR		
			1	2	3	4	
As	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	20
Cd	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	3
Pb	88,0	131,6	56,0	28,0	24,0	52,0	150
Cr	2,8	11,0	100,0	39,2	8,0	72,4	200
Hg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1
Ni	42,2	48,0	33,6	33,2	34,4	39,6	80

Com relação a mudança nos teores de metais provocados pela vermicompostagem, o Pb e Ni apresentaram uma redução média 61,7 e 21,9% e o Cr aumentou em média 14,25 vezes, porém este valor é pouco significativo devido as oscilações de medições encontradas (8-100 mg.kg⁻¹). Os valores de As, Cd e Hg permaneceram na mesma faixa.

Comparando-se com outros autores, Shahmansouri et al (2005) observaram reduções nos teores de Pb, Cr e Cd com a utilização de *E. foetida* na vermicompostagem de lodo de esgoto, Soobhany, Mohee e Garg, (2015) constatam uma redução de Cd, Ni e Cr com a utilização de *E. eugeniae* para diferentes resíduos orgânicos e Silva (2008), utilizando *E. foetida* como pós tratamento de resíduos orgânicos domiciliares, encontrou reduções nos teores de Pb, Cr e Ni. Dessa forma, as reduções de Pb e Ni apresentam-se em concordância com os resultados dos autores supracitados enquanto que o Cr, exceto para o caso da caixa 3, apresenta um comportamento contrário.

5.3.2.9 Macro e micronutrientes

A Tabela 37 apresenta os resultados das análises de macro e micronutrientes para os vermicompostos das caixas 1, 2, 3 e 4. Os teores de Zn, Fe, Mn, Co, Mg, N, P e K aumentaram em média 53,6, 45,8, 23,3, 92,79, 116,86, 10,20, 13,64 e 7,9%, enquanto que os teores de Cu e Ca apresentaram reduções médias de 30,8 e 9,2 %. O Mo permaneceu abaixo do limite de detecção.

Tabela 37- Concentração de nutrientes (mg.kg⁻¹) antes e após a vermicompostagem

		COMPOSTAGEM		VERMICOMPOSTAGEM			
		LTR	LNTR	LTR	LNTR	1	2
						3	4
Micronutrientes	Zn	155,6	151,6	220,0	246,0	216,4	261,2
	Fe	2.228,0	2.750,0	3.712,0	3.204,0	3.176,0	4.324,0
	Mn	109,4	145,2	132,4	126,4	172,8	200,0
	Cu	29,2	28,6	20,4	20,4	17,2	22,0
	Co	6,4	9,4	15,2	14,0	14,0	15,6
	Mo	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Macronutriente	Mg	3.036,0	3.068,0	6.284,0	7.064,0	6.708,0	6.420,0
	Ca	180.000,0	179.400,0	155.600,0	162.400,0	163.600,0	171.200,0
	N	24.800,0	22.400,0	26.600,0	29.800,0	20.100,0	27.700,0
	P	17.871,4	20.224,2	18802,7	22883,5	20567,4	24194,8
	K	32.200,0	31.200	34.400,0	31.200,0	34.000,0	37.200,0

Comparando-se com outros autores que realizaram a vermicompostagem como pós tratamento de resíduos similares, Silva (2008) encontrou diminuição de N, P, K, Mg e Fe, aumento nos teores de Mn e oscilações (aumento ou diminuição) nos resultados de Ca, Cu e Zn, e Soobhany, Mohee e Garg (2015) encontraram reduções de Cu e Co, aumentos de N, Zn e Fe e valores similares antes ou depois do tratamento para Mn. Com relação a outros substratos, Shahmansouri et al (2005) mencionam a bioacumulação de Zn e de Cu com a utilização de *E.foetida* na vermicompostagem de lodo de esgoto, Dominguez e Gómez-Brandón (2013) encontraram aumento de K, Ca, Fe, P, Mn e Zn para substratos de esterco bovino e aumento de K, Ca, Mg, Fe, P e Mn para substratos de lodo de esgoto utilizando *E.andrei* e Gonçalves (2014) observou um aumento nos teores de N ao realizar vermicompostagem com *E. foetida* como forma de pós tratamento da compostagem de esterco de equinos. Dessa forma, dentro da variabilidade de resultados, o presente estudo se aproximou mais de dos resultados de Soobhany, Mohee e Garg (2015) e Dominguez e Gómez-Brandón (2013) em relação aos teores de macro e micronutrientes.

Os fertilizantes organominerais, que são constituídos por fertilizantes minerais e fertilizantes oriundos de fontes orgânicas, possuem uma especificação de somatório de NPK

(isoladamente N, P e K ou em misturas NP, NK, PK ou NPK) de 10% (BRASIL, 2009). Nos vermicompostos analisados a somatória de NPK ficou em média 8,2%, sendo dessa forma possível que se supra em até 82% o valor de tal categoria de fertilizante e possibilitando, conseqüentemente, que a adição de nutrientes exclusivamente minerais seja consideravelmente reduzida. Ressalta-se ainda que, para o caso dos fertilizantes organominerais, a exigência mínima para os macronutrientes secundários de 5% é superada em todos os compostos e vermicompostos mas os micronutrientes não atingem o teor mínimo de 4% em nenhum dos casos, o que pode ser complementado com a adição de macronutrientes secundários dentro dos limites estabelecidos pela IN 25/09 (BRASIL, 2009). Entretanto, para o caso de fertilizantes orgânicos, exceto para o carbono e nitrogênio, não há limites de nutrientes especificados na IN 25/09 e a IN 27/06 apresenta restrições somente para os metais, sendo os demais ganhos nutricionais um fator adicional para valorização do composto.

Os fertilizantes orgânicos podem ser uma opção alternativa para o uso de fertilizantes minerais, uma vez que estes possuem diversos problemas ambientais relatados (TEIXEIRA et al, 2011; NAVA et al, 2011; ALSHAHRI; ALQAHTANI, 2015). Teixeira et al (2011) debatem sobre a necessidade de se avaliar os nutrientes disponíveis no solo local antes da aplicação de fertilizantes, uma vez que os autores não encontraram respostas na produtividade e qualidade de videiras com a aplicação de NPK, sendo, neste caso, a adição de fertilizantes minerais um gasto desnecessário. Os autores relataram também que a adubação mineral nitrogenada ocasionou acidez no solo.

A contaminação por Cd, Pb e Cr nas plantas e no solo decorrente da aplicação de fertilizantes minerais foi relatada por Nava et al (2011), sendo que o aumento nos teores desses contaminantes influenciou negativamente a absorção e acúmulo de nutrientes de Zn e Ca. Além disso, estudos como os de Alshahri e Alqahtani (2015) atentam para a contaminação radioativa por ^{238}U , ^{40}K , ^{226}Ra e ^{222}Rn em fertilizantes químicos, além concentrações elevadas de Cr. Dessa forma, os fertilizantes orgânicos, embora não possuam nutrientes tão concentrados como os fertilizantes minerais, apresentam-se como uma fonte menos agressiva ao meio ambiente e possuem benefícios relacionados à incorporação de matéria orgânica e aumento da CTC, reduzindo assim a lixiviação de nutrientes.

5.3.2.10 Granulometria

Todos os vermicompostos apresentaram uma diminuição da granulometria em virtude da degradação da matéria orgânica e da presença das minhocas, constatação essa que também pode ser notada claramente no acompanhamento visual do processo. (Figura 73 e Tabela 38).

Figura 73- Curva granulométrica dos compostos após 60 dias de vermicompostagem.

Legenda: Caixa 1 (—■—); Caixa 2 (—■—); Caixa 3 (—●—); Caixa 4 (—★—)

Tabela 38- Valores encontrados nos ensaios granulométricos feitos com os vermicompostos produzidos

Peneira	Granulometria (mm)	% que passa acumulada			
		1	2	3	4
4	4,760	83,07	84,99	78,87	67,48
5	4,000	78,95	79,86	73,04	62,15
6	3,360	76,97	78,08	70,48	59,18
7	2,830	74,19	76,37	68,65	57,82
10	2,000	65,42	63,68	57,01	47,78
18	1,000	41,67	40,50	38,50	29,99
20	0,841	36,93	35,71	33,00	25,21
35	0,500	16,72	19,82	17,70	13,04
50	0,297	7,28	9,24	7,10	8,60

Os vermicompostos oriundos de LTR (caixa 1 e 2) apresentaram comportamento muito similar e de menor valor granulométrico em virtude da trituração inicial dos resíduos. Mesmo com a diminuição granulométrica, os fertilizantes orgânicos encontrados ainda estão situados fora de especificação, de forma que, caso se quisesse vendê-los como farelado grosso, por exemplo, seria necessário um pré-peneiramento para adequação a tal classificação. O produto, caso fosse vendido na forma como está, deve apresentar na rotulagem “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA”.

5.3.2.11 Análises Microbiológicas

No que diz respeito as análises de *Salmonella sp*, assim como na etapa da compostagem, os resultados encontrados foram “ausente” em todas as amostras.

Quanto aos coliformes, os resultados apresentam-se na Tabela 39.

Tabela 39 - Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP.g⁻¹ de M.S*) encontrada nos vermicompostos produzidos nas caixas 1, 2, 3 e 4

1	2	3	4	IN 27/06
N.D.	5.33. 10 ⁵	N.D.	22,22	1.000

Os valores antes do processo de vermicompostagem eram “não detectados” para as caixas 1 e 2 e 300,00 para as caixas 3 e 4. Dessa forma, ocorreu uma contaminação na caixa 2 e uma redução nas caixas 3 e 4. A caixa 1 permaneceu com a quantidade não detectável de coliformes termotolerantes.

Na caixa 2, a única possibilidade encontrada foi de contaminação por passarinhos que ficavam no entorno das caixas e eventualmente sobrevoavam a procura das minhocas. Dessa forma, deve-se atentar para utilização objetos bloqueiem a entrada de animais, como a cobertura com telas de sombrite ou similar.

Sendo assim, os fertilizantes das caixas 1, 3 e 4 atenderam o limite da IN 27/06 e o fertilizante da caixa 2, caso fosse utilizado, deveria ser aplicado para outros fins como jardinagem e paisagismo, não podendo ser comercializado.

Autores como Farias (2001) relatam uma tendência ao desaparecimento dos coliformes termotolerantes após a vermicompostagem, sendo a competição de alimento entre esses e as minhocas uma das causas apontadas para a redução.

Monroy, Aira e Domínguez (2009), ao avaliar a influência da vermicompostagem no número de coliformes totais presentes em dejetos suínos constaram que a eficiência na redução ocorre de acordo com a dose de substrato aplicados. Além disso, os autores concluíram também que a passagem dos pelos tratos intestinais reduziu em 98% a quantia inicial de coliformes totais (MONROY; AIRA; DOMÍNGUEZ, 2009), não sendo avaliado entretanto os teores de coliformes termotolerantes.

6. CONCLUSÕES

As conclusões foram feitas de acordo com as etapas descritas.

Etapa 1: Apresentação do projeto, aplicação de questionário e avaliação do desempenho dos estabelecimentos no decorrer do projeto

- Apesar da compostagem ser prevista pela PNRS como uma forma de tratamento para os resíduos orgânicos, a maior porcentagem desses resíduos, embora segregada, é coletada e encaminhada diretamente para o aterro;
- O fato de 45% dos estabelecimentos entrevistados alegarem desconhecer a prática de compostagem indica uma falta medidas educativas e comunicativas que esclareçam e divulguem sua importância;
- Os estabelecimentos não mostraram dificuldades consideráveis na separação dos resíduos durante o projeto, o que pode ser constatado também pela alegação de 55% de que não há nenhum empecilho para separar os resíduos orgânicos e pelo interesse de 100% dos entrevistados em participar de um programa municipal de compostagem, caso houvesse;
- A maior resistência encontrada nos estabelecimentos onde se entrou em contato foi o convencimento em relação a adesão ao projeto. Porém, após a aceitação ao convite, os locais que participaram do projeto apresentaram um desempenho muito satisfatório, separando os resíduos conforme as instruções dadas e mostrando-se sempre solícitos e bem dispostos;

Etapa 2: Compostagem

- O revolvimento foi essencial para a aceleração do processo de compostagem, facilitando a correção da umidade e proporcionando maiores temperaturas e maior duração dos períodos termofílicos;
- O revolvimento influenciou no pH, nitrogênio, relação C/N, CRA, metais, macro e micro nutrientes e granulometria, de forma que, embora somente nos três primeiros esta diferença possa ser considerada significativa estatisticamente ($P > 0,05$), houve uma tendência de valores para as leiras não revolvidas outra para as leiras revolvidas;
- A condutividade elétrica e o carbono apresentaram diferentes valores, de forma que não foi possível correlacioná-los aos tratamentos; já a matéria orgânica apresentou medições oscilativas com tendências de diminuição, sendo que, caso outros parâmetros de monitoramento não sejam considerados em consonância, seus valores isolados possuem pouco significado;

- A CTC, embora tenha apresentado no início do processo uma tendência de comportamento para as leiras revolvidas e outra para as leiras não revolvidas, apresentou medições finais variadas;
- Com exceção da granulometria, os demais parâmetros foram semelhantes nas leiras triturada e não triturada (LTR e LNTR). Dessa forma, considerando-se o trabalho despendido na trituração e a pouca diferença de resíduos adicionados a mais (84 kg, sendo 75 de resíduos orgânicos e os demais poda e serragem), não há vantagem em adotá-la para o caso de um preenchimento intermitente, pois o próprio recalque no intervalo de preenchimento compensa a otimização de espaço proporcionada pela trituração ;
- Em relação à adição dos tubos de PVC, não houve aceleração no processo de compostagem com a utilização dos mesmos, sendo que inclusive a leira contemplada pelo dispositivo foi a que apresentou menores valores de temperatura, principalmente na base, onde a faixa de eliminação de patógenos não foi atingida;
- De uma forma geral, os parâmetros de LPVC_NTNR e LC_NTNR foram similares, assim como os parâmetros de LTR e LNTR, indicando que, o que diferiu os tratamentos entre si foi a presença/ausência de revolvimento, independente da trituração e dos tubos de PVC.
- Com exceção dos parâmetros de coliformes termotolerantes para LPVC_NTNR, todos os compostos produzidos atenderam as exigências legais estabelecidas pelas Instruções Normativas n° 27 de 2006 e n° 25 de 2009.

Etapa 3: Vermicompostagem

- Após etapa de compostagem, o composto ainda era passível à decomposição, o que pode ser constatado pelos registros de temperaturas superiores a ambiente, pelo decréscimo da matéria orgânica e do carbono orgânico, além da redução da relação C/N;
- Em relação à CTC e aos macro e micronutrientes, parâmetros estes muito importantes em termos de fertilidade de solos, houve um incremento considerável nos valores, indicando potencial de conciliação da compostagem/vermicompostagem dos resíduos orgânicos com práticas agrícolas;
- A redução da granulometria e dos teores da maioria dos metais bem como a manutenção do pH alcalino também ressalta a valoração do composto proporcionado pelo pós-tratamento com a técnica de vermicompostagem;

- A recontaminação de uma das caixas pelos coliformes termotolerantes indica a necessidade de se atentar ao local de realização da vermicompostagem e da cobertura, de forma a se impedir a entrada de animais;
- Somente o processo de compostagem foi suficiente para atingir às especificações das Instruções Normativas nº 27 de 2006 e nº 25 de 2009, sendo o incremento proporcionado pela vermicompostagem relacionado às propriedades agronômicas de fertilidade de solo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A separação na fonte é uma das premissas para que quaisquer programas de compostagem sejam adotados no âmbito municipal. Apesar do terceiro setor apresentar um considerável crescimento de atuação e contribuição na difusão da prática, somente com a consciência e o apoio do poder público a compostagem e as demais técnicas de tratamento dos resíduos orgânicos apresentam real possibilidade de expansão.

As leiras de alambrado apresentadas neste trabalho, apesar da limitação entre 500-600 kg, possuem potencial de aplicação em estabelecimentos que produzam elevadas quantidades de orgânicos e que se interessem por realizar a compostagem *in loco*. Diferentemente de leiras estruturadas em pilhas em formato de cone/trapézio, onde há um maior espalhamento do composto, as leiras de alambrado permitem a concentração dos resíduos em um espaço mais delimitado e o sistema de suporte proposto possibilita que sejam aplicadas em áreas de concreto. Dessa forma, além de serem uma alternativa para estabelecimentos como restaurantes, quitandas, creches e escolas, podem ser uma opção viável para regiões urbanas onde a ausência de áreas verdes limita a adoção da compostagem, como o caso de condomínios e habitações populares.

Quanto à produção de fertilizantes orgânicos através da compostagem, é possível notar pela análise de trabalhos acadêmicos que, muitas vezes, a discussão do tratamento dos resíduos orgânicos é focada na redução do volume e da quantidade enviada aos aterros, sendo a valoração e a qualidade do composto desvinculados e colocados em segundo plano. Esta abordagem carece de uma visão holística relacionada a questão ambiental, uma vez que o Brasil é um país com enorme potencial agrícola e o maior importador de fertilizantes. A articulação entre as exigências legais estabelecidas pela PNRS, a problemática do esgotamento dos aterros e o potencial de aplicação dos fertilizantes orgânicos, permite que a discussão a respeito dos resíduos orgânicos seja conduzida de uma forma menos pontual, considerando assim a integração entre as partes.

8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como forma de complementar e aprimorar os resultados desta pesquisa, sugere-se:

- Analisar o gradiente de temperatura em leiras compostas por tubos de PVC de forma mais detalhada através da alocação de sensores em diversos pontos, verificando também se a degradação da matéria orgânica foi mais efetiva em locais mais próximos/distantes da localização dos tubos;
- Estudar e propor diferentes técnicas para detecção e contagem de coliformes termotolerantes em amostras sólidas oriundas do tratamento de compostagem, averiguando melhor os procedimentos metodológicos, como a diluição adequada e o número de réplicas representativas;
- Investigar a viabilidade econômica da aplicação da compostagem de forma a se considerar a diminuição de custo com os resíduos orgânicos que deixam de ser enviados ao aterro e o valor mercadológico do composto produzido.

REFERÊNCIAS

ABREU, M.J.D.E. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos**: o caso do projeto revolução dos baldinhos (PRB), capital social e agricultura urbana. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ABREU JR., C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, v.58, n.4, p.813-824, out./dez. 2001.

ALSHAHRI, F.; ALQAHTANI, M. Chemical fertilizers as a source of ²³⁸U, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²²Rn, and trace metal pollutant of the environment in Saudi Arabia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 11, p. 8339–8348, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11356-014-3984-3>>. Acesso em: 3 ago. 2015 .

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22thed. Washington: American Water Works Association; Water Environmental Federation, 2012.

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento**: processo, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.

AQUINO, A.M. Aspectos práticos da vermicompostagem. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.423-434.

AQUINO, A.M.; ALMEIDA, D.L.; SILVA, V.F. Utilização de minhocas na estabilização de resíduos. **Comunicado Técnico**, n.8, p.1-6, jun./dez. 1992. Disponível em:<<http://mungo.cnpab.embrapa.br/system/files/downloads/cot008.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil de 2013**. São Paulo, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Resíduos sólidos: amostragem. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Disponível em:<<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

AWASTHI, M.K. et al. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. **Bioresource Technology**, v.168, p.214–221, 2014.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARREIRA, L.P.; PHILIPPI JR, A.; RODRIGUES, M.S. Usinas de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processo de produção. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.11, n.4, p.386-393, out./dez. 2006.

BARROS, F.J.R. **Sistema alternativo de coleta de resíduos sólidos urbanos em município de médio porte, visando incrementar a reciclagem de inertes e facilitar a compostagem da fração orgânica: caso de Ibiporã -PR.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

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

BRASIL. Decreto 86.955, 18 de fevereiro de 1982. Regulamenta a lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e pelo decreto-lei nº 1899, de 1981, que institui taxas relativas às atividades do Ministério da Agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 fev. 1982.

_____. Decreto 4.954, 14 de janeiro de 2004. Altera o anexo ao decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o regulamento da lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. (Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 2004.

_____. Decreto 7.404/10, 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a política nacional de resíduos sólidos, cria o comitê interministerial da política nacional de resíduos sólidos e o comitê orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 dez. 2010, seção 1, p.1, edição extra b.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 fev. 1998.

_____. Lei nº 9.295, 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a política nacional de educação ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 abr. 1999.

_____. Lei nº 12.305, 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010, seção 1, p.3a.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Aprova as disposições sobre a classificação e os registros de estabelecimentos e produtos, as exigências e critérios para embalagem, rotulagem, propaganda e para prestação de serviço. Instrução normativa nº 10, 6 de maio de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 maio 2004a, seção 1, p.12.

_____. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme anexos a esta instrução normativa. **Instrução normativa nº 10**, 28 de outubro de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2004b.

_____. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dispõe sobre os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos anexos I, II, III, IV e V desta instrução normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 2007, seção 1, p.11.

_____. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, na forma dos anexos à presente instrução normativa. Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 jul. 2009, seção 1.

_____. Estabelecer o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal, bem como as listas de substâncias permitidas para uso nos sistemas orgânicos de produção animal e vegetal, na forma desta instrução normativa e dos seus anexos I a VII. Instrução normativa nº 46, de 6 de outubro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 fev. 2011, seção 1.

_____. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2013 b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília, 2012.

_____. **Portal Brasil**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/tire-suas-duvidas-sobre-a-politica-de-residuos-solidos>> . Acesso em: 14 dez. 2013 a.

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

CÁCERES, R.; FLOTATS, X.; MARFÀ, O. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. **Waste Management**, v.26, n.10, p.1081-1091, 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X05001911>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

CÂMARA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Consulta pública**: apresentação dos resultados. Nova forma de gestão de Resíduos orgânicos (lixo doméstico). São Carlos, 2013.

CARDOSO, E.J.B.N. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

CASTRO, M.C.A.A. **Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

CHAVES, L.H.G. et al. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, mar./jun. 2004.

COLTRO, D.Z. **Co-compostagem de resíduos sólidos orgânicos com lodo de fossa séptica**. 2009. Monografia (TCC) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Coliformes termotolerantes**: determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 – método de ensaio. São Paulo: CETESB, 2007.

_____. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2013**. São Paulo: CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, 2013.

CORDEIRO, A.F. et al. (Ed.). **Agricultura urbana**: hortas e tratamentos de resíduos orgânicos. Florianópolis: CEPAGRO, 2013. (Coleção Saber na Prática, 3).

COSTA, M.B.B. (Coord.). **Nova síntese e novo caminho para a agricultura “adubação orgânica”**. São Paulo: Ícone, 1989.

DENARDIN, G.P.; WOLFF, D.B.; VASCONCELOS, N.J.S. Composto orgânico gerado na central de tratamento de resíduos. **Disciplinarum Scientia**: série ciências naturais e tecnológicas, v.11, n.1, p.1-16, 2010.

DOMÍNGUEZ, J.; GÓMEZ-BRANDÓN, M. The Influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. **Waste Management & Research**: the journal of the international solid wastes and public cleansing association, v.31, n.8, p.859-868, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23831778>>. Acesso em: 15 Feb. 2014.

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, D.M.; REZENDE, M.O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v.36, n.5, p.640–645, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Anexo 3**: relações C:N de diferentes resíduos. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/CafeOrganico_2ed/anexo03.htm>. Acesso em: 5 jun. 2014.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e várzea do Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.

FARIAS, C.A. **Resíduos orgânicos alternativos nos processos de compostagem e vermicompostagem**. 2011. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

FARIAS, C.A.; VIEIRA, E.M.; FOGO, J.C. Efeitos da associação de alguns substratos alternativos no conteúdo de NPK após a compostagem e vermicompostagem. **Revista AIDS**

de Ingeniería y Ciencias ambientales: investigación, desarrollo y práctica, v.4, n.1, p.76-93, 2011.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de biossólidos.** Rio de Janeiro: PROSAB-FINEP, 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistics division: inputs/fertilizers.** Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/R/RV/E>>. Acesso em: 10 June 2015.

FORSTER-CARNEIRO, T.; PÉREZ, M.; ROMERO, L.I. Influence of total solid and inoculum contents on performance of anaerobic reactors treating food waste. **Bioresource Technology**, v.99, n.15, p.6994–7002, 2008.

FRANCO-OTERO, V.G. et al. Short-term effects of organic municipal wastes on wheat yield, microbial biomass, microbial activity, and chemical properties of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.48, n.2, p.205-216, 2012.

FRÉSCA, R.C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FRICKE, K.; SANTEN, H.; WALLMANN, R. Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. **Waste Management**, v.25, p.799-810, 2005.

FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. (Coord.). **Indicadores biológicos e bioquímicos de qualidade do solo:** manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. (Embrapa Meio Ambiente - Documentos, 21).

GOMES, F.C.S.P.; AQUINO, S.F.; COLTURATO, L.P.D.B. Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.3, p.295-304, jul./set. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a06.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2013.

GONÇALVES, F. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem.** 2014. Monografia (TCC) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

GORGATI, C.Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – município São Lourenço da Serra - SP:** compostagem e impacto ambiental. 2001. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2001.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n.6, p.1503-1510, jun. 2012.

GOYAL, S.; DHULL, S.K.; KAPOOR, K.K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. **Bioresource Technology**, v.96, n.14, p.1584-1591, 2005.

GUIMARÃES, M.M.B. et al. Produção de muda mamoneira em substratos contendo diferentes resíduos orgânicos e fertilizante mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju. **Anais eletrônicos...** Aracaju: Embrapa, 2006. Disponível em:<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/trabalhos_cbm2/086.pdf>. Acesso em: 3 maio 2015.

HAIMI, J.; HUHTA, V. Capacity of various organic residues to support adequate earthworm biomass for vermicomposting. **Biology and Fertility of Soils**, v.2, n.23. Disponível em:<<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF00638957.pdf>>. Acesso em: 2 Aug. 2013.

HASSEN, A. et al. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, v.80, n.3, p.217–225, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Plano nacional de resíduos sólidos:** diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. n.145, 2012. Disponível em:<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/120425_comunicadoipea0145.pdf>. Acesso em: 1 out. 2013.

JARDIM, A.; VALVERDE, J.; YOSHIDA, C. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** São Paulo: Manole, 2012.

KADER, N.A. et al. Turning , compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. **Bioresource Technology**, v.98, p.2619-2628, 2007.

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

_____. **Manual de compostagem:** maturação e qualidade do composto. 4.ed. Piracicaba: E.J.Kiehl, 2004.

_____. **Matéria orgânica do solo.** Piracicaba: E.J.Kiehl, 2012.

KLAR, A.E. **A Água no sistema solo – planta – atmosfera.** São Paulo: Nobel, 1984.

KUMAR, S. Composting of municipal solid waste. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.31, n.12, p.112-136, 2011.

LAMIM, S.S.M. et al. Caracterização química e física de vermicomposto e avaliação de sua capacidade em adsorver cobre e zinco. **Química Nova**, v.21, n.3, p.278-283, 1998.

LASTELLA, G. et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, v.43, n.1, p.63-75, 2002.

LEITE, V.D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Energia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.229-232, 1999.

LELIS, M.P.N.; PEREIRA NETO, J.T. Estudo e avaliação do balanço de umidade na compostagem. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. AIDS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.1-9.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações. **Boletim técnico da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA**. 2004. Disponível em:<http://www.anda.org.br/multimidia/boletim_02.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2015.

MADIGAN, T.M.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. 10.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

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. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MATA-ALVAREZ, J. et al. Anaerobic digestion of the Barcelona central food market organic wastes: experimental study. **Bioresource Technology**, v.39, n.1, p.39-48, 1992.

MATOS, A.T. et al. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.199-203, 1998. Disponível em:<[http://www.gpqa.ufv.br/Publicacoes/residuossolidos/Compostagem de alguns residuos organicos utilizando se aguas residuarias da suinocultura como fonte de nitrogenio.PDF](http://www.gpqa.ufv.br/Publicacoes/residuossolidos/Compostagem%20de%20alguns%20residuos%20organicos%20utilizando%20se%20aguas%20residuarias%20da%20suinocultura%20como%20fonte%20de%20nitrogenio.PDF)>. Acesso em: 5 fev. 2015.

MEHTA, C.M. et al. Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. **Waste Management**, v.34, n.3, p.607-622, 2014. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.11.012>>. Acesso em: 12 Dec. 2014.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.101-110, 2008.

MENDES, L.A. **Estudo para utilização de vermicomposto com vistas à remediação de solos contaminados com cromo, cobre e chumbo**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MONROY, F.; AIRA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. **Science of the Total Environment**, v.407, n.20, p.5411-5416, 2009. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.048>>. Acesso em: 10 Feb. 2014.

MONTEIRO, J.H.P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2011. Disponível em:<<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

MORADA DA FLORESTA. **Manual de compostagem doméstica com minhocas**. São Paulo: Blue, 2014a. Disponível em:<http://issuu.com/moradadafloresta/docs/compostasp_manual_compostagem>. Acesso em: 21 jul. 2014.

_____. **Composta São Paulo**. 2014b. Disponível em:<<http://www.compostasaopaulo.eco.br/>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

_____. **Composta São Paulo 2014**: apresentação de resultados do projeto piloto de compostagem doméstica da cidade de São Paulo. 2015. Disponível em:<<http://www.compostasaopaulo.eco.br/resultados2014/#home/1>>. Acesso em: 16 jun. 2015.

NARDIN, M.; PROCHNIK, M.; CARVALHO, M.E. **Usinas de reciclagem de lixo**: aspectos sociais e viabilidade econômica. Rio de Janeiro: BNDES, 1987.

NAVA, I.A. et al. Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.35, p. 884-892, set/out. 2011.

NOGUEIRA, A.R.A.; SOUZA, G.B. **Manual de laboratórios**: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.

OCANA, E.R.O.; REBELLÓN, L.F.M.; LOZADA, P.T. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v.30, n.1, p.91-100, 2014.

OLIVEIRA, R. **Análise do processo de implantação de uma unidade descentralizada de compostagem no Campus II da USP São Carlos**. 2013. Monografia (TCC) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JUNIOR, J. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.211-236, 2009.

ORRICO JUNIOR, M.A.P. et al. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.6, p.1533-1538, 2012. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982012000600030&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 7 jan. 2015.

PAIVA, E.C.R. et al. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.5, p.961-970, 2012.

PAIVA, E.C.R. et al. Análise comparativa da adequação da relação C/N e do índice CT / COT como parâmetros da evolução da compostagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento. Disponível em:<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/II-004.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

PEIXOTO, R.T.G. Compostagem: princípios, práticas e perspectivas em sistemas orgânicos de produção. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (Ed.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.387-422.

PEREIRA NETO, J.T.; LELIS, M.P.N. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. AIDS. **Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.1-9.

PEREIRA NETO, J.T.; STENTIFORD, E.I.; MARA, D.D. Comparative survival of athogenic indicators in windrow and static pile. In: DE BERTOLDI, M. et al. (Ed.). **Compost: production, quality and use**. Udine: Elsevier Applied Science, 1986. p.276-295.

PIGNATARO NETTO, I.T.; KATO, E.; GOEDERT, W.J. atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1441-1448, 2009.

PIRSAHEB, M.; KHOSRAVI, T.; SHARAFI, K. Domestic scale vermicomposting for solid waste management. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v.2, n.4, p.1-5, 2013.

POGGI-VARALDO, H.M. et al. A Side-by-side comparison of two systems of sequencing coupled reactors for anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. **Waste Management & Research**, v.23, p.270-278, 2005.

PORTAL FEDERATIVO. **Vetado prazo maior para municípios acabarem com lixões**. Disponível em: <<http://www.portalfederativo.gov.br/noticias/destaques/vetado-prazo-maior-para-municipios-acabarem-com-lixoes>>. Acesso em: 6 dez. 2014.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Prefeitura de São Paulo lança projeto inédito de compostagem doméstica**. 2014. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/m_boi_mirim/noticias/?p=48692>. Acesso em: 23 jun. 2014.

PRIMAVESI, O. et al. Adubação e produção de *Paspalum* em dois níveis de fertilidade de latossolo vermelho-amarelo: estabelecimento e manutenção. **Ciência Agrotecnológica**, v.32, n.1, p.242-250, 2008.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RODELLA, A.A.; ALCARDE, J.C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, v.51, n.3, p.556-562, 1994. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161994000300030&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 19 abr. 2015.

RODRIGUES, M.S. et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. p.63-94.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em:<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de resíduos sólidos**. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2003. Apostila.

SÁ, M.C. **Avaliação da qualidade do composto e dos aspectos construtivos e operacionais de banheiros compostáveis**. 2011. Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SALOMÃO, F.S. **Implantação de uma usina de triagem e compostagem na cidade de Rio Claro-SP**. 2009. Monografia (TCC) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**, v.78, n.3, p.301-308, 2001.

SANTIAGO, C.D. et al. Aplicação da observação participante no diagnóstico socioambiental da coopervida – cooperativa de reciclagem de São Carlos / SP. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE SOCIOLOGIA, 29., 2013, Santiago. **Anais eletrônicos...** Santiago, 2013. Disponível em:<http://actacientifica.servicioit.cl/biblioteca/gt/GT7/GT7_DinizSantiago_dosSantosJunior.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2008.

SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subterrâneos**. Porto Alegre: Gênese, 1999.

SANTOS, R.H.S. et al. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1395-1398, 2001.

SÃO PAULO. **Lei nº12.300, 2 de março de 2006**. Institui a política estadual de resíduos sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo, 17 mar. 2006. Disponível em:<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2012/09/2006_Lei_12300.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2015.

SÃO PAULO. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Plano estadual de resíduos sólidos do estado de São Paulo**. São Paulo: SMA/CETESB, 2014. Versão preliminar. Volume I: panorama.

SARTORI, H.J.F. **Análise de substratos e parâmetros de controle para a vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos**. 1998. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SCHALCH, V. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. Notas de Aula.

SENADO FEDERAL. **Senadores aprovam prorrogação do prazo para fechamento dos lixões**. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/07/01/senadores-aprovam-prorrogacao-do-prazo-para-fechamento-dos-lixoes>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

SENG, B.; HIRAYAMA, K.; KATAYAMA-HIRAYAMA, K.; OCHIAI, S.; KANEKO, H. Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 216–224, 2013. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479712005063>>. Acesso em: jan. 2015.

SHAHMANSOURI, M.R. et al. Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting. **Indian Journal Environmental Health Science Engineering**, v.2, n.1, p.28-32, 2005.

SILVA, F.C. et al. Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. **Embrapa**: circular técnica, n.3, 2002.

SILVA, K.C.C. **Estudo da qualidade do vermicomposto produzido a partir do composto proveniente da unidade descentralizada de compostagem de São Carlos/SP**. 2008. Monografia (TCC) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SIQUEIRA, T.M.O. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2014.

SOOBHANY, N.; MOHEE, R.; KUMAR, V. Comparative assessment of heavy metals content during the composting and vermicomposting of municipal solid waste employing *Eudrilus eugeniae*. **Waste Management**, v.39, p.130-145, 2015.

STROM, P.F. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. **Applied and Environmental Microbiology**, v.50, n.4, p.899-905, 1985.

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

TEIXEIRA, L.A.J. et al. Alterações em atributos químicos de um solo submetido à adubação e cultivado com videira ‘niagra rosada’. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 33, n.3, p. 983-992, set. 2011.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, I.J. Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. **Bioresource Technology**, v.62, n.1-2, p.37–42, 1997.

TOMÉ JR., J.B. **Manual para interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

TUOMELA, M. et al. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v.72, n.2, p.169-183, 2000.

VALENTE, B.S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.59-85, 2009.

VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981.

VAN RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

VERACIDADE. **Giro**. Disponível em:<<http://veracidade.eco.br/projetos/giro/>>. Acesso em: 5 dez. 2014.

VESPA, I.C.G. **Características minerais e energéticas do lixo urbano em procesos de compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

ZHANG, L.; SUN, X. Bioresource Technology Changes in physical , chemical , and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. **Bioresource Technology**, v. 171, p. 274–284, 2014.

APÊNDICE A – Folder Com explicações a respeito do Projeto *Separê*!

Projeto SEPARÊ!

Nada se perde, tudo se transforma!

Como contribuir?

Separe os resíduos orgânicos gerados em sua residência e coloque-os em sacolas plásticas. Esses resíduos serão coletados pelas alunas do projeto em data e horário combinados.

O que PODE ser colocado na sacola:

- * Cascas de frutas e legumes;
- * Talos de verduras;
- * Casca de ovo;
- * Borra/filtro de café;
- * Saquinho de chá;
- * Guardanapo de papel; papel toalha;
- * Folhas e flores; mato/poda de jardim.

O que NÃO PODE ser colocado na sacola:

- * Resíduos não biodegradáveis (plástico, vidro, metal, pilhas, tintas, têxteis, etc.);
- * Medicamentos;
- * Excrementos de animais domésticos;
- * Resíduos de plantas tratadas com produtos químicos;
- * Bituca de cigarro.

Você sabia?

O Brasil possui uma Lei (Lei nº 12.305/2010 – institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos) que determina que os resíduos sólidos orgânicos, como restos de comida e podas de jardim, sejam reciclados e/ou aproveitados energeticamente. Assim, não devem ser dispostos em aterro sanitário nem em locais inadequados. Dessa forma, prolonga-se a vida útil do aterro e evita-se danos ambientais.

O que pode ser feito?

Os resíduos sólidos orgânicos podem ser tratados através das seguintes alternativas:

- ⇒ **Compostagem:** degradação dos resíduos sólidos orgânicos por microrganismos na presença de oxigênio. O processo estabiliza os resíduos e gera um composto final, considerado matéria fertilizante e reutilizável como condicionador do solo.
- ⇒ **Biometanização:** degradação dos resíduos sólidos orgânicos por micro-organismos na ausência de oxigênio. O processo gera o biogás, que pode ser utilizado para a produção de energia térmica ou mecânica. O resíduo digerido final deve ser compostado, obtendo-se também um condicionador do solo.

Para refletir...

Projeto SEPARÊ:

Está vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da USP de São Carlos e tem como objetivo o estudo de técnicas para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos.

Sustentáveis e Inovadoras

Carolina I. Branco - I
Fernanda R. Villela -
Júlia I. Guernandti -

EESC • USP

epar
Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos

APÊNDICE B – Cartaz com instruções a respeito do projeto na Moradia Estudantil

APÊNDICE C – Planilhas com os dados de medições

Tabela 40 – Registros de temperatura na Etapa 2

Dia	T amb.	LPVC_NTNR			LTR			LNTR			LC_NTNR		
		Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base
5	21	46	57	42,5	42	50	37,5	45	52,5	46,5	47,5	54	45
6	22	50	53	45	41	49	42	45	52	48,5	46	53	51
10	21	52	50	43,33	55	53	45,5	61	57	46,5	47,33	52	49,5
11	21	49	50	44,5	59,5	56	46	60	60	46,5	49,5	54	49
12	22	50	52	44	59	58	47,5	63	59	46,5	51	53	47,5
13	22	49	51	43,5	61,5	59	48,5	59,5	59	46,5	47,5	52	47,5
17	22	47	50,5	39	57,3	63	50	56,5	58,5	46	47,5	53	45
18	23	47,5	50	38,5	59,5	62,6	50	54,5	57,5	46,5	47	52,5	44
19	19	49	50	39	59	61,5	51,5	56	58,5	47,5	48,5	53	44,5
20	18	45	50	38	61,5	62	49	56	57	46	48,5	54	43,5
24	19	46	49,5	38	64	68,5	65	62	66	65	44,5	52,5	43
25	21	43,5	50,5	37,5	61	68,5	65	58	65,5	64	45,5	52	44
27	22	44	50	38,5	55,5	65	63,5	53	65	63,5	46	51	44
31	22	42	49	39	51,5	55,5	59,5	48	52,5	57,5	44	51	42
32	16	45,5	49	40,5	50,5	64	58,5	46,5	49	56	43,5	51	45
33	22	43	45,5	40	48	63,5	57,5	45,5	51	53,5	48	51	42,5
34	21	44,5	45	39	45	48,5	52	42	45	49	45	51,5	42,5
38	25	46	37,5	38	54,5	58	56,5	53	53	57	43,5	46,5	42,5
39	23	39,5	46	38	53	51,5	52	51,5	53,5	52	43,5	48	41,5
40	18	39,5	45	38,5	49	51	46,5	47	51,5	50	44,5	48	41
41	17	38,5	44,5	37	44	48	43,5	43	47	44,5	46,5	48	40,5
42	24	40	44	36,5	32,5	32,5	33	33	34,5	36,5	43,5	49	42
46	22	50	44	37	31	31	30,5	33	33,5	34,5	44	49,5	42
47	21	39	44	37,5	26,5	31	29,5	32,5	33,5	--	45	49	42
48	23	40	44	37,5	27	29,5	26	32	32	33,5	43	48,5	42,5
52	25	39	43,5	37,5	35,5	39	41,5	37	43	41,5	41	47,5	42,5
53	22	39	42	37,5	39	43	45,5	39	42	37,5	40	46	41
54	20	40	43	38	43,5	47,5	49,5	46	49,5	41,5	41,5	47	42
55	22	41	43	38	46,5	49	51	44,5	47,5	41	38,5	46,5	41,5
59	22	41	42	35,5	44,5	46	42,5	35,5	34	37,5	41,5	42,5	41,5
61	20	42,5	42	36	38,5	42,5	42,5	33,5	35	32	42,5	48	42
62	20	42,5	41,5	33,5	37,5	39,5	39	31,5	32	30	43	52	41,5
66	26	45,5	44,5	33	35	37,5	34	30,5	31,5	31	41	43,5	42
67	24	44,5	44	32,5	38,5	42	38	32	34	32	41	46	42,5
68	26	44,5	44,5	33,5	42	41	40,5	32,5	35,5	33	41	46,5	43
73	26	38,5	44	34,5	37,5	39	38,5	32	29	32,5	38	42	41
74	26	38,5	46	34	35	38,5	34	32	29	32,5	39	42,5	42,5
75	--	38,5	46	33,5	33,5	37	36	30	29,5	31,5	38	42,5	42
76	--	37,5	44,5	34	32,5	35,5	35	29,5	28,5	30,5	38	42,5	41
80	20	34	41	30,5	29,5	32	32,5	26,5	27	28	34	39	38,5
81	26	32,5	40	31	29,5	31,5	31,5	27	26,5	28,5	30	39,5	39
82	24	33,5	40	31,5	31	33	32,5	29	27	29	35,5	39,5	38,5

Tabela 40 – Continuação

83	33	39,5	31	--	30	33	32,5	27,5	27	29	35,5	39,5	38,5
87	--	36,5	39	35	31	32	31	31,5	29	31,5	34,5	39,5	39
88	27	38	39,5	36	32,5	33,5	33,5	31,5	29,5	32	34,5	40,5	40
89	28	39	40,5	36,5	32	33,5	33	31,5	30	32,5	35,5	45,5	40
90	23	38	40	36	31,5	33,5	31,5	31	31,5	32	33	40	40
94	24	25,5	25,5	24,5	24	25	27	23,5	24	25	33	33	34
95	25	25,5	26	25,5	24,5	26	27,5	23,5	24,5	25,5	34	33	34
97	26	25,5	26,5	25,5	26,5	27,5	30	26	26	27,5	34	33	34
101	29	32,5	31	31,5	37,5	40	39,5	32	33,5	35	37	37	41,5
102	31	32,5	31,5	31	36,5	39	40	32	31	34	35	37	41
103	32	31,5	31,5	31,5	38,5	39	40	32,5	32,5	34,5	33,5	37	40
104	28	30	29	30	34,5	37,5	37	30	31	32,5	32,5	36,5	40
108	25	35,5	32,5	31	34,5	37,5	36,5	27,5	32	32	37,5	37,5	37
109	24	34	31	29,5	32,5	35	34,5	29,5	30	31	37	37	37
110	27	32	30	30	31	32	32,5	27,5	27,5	28,5	34	34	35
111	31	34,5	34,5	33	33,5	35	35,5	31	31,5	--	37,5	37	37,5
116	25	30	32	29,5	30	32	32	26,5	28,5	28	28,5	34,5	34
117	34	39,5	39	37,5	36	36,5	38	32	33,5	33	35	38	38
118	32	34,5	35,5	34	33,5	33,5	35	31	32,5	32	32	37,5	36,5
122	26	32,5	34	32	33	34	35	30	32	32	29,5	36,5	36
124	22	31,5	33	30	32	32,5	32,5	28,5	30		28	35	34
130	26	27	27,5	27							29	30	31,5
131	25	26,5	27	26,5							28,5	30	30,5
133	24	26,5	28	27							29,5	28	30,5
136	25	24,5	26	24,5							26	27	27,5
138	28	27	27	26							26,5	27	28
140	29	27,5	29	28							28	28,5	30
143	25	28	29	26,5							28	29	29,5
145	24	26,5	28	26,5							28	27	29,5
147	23	29	28,5	27							27,5	28	29
150	25	25,5	25,5	25,5							26	25	25
152	29	26	26,5	26,5							26,5	26,5	27,5

Tabela 41 – Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg⁻¹) na LPVC_NTNR

Dia	Umidade	pH	M.O	C	N	C/N	CTC
14	75,36	9,11	84,89	41,60	1,57	26,58	
21	72,52	9,03					
28	70,44	9,86	87,89	42,31	1,86	22,79	387,17
35	70,76	8,48					
41	68,89	8,38	89,96	47,69	1,93	24,71	
49	65,33	8,44					
56	68,00	8,75	90,50	42,70	1,59	26,94	392,49
63	68,00	8,86					
70	60,00	8,65	88,07	40,66	1,71	23,73	

Tabela 41 – Continuação

84	57,55	8,44	88,04	40,46	1,84	21,95	558,24
91	59,51	8,62					
98	54,72	8,43	89,37	41,52	1,54	26,90	
105	50,36	8,21					
112	51,39	8,03	86,17	39,79	1,69	23,54	655,52
119	57,86	7,96	86,94	35,49	1,53	23,24	769,67
133	65,83	8,06	83,05	39,08	2,21	17,66	
147	64,17	7,93	86,18	40,40	2,39	16,93	878,22

Tabela 42- Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg⁻¹) na LTR

Dia	Umidade	pH	M.O.	C	N	C/N	CTC
14	73,35	9,98	85,89	40,90	1,62	25,29	
21	70,53	9,29					
28	69,11	10,21	89,30	41,78	2,03	20,60	404,85
35	63,33	9,16					
41	57,56	8,80	87,00	43,44	2,30	18,86	
49	56,00	9,01					
56	53,00	8,87	87,78	40,75	2,11	19,31	576,76
63	51,00	9,06					
70	48,71	8,96	84,74	39,96	2,21	18,11	
84	49,03	8,80	84,74	41,69	2,41	17,32	734,52
91	54,79	8,70					
98	55,24	8,70	87,72	37,51	2,05	18,30	
105	43,21	8,51					
112	56,94	8,35	83,52	38,26	2,22	17,23	683,21
119	54,76	8,03	83,57	38,13	2,48	15,38	789,55

Tabela 43- Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg⁻¹) na LNTR

Dia	Umidade	pH	M.O	C	N	C/N	CTC
14	71,02	9,16	86,89	42,21	1,89	22,30	
21	71,52	9,81					
28	67,56	9,90	89,18	41,96	2,02	20,81	401,16
35	65,00	9,08					
41	59,67	8,96	85,26	44,27	2,49	17,81	
49	57,00	9,08					
56	53,00	8,95	85,28	39,44	2,09	18,92	618,63
63	51,00	9,11					
70	49,87	8,98	79,32	40,19	2,28	17,60	
84	48,77	8,86	79,32	40,74	2,36	17,29	643,93
91	49,59	8,80					
98	56,79	8,62	83,89	40,29	2,20	18,31	
105	50,00	8,50					

Tabela 43 – Continuação

112	56,25	8,35	82,07	36,91	2,22	16,60	875,66
119	56,43	8,24	81,83	38,02	2,24	16,95	908,28

Tabela 44 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg⁻¹) na LC_NTNR

Dia	Umidade	pH	M.O	C	N	C/N	CTC
14	73,02	9,91	87,89	40,78	1,37	29,82	
21	70,53	8,76					
28	63,78	8,35	89,87	41,83	1,28	32,77	375,99
35	65,11	8,65					
41	60,44	8,70	89,87	42,95	1,96	21,88	
49	62,00	8,63					
56	63,56	8,45	87,88	42,07	1,77	23,82	403,67
63	66,00	9,49					
70	54,62	8,41	85,75	40,20	1,66	24,22	
84	53,63	8,32	85,67	40,47	1,80	22,54	475,01
91	59,83	8,52					
98	56,90	8,19	83,63	40,78	1,70	23,94	
105	55,36	8,22					
112	58,18	8,17	84,81	39,80	1,80	22,11	764,03
119	68,33	8,18	87,14	39,39	1,98	19,86	744,77
133	60,00	8,19	86,84	40,31	2,25	17,94	
147	66,67	8,36	81,13	38,65	1,92	20,13	761,99

Tabela 45 - Registros de temperatura na Etapa 3

Dia	T. amb.	Cx. 1	Cx. 2	Cx. 3	Cx. 4
3	27	30	30	29	28
4	28	29	30	29	29
5	23	33	32	31	33
6	23	34	34	33	35
7	26	33	33	33	33
10	26	25	26	26	27
11	26	24	25	26	28
13	27	29	30	30	31
14	25	33	35	36	37
17	25	33	34	34	35
18	25	30	32	31	31
19	25	28	28	29	30
21	32	31	33	32	32
24	23	26	27	26	25
26	25	25	26	26	26
27	25	31	31	32	32
31	24	29	29	29	29
32	25	28	29	29	23

Tabela 45 – Continuação

33	23	28	28	27	28
35	24	29	28	28	29
38	24	25	25	26	26
39	25	24	20	20	21
42	26	26	26	27	27
44	24	26	25	26	26
45	22	26	26	27	22
47	26	24	24	24	26
50	27	27	27	28	28
51	26	26	25	26	27
54	24	27	27	27	24
57	26	25	25	26	26
58	24	25	25	25	24
59	25	23	22	23	23

Tabela 46 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg^{-1}) na caixa 1

Dia	pH	Umidade	M.O.	C	N	C/N	CTC
0	8,03	54,76	83,57	38,13	2,48	15,38	789,55
10	8,59	66,13	82,86				
20	8,23	82,43	79,89				
30	8,25	72,52	78,09	35,74	2,82	12,67	976,60
40	7,87	67,96	79,54				
50	8,09	63,28	79,48				
60	8,20	70,94	75,63	33,18	2,66	12,47	956,90

Tabela 47 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg^{-1}) na caixa 2

Dia	pH	Umidade	M.O.	C	N	C/N	CTC
0	8,03	54,76	83,57	38,13	2,48	15,38	789,55
10	8,48	65,60	83,00				
20	8,17	86,18	81,69				
30	8,17	71,16	77,19	37,4	2,85	13,12	1041,45
40	7,84	72,39	79,94				
50	8,36	58,14	80,36				
60	8,20	71,69	77,92	36,19	2,98	12,16	939,87

Tabela 48 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg^{-1}) na caixa 3

Dia	pH	Umidade	M.O.	C	N	C/N	CTC
0	8,24	56,43	81,83	38,20	2,24	16,95	908,28
10	8,63	62,88	76,06				

Tabela 48 – Continuação

20	8,21	84,59	75,89				
30	8,55	71,24	73,85	36,25	2,68	13,55	897,5
40	7,98	76,97	76,95				
50	8,26	63,32	75,91				
60	8,20	72,68	78,57	37,04	2,91	12,74	1024,01

Tabela 49 - Medições de Umidade (%), pH, matéria orgânica (%), carbono (%), nitrogênio (%) e capacidade de troca catiônica (mmol.kg⁻¹) na caixa 4

Dia	pH	Umidade	M.O.	C	N	C/N	CTC
0	8,24	56,43	81,83	38,20	2,24	16,95	908,28
10	8,62	64,23	83,57				
20	8,22	81,63	78,50				
30	8,68	66,23	78,38	31,99	2,45	13,06	774,81
40	8,10	72,64	78,13				
50	8,13	64,77	77,89				
60	8,38	70,40	78,41	35,32	2,77	12,73	966,81