

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE LEIRA ESTÁTICA E DE REVOLVIMENTO MANUAL
NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO

Laís Alves Souza

Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro

Rio Claro (SP)

2015

Laís Alves Souza

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE LEIRA ESTÁTICA E DE REVOLVIMENTO MANUAL
NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro

Rio Claro (SP)

2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



LAÍS ALVES SOUZA

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE LEIRA ESTÁTICA E DE REVOLVIMENTO MANUAL
NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM RESTAURANTE
UNIVERSITÁRIO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos e pela vida maravilhosa que sempre me ofereceu.

À minha família que nunca deixou de apoiar minhas ideias e decisões, sabendo me dar a responsabilidade e conselhos para enfrentar os desafios e obstáculos da vida.

Aos meus amigos de Rio Claro, que se tornaram uma nova família e estiverem presentes nos momentos mais marcantes de aprendizado fora e dentro da universidade, como engenheira ambiental e como pessoa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro (Marcão), pela ajuda, ideias, conselhos e correções, não somente durante o preparo do TCC, mas também durante os anos de graduação.

A Cíntia Takeda, sem a qual eu não conseguiria fazer metade do trabalho. Sempre disposta a ajudar e buscar sanar nossas dúvidas no projeto.

A Bioagri, em especial ao Guilherme Aguiar, pelas análises realizadas.

Ao CEA, Carol e Amanda, por estarem sempre apoiando e ajudando nos laboratórios quando necessário, não só durante o TCC, mas também na minha iniciação científica.

Ao Prof. Dr. Jonas Contiero, diretor do Instituto de Biociências (IB), por autorizar a realização da pesquisa e encaminhar o processo aos setores responsáveis.

A nutricionista Célia Maria e aos demais funcionários do Restaurante Universitário, por auxiliarem nas reuniões e separação dos materiais.

A Pró Reitoria de Graduação (PROEX) por ter financiado a aquisição do material do projeto.

“Me fale, e eu irei esquecer.
Me mostre, e eu talvez irei guardar.
Me deixe fazer, e eu aprenderei.”

Confúcio

RESUMO

A compostagem é considerada um processo que possibilita agregar valor aos resíduos sólidos orgânicos transformando-os em fertilizante orgânico. Nesse processo, fatores como manejo incorreto da leira, com falhas no controle da temperatura, aeração e teor de umidade irão implicar na qualidade da decomposição dos resíduos, e conseqüentemente afetará a qualidade do composto final. Sistemas descentralizados como compostagem doméstica, em restaurantes, praças de alimentação e escolas são uma das soluções para valoração destes resíduos de forma não onerosa e com maior qualidade. Com este intuito, o presente projeto visa analisar as condições de compostagem dos resíduos sólidos do Restaurante Universitário da Unesp de Rio Claro- SP por meio de dois diferentes sistemas de compostagem: leira de revolvimento e leira estática. Verificou-se que neste Restaurante Universitário (RU), em média 33% em peso úmido, do total de resíduos gerados no estabelecimento são passíveis de compostagem. Nesse sentido, com a finalidade de investigar preliminarmente os parâmetros operacionais do processo, foram montadas uma leira de revolvimento manual com 100% de resíduos do RU e uma leira estática com 60% de resíduos do RU e 40% de resíduos de poda e capina (PC), proveniente das atividades de manutenção da área verde da universidade. O presente trabalho analisou os sistemas de leira de revolvimento manual e leira estática quanto aos parâmetros: teor de umidade, pH, relação C/N e temperatura. Adicionalmente, foi realizado um estudo sobre as proporções entre resíduos do RU e PC para montagem das leiras, o qual apontou para a necessidade da adição de poda e capina na compostagem, tendo em vista que a leira com 100% de resíduos do RU apresentou comportamento não satisfatório devido às baixas temperaturas aferidas durante os 60 dias de análise. A melhor proporção para o método de leira de revolvimento manual analisadas neste trabalho foi de 60% de resíduos do RU e 40% de resíduos de PC, em peso seco. A partir desta proporção foi montada uma leira estática, composta por 60% de resíduos do RU e 40% de resíduos de PC. A atividade biológica da leira estática obteve temperatura máxima de 62,8°C, aproximadamente 9°C acima da obtida na leira de revolvimento manual com a mesma proporção de resíduos. Contudo, apesar das elevadas temperaturas não se pode afirmar que ocorreu maior atividade biológica nesta leira estática e conseqüente maior degradação da matéria orgânica, tendo em vista que os resultados de relação C/N da leira de revolvimento na mesma proporção de resíduos apresentaram valores mais próximos à maturação. Dentre as análises de laboratório, o teor de umidade dos resíduos do RU foi elevado no início do processo, atingindo valores próximos a 90% quando não misturados a resíduos de PC, fator que prejudicou a compostagem da leira de revolvimento com 100% de resíduos do RU. Todas as leiras apresentaram redução do teor de umidade ao longo do período de análise. O pH teve comportamento distinto para cada leira, contudo atingiu valores alcalinos, exceto na leira com 100% de resíduos do RU, devido provavelmente à degradação anaeróbia dos resíduos. As análises de relação C/N e os elevados valores de temperatura obtida nas leiras operadas com resíduos na proporção de 60%RU e 40% PC, permitem afirmar que esta foi a melhor proporção para o desenvolvimento do processo de compostagem em ambos os sistemas. Desta forma, devido à facilidade de operação, recomenda-se a utilização da leira estática no caso da implantação de uma central de compostagem na UNESP de Rio Claro.

Palavras chave: Gestão de resíduos sólidos; compostagem; resíduos de restaurante, resíduos orgânicos.

ABSTRACT

Composting is considered a process that enables adding value to organic solid waste turning them into organic fertilizer. In this process, factors such as mishandling the windrow, failed to control the temperature, aeration and moisture content will result in the quality of waste decomposition, and thus affect the quality of the final compound. Decentralized systems such as home composting, composting in restaurants, food courts and schools are one of the solutions for valuing these waste in a non expensive way and with greater quality. For this purpose, the project aims to analyze the conditions for composting of solid waste of the University Restaurant of Rio Claro- SP, through two different composting systems: manual revolving windrow and static pile. It was found that in University Restaurant (RU) on average 33% by weight of the total waste generated in the property are capable of composting. In this sense, in order to investigate the preliminary process operation parameters were mounted one manual windrow composed of 100% of the UR waste and a static pile composed of 60% of the UR waste and 40% of pruning and grass residues (PG). This study analyzed the manual revolving windrow and static pile systems for the parameters: moisture content, pH, C / N ratio and temperature. The study of the proportions of the PG and UR waste pointed to the need for pruning and grass residues addition for composting, considering that the manual revolving windrow composed by 100% of the UR waste had no satisfactory performance due to low temperatures measured during 60 days analysis. The best ratio for manual revolving windrow method analyzed in this study was 60% of the UR waste and 40% of PG waste, in dry weight. From this proportion a static pile was assembled, composed of 60% of UR waste e 40% of PG waste from the maintenance activities of the green area of the university. The biological activity in the static pile reached the maximum temperature of 62,8°C, 6,6°C higher than that obtained in the manual revolving windrow with the same proportion of waste. This shows greater biological activity in this static pile and subsequent further degradation of organic matter of the material. Among the laboratory analyzes, the moisture content of the waste from the UR was high early in the process, reaching values close to 90% when not mixed with PC waste, factor that has hindered the composting manual revolving windrow with 100% of UR waste. All windrows had reduced the moisture content over the analysis period. The pH had different behavior for each windrow, however reached alkaline values, except in the windrow with 100% of the UR waste, probably due to anaerobic degradation of the waste. Analysis of C / N ratio and high temperature values obtained with the waste piles operated at 60% UR and 40% PC, shows that it was the best ratio for the development of the composting process in both systems. Thus, due to the easy operation, it is recommended to use the static windrow in the case of implementation of a composting at UNESP, Rio Claro.

Keywords: Solid waste management ; composting; restaurant waste, organic waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Alternativas à disposição de resíduos sólidos municipais pelos sistemas descentralizados..... | 2 |
| Figura 2. À esquerda - leira de revolvimento manual. À direita - leira estática de aeração passiva. | 3 |
| Figura 3. Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil..... | 6 |
| Figura 4. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil. | 7 |
| Figura 5. Esquema das entradas e saídas do processo de compostagem..... | 9 |
| Figura 6. Curva de temperatura durante o processo de compostagem. | 10 |
| Figura 7. Etapas do processo de compostagem em leiras de revolvimento manual..... | 15 |
| Figura 8. Caixas de compostagem utilizadas no experimento de leira estática..... | 17 |
| Figura 9. Etapas da montagem do canteiro de compostagem..... | 22 |
| Figura 10. Montagem de estrutura de bambu no fundo da leira estática..... | 22 |
| Figura 11. Esquema de montagem de leira estática..... | 23 |
| Figura 12. Etapas de pesagem, trituração e disposição do resíduo no canteiro compostagem..... | 24 |
| Figura 13. Leira IV, à esquerda, vista lateral após disposição de resíduos, à direita, vista superior, no momento da disposição dos resíduos do restaurante homogeneizados com resíduos de poda e capina. | 26 |
| Figura 14. Leira IV (estática) - Vista superior: Pontos de coleta de amostra (P1 e P2; P1' e P2'); vista lateral: pontos de coleta a profundidade de 0,4m..... | 28 |
| Figura 15. Leira IV (estática) - à esquerda, após disposição de resíduos; à direita, no momento de coleta de amostra. | 28 |
| Figura 16. Excesso de água dos resíduos do Restaurante Universitário de Rio Claro..... | 32 |
| Figura 17. Leira I (revolvimento) durante a 1ª a 5ª semanas de operação. Destaque para 5ª semana, imagem superior, leira revolvida, imagem inferior, manhã seguinte após revolvimento..... | 34 |
| Figura 18. Influência do excesso de água e de umidade ótima do composto no metabolismo digestivo da matéria orgânica. | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. | 10 |
| Tabela 2. Proporção de resíduos do RU e de PC utilizados para a montagem das leiras de revolvimento e da leira estática. | 21 |
| Tabela 3. Quantidade de resíduos do RU e número de refeições para cada dia de coleta da Leira I (revolvimento – 100% RU). | 25 |
| Tabela 4. Quantidade de resíduos do RU, quantidade de resíduos de poda e capina e número de refeições para cada dia de coleta da Leira IV (estática – 60% RU/40% PC). | 25 |
| Tabela 5. Frequência das análises de teor de umidade, pH e relação C/N para leira de revolvimento e leira estática. | 27 |
| Tabela 6. Variação dos parâmetros teor de umidade, pH e relação C/N dos resíduos orgânicos do restaurante durante a operação da leira de revolvimento manual composta por 100% de resíduos do restaurante (Leira I). | 31 |
| Tabela 7. Resultados de carbono orgânico total (TOC), nitrogênio Kjeldahl e relação C/N da Leira I. | 33 |
| Tabela 8. Variação dos parâmetros teor de umidade e pH dos resíduos orgânicos durante a operação da leira estática composta por 60% de resíduos do restaurante e 40% de resíduos de poda e capina (Leira IV). | 42 |
| Tabela 9. Média dos valores de relação C/N obtidos nos pontos P1e P1', P2 e P2' da Leira IV. | 50 |
| Tabela 10. Comparação entre Instrução Normativa para comercialização de composto e resultados finais das Leiras III e IV. | 52 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos no Brasil. | 1 |
| Gráfico 2. Porcentagens dos tipos de resíduos gerados no Restaurante Universitário. | 18 |
| Gráfico 3. Variação temporal da temperatura ambiente e da temperatura máxima obtida na Leira I (100% RU). | 36 |
| Gráfico 4. Comparação dos teores de umidade das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação das leiras de revolvimento. . | 38 |
| Gráfico 5. Comparação do pH das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação das leiras de revolvimento. | 39 |
| Gráfico 6. Comparação da relação C/N das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação das leiras de revolvimento. | 40 |
| Gráfico 7. Variação de temperatura máxima das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III(60% RU/40% PC) durante os 60 dias de operação. | 41 |
| Gráfico 8. Variação da relação C/N da Leira IV nos pontos de coleta durante o período de operação. | 43 |
| Gráfico 9. Resultados do ponto de coleta de amostra P1 da Leira IV para os parâmetros carbono orgânico total (TOC) e nitrogênio Kjeldahl. | 44 |
| Gráfico 10. Resultados dos pontos de coleta de amostra P2 da Leira IV para os parâmetros carbono orgânico total (TOC) e nitrogênio Kjeldahl. | 45 |
| Gráfico 11. Variação de temperatura ambiente e da temperatura máxima da leira em relação ao tempo de operação da Leira IV (leira estática de tela de arame). | 46 |
| Gráfico 12. Variação da temperatura máxima da Leira IV (leira estática) em relação à quantidade de resíduo disposto a cada dia de coleta. | 47 |
| Gráfico 13. Comparação dos teores de umidade das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação. | 48 |
| Gráfico 14. Comparação do pH das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação. | 49 |
| Gráfico 15. Comparação da relação C/N das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação. | 50 |
| Gráfico 16. Variação de temperatura máxima das Leiras III - revolvimento (60% RU/40% PC) e Leira IV – estática (60% RU/40% PC) durante os 60 dias de operação. | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N – Carbono/Nitrogênio

IN – Instrução Normativa

PC – Poda e capina

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

RU – Restaurante Universitário

TOC – Carbono Orgânico Total

SUMÁRIO

| | | |
|------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | OBJETIVO GERAL | 5 |
| 3. | A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS | 6 |
| 4. | PROCESSO E PARÂMETROS DE COMPOSTAGEM | 9 |
| 4.1. | Temperatura | 10 |
| 4.2. | Teor de umidade..... | 11 |
| 4.3. | Aeração | 12 |
| 4.4. | pH..... | 12 |
| 4.5. | Relação C/N | 13 |
| 4.6. | Diâmetro das partículas ou granulometria | 14 |
| 4.7. | Dimensão da leira de revolvimento..... | 14 |
| 4.8. | Estudos de casos de compostagem de resíduos..... | 15 |
| 4.9. | Diagnóstico do Restaurante Universitário de Rio Claro | 17 |
| 5. | MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 5.1. | Aspectos gerais e concepção dos sistemas de compostagem..... | 20 |
| 5.2. | Montagem do canteiro de compostagem e coleta de resíduos | 21 |
| 5.3. | Coleta e análise de amostras | 24 |
| 5.4. | Operação das leiras | 29 |
| 6. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 31 |
| 6.1. | Leira de revolvimento manual: Resultados das análises de umidade, pH, relação C/N e temperatura | 31 |
| 6.2. | Comparação dos parâmetros de teor de umidade, pH e relação C/N entre leiras de revolvimento manual para diferentes proporções de resíduos..... | 37 |
| 6.3. | Leira estática: Resultados das análises de umidade, pH, relação C/N e temperatura | 42 |
| 6.4. | Comparação entre leira de revolvimento manual e leira estática..... | 48 |
| 6.5. | Custo benefício da compostagem..... | 53 |
| 7. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 54 |
| 8. | CONCLUSÕES..... | 55 |
| | REFERÊNCIAS | 57 |

| | |
|--|----|
| APÊNDICE A – RESULTADOS DE TEOR DE UMIDADE DA LEIRA II | 61 |
| APÊNDICE B – RESULTADOS DE TEOR DE UMIDADE DA LEIRA IV | 62 |

1. INTRODUÇÃO

O modo de vida da sociedade atual, além do consumo excessivo dos recursos naturais, tem gerado progressivamente maiores quantidades de resíduos e rejeitos. Com o passar dos anos, com o advento do conhecimento técnico-científico e o crescente interesse no desenvolvimento sustentável, técnicas milenares, a exemplo da compostagem de resíduos orgânicos, como detritos animais e resíduos orgânicos domésticos, passaram por adaptações e melhorias metodológicas almejando o aproveitamento destes materiais (BARREIRA, 2005).

Segundo dados do IPEA (2012) a maior parte de resíduos gerados no Brasil são matéria orgânica, como ilustra a Gráfico 1.

Gráfico 1. Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos no Brasil.



Fonte: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos (IPEA, 2012, p.36).

Os resíduos orgânicos são em sua maioria provenientes de domicílios, restaurantes, supermercados e hortifrutis. Entre os métodos de reaproveitamento/reciclagem deste tipo de resíduos encontra-se a compostagem, que tem por finalidade gerar um composto, assim como enviar o mínimo de rejeitos para aterros sanitários. Por definição, compostagem é o processo controlado de decomposição de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, onde ocorre a produção de calor, gás carbônico e vapor de água, além da estabilização da matéria orgânica gerando um composto maturado (KIEHL, 2004), o qual pode ser utilizado como fertilizante orgânico na agricultura.

Considerando o impacto positivo causado pela compostagem no prolongamento da vida útil dos aterros (LLEÓ, et al., 2013), esta técnica é adicionalmente, uma forma eficiente e segura de tratar grande parte dos resíduos sólidos orgânicos dos municípios brasileiros, os quais, como apresentado no Gráfico 1, produzem cerca de 51,4% de resíduos orgânicos, em relação ao total de resíduos gerados. Além disso, é produzido um material rico em nutrientes e matéria orgânica, o qual estimula o crescimento de plantas e aumenta a capacidade de retenção de água no solo, podendo ser utilizado na agricultura (KÖRNER, 2008). O composto pode ainda ser vendido, caso cumpra os requisitos e padrões de qualidade previstos na legislação. A segregação dos resíduos na fonte para a compostagem, também contribui para a melhoria da qualidade dos materiais recicláveis, facilitando a sua comercialização (BARREIRA, 2005).

Em geral, as técnicas de compostagem exigem grandes áreas e tempo para que o composto possa ser utilizado, contudo são técnicas de baixo custo (MASÓ; BLASI, 2008). Além disto, sistemas descentralizados como compostagem doméstica, em restaurantes, praças de alimentação e escolas é uma vantagem em relação à compostagem centralizada que necessita de grandes áreas para operação de leiras de compostagem (KÖRNER, 2008). A Figura 1 exemplifica a utilização a compostagem descentralizada para resíduos domésticos e de restaurantes para a produção de composto para aplicação em jardins privados e públicos.

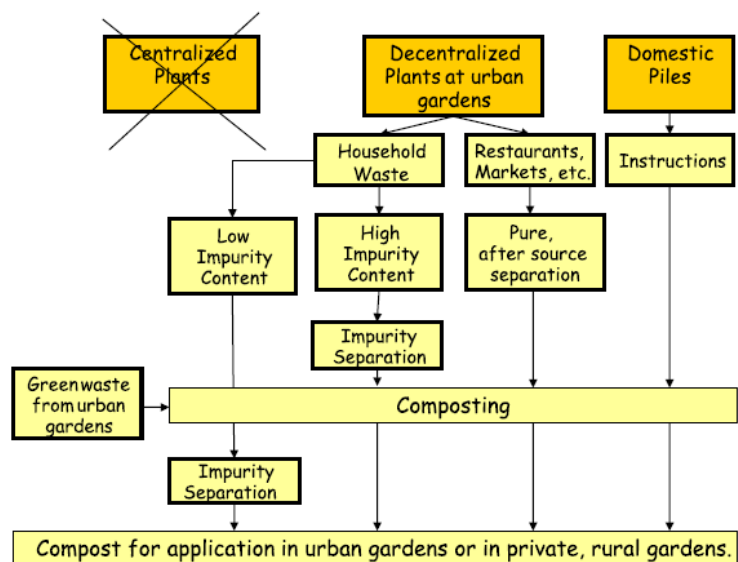


Figura 1. Alternativas à disposição de resíduos sólidos municipais pelos sistemas descentralizados.

Fonte: Körner (2008, p. 70).

Tecnicamente, a operação de sistemas descentralizados de compostagem permite melhor controle do processo e conseqüentemente conduz a produção de um produto final de melhor qualidade quando comparado ao produzido em sistemas centralizados.

Desta forma, o presente trabalho se baseia no Trabalho de Conclusão de Curso de Picciafuoco (2013), o qual retrata a situação da gestão dos resíduos no Restaurante Universitário da UNESP de Rio Claro, em que se propões a compostagem dos resíduos. Tendo em vista que leira é o nome utilizado para definir o aglomerado de resíduos orgânicos dispostos em local para realização do processo de compostagem.

O tratamento dos resíduos pela compostagem necessita de oxigênio para que os processos de degradação da matéria orgânica ocorram de forma aeróbia. Por esta razão, sua aeração é fundamental e é realizada por meio de 3 formas principais: o revolvimento, mecânico ou manual, que promove a homogeneização da massa de resíduos, a aeração forçada e a aeração passiva (PEREIRA, 2010). A Figura 2 ilustra uma leira com revolvimento manual e uma leira de aeração passiva.



Figura 2. À esquerda - leira de revolvimento manual. À direita - leira estática de aeração passiva.

Fonte: Direita - Projeto Reduzo Lixo; Esquerda – Autor.

O revolvimento, mecânico ou manual, assim como a aeração forçada são feitos com base na temperatura do material, que indica se a degradação está ocorrendo de forma anaeróbia, sendo necessário o revolvimento. A aeração forçada depende da insuflação de ar via compressores e tubos de ar sob a leira (PEREIRA, 2010), enquanto que a aeração passiva ocorre pela diferença de temperatura entre o ar da leira e o ambiente (HAUG, 1993; FERNANDES et. al., 1994 apud PEREIRA, 2010). Alguns autores como Barrington (2003),

Patni et. al., (2001); Trois e Polster (2007 apud PEREIRA 2010), comprovaram que o método de aeração passiva é menos oneroso em relação à aeração forçada, pois não necessita de equipamentos e energia elétrica, e além disto, apresenta eficiência semelhante.

No presente trabalho, tem-se o intuito de comparar a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos gerados no Restaurante Universitário da Unesp de Rio Claro- SP, por dois diferentes métodos de compostagem: leira de revolvimento manual e leira estática. Nesse sentido, a finalidade foi acompanhar os parâmetros operacionais dos métodos e buscar definir quais são as melhores formas de montagem e operação das leiras para a compostagem do resíduo do Restaurante.

2. OBJETIVO GERAL

Comparar o processo de compostagem de leira de revolvimento com leira estática, em escala piloto, utilizando como substrato os resíduos sólidos orgânicos gerados no Restaurante Universitário do campus da UNESP de Rio Claro.

Objetivos específicos

A presente pesquisa foi desenvolvida no Campus universitário de Rio Claro-UNESP, e apresentou como objetivos específicos:

- Montar e operar leira de compostagem com revolvimento manual com 100% de resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário;
- Comparar os resultados de temperatura, pH, teor de umidade e relação C/N obtidos em leiras de revolvimento manual operando com substratos nas proporções: 100% resíduos orgânicos do restaurante; 12% resíduos de poda e capina e 88% resíduos orgânicos do restaurante; e 40% resíduos de poda e capina e 60% resíduos orgânicos do restaurante;
- Com base nos resultados obtidos nas leiras de revolvimento manual, selecionar a melhor a proporção de substrato (proporção de resíduos do restaurante e de poda e capina) e montar e operar leira estática;
- Comparar os processos de compostagem de leira com revolvimento manual e leira estática.

3. A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A geração de resíduos no Brasil tem aumentado de forma gradual com o passar do tempo, fato que tem atraído a atenção para as questões de qualidade ambiental e qualidade de vida no Brasil. Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2013, produzido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) houve um aumento de 4,4% na quantidade de resíduos sólidos urbanos em 2013, comparando-se a 2012, como apresentado na Figura 3. Este aumento é superior à taxa de crescimento populacional no país no mesmo período, ou seja, a população tem gerado mais resíduos diariamente. O Panorama afirma ainda que um total de 76.387.200 toneladas foram gerados no ano de 2013, contudo dentre esse valor, 90,4% foram coletados (ABRELPE, 2013).

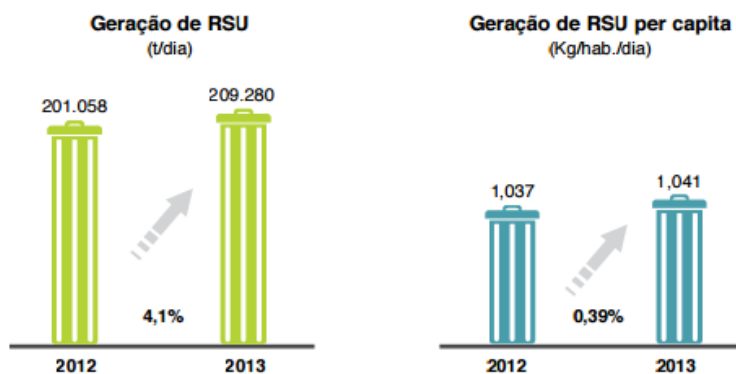


Figura 3. Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2013, p. 29).

Apesar de a coleta ser realizada para a maioria dos resíduos gerados, estes ainda possuem uma considerável parcela com uma destinação final inadequada, englobando lixões e aterros controlados, por exemplo, como apresentado na Figura 4.

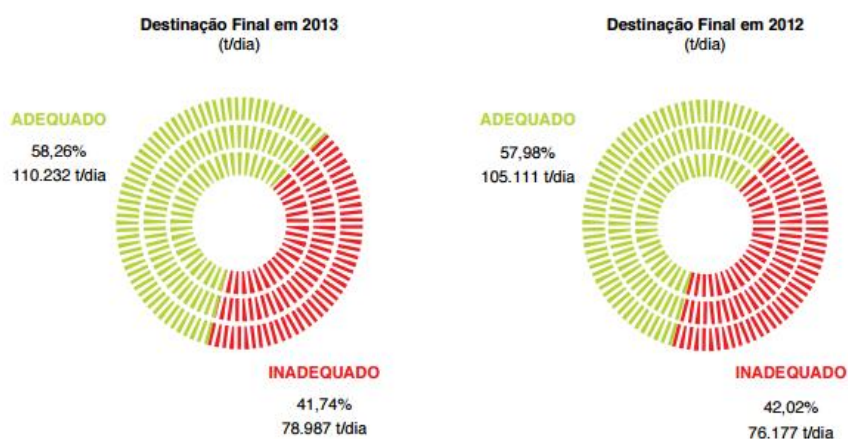


Figura 4. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.

Fonte: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2013, p. 31).

O aumento no volume de resíduos gerados se deve, principalmente, ao maior consumo de recursos da sociedade atual. Em sua maioria são consumidos materiais descartáveis, de menor durabilidade, corroborando desta forma para a elevação do valor de resíduos gerados.

Tendo em vista os problemas ambientais devido à disposição inadequada de resíduos, como contaminação de lençóis freáticos pelo lixiviado gerado no resíduo, atração de vetores e transmissão de doenças, poluição atmosférica e visual, entre outros. Outra questão importante é a crescente escassez de áreas para implantação de aterros, de forma que estes se afastam dos centros urbanos, tornando o transporte dos resíduos oneroso. Além disto, a geração e disposição de resíduos afeta a qualidade de vida desde pessoas que moram próximas à aterros ou lixões até catadores de material reciclável, que dependem desta fonte de renda (ZANTAS e FERREIRA, 2003).

Desta forma, em 2010, foi implantado a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, a qual “dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis”. Nesta lei, estão entre os primeiros objetivos, “a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental”, e a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010).

Para atingir os objetivos da Lei, esta determinou também a Responsabilidade compartilhada, em que cada indivíduo que participa da geração do resíduo é responsável por sua destinação final ambientalmente adequada, com o intuito de minimizar o volume de

resíduos e rejeitos gerados, assim como impactos no meio ambiente e sociedade. Neste caso, a disposição final ambientalmente adequada se refere a “destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.” (BRASIL, 2010).

Está previsto ainda na PNRS, a elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos nos municípios brasileiros, para que estes tenham acesso a recursos destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, por exemplo. Com este intuito, o município de Rio Claro incluiu o Plano de gestão de resíduos sólidos, no Plano Municipal de Saneamento Básico. A seguir são apresentadas algumas de suas informações (BRASIL, 2010).

A gestão dos resíduos em Rio Claro (SP)

A coleta dos resíduos sólidos domiciliares em Rio Claro (SP) é realizada por uma empresa terceirizada. Em média, são gerados 4 000 ton/mês no município, com o valor de coleta de R\$ 76,81/ton.

A coleta seletiva em Rio Claro é realizada por uma cooperativa chamada Cooperviva. Atualmente, a coleta deste tipo de resíduo no município tem aumentado gradativamente, fato que gera benefícios para o prolongamento da vida útil do aterro para onde são encaminhados os resíduos, e potencializa sua comercialização.

Além disto, uma empresa terceirizada realiza a poda e capina em escolas e este resíduo é encaminhado para aterro sanitário.

No Plano Municipal citado, são apresentadas ainda propostas de alternativas como a compostagem para a reutilização de resíduos orgânicos, assim como o projeto de um galpão de triagem para os resíduos recicláveis (PREFEITURA DE RIO CLARO, 2014).

No caso do presente trabalho, a compostagem será abordada como técnica para reutilização de uma parcela dos resíduos sólidos orgânicos gerados no município de Rio Claro.

4. PROCESSO E PARÂMETROS DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem se caracteriza pela transformação do material orgânico da forma instável para estável, de forma aeróbica, pelos microrganismos presentes na massa de resíduos (FOGARTY; TUOVINEN, 1991 apud ADAMS, 2009). Os principais fatores presentes na compostagem são ilustrados na Figura 5, a seguir.

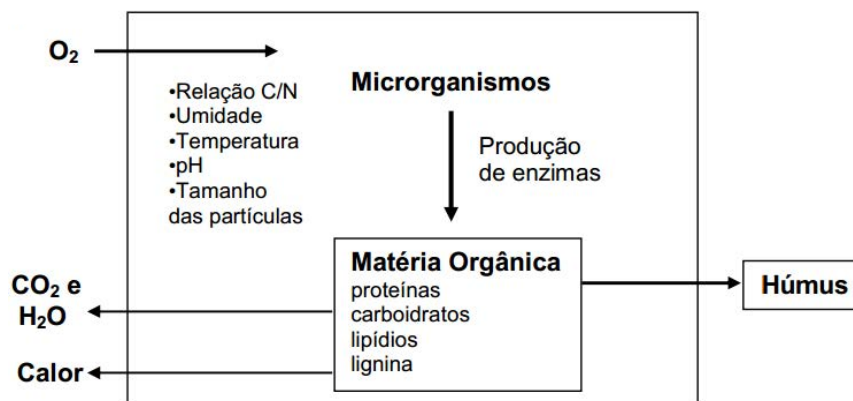


Figura 5. Esquema das entradas e saídas do processo de compostagem.
Fonte: Adaptado de Tuomela et. al., (2000) apud Fialho (2007, p. 27).

No esquema é possível observar a matéria orgânica e seus constituintes, assim como as substâncias consumidas no processo de compostagem pelos microrganismos como o oxigênio, carboidratos, proteínas, por exemplo, enquanto outros produtos como o composto (húmus), dióxido de carbono, água e calor são gerados.

Os parâmetros e indicadores da compostagem são de fundamental importância para o controle do processo, monitoramento da decomposição da matéria orgânica, assim como monitoramento e controle da qualidade do composto, de forma que esteja de acordo com a legislação vigente e Instrução Normativa (I.N.) nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, como apresentado na Tabela 1. A partir dos resíduos de restaurante e poda e capina, será produzido um composto do lixo, definido pela IN como: “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”. Este tipo de composto se enquadra na Classe C, segundo a Instrução Normativa: “fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura” (BRASIL, 2009).

Tabela 1. Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

ANEXO III
ESPECIFICAÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS

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

| Garantia | Misto/composto | | | | Vermicomposto |
|-------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|--------------------|
| | Classe A | Classe B | Classe C | Classe D | Classes A, B, C, D |
| Umidade (máx.) | 50 | 50 | 50 | 70 | 50 |
| N total (mín.) | 0,5 | | | | |
| *Carbono orgânico (mín.) | 15 | | | | 10 |
| *CTC ⁽¹⁾ | Conforme declarado | | | | |
| pH (mín.) | 6,0 | 6,0 | 6,5 | 6,0 | 6,0 |
| Relação C/N (máx.) | 20 | | | | 14 |
| *Relação CTC/C ⁽¹⁾ | Conforme declarado | | | | |
| Outros nutrientes | Conforme declarado | | | | |

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

Fonte: Instrução Normativa nº 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Anexo III (Brasil, 2009).

A seguir são apresentados os parâmetros exigidos na instrução normativa e acompanhados durante o trabalho.

4.1. Temperatura

O processo de compostagem possui variação de temperatura de acordo com seu estágio de decomposição da matéria orgânica (PIRES, 2005), o qual constitui-se pelas fases mesófilas e termófila, como representado na Figura 4.

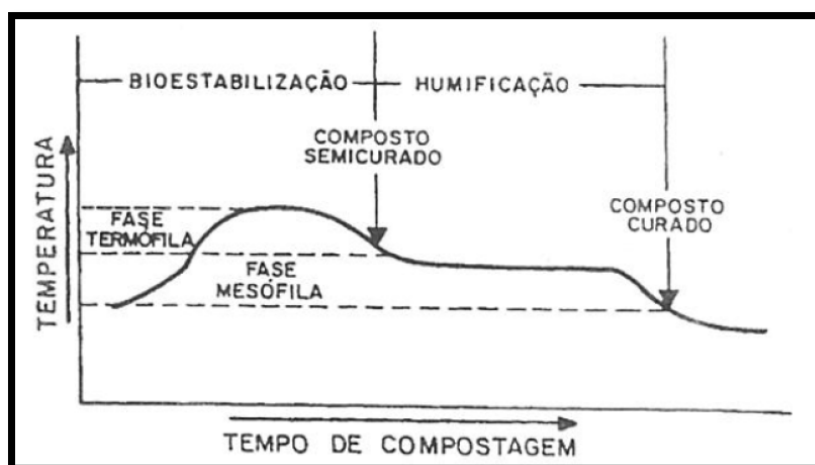


Figura 6. Curva de temperatura durante o processo de compostagem.
 Fonte: Pires (2005, p. 27).

A fase inicial se caracteriza pelo aumento do processo de decomposição da matéria orgânica devido ao aumento gradual do número de microrganismos mesófilos. Como consequência, a temperatura é elevada pela geração de calor da reação de fermentação e pode atingir em torno de 45°C (INÁCIO; MILLER, 2009).

A segunda fase, termófila, se caracteriza por apresentar as temperaturas mais altas do processo, em torno de 45 a 65°C (BARREIRA, 2005). Nesta etapa os microrganismos termófilos, em sua maioria bactérias, se sobresaem na decomposição, acelerando o processo, gerando vapor d'água e calor e com um maior consumo de oxigênio. Além disto, ocorre simultaneamente a eliminação de microrganismos patogênicos do material, devido às altas temperaturas (MASSUKADO, 2008).

A terceira fase, assim como a fase inicial, é mesófila, ou seja, a temperatura diminui em relação à fase anterior, contudo mantém-se acima do valor da temperatura ambiente. Nesta etapa, as substâncias orgânicas mais resistentes são degradadas, ocorre perda de umidade e redução da atividade microbiana, onde predominam fungos e actinomicetos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Por fim, ocorre a maturação, em que a formação de substâncias húmicas é considerável, a atividade dos microrganismos é reduzida e desta forma a geração de calor não é suficiente para manter as temperaturas altas. Neste sentido, a decomposição continua a ocorrer, porém a taxas mais baixas.

A temperatura ótima do processo, em que a degradação da matéria orgânica é mais rápida, encontra-se entre 60°C e 70°C, na fase termófila (KIEHL; PORTA, 1980; INÁCIO; MILLER, 2009) ou 55°C e 60°C, segundo Li et. al. (2013).

4.2. Teor de umidade

O teor de umidade da leira irá determinar o tipo e a velocidade de degradação da matéria orgânica devido à sua necessidade para o metabolismo de microrganismos, assim como, pela sua interferência na aeração da leira. (INÁCIO; MILLER, 2009). Neste sentido o teor de umidade deve permanecer na faixa ótima entre 40% e 60%. Caso o teor seja maior que 70%, ocorrerá a redução da aeração da leira, pois seus poros serão preenchidos com água ao invés de ar. Caso seja menor 30%, o processo de degradação será inibido ou a velocidade de reação será reduzida consideravelmente, tendo em vista que a umidade não será suficiente para os microrganismos realizarem as reações (KIEHL; PORTA, 1980).

4.3. Aeração

O revolvimento frequente da massa da leira é realizado com intuito de evitar sua compactação, com conseqüente redução de porosidade entre a massa de resíduos e falta de oxigênio disponível para os microrganismos (INÁCIO ; MILLER, 2009). O estudo de Yuan, et al. (2012) confirma que a taxa reduzida de aeração atrasa o início do processo de decomposição e diminui sua taxa de degradação da matéria orgânica. Além disto, prolonga o tempo de compostagem (KÖRNER, 2008) e causa a possível emissão de odores quando os ciclos de revolvimento ultrapassam os 5 dias (PEREIRA NETO, 1987 apud FERNANDES, 1999).

Com base em Fernandes e Silva (1999), recomenda-se o revolvimento da leira de duas a três vezes por semana. Segundo Inácio e Miller (2009), este procedimento visa:

- Evitar compactação através do aumento da porosidade da leira;
- Permitir que camadas externas (superfície da leira) sejam expostas às altas temperaturas no interior;
- Homogeneizar o material;
- E controlar a temperatura e umidade do processo.

No caso da leira estática, em que não há o revolvimento, a aeração ocorre por convecção. O fluxo de ar na leira se difunde a medida que a temperatura se eleva, aumentando a pressão no centro da leira, de forma que o ar se movimenta. Ocorre então, a saída do ar quente, saturado em dióxido de carbono, e a entrada de ar fresco com oxigênio (PEREIRA, 2010).

4.4. pH

O pH deve estar próximo ao neutro, de forma a não impedir a ação dos microrganismos devido a condições ambiente inadequadas. Neste sentido, o pH da mistura deve estar na faixa entre 5,0 e 8,0 (LI et. al., 2013; INÁCIO; MILLER, 2009).

No início do processo de compostagem, o pH tende a reduzir pois, nos 10 a 20 dias iniciais, os vegetais e outros resíduos liberam seu suco celular de natureza ácida (KIEHL, 2004) e ácidos orgânicos se formam (MASSUKADO, 2008) caracterizando a fase fitotóxica. Contudo, com o aumento de temperatura da leira, o pH volta a aumentar (INÁCIO; MILLER, 2009), devido à presença de nitrogênio amoniacal, o qual na presença de altas temperaturas e elevado pH se volatiliza. Com a volatilização da amônia, o pH é reduzido, e ao fim do

processo de compostagem encontra-se entre 6,0 e 8,0. Fase em que o nitrogênio está convertido em nitrato (KIEHL, 2004).

Durante o processo de compostagem, os componentes do nitrogênio são imobilizados pelos microrganismos, entretanto, à medida que o pH se eleva, a porcentagem de amônia no material aumenta, logo, as chances desta ser volatilizada para o ambiente, são maiores. Segundo von Sperling (2005), em pH 9,5 o nitrogênio encontra-se 50% na forma de amônio (NH_4^+) e 50% na forma de amônia (NH_3), desta forma, existe uma possibilidade maior de ocorrer a volatilização da amônia, que em grande quantidade reduz o valor do composto, tendo em vista que este perde nutrientes (WINTER; LOHPEZ-REAL, 1988 apud SOLANO, 2001).

Segundo Sánchez-Monedere, et. al. (2001), resíduos com elevada concentração de lignocelulose levam a menores perdas de nitrogênio amoniacal durante o processo de compostagem e desta forma o pH do material permanece elevado. Ele também enfatiza a importância da adição de materiais contendo lignocelulose como agentes para reduzir as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia para o ambiente e a perda deste nutriente no composto final.

Com relação ao tipo de aeração na compostagem, Pereira (2010) afirma que, a aeração passiva favorece a conservação do nitrogênio no composto final em relação à aeração por revolvimento. Tendo em vista que o revolvimento do material contendo amônia facilita o seu desprendimento do material.

4.5. Relação C/N

O carbono e o nitrogênio são nutrientes essenciais para os microrganismos, o carbono como fonte de energia para os microrganismos e o nitrogênio como componente para a produção de proteínas (MASSUKADO, 2008).

Por meio da relação C/N é possível determinar em média o tempo de decomposição da matéria orgânica. Segundo Inácio e Miller (2009), o tempo de decomposição será maior, quanto maior for a relação C/N. E de acordo com Yuan, et al. (2012), a relação C/N diminui com a maturação do composto.

Neste sentido foram determinadas faixas de relação C/N, como a seguir (INÁCIO; MILLER, 2009):

- Relação C/N > 50/1 - alta - longo período para decomposição

- Relação C/N entre 30/1 e 40/1 – ideais para decomposição rápida e eficiente
- Relação C/N < 20/1 - baixa - curto período de decomposição (materiais orgânicos de fácil degradação)

Segundo Kiehl (2004), o intervalo inicial recomendável para relação C/N é de 25/1 e 35/1, para que o processo de decomposição seja rápido e eficiente. Tendo em vista que, os microrganismos absorvem o carbono e o nitrogênio em uma proporção média de 30 partes de carbono, para 1 parte de nitrogênio (OLIVEIRA et. al., 2008).

Durante a compostagem a relação C/N tende a diminuir, atingindo a semicura, ou bioestabilização aproximadamente na relação 18/1 e a maturação aproximadamente em 10/1 (KIEHL, 1998). Apesar disto, a Instrução Normativa, apresentada anteriormente, permite sua utilização a partir da relação 20/1.

4.6. Diâmetro das partículas ou granulometria

O tamanho das partículas tem significativa influência na porosidade da leira e conseqüentemente na eficiência da degradação da matéria orgânica. Partículas maiores proporcionam a maior aeração da leira, enquanto que partículas menores tornam o material compactado, contudo, oferecem maior superfície de contato para decomposição dos resíduos pelos microrganismos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Neste sentido, é necessário um equilíbrio, de forma a manter o material aerado e com superfície de contato ótima para a decomposição da matéria orgânica. Por esta razão, muitas vezes é necessário que os resíduos sejam triturados. A dimensão recomendada para a compostagem varia entre 25 e 75 mm (FERNANDES; SILVA, 1999).

4.7. Dimensão da leira de revolvimento

Segundo Pereira (2010), as dimensões da leira podem afetar a retenção de calor no seu interior, visto que em uma leira pequena, ou seja, até 1 m de altura, o calor gerado pela atividade microbiana de degradação da matéria orgânica é dissipado mais facilmente, devido à maior superfície de contato com o ambiente, acelerando os processos de troca de calor. Por outro lado, segundo Pereira Neto (1989 apud BRITO 2008), leiras ou pilhas de compostagem muito grandes, ou seja, com 2,5 a 3m de altura, tendem a prejudicar a atividade microbiana

pelas temperaturas demasiadamente altas para os microrganismos, assim como pela sua compactação, devido ao peso, a qual dificulta sua aeração.

O tamanho e formato ideal para manter a temperatura da leira e permitir a aeração podem variar. Contudo, o volume de 1,5 m x 1,5 m x 1,5m é considerado por Brito (2008) como bom para diferentes tipos de resíduo.

4.8. Estudos de casos de compostagem de resíduos

Entre as formas de compostagem, a leira revolvida, também conhecida como sistema *windrow*, é considerada de simples operação, baixo custo e pode ser utilizado no tratamento dos mais variados resíduos orgânicos. Neste sistema, a pilha de resíduos é disposta sob o solo impermeabilizado ou compactado e o revolvimento do material é manual ou mecânico (MASSAKUDO, 2008).

Pela praticidade e baixo custo, a compostagem pode ser utilizado em pequena escala, sem a necessidade de grandes investimentos em maquinário e novas tecnologias (STENTIFORD; PEREIRA NETO, 1985 apud FERREIRA, 1999).

O sistema *windrow* é utilizado principalmente para o tratamento de resíduos domiciliares, pois apresenta baixos valores de investimento e manutenção (CARMICHAEL, 1999 apud MASSAKUDO, 2008).

A seguir, na Figura 5, são apresentadas as principais etapas do processo de compostagem para leiras de revolvimento manual.



Figura 7. Etapas do processo de compostagem em leiras de revolvimento manual.
Fonte: Autor.

Ortolan & Moya (2011) constataram a viabilidade da compostagem no campus da UNESP de Presidente Prudente de resíduos orgânicos da cantina e da poda e capina proveniente da manutenção da área verde da universidade. O projeto envolveu o teste de compostagem pelo tratamento convencional com 3 leiras contendo diferentes porcentagens de poda e capina e resíduos da cantina, além de utilizar um reator. A avaliação dos resultados de cada leira e do reator definiu qual destes métodos seria mais viável em relação à qualidade do composto, tempo de maturação e resíduo a ser compostado. Os resultados obtidos com o reator e as leiras foram comparados e ambos se mostraram viáveis e de acordo com os padrões da legislação.

No caso de Ortolan & Moya (2011), as proporções de resíduos foram definidas segundo seu peso seco e 3 proporções variadas foram determinadas: 70% Resíduos Orgânicos da Cantina (ROC) e 30% resíduos de poda/capina (RPC); 50% (ROC) e 50% (RPC); 30% (ROC) e 70% (RPC). Onde a leira na proporção de 70% Resíduos Orgânicos da Cantina (ROC) e 30% resíduos de poda/capina (RPC) apresentou maior atividade biológica e consequente degradação da matéria orgânica.

No trabalho realizado por Takeda (2015) foram montadas uma leira com 88% de resíduos do restaurante (RU) e 12% de resíduos de poda e capina (PC) e outra com 60% RU e 40% PC. Dentre elas, a última atingiu maiores temperaturas, e menores valores de relação C/N, indicando maior atividade biológica e degradação da matéria orgânica. A proporção das leiras também foi calculada em peso seco.

O sistema de leira vertical não é significativamente difundido quanto o de leira revolvida, contudo, mostrou-se eficiente no estudo de Karnchanawong & Suriyanon (2011). Neste estudo, o autor apresenta diferentes sistemas de compostagem em caixas cilíndricas, verticais e estáticas, com variadas formas de aeração passiva para a compostagem doméstica de resíduos orgânicos na Tailândia. Segundo Karnchanawong & Suriyanon (2011), as caixas que possuíam aberturas no fundo e as com um cano de ventilação instalado no centro dos resíduos obtiveram uma taxa de degradação da matéria orgânica maior que nas outras caixas.

Na Figura 6, abaixo, são apresentadas os tipos de caixas utilizadas no estudo. Os experimentos 3 e 4 (Bin 3 e Bin 4) obtiveram maiores taxas de degradação da matéria orgânica em relação aos outros, devido à abertura na parte inferior da caixa e pela introdução de um cano na parte central da caixa facilitando a aeração da massa de resíduos.

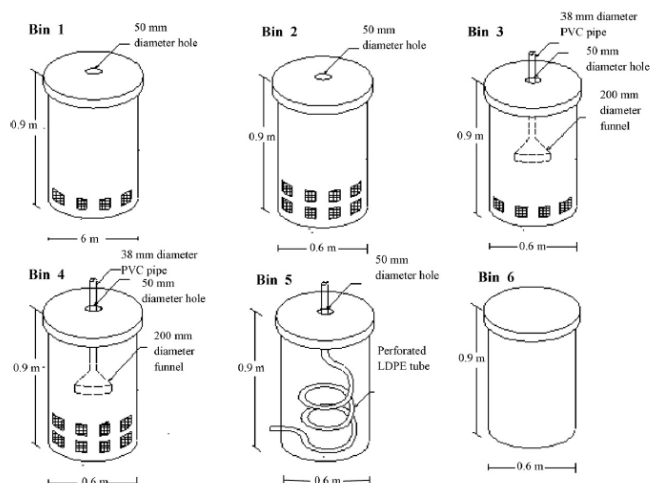


Figura 8. Caixas de compostagem utilizadas no experimento de leira estática.
 Fonte: Karnchanawong & Suriyanon (2011, p. 549)

Solano (2001) comparou 3 sistemas diferentes de aeração: aeração forçada em pilha estática, aeração passiva em pilha estática e pilha giratória, utilizando esterco de ovelha e palha como matéria orgânica. Segundo o autor, a qualidade final dos compostos produzidos nos 3 diferentes tipos de aeração se mostraram similares para este tipo de material.

Para Solano (2001) a utilização de equipamentos para revolvimento e aeração forçada envolvem, normalmente, consideráveis investimentos financeiros e custos de operação, os quais causam desmotivação para sua implantação. Por outro lado, na aeração passiva, não é necessário gastos com revolvimentos ou aeração forçada, eliminando custos de operação, além disto, este sistema provou-se ter a menor perda de nitrogênio para o ambiente.

A leira estática tem as vantagens de necessitar de uma área reduzida em relação à leira de revolvimento, ao mesmo tempo em que evita gastos com revolvimento, pois pode ser tão eficiente quanto a aeração forçada (BARRINGTON, 2003).

De acordo com os resultados, pode-se recomendar este tipo de sistemas para pequenos agricultores (SOLANO, 2001; ZHU, 2004). Adicionalmente, são necessários mais estudos sobre as dimensões, orientação, área de superfície e proporções de materiais a serem compostados (SOLANO, 2001).

4.9. Diagnóstico do Restaurante Universitário de Rio Claro

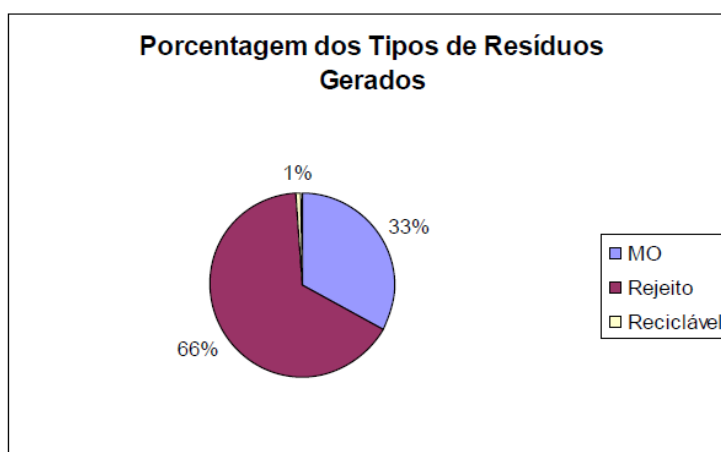
Para analisar a potencialidade de compostagem dos resíduos sólidos do Restaurante Universitário da Unesp de Rio claro, Picciafuoco (2013) elaborou um estudo detalhado da gestão do restaurante e seus resíduos, o qual serviu como base para o presente trabalho. Para

isto, o processo de preparo dos alimentos foi dividido em três setores, seguindo a organização já utilizada pelos funcionários: o pré preparo, a cocção e a devolução. Em que diferentes tipos de resíduos são gerados.

Em sua totalidade, o restaurante produz os seguintes tipos de resíduos: matéria orgânica, a qual engloba restos de alimentos vegetais, como talos, cascas de legumes, verduras e frutas e alimentos estragados; reciclável, composto por plástico, papel, metal e vidro que não estejam contaminados com gordura ou sangue; e rejeito, o qual corresponde a todo o resto, o que inclui restos de alimento de origem animal, embalagens contaminadas e guardanapos. Os resíduos gordurosos de origem animal e restos de alimentos da devolução que estão contaminados com detergente são considerados por Picciafuoco (2013) como rejeito, pois possuem uma decomposição lenta e poderiam produzir odores na leira.

Desta forma, os resíduos passíveis de compostagem são provenientes do setor de pré preparo, os quais representam em média 100kg/semana de resíduos orgânicos, e correspondem a 33%, em peso, do total de resíduos, como representado Gráfico 2. Esse tipo de resíduo apresenta grande potencial para compostagem, devido sua alta biodegradabilidade e nenhum contato com gordura animal (PICCIAFUOCO, 2014).

Gráfico 2. Porcentagens dos tipos de resíduos gerados no Restaurante Universitário.



Fonte: Picciafuoco (2013, p 48).

Os rejeitos não são consideráveis como passíveis de compostagem, pois no processo de devolução das bandejas é adicionada água e detergente para limpeza, ocasionando elevada umidade e presença de substâncias que podem prejudicar a atividade biológica na degradação da matéria orgânica. Contudo, estes poderiam ser utilizados caso houvesse o cuidado de não misturar detergente na etapa de limpeza das bandejas (PICCIAFUOCO, 2014).

A segregação dos resíduos é feita dentro do restaurante, onde os resíduos do pré preparo são acondicionados em recipientes de aço inoxidável (8 kg), enquanto as embalagens são depositadas em um recipiente plástico. Outros resíduos, como as fichas do caixa, são depositadas no recipiente plástico azul.

No caso dos resíduos de poda e capina produzidos pelos serviços de limpeza e manutenção dos espaços verdes da universidade, Picciafuoco (2013) verificou que o instituto de biociências (IB) possui 142.939,147m² de área com vegetação rasteira, enquanto o instituto de geociências e ciências exatas (IGCE) possui 46,8m². Após a manutenção destas áreas o resíduo é depositado em locais em montes e se decompõe ao longo do tempo. Contudo, parte deste material pode servir de cobertura para as leiras evitando a exposição dos resíduos do restaurante, de forma a evitar a atração de moscas e a perda de calor e umidade, assim como equilibrar a relação c/n da leira de compostagem (PICCIAFUOCO, 2013).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Aspectos gerais e concepção dos sistemas de compostagem

A presente pesquisa dá continuidade ao trabalho de diagnóstico dos resíduos gerados no Restaurante Universitário da UNESP de Rio Claro, realizado por Picciafuoco (2013). Nesse sentido são apresentados os procedimentos e materiais utilizados para a montagem e operação das leiras de compostagem.

O canteiro de compostagem foi montado em local com pouca circulação de pessoas, sombreado e relativamente próximo ao Restaurante Universitário. Para isto, foi solicitada autorização ao diretor do Instituto de Biociências (IB), responsável pelo Restaurante. Posteriormente, foi realizada reunião com os funcionários e nutricionista do RU para que fosse apresentado o projeto e houvesse a conscientização dos procedimentos para a separação do resíduo nos períodos de coleta. Além disto, ocorreu uma reunião com os funcionários da zeladoria para a utilização de ferramentas, como pá e carrinho de mão. Em seguida, foi feita uma pesquisa de laboratórios do campus de Rio Claro que poderiam realizar as análises.

A primeira fase do estudo do processo de compostagem se baseou na pesquisa da melhor proporção de resíduos do restaurante e de poda e capina para montagem da leira. Nesse sentido, foi montada 1 leira (revolvimento manual) com 100% resíduos do RU, e comparada às leiras de Takeda (2015) nas proporções: 88% resíduos do RU e 12% resíduos de poda e capina; e 60% resíduos do RU e 40% resíduos de poda e capina.

Com base nos resultados obtidos nas 3 leiras, selecionou-se a proporção de 60% resíduos do RU e 40% resíduos de poda e capina e montou-se a leira estática (sem revolvimento) com a finalidade de comparar os dois processos (leira com revolvimento manual e estática). Para a seleção da melhor proporção de resíduos utilizou-se os resultados de maiores temperaturas obtidas no experimento, considerando este parâmetro como um indicador da atividade biológica.

A opção pela montagem da leira estática se deu em função da facilidade de operação, em relação ao processo de revolvimento manual. A proposta é melhorar a praticidade do processo, e não onerar os funcionários do campus com as atividades de revolvimento das leiras, caso uma central de compostagem seja implantada na universidade. Durante o presente trabalho os revolvimentos foram realizados pelo próprio autor.

A Tabela 2 apresenta a numeração das leiras montadas, o sistema operacional e as proporções de resíduos utilizados na montagem.

Tabela 2. Proporção de resíduos do RU e de PC utilizados para a montagem das leiras de revolvimento e da leira estática.

| Nº da leira | Tipo de processo de compostagem | Resíduos | |
|-------------|---------------------------------|------------------|--------------------|
| | | Restaurante* (%) | Poda e Capina* (%) |
| I | Revolvimento | 100 | 0 |
| II | Revolvimento | 88 | 12 |
| III | Revolvimento | 60 | 40 |
| IV | Estática | 60 | 40 |

*porcentagem em peso seco

Fonte: Leira I e IV: Autor; Leira II e III. Fonte: Takeda (2015).

As Leiras II e III foram montadas e operadas por Takeda (2015), ou seja, uma leira de revolvimento com proporção 88% de resíduos do RU e 12% resíduos de PC e outra leira de revolvimento com proporção 60% resíduos do RU e 40% resíduos de PC. Enquanto o presente trabalho foi responsável pelas Leiras I e IV, ou seja, uma leira de revolvimento sem a adição de poda e capina e uma leira estática com 60% de resíduos do RU e 40% resíduos de PC. Assim, não serão apresentados os detalhes de montagem e operação das leiras de números II e III, mas apenas os resultados obtidos para a comparação com as demais leiras.

5.2. Montagem do canteiro de compostagem e coleta de resíduos

Leira de revolvimento manual

Para montagem da leira de revolvimento manual foi necessária a impermeabilização da área da base do canteiro com lona plástica nas dimensões 2,5m x 1,5m. A leira foi coberta com tela de mosquiteiro com altura da 1m, sustentada por estrutura de bambu para evitar a entrada de insetos e o possível aparecimento de larvas. Para isto foi utilizado bambu, tela de mosquiteiro, arame galvanizado nº 18, barbante e ferramentas em geral. O processo de montagem encontra-se ilustrado na Figura 7.



Figura 9. Etapas da montagem do canteiro de compostagem.
 Fonte: Autor.

Leira estática

A leira estática foi montada com tela de arame soldado, possuía formato cilíndrico com diâmetro de 0,96m, e base impermeabilizada com lona plástica. Na parte inferior foi confeccionada estrutura de bambu para auxiliar a circulação de ar vertical, para otimizar sua aeração, como comprovado no estudo realizado por Karnchanawong & Suriyanon (2011). A cobertura superior da leira foi realizada com outra lona plástica, para evitar a interferência da chuva no teor de umidade da leira. As Figuras 8 e 9 apresentam o processo de montagem da composteira e a estrutura da base, respectivamente.



Estrutura de bambu presa com arame

Tela de mosquiteiro fixada a estrutura de bambu

Estrutura de bambu anexada a leira. Resíduos sobre estrutura.

Figura 10. Montagem de estrutura de bambu no fundo da leira estática
 Fonte: Autor



Figura 11. Esquema de montagem de leira estática.

Fonte: Autor.

Finalizada as montagens, foi realizada a coleta de resíduos. Anteriormente à coleta, os funcionários do Restaurante foram orientados sobre a meta do trabalho, como seria feita a segregação dos resíduos e qual seu papel nesta etapa. Além disto, foram determinados os períodos de coleta. No caso da Leira I, a coleta foi de 5 dias, de 19/05/2014 a 23/05/2014, e para a Leira IV foi de 20 dias, de 24/11/2014 a 19/12/2014.

Os resíduos eram segregados no pré preparo e colocados em um latão de metal, o qual era pesado com os resíduos e, em seguida, sem eles, para obter o peso líquido do material a ser compostado. Em alguns dias foi observada a presença de água em excesso junto aos resíduos, devido ao processo de limpeza e higienização dos alimentos. Neste caso, a água era retirada e armazenada em um recipiente para posterior pesagem, e o valor descontado do peso líquido dos resíduos.

Após pesagem, o material era despejado em carrinho de mão, para facilitar o seu transporte até o local onde foi disposto. Com o auxílio de uma ferramenta de corte, os resíduos eram triturados até atingirem o tamanho entre 25 e 75 mm e, em seguida, dispostos no canteiro de compostagem. Os procedimentos descritos acima são representados na Figura 10.



Pesagem dos
resíduos

Transporte e redução do
tamanho dos resíduos

Disposição na leira

Figura 12. Etapas de pesagem, trituração e disposição do resíduo no canteiro
compostagem.

Fonte: Autor.

A proporção de resíduos orgânicos do restaurante e da poda e capina na leira foi feita a partir da elaboração de uma fórmula baseada na umidade dos resíduos coletados no RU. Para isto, a proporção foi calculada com base no peso seco dos resíduos, ou seja, seu peso após o procedimento de secagem a 110°C por 24h em estufa.

Previamente à disposição dos resíduos da leira de revolvimento (Leira I), estes eram triturados e homogeneizados manualmente, para então serem dispostos. No caso, da leira estática (Leira IV), os resíduos da restaurante eram triturados, homogeneizados manualmente juntamente aos resíduos da poda e capina e então dispostos no canteiro, ou seja, os resíduos de poda e capina e do restaurante foram misturados antes da disposição na leira. Não foram feitas camadas intercalas entre resíduos do restaurante e resíduos de poda e capina.

5.3. Coleta e análise de amostras

Para acompanhar os parâmetros citados no processos de compostagem foram coletadas amostras dos resíduos encaminhados diariamente para as leiras. As análises realizadas foram: teor umidade e pH. Além disto, foi elaborada uma amostra representativa para cada tipo de resíduo, composta pelo conjunto de amostras diárias, para realizar uma análise relação C/N para cada tipo de resíduo da respectiva leira. A amostra representativa foi elaborada somente para Leira IV e para as Leiras II e III de Takeda (2015).

As Tabelas 3 e 4 apresentam a quantidade de resíduos coletados a cada dia, assim como o número de refeições para a Leira I (revolvimento) e Leira IV (estática), respectivamente. Nos finais de semana o restaurante não funciona, desta forma não houve coleta.

Tabela 3. Quantidade de resíduos do RU e número de refeições para cada dia de coleta da Leira I (revolvimento – 100% RU).

| Data | Peso líquido resíduos (kg) | Nº de refeições |
|------------|----------------------------|-----------------|
| 19/05/2014 | 35,00 | 522 |
| 20/05/2014 | 11,40 | 643 |
| 21/05/2014 | 16,00 | 530 |
| 22/05/2014 | 14,40 | 585 |
| 23/05/2014 | 25,80 | 464 |
| Total | 102,60 | 2744 |

Fonte: Autor

Tabela 4. Quantidade de resíduos do RU, quantidade de resíduos de poda e capina e número de refeições para cada dia de coleta da Leira IV (estática – 60% RU/40% PC).

| Data | Peso líquido resíduos (kg) | Peso líquido poda (kg) | Nº de refeições |
|------------|----------------------------|------------------------|-----------------|
| 24/11/2014 | 30,30 | 2,80 | 622 |
| 25/11/2014 | 8,02 | 0,78 | 593 |
| 26/11/2014 | 28,44 | 2,55 | 622 |
| 27/11/2014 | 14,06 | 1,36 | 595 |
| 28/11/2014 | 7,80 | 0,86 | 495 |
| 01/12/2014 | 26,26 | 2,86 | 577 |
| 02/12/2014 | 9,22 | 1,63 | 705 |
| 03/12/2014 | 18,42 | 1,58 | 620 |
| 04/12/2014 | 30,01 | 2,12 | 535 |
| 05/12/2014 | 6,20 | 0,36 | 455 |
| 08/12/2014 | 13,60 | 1,10 | 519 |
| 09/12/2014 | 17,80 | 1,62 | 327 |
| 10/12/2014 | 11,80 | 0,70 | 560 |
| 11/12/2014 | 3,60 | 0,16 | 548 |
| 12/12/2014 | 9,40 | 0,71 | 379 |
| 15/12/2014 | 16,78 | 0,89 | 252 |
| 16/12/2014 | 12,00 | 1,41 | 534 |
| 17/12/2014 | 26,20 | 2,00 | 521 |
| 18/12/2014 | 21,90 | 2,00 | 470 |
| 19/12/2014 | 6,60 | 0,71 | 296 |
| Total | 318,41 | 28,20 | 10225 |

Fonte: Autor

No período de coleta de resíduos da Leira I (revolvimento – 100% RU) foi analisada uma amostra de resíduos do restaurante a cada dia, quanto a teor de umidade (Apêndice A) e pH, durante o período de 19/05/2014 a 23/05/2014.

No caso da Leira IV (estática – 60% RU/40% PC), o período de coleta de resíduos foi de 24/11/2014 a 19/12/2014 e assim como a Leira I, diariamente foram feitas análises de pH e teor de umidade (Apêndice B). Contudo, para esta leira as análises foram realizadas em duplicatas. A alteração de metodologia teve o intuito de obter resultados com maior confiabilidade.

Após a análise de teor de umidade, na qual é feita a secagem da amostra em estufa a 110°C, homogeneizou-se 10 amostras dos dias 24/11 – 05/12, com intuito de realizar apenas uma análise de relação C/N com uma amostra representativa da coleta, tendo em vista ser procedimento oneroso. Tal procedimento foi decorrente da escassez de recursos e pelo corte da verba solicitada. Assim, a realização das análises de C/N só foi possível pela colaboração de laboratório particular que realizou tais amostras sem custo. Não se utilizou amostras de todo o período de coleta, pois o cardápio do restaurante não varia significativamente durante as semanas, logo se considerou que 10 amostras seriam suficientes para compor uma única representativa. No caso das análises duplicatas, o resultado do teor de umidade e pH foi obtido pela média destas.

A Figura 11 apresenta a Leira IV e a disposição de resíduos durante a coleta.



Figura 13. Leira IV, à esquerda, vista lateral após disposição de resíduos, à direita, vista superior, no momento da disposição dos resíduos do restaurante homogeneizados com resíduos de poda e capina.

Fonte: Autor.

Para os resíduos de poda e capina da Leira IV foram realizadas 3 coletas de material em diferentes dias, e para cada amostra analisou-se amostras em relação a teor de umidade e pH. Logo, a amostra representativa enviada para análise de relação C/N foi composta por 3 coletas de poda e capina.

Após o fim da coleta e disposição de resíduos foram realizadas análises de teor de umidade e pH quinzenalmente para a Leira I e semanalmente e em duplicata para a Leira IV, segundo os métodos analíticos consultados em Kiehl (1980). As análises dos parâmetros Carbono Orgânico Total (TOC) e Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio orgânico, amônio e amônia), utilizados para compor a relação C/N, foram realizados quinzenalmente para ambas as leiras conforme a última versão do Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 22nd 2012 (SMWW), EPA e ABNT. Para o parâmetro TOC utiliza-se em média 5g de amostra para análise, enquanto que para o Nitrogênio Kjeldahl este valor varia entre 0,1g e 1g, fatores que podem ter dificultado a análise dos resultados como apresentado no próximo capítulo deste trabalho.

Todas as análises foram realizadas até completar-se o período de acompanhamento de 60 dias. A Tabela 5 expõe a frequência com que as análises foram realizadas para cada leira.

Tabela 5. Frequência das análises de teor de umidade, pH e relação C/N para leira de revolvimento e leira estática.

| Nº da leira | Teor de umidade (Kiehl, 1980) | pH (Kiehl, 1980) | Relação C/N (SMWW) |
|-------------|-------------------------------|------------------|--------------------|
| I | 15 dias | 15 dias | 15 dias |
| IV | 7 dias | 7 dias | 15 dias |

Fonte: Autor

Durante a operação, as coletas das amostras da Leira I (revolvimento– 100% RU) eram realizadas anteriormente ao processo de revolvimento. A amostra era composta por materiais coletados em diversos pontos da leira, englobando superfície e no centro da leira. Neste caso, buscou-se acompanhar a degradação geral do material na leira.

Já a coleta na Leira IV (estática – 60% RU/40% PC) foi realizada em 4 pontos (P1 e P2; P1' e P2') da circunferência da leira à profundidade de 0,4 m em relação à sua borda, a uma altura inicial de 0,2 m a partir da base da pilha de resíduos. Posteriormente, a partir do 45º dia, devido ao progressivo rebaixamento da altura da leira, passou-se a coleta para a altura de 0,1

m a partir da base da pilha, mantendo-se a profundidade de 0,4 m. Assim as amostras do 15° e 30° dias foram realizadas na altura de altura 0,2 m (P1 e P2), enquanto as amostras coletadas no 45° e 60° dias de operação na altura 01, m (P1' e P2'), como ilustrado na Figura 12. Em seguida, na Figura 13, é apresentado um exemplo de coleta de amostra na Leira IV.

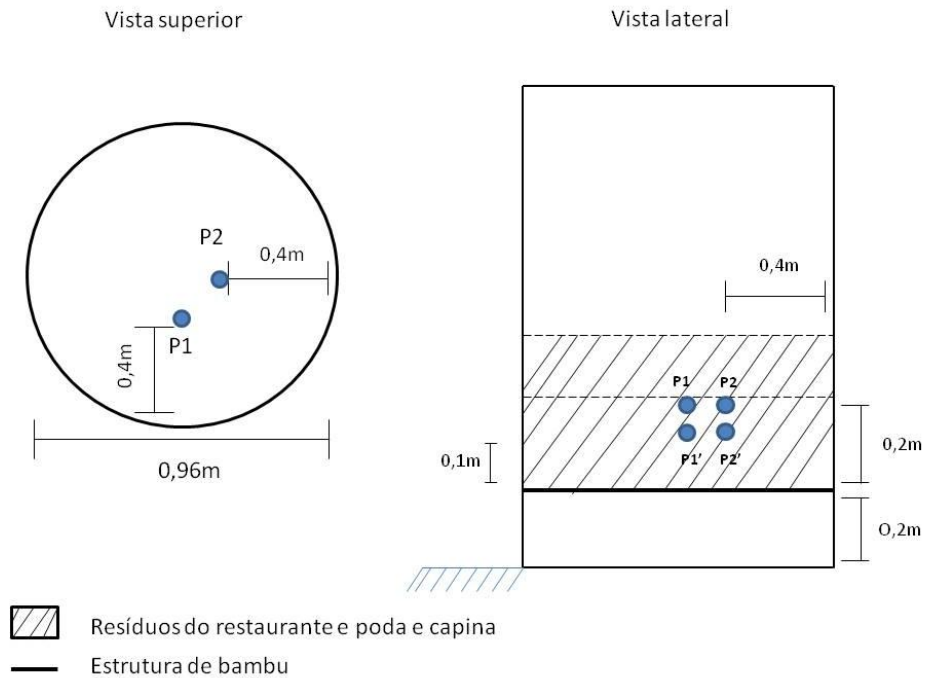


Figura 14. Leira IV (estática) - Vista superior: Pontos de coleta de amostra (P1 e P2; P1' e P2'); vista lateral: pontos de coleta a profundidade de 0,4m.
Fonte: Autor.



Após disposição de resíduos
28/11/2015

Coleta de amostras
28/01/2015

Figura 15. Leira IV (estática) - à esquerda, após disposição de resíduos; à direita, no momento de coleta de amostra.
Fonte: Autor

Neste caso, a amostragem não foi feita na superfície da leira, pois se buscou obter a taxa mais alta de degradação de matéria orgânica na leira, a qual se encontra onde ocorrem as maiores temperaturas, ou seja, no centro da leira, que está representado pela profundidade de 0,4 m.

5.4. Operação das leiras

O revolvimento da Leira I foi manual, utilizando-se ferramentas como pá e enxada. Ele foi realizado em dias alternados, totalizando 3 vezes por semana. No caso da ocorrência de odores indesejáveis, excesso de umidade ou diminuição de temperaturas da leira devido à diminuição da atividade microbiana, o revolvimento foi realizado com mais frequência.

Para monitorar o teor de umidade da leira, utilizou-se o teste “esponja”, o qual consiste em espremer uma porção de amostra na palma da mão, fechando os dedos da mão e observar se há excesso de umidade, representada pelo líquido, se este escorrer da amostra (ORTOLAN; MOYA, 2011). O teste facilitou a percepção dos dias em que a leira encontrava-se demasiadamente seca, sendo necessária a sua umidificação.

A umidificação, quando necessária, registrava-se a quantidade de água adicionada. O processo de umidificação era realizado com uma garrafa de um litro de plástico, furada na tampa, para evitar o acúmulo de água em alguns pontos da leira. Esta atividade era sempre seguida da operação de revolvimento para a homogeneização da massa de resíduos com a água adicionada, como sugerido por Kiehl (2004). De forma geral, o controle feito para evitar o excesso de umidade na leira devido à precipitações foi realizado utilizando-se a lona plástica como cobertura, teste “esponja” e acompanhamento de análises de laboratório do teor de umidade.

No caso da Leira IV, não foi realizado nenhum revolvimento, assim como, não foi necessária a adição de água. O teor de umidade manteve-se elevado, pois houveram dias chuvosos, os quais fizeram com que a cobertura superior de lona cedesse, permitindo a entrada de água sem controle na leira. Por esta razão, o controle do teor de umidade foi realizado apenas pelas análises laboratoriais.

Para acompanhar a atividade biológica do sistema de compostagem utilizou-se o parâmetro temperatura. O processo de aferição da temperatura iniciou-se no 4º dia de coleta e manteve-se diariamente entre as 07h30min e 08h30min, exceto aos finais de semana e feriados. Os pontos de medição foram na superfície e no centro das leiras, utilizando-se um termômetro

digital de haste. Adicionalmente, foi realizada a medição da temperatura ambiente nos mesmos dias e horários.

No caso da Leira I (revolvimento), os pontos de medição foram 2 na superfície lateral da leira e 3 na parte superior, 2 nas laterais e 1 ao centro. Para a Leira IV (estática), o termômetro teve de ser adaptado a um extensor feito com uma ripa de madeira de 0,5 m para atingir as profundidades de 0,2 m a partir da borda da leira e 0,4 m, ao centro da leira. Primeiramente, a aferição foi realizada em 2 pontos da circunferência a 0,2 m de altura da base da pilha de resíduos (P1 e P2) , até o 45º dia de operação. Então passou-se para 2 pontos da circunferência a 0,1 m de altura da base da pilha (P1' e P2'), pois o volume de resíduos diminuiu devido à sua degradação e compactação, atingindo altura média de 0,18, 0,19 m no 45º dia.

A partir dos dados de temperaturas obtidos em ambas as leiras, utilizaram-se as temperaturas máximas aferidas como base para representação da atividade biológica e para comparação dos resultados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse item, os resultados obtidos no trabalho foram discutidos e comparados com a literatura consultada. Inicialmente, foram apresentados os resultados na Leira I (100% RU), tendo em vista que foi objeto do presente trabalho. Os resultados desta leira foram comparados com os obtidos por Takeda (2015) nas duas leiras de revolvimento manual, as quais eram constituídas por 88% RU e 12% PC (Leira II) e 70% RU e 30% PC (Leira III).

Em seguida, foram apresentados os resultados da Leira IV, estática (60%RU/ 40%PC – estática), a qual também foi objeto de estudo. Por fim, a partir da comparação das leiras de revolvimento, a leira de melhor desempenho, ou seja, Leira III, a qual apresentou maior atividade biológica, foi comparada à Leira IV. Nesta análise, consideraram-se os dados obtidos nos dois métodos de compostagem, por leira de revolvimento manual e leira estática, ambos com a mesma proporção de poda e capina/resíduos do restaurante.

6.1. Leira de revolvimento manual: Resultados das análises de umidade, pH, relação C/N e temperatura

A análise dos resíduos da Leira I (100% RU) resultou nos dados representados na Tabela 6. A coluna “Início do processo” representa a média dos valores de teor de umidade e pH obtidos pelos resíduo. Neste caso da Leira I, a análise de relação C/N não foi realizada para a amostra representativa.

Tabela 6. Variação dos parâmetros teor de umidade, pH e relação C/N dos resíduos orgânicos do restaurante durante a operação da leira de revolvimento manual composta por 100% de resíduos do restaurante (Leira I).

| Parâmetros | Início do processo | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias |
|---------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| Teor de umidade (%) | 89,09 | 85,26 | 79,91 | 73,96 | 68,49 |
| pH | 5,8 | 5,7 | 7,3 | 5,0 | 5,3 |
| Relação C/N | * | 29,26 | 19,22 | 25,84 | 33,57 |

* as lacunas vazias representam análises que não foram realizadas.

Fonte: Autor.

Considerando-se o “Início do processo”, observa-se que o valor do teor de umidade é superior ao considerado ideal pela literatura, entre 40% e 60% (Kiehl, 2004). O alto teor de umidade dos resíduos se deve à adição de água do processo de higienização dos alimentos na fase de pré-preparo e seu posterior armazenamento em um vasilhame fechado que não permite

a drenagem desta água. A Figura 14 apresenta a drenagem do excesso de água dos resíduos sendo realizada em um dia de coleta antes da disposição na leira.



Figura 16. Excesso de água dos resíduos do Restaurante Universitário de Rio Claro.
Fonte: Autor.

Com base na literatura e no presente trabalho, sabe-se que o excesso de umidade prejudica o processo de degradação da matéria orgânica na compostagem, desacelerando-a e produzindo odores. Com isto, recomenda-se que no caso da implantação de compostagem para este resíduo, seja providenciado um recipiente de armazenamento com sistema que possibilite a drenagem do excesso de umidade dos resíduos gerados, de forma a evitar o excesso de água nas leiras, no momento da disposição dos resíduos. Constituinto uma forma de pré tratamento dos resíduos.

Durante a operação da leira foi possível observar que o teor de umidade dos resíduos diminuiu gradativamente devido à perda de umidade para o ambiente passivamente e ativamente pelos revolvimentos. Contudo, foi um processo lento, apesar dos frequentes revolvimentos e a não adição de água.

Como apresentado na Tabela 6, o pH não apresentou comportamento padrão e satisfatório, como indicado por Inácio e Miller (2009), pois o material permaneceu ácido durante todo o processo de compostagem, exceto no 30º dia, onde se supõe que ocorreu algum erro de coleta ou análise da amostra. Desta forma, nota-se que o pH passou por uma diminuição de 5,7 para 5,0 no período de 25 dias, em seguida, teve uma elevação até 5,3, caracterizando a fase fitotóxica da compostagem, a qual, segundo Kiehl (2004), ocorre no período compreendido entre o 10º e 20º dia do processo de compostagem, onde os vegetais e outros resíduos liberam seu suco celular de natureza ácida. De acordo com Inácio e Miller (2009), isto ocorre porque ácidos orgânicos são formados, mas com a elevação da temperatura, o pH volta a subir e se

manter entre 6 e 7. Contudo, como é possível perceber, essa fase aconteceu posteriormente ao previsto por Kiehl (2004) e de forma mais lenta.

Os fatores como: excesso de umidade, falta de material estruturante para facilitar a aeração passiva da leira nos períodos entre revolvimentos, e a conseqüente compactação dos resíduos durante a produção de ácidos orgânicos da fase fitotóxica, gerou um ambiente com condições inadequadas para ação dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica (LI et. al., 2013; INÁCIO; MILLER, 2009). Estas afirmações podem ser comprovadas pelos valores de relação C/N obtidos para esta Leira I.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros porcentagem de sólidos, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl e relação C/N da Leira I.

Tabela 7. Resultados de carbono orgânico total (TOC), nitrogênio Kjeldahl e relação C/N da Leira I.

| Dias de operação da Leira I | Carbono orgânico total (% p/p) | Nitrogênio total Kjeldahl (mg/kg) | Relação C/N |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 15 dias | 48 | 16405 | 29,26 |
| 30 dias | 44,6 | 23200 | 19,22 |
| 45 dias | 42,9 | 16600 | 25,84 |
| 60 dias | 48 | 14300 | 33,57 |

Fonte: Autor.

Os resultados da concentração de carbono apresentaram baixo decaimento até o 45º dia de operação, quando comparado com valores apresentados pela bibliografia. Normalmente, no início do processo de compostagem (fase termofílica) ocorre elevada transformação de carbono presente no material (orgânico) em dióxido de carbono (CO₂), decorrente do processo aeróbio de respiração. Fato não observado nos resultados da Leira I. Conforme será apresentado a seguir, os dados de temperatura demonstram que a leira não atingiu a fase termofílica, o que corrobora com o baixo decaimento da concentração de carbono. Já o resultado obtido no 60º dia, pode ser decorrente da pequena quantidade de amostra utilizada para análise (aproximadamente 5g) a qual pode não representar de forma adequada o material em compostagem.

Observou-se também uma pequena variação na concentração de nitrogênio, e para a amostra do 30º dia, um aumento da concentração, o qual, assim como no caso do carbono no 60º dia, possivelmente foi decorrente da pequena quantidade utilizada na análise de laboratório (entre 0,1 e 1g.), tendo em vista que no processo não existem bactérias

nitrificantes capazes de fixar nitrogênio do ambiente ao material em compostagem e aumentar a concentração de nitrogênio.

Considerando-se a grande variação de C/N, os valores obtidos demonstram primeiramente que não houve uma degradação de forma a atingir a maturação do composto, como previsto por Yuan, et al. (2012). Por outro lado, a descontinuidade dos valores da relação C/N também pode estar associada à amostra coletada e enviada para análise. A quantidade de amostra triturada e utilizada para a análise é em média 5g para análise de carbono e entre 0,1g a 1g para a análise do nitrogênio, quantidades que podem não ser representativas. Desta forma, podem ter influenciado na variação dos valores obtidos. Além disto, não foram feitas duplicatas, fator que dificulta ainda mais a precisão da análise.

Adicionalmente, apesar da variação, os resultados sinalizam que a compostagem não foi satisfatória. Esta informação pode ser confirmada pelas baixas temperaturas aferidas, que serão discutidas mais a frente.

Considerando-se os valores dos 3 parâmetros no início e durante a operação da leira admite-se que o excesso de umidade e a falta de material estruturante ocasionou a decomposição anaeróbia dos resíduos e conseqüente presença de maus odores. Além disto, como mostra a Figura 15, na 5ª semana, a leira parece não ter estrutura, fator gerado pelo teor de umidade ainda excessivo, causando a aglutinação do material em pequenos blocos e diminuição da resistência estrutural da leira (POINCELOT, 1975; WILLSON et. al., 1976 apud OLIVEIRA, et. al. 2008).



Figura 17. Leira I (revolvimento) durante a 1ª a 5ª semanas de operação. Destaque para 5ª semana, imagem superior, leira revolvida, imagem inferior, manhã seguinte após revolvimento.

Fonte: Autor.

Como ilustrado pela Figura 16, a umidade excessiva, a qual deve estar acima de 60%, prejudica a transferência de oxigênio para degradação da matéria orgânica, reduzindo desta forma a velocidade de degradação, e dificultando o aumento da temperatura. Isto ocorre, pois, com a degradação do material e sua conseqüente redução de granulometria, a porcentagem de microporos, os quais retêm água por capilaridade, aumenta, elevando a capacidade do material de reter água e dificultando a perda de umidade para o ambiente. Adicionalmente, com a progressiva degradação da matéria orgânica, micelas coloidais se formam, elevando desta forma, a capacidade do material de reter água (KIEHL, 2004). A maior frequência de revolvimentos também não sinaliza nenhuma alteração na redução da umidade da leira, assim como na elevação da temperatura, como evidenciado pelo Gráfico 3.

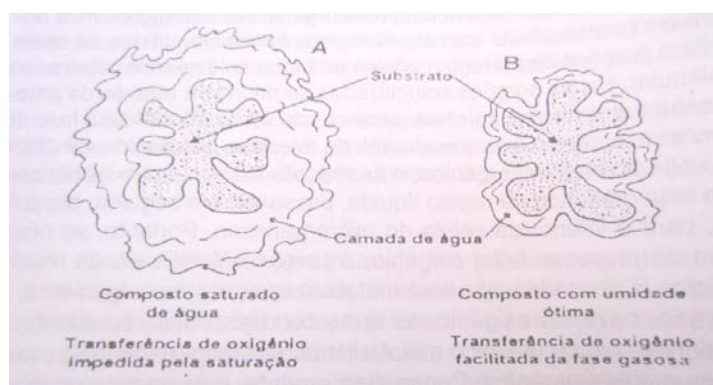


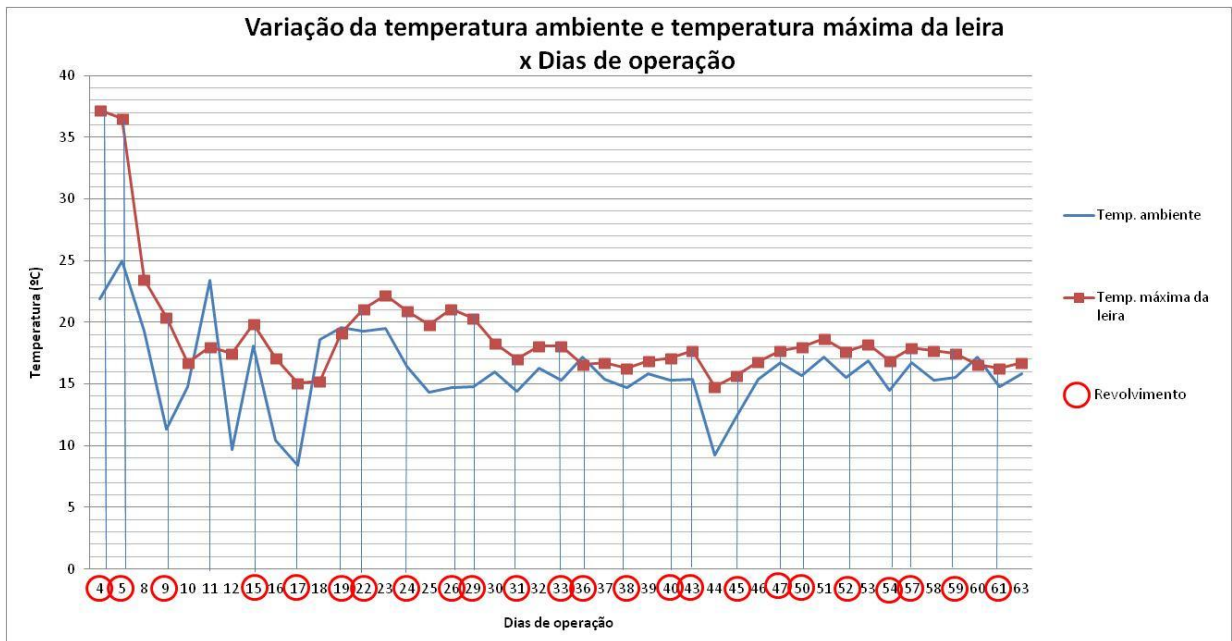
Figura 18. Influência do excesso de água e de umidade ótima do composto no metabolismo digestivo da matéria orgânica.

Fonte: Haug (1980) apud Kiehl (2004, p. 36).

A produção de odor consta como outro fator resultante da fermentação anaeróbica do material da leira, onde ocorre deficiência de oxigênio por excesso de umidade. Em condições de anaerobiose as reações químicas passam de oxidação para redução. (KIEHL, 2004).

Adicionalmente, a leira encharcada, apesar de conter microrganismos suficientes, estes tem uma menor atividade biológica liberando menos calor pelas reações químicas, o qual não é suficiente para aquecer a massa orgânica e o ar contido nos poros, mas não para aquecer a água de um composto encharcado (KIEHL, 2004) tornando este processo anaeróbico mais lento e quando comparado ao aeróbico, possui menor geração de calor devido à baixa atividade biológica. Desta forma, a Leira I não atingiu a fase termofílica, acima de 45°C, e manteve-se a maior parte do período de operação com a temperatura próxima à temperatura ambiente, como ilustrado pelo Gráfico 3.

Gráfico 3. Variação temporal da temperatura ambiente e da temperatura máxima obtida na Leira I (100% RU).



Fonte: Autor.

A temperatura inicial de aproximadamente 37°C deve-se provavelmente à alta porosidade que ainda existia antes do material começar a degradar e se aglutinar com outras partículas e água prejudicando a oxigenação da leira. A adição de resíduos durante o período de coleta acelerou o processo de compactação com conseqüente piora da aeração da leira.

Com o intuito de melhorar a oxigenação e reduzir a porcentagem de umidade na leira, foram feitos revolvimentos, os quais, apesar do aumento da frequência de 2 vezes para 3 vezes por semana, como apresentado no Gráfico 3, não provocou melhor desempenho no processo de compostagem da leira. Desta forma, observa-se que a temperatura manteve-se próxima à temperatura ambiente e a decomposição do material ocorreu parcialmente de forma anaeróbica, demonstrado pelas baixas temperaturas abaixo da faixa ótima prevista pela literatura, o mau odor exalado, assim como pela presença de muitos insetos e larvas durante todo o período de operação da leira.

A principal causa das baixas temperaturas, como apontado por Kiehl (1985) é a aeração deficiente em conjunto com o elevado teor de umidade dos resíduos. Fatores que estão relacionados à falta de macroporos na leira para melhorar sua aeração. Estes macroporos podem ser obtidos por meio da adição de materiais de granulometria mais grosseira e com degradação mais lenta, como resíduos de serviços de poda e capina, os quais também evitem a

compactação do resíduo e conseqüentemente, melhorem sua aeração e diminuam o teor de umidade da leira.

Desta forma, não é possível afirmar que o composto está próximo do fim da fase de bioestabilização ou maturação devido os valores obtidos de relação de C/N, pH e teor de umidade. No caso das baixas temperaturas, características como o formato da leira e sua capacidade de retenção de calor, tem influência significativa sobre a manutenção da temperatura e conseqüentemente na atividade microbiana e a degradação do material (INÁCIO; MILLER, 2009). Provavelmente devido às suas dimensões menores em relação ao determinado pela literatura (1,5x1,5x1,5m) e desta forma, maior exposição ao ambiente, sem camada de isolamento que evitasse uma perda considerável de calor para o ambiente (BRITO, 2008), a Leira I não conseguiu manter o calor produzido pelos microrganismos.

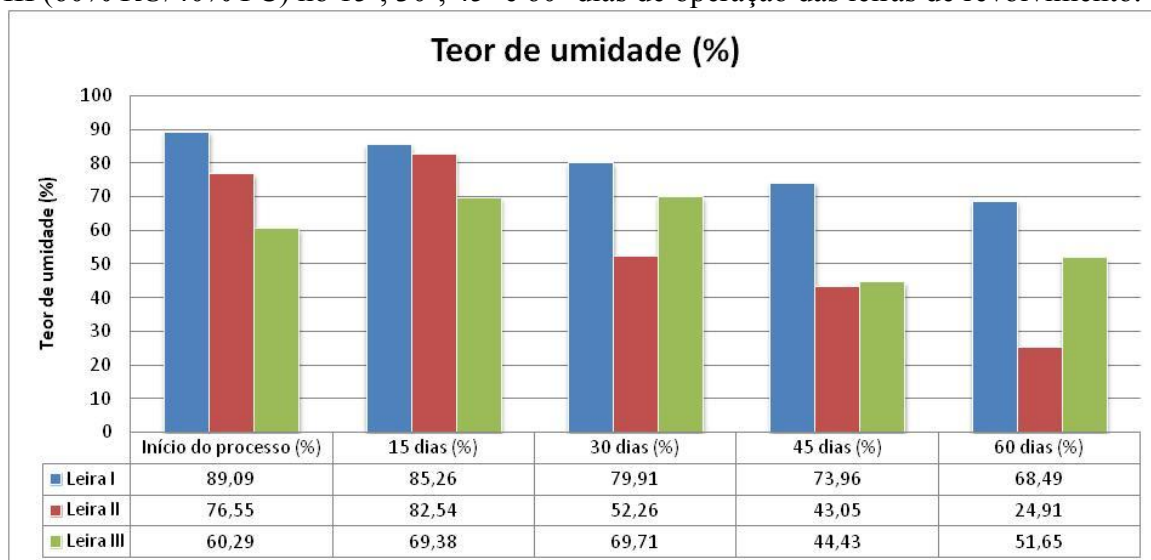
Em suma, é possível afirmar da Leira I, que a montagem da leira de compostagem apenas com resíduos orgânicos provenientes das atividades do pré-preparo de alimentos do RU não foi adequada. Os principais motivos foram o elevado teor de umidade dos resíduos e a falta de material estruturante, que levaram a compactação e a formação de pequenos blocos, dificultando a aeração da leira. Como consequência, a degradação do material ocorreu parcialmente de forma anaeróbia ocasionando a geração de odores desagradáveis, atração de vetores como moscas e lento processo de degradação da matéria orgânica. Nesse sentido, recomenda-se, para este tipo específico de resíduo, a adição de material de maior granulometria para melhorar a porosidade da leira e drenagem da água presente nos resíduos antes de sua disposição na leira.

6.2. Comparação dos parâmetros de teor de umidade, pH e relação C/N entre leiras de revolvimento manual para diferentes proporções de resíduos

Realizou-se uma análise por meio dos parâmetros de teor de umidade, pH, relação C/N e temperatura para determinar qual seria a proporção mais adequada entre resíduos do restaurante e de poda e capina, para uma degradação mais rápida e melhor da matéria orgânica pelo processo de compostagem por leiras de revolvimento manual. Para isto, foram utilizados os resultados de duas leiras, uma composta por 88% RU e 12% PC (Leira II) e outra composta por 70% RU e 30% PC (Leira III), obtidos por Takeda (2015).

No caso do teor de umidade é possível observar no Gráfico 4, a comparação entre as 3 leiras de revolvimento.

Gráfico 4. Comparação dos teores de umidade das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação das leiras de revolvimento.



Fonte: Autor.

No “Início do processo”, observa-se a diferença do teor de umidade entre as leiras, devido à adição de poda e capina na leira. Isto ocorre, pois, a poda e capina possui um teor de umidade relativamente baixo, o qual variou aproximadamente entre 10% a 40% para estas leiras, promovendo um equilíbrio com o elevado teor de umidade dos resíduos do RU. Entre as 3 leiras, a Leira III atingiu o teor de umidade mais próximo do ideal para o início do processo entre 40% e 60% (KIEHL, 2004).

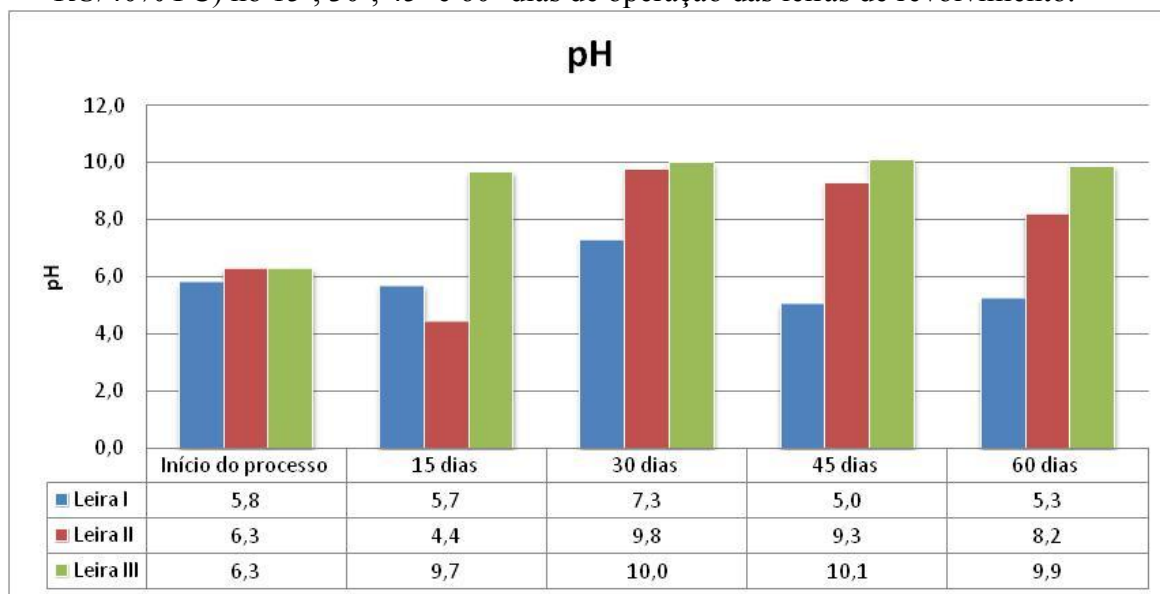
Durante o período de operação das leiras a adição de água foi diferenciada para cada uma delas. Para a Leira I, não foi necessária a adição de água, tendo em vista o seu elevado teor de umidade identificado através das análises de laboratório e pelo teste da “esponja” durante os 60 dias.

Já na Leira II, com a adição de poda e capina, observa-se que o teor de umidade reduz gradativamente, exceto no 15° dia devido a uma precipitação que rompeu a cobertura superior da leira, interferindo desta forma em seu teor de umidade. Ao final do processo, no 60° dia, o teor de umidade atingiu o valor de 24,91%, significativamente abaixo do inicial, mas dentro dos padrões previstos pela Instrução Normativa (n° 25, de 23 de julho de 2009), abaixo de 50%.

No caso da Leira III, o teor de umidade reduziu-se gradativamente como na Leira II, contudo, ao final do processo foi adicionada água para confirmar se a atividade biológica havia diminuído devido à bioestabilização do composto ou pelo baixo teor de umidade. O teste mostrou que a atividade biológica já havia reduzido, pois as temperaturas não se elevaram.

O comportamento do pH em cada leira foi distinto. O Gráfico 5 apresenta a comparação entre as 3 leiras de revolvimento.

Gráfico 5. Comparação do pH das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15º, 30º, 45º e 60º dias de operação das leiras de revolvimento.



Fonte: Autor.

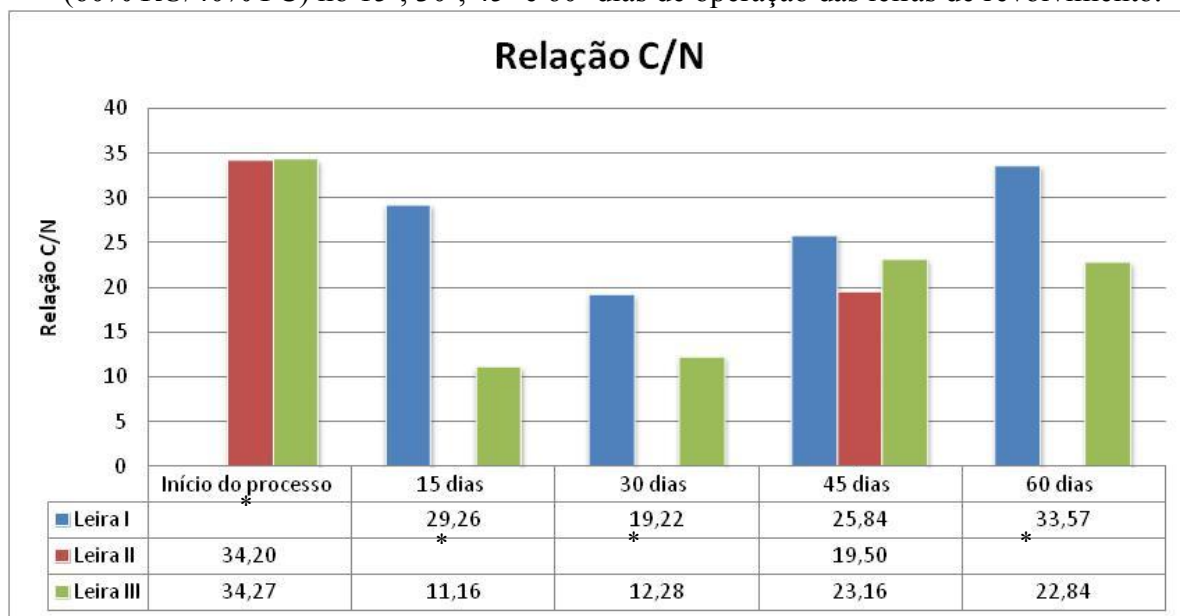
No caso da Leira I, como discutido no item anterior, a leira manteve-se ácida devido às condições inadequadas como elevado teor de umidade aliada à falta de material estruturante para melhorar a aeração da leira. O valor do 30º dia foi distinto, devido provavelmente a uma interferência ou erro na coleta da amostra.

A Leira II, como previsto na literatura, apresentou a fase acidogênica (fitotóxica) e em seguida teve o pH elevado, até atingir 8,2 no 60º dia de operação. A Leira III, provavelmente teve a fase acidogênica anterior aos 15 dias, considerando-se que esta pode ocorrer entre os 10 e 20 primeiros dias de compostagem (KIEHL, 2004). E como apresentado no Gráfico 5 os valores mantiveram-se elevados durante todo o processo, na Leira II e III.

A literatura afirma que com o passar do tempo, o composto tende a permacerer no pH entre 6 e 8, contudo, neste caso o pH da Leira III mantevesse elevado durante grande parte da operação. Isto pode ter ocorrido pela presença de substâncias de efeito tampão como bicarbonatos provenientes da produção do ácido carbônico, os quais, após a elevação do pH, altas temperaturas, produção e volatilização da amônia, não permitiram que o pH fosse reduzido, fixando o íon de hidrogênio livre. Supõe-se também que a poda e capina possa ter evitado perdas de nitrogênio amoniacal para o ambiente apesar das elevadas temperaturas e pH, pois fato semelhante foi observado na Leira II que também continha poda e capina.

Para a comparação da relação C/N entre as 3 leiras de revolvimento manual foi utilizado o Gráfico 6.

Gráfico 6. Comparação da relação C/N das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III (60% RU/40% PC) no 15º, 30º, 45º e 60º dias de operação das leiras de revolvimento.



* as lacunas vazias representam análises que não foram realizadas.

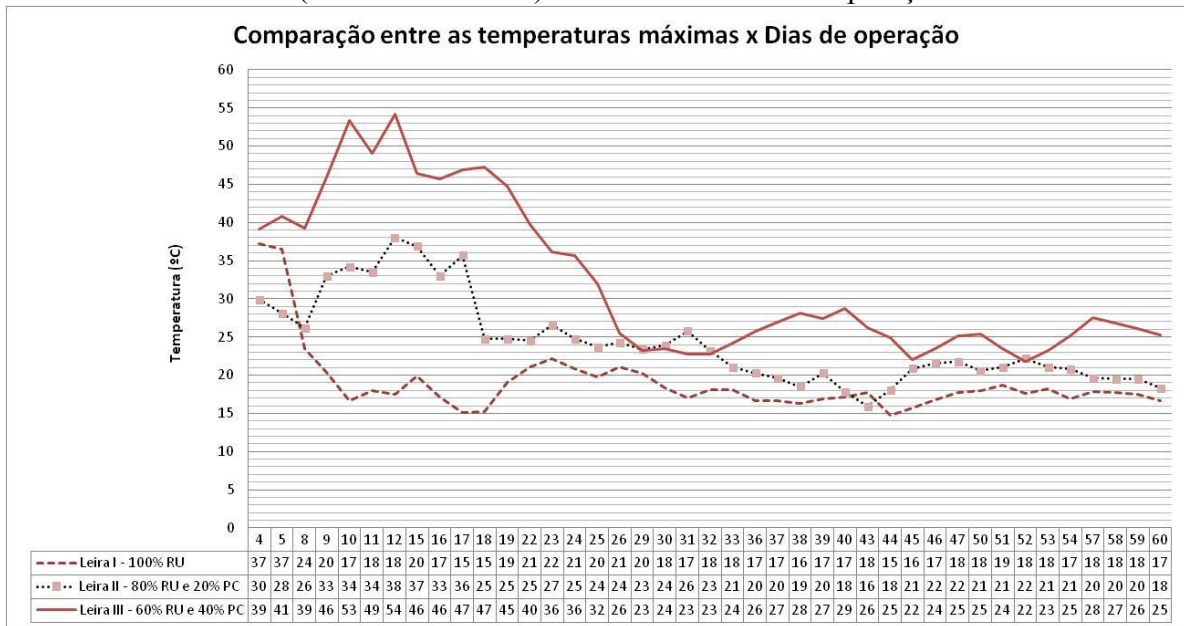
Fonte: Autor.

Na Leira II, observou-se a redução da relação C/N, contudo a ausência dos resultados dos 15º, 30º e 60º dias, os quais não foram coletados, prejudicam uma análise mais detalhada. No início do processo das Leiras II e III, ambas em que ocorreu a adição de poda e capina, o valor da relação C/N foi semelhante.

No caso da Leira III, também houve variação da relação C/N, como apresentado no Gráfico 6. Os valores reduziram no 15º e 30º dias a valores de compostos muito próximos da maturação e no 45º e 60º dias, os valores aumentaram, próximos aos valores de bioestabilização. Apesar da variação, o material apresentou degradação em relação ao “Início do processo”. A variação dos valores pode ser devido à coleta e análise das amostras, assim como discutido no item anterior com os resultados da Leira I. Em geral, o comportamento da Leira I não aponta para uma degradação efetiva como observada na Leira III.

A diferença entre o comportamento da temperatura máxima das Leiras I, II e III é apresentada no Gráfico 7.

Gráfico 7. Variação de temperatura máxima das Leiras I (100% RU), II (88% RU/12% PC) e III(60% RU/40% PC) durante os 60 dias de operação.



Fonte: Autor.

A variação das temperaturas ocorreu devido às diferentes proporções de resíduos, além dos revolvimentos e adição de água nas leiras. A Leira I apresentou os menores valores de temperatura devido à compactação dos resíduos e dificuldade de aeração do material, produzindo uma degradação parcialmente anaeróbia.

No caso da Leira II, as temperaturas foram superiores em relação à Leira I, contudo a leira não atingiu a fase termofílica, considerada por Kiehl (2004) acima de 45°C. As temperaturas não atingiram valor tão elevado devido, possivelmente, ao tamanho reduzido da leira, a qual não conseguiu reter o calor produzido pelos microrganismos (BRITO, 2008).

A Leira III apresentou o melhor desempenho em relação às outras leiras, tendo como modelo a Figura. 4. Nela atingiu-se a fase termofílica, onde os maiores valores de temperatura foram próximos aos 55°C. Considerou-se que este comportamento se deve primeiramente, à proporção de 60% de resíduos do restaurante e 40% de resíduos de poda e capina, assim como ao melhor controle de teor de umidade, mantendo-o em torno do ideal de 40% e 60% durante a operação da leira (KIEHL, 2004).

Apesar das variações de temperatura entre as leiras, nota-se que a partir do 22º dia a temperatura das Leiras I, II e III começa a diminuir, aproximando-se da temperatura ambiente, e sinalizando a diminuição de atividade biológica. Supõe-se então que a duração da atividade biológica nas leiras independe das temperaturas atingidas anteriormente.

Desta forma, é possível considerar que a Leira III apresentou o melhor desempenho com relação à atividade biológica e conseqüentemente degradação do material, em comparação com as outras leiras. Essa afirmação se baseia nos elevados valores de temperatura que a leira atingiu, com as fases mesofílicas e termofílica bem definidas e nos valores de pH, teor de umidade e relação C/N satisfatórios quando comparados à bibliografia.

6.3. Leira estática: Resultados das análises de umidade, pH, relação C/N e temperatura

A análise dos resíduos da Leira IV (estática – 60% RU/ 40% PC) resultou nos dados apresentados na Tabela 8. A coluna “Início do processo” mostra os valores da amostra representativa obtida durante o período de coleta dos resíduos.

Tabela 8. Variação dos parâmetros teor de umidade e pH dos resíduos orgânicos durante a operação da leira estática composta por 60% de resíduos do restaurante e 40% de resíduos de poda e capina (Leira IV).

| Parâmetros | Início do processo | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias |
|---------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| Teor de umidade (%) | 65,34 | 81,14 | 81,00 | 78,95 | 77,38 |
| pH | 6,74 | 6,5 | 9,1 | 9,2 | 9,3 |
| Relação C/N | 45,65 | 26,10 | 19,24 | 27,81 | 25,53 |

Fonte: Autor.

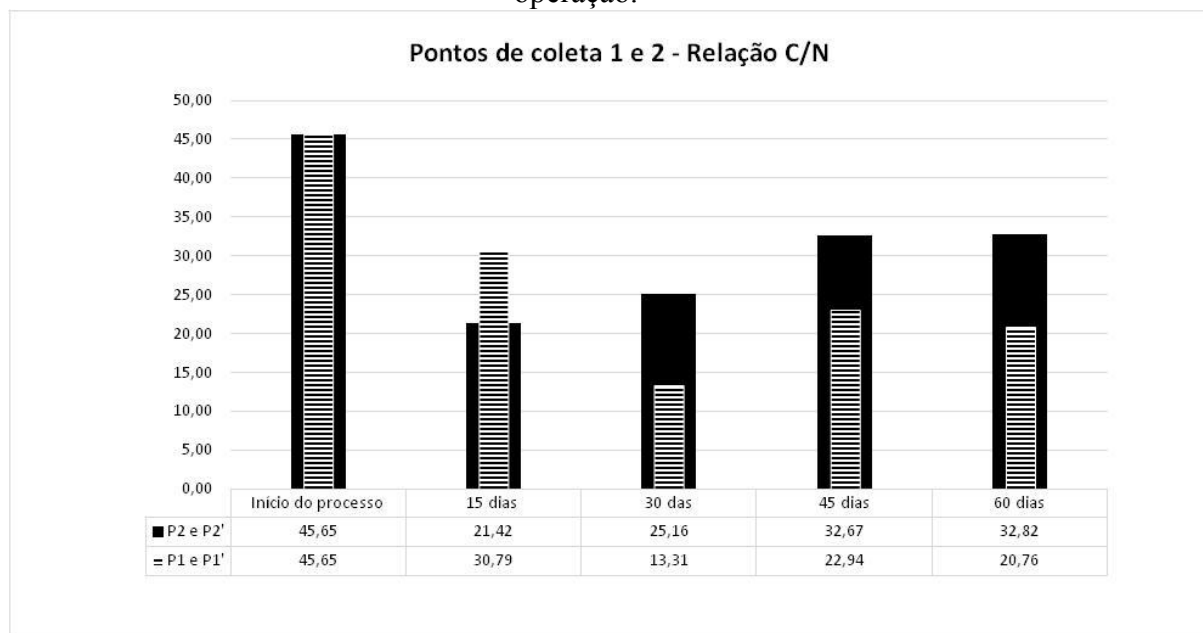
Considerando-se o “Início do processo”, observa-se que o valor do teor de umidade é superior ao considerado ideal pela literatura, como discutido no item 4.1. Contudo, ao final dos 60 dias, a leira não apresentou uma redução significativa dos valores, pois o período de coleta e operação foi chuvoso, caracterizado por fortes pancadas de chuvas e ventos. Desta forma, a lona de cobertura, a qual tinha por finalidade reduzir o efeito das precipitações sobre o teor de umidade da leira, cedeu em certos momentos, causando esta interferência e conseqüente elevado teor de umidade ao final do período analisado. Esta interferência não permitiu que o valor estivesse de acordo com a I.N. ao final dos 60 dias e pode ter, de certa forma, prejudicado de forma não perceptível, a degradação da matéria orgânica pelos microorganismos.

Os valores do pH aumentaram gradativamente durante os 60 dias, e assim como a Leira III, provavelmente a Leira IV, teve a fase acidogênica anterior ao 15º dia de operação. O pH alcalino indicou a presença de nitrogênio amoniacal no material o qual manteve-se na leira,

como indicado pelos resultados da relação C/N, dificultando assim, a redução do pH até o 60º dia de operação para valores entre 6 e 8, como recomendado pela bibliografia.

No caso da análise da relação C/N, a variação foi diferente do esperado e previsto na literatura. A Gráfico 8 apresenta a variação entre os pontos de coleta P1 e P1'; P2 e P2' da Leira IV.

Gráfico 8. Variação da relação C/N da Leira IV nos pontos de coleta durante o período de operação.



Fonte: Autor.

Assim como na Leira I, ocorreu variação dos valores, principalmente de P2 e P2'. Apenas o P1 e P1', atingiu uma relação próxima à maturação nos 30º dia de operação, momento em que as temperaturas apresentaram os valores mais elevados, indicando maior atividade biológica de degradação dos resíduos. No caso de P2 e P2', a relação C/N não atingiu valores tão baixos, contudo, comparando-se ao “Início do processo”, pode-se afirmar que a relação C/N reduziu-se, indicando degradação do material.

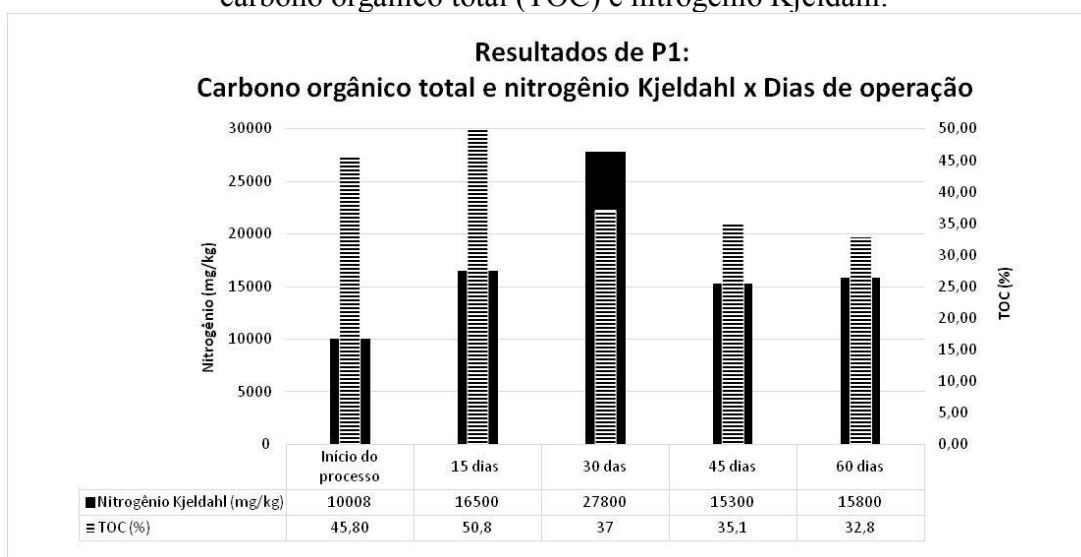
Como ilustrado na Figura 12, os pontos de coleta foram alterados, fator que pode ter contribuído para a descontinuidade dos valores de relação C/N. O fato da disposição de resíduos ter sido realizada apenas pela parte superior da leira pode ter ocasionado o direcionamento da coleta apenas para os resíduos mais recentes. E os resíduos em processo mais avançado de degradação, que passaram por um período mais longo de compostagem, se concentraram na parte inferior do ponto de coleta.

Importante também destacar que a coleta de resíduos para disposição ocorreu durante o período de 30 dias. Este fato reforça a hipótese de que a amostra de resíduo coletado a altura de 0,1 m de altura da base da pilha de resíduos nos 45° e 60° dias (P1' e P2') referem-se a um resíduo com pouco tempo de decomposição. Para os resíduos coletados a altura de 0,2 m de altura da base da pilha de resíduos, 15° e 30° dias (P1 e P2), a degradação foi rápida e eficaz, como demonstrado no valor de 13,31, atingido no 30° dia. Esta rápida degradação ocorreu possivelmente, devido à constante adição de resíduos na leira e a criação de uma camada isoladora com os resíduos adicionados, favorecendo, desta forma, a retenção de calor na leira e consequentemente beneficiando os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Com o rebaixamento da altura da leira devido à degradação do material inicial e sua compactação, as amostras passaram a ser coletadas a 0,1 m de altura da base da pilha. Para estas amostras, ou seja, 45° e 60° dias, a degradação foi mais lenta, tendo em vista que não havia uma camada isoladora suficiente para reter o calor produzido pelos microrganismos. Fato que poderia explicar os valores mais elevados de relação C/N obtidos nas análises dos 45° e 60° dias para ambos os pontos de coleta.

Foi realizada uma análise dos dados que compõem a relação C/N nos pontos de coleta P1 e P2 para analisar se a degradação da matéria orgânica ocorreu de forma homogênea na leira, nas alturas já mencionadas. A Gráfico 9 apresenta os resultados de carbono orgânico total e nitrogênio Kjeldahl obtidos no ponto de P1 de coleta.

Gráfico 9. Resultados do ponto de coleta de amostra P1 da Leira IV para os parâmetros carbono orgânico total (TOC) e nitrogênio Kjeldahl.

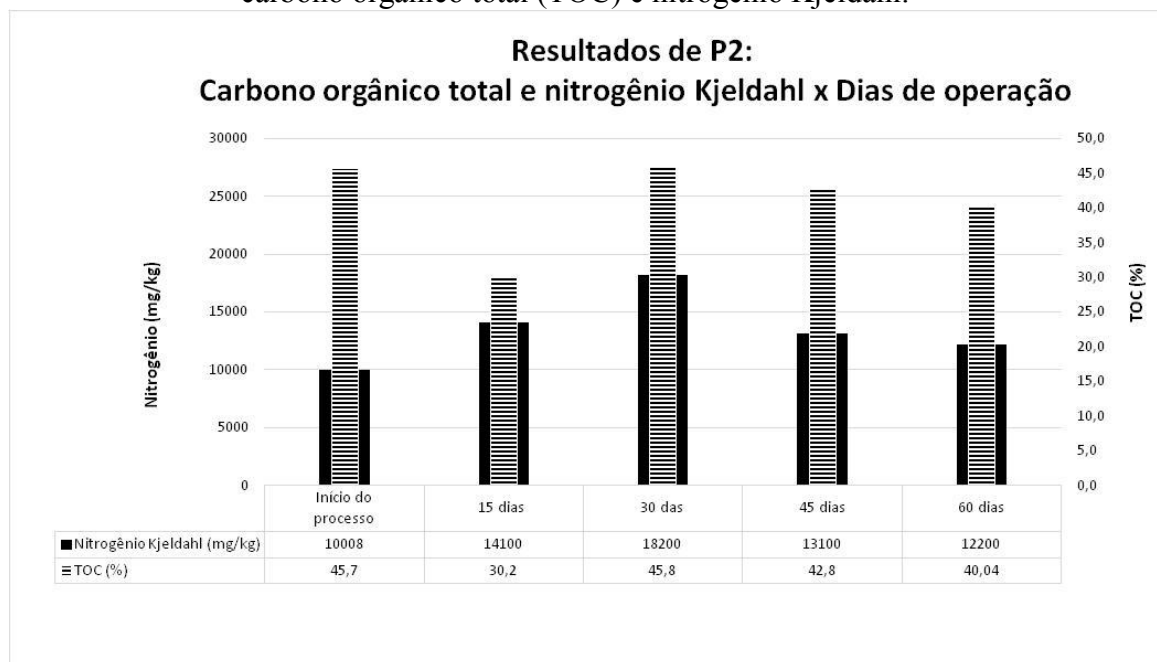


Fonte: Autor.

Nos pontos de P1, é possível observar o consumo de carbono ao longo do processo, indicando a degradação da matéria orgânica e a liberação do dióxido de carbono (CO₂) para o ambiente. Isto ocorre, exceto no resultado do 15º dia, em que, assim como ocorreu na variação das análises anteriores, a pequena quantidade de amostra analisada pode ter sido não representativa do material em geral, devido à heterogeneidade dos resíduos.

Com relação ao nitrogênio, este se manteve relativamente constante, exceto pelo valor do 30º dia. A concentração constante do nitrogênio indica que a amônia presente no material não se volatilizou, ou seja, não houve perda de nutrientes do composto. A não volatilização da amônia, também pode ter contribuído para que o pH do material se mantivesse elevado. O Gráfico 10 expõe os resultados do ponto P2 para comparação.

Gráfico 10. Resultados dos pontos de coleta de amostra P2 da Leira IV para os parâmetros carbono orgânico total (TOC) e nitrogênio Kjeldahl.



Fonte: Autor.

Nos pontos P2, segundo os resultados obtidos para carbono orgânico total, não ocorreu a transformação significativa de carbono pela respiração dos microrganismos. Com relação ao nitrogênio, assim como os pontos P1, este se manteve relativamente constante, exceto pelo valor do 30º dia, indicando que a amônia presente no material não volatilizou.

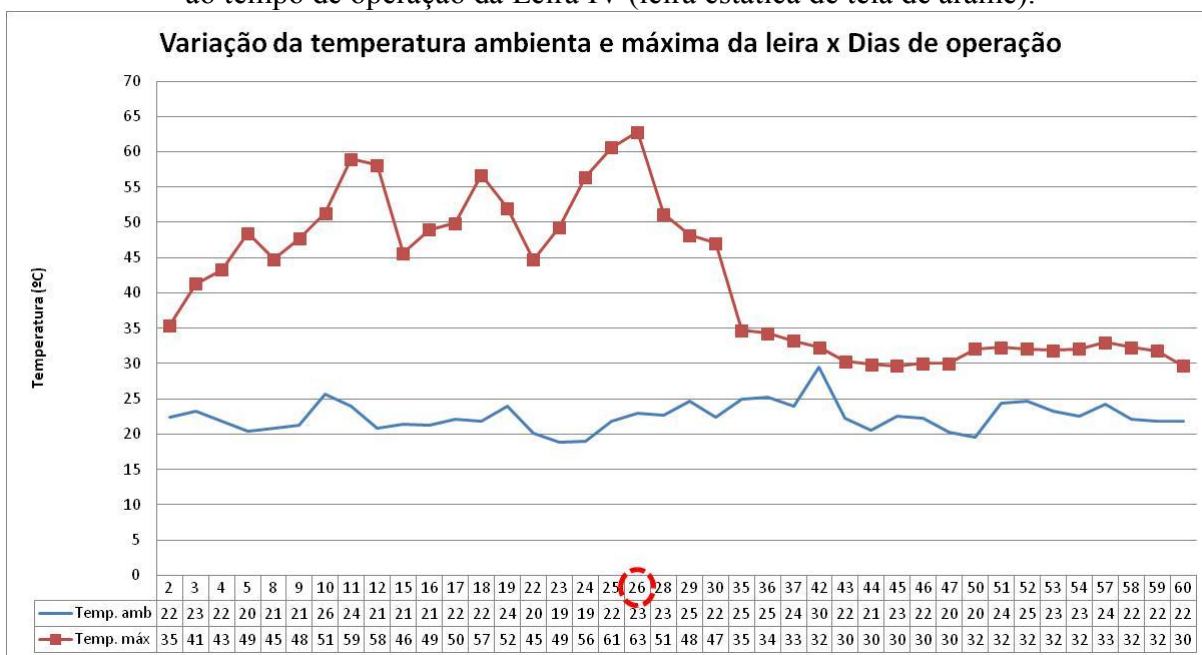
Como citado anteriormente, ambos os P1 e P2 apresentaram valores no 30º dias, não condizentes com o esperado, tendo em vista que não existem bactérias nitrificantes nos resíduos de forma a aumentar a concentração de nitrogênio na leira. Desta forma, supõe-se

que estes valores foram devido à pequena quantidade de amostra analisada (entre 0,1g e 1g), a qual pode não ser representativa de toda a leira.

A partir desta análise de carbono e nitrogênio da coleta dos dois pontos, observa-se que nos pontos P1, a atividade biológica parece ter sido mais efetiva, consumindo o carbono, em relação aos pontos P2. Contudo, pela análise dos dados de temperatura apresentados a seguir, a temperatura entre esses pontos não variou. Desta forma, supõe-se que a homogeneidade da temperatura é decorrente da intensa troca de calor por convecção no material, a qual contribui para a uniformidade dos valores de temperatura, diferente da atividade biológica na qual é mais difícil obter uniformidade. Isto significa que a decomposição do material na leira pode acontecer com diferentes taxas de degradação em diferentes pontos.

Apesar da variação da decomposição em diferentes pontos da leira, as elevadas temperaturas apontam para uma efetiva atividade biológica e consequente degradação da matéria orgânica. Abaixo são apresentados os resultados de temperatura aferidos na Leira IV.

Gráfico 11. Variação de temperatura ambiente e da temperatura máxima da leira em relação ao tempo de operação da Leira IV (leira estática de tela de arame).

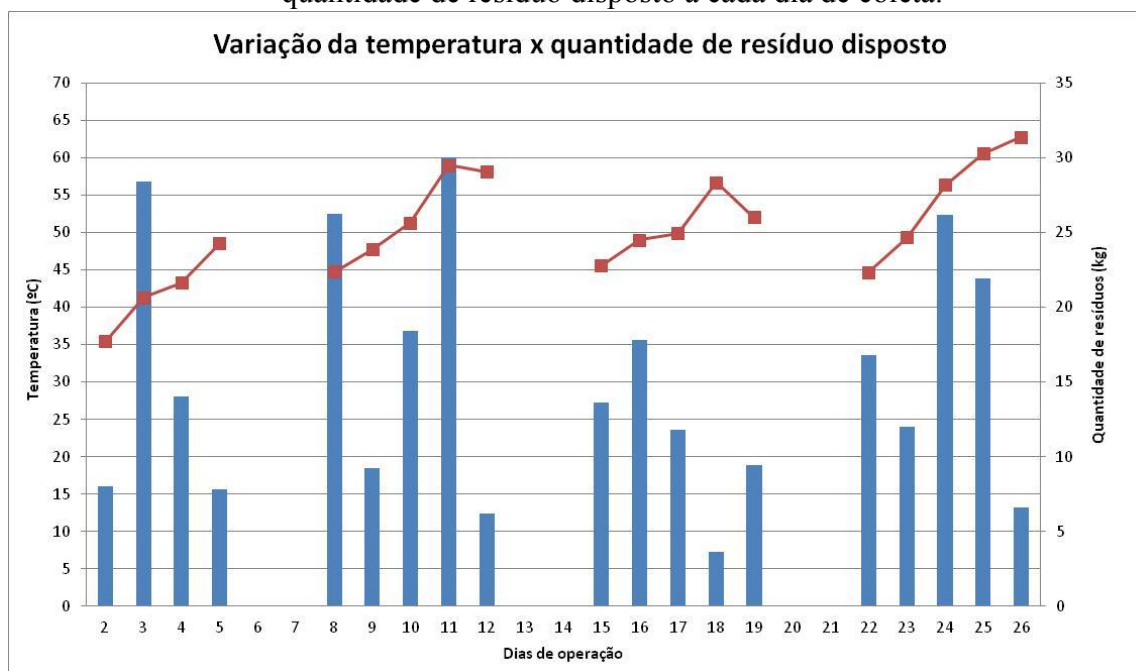


Fonte: Autor.

No Gráfico11 é possível observar primeiramente as elevadas temperaturas aferidas na leira, a qual conseguiu atingir a fase termofílica. O 26º dia de operação destacado indica o fim da disposição de resíduos na leira, assim como a temperatura mais alta atingida, 62,8°C. Pode-se afirmar, desta forma, que a leira conseguiu reter o calor produzido nas reações aeróbicas dos microrganismos.

No período de coleta e disposição dos resíduos houve uma variação na temperatura, a qual, com o fim da coleta, se normatizou. Pelo Gráfico 12, nota-se a influência da disposição de resíduos diária na variação da temperatura.

Gráfico 12. Variação da temperatura máxima da Leira IV (leira estática) em relação à quantidade de resíduo disposto a cada dia de coleta.



Fonte: Autor.

É possível observar que ocorre uma padronização no comportamento da temperatura durante o período de coleta. No início da semana a temperatura foi sempre inferior aos últimos dias da semana. Isto ocorre, pois com a disposição dos resíduos novos sobre o resíduo antigo, cria-se uma camada isoladora que permite que o calor seja retido. Tendo em vista, o aumento da temperatura com a disposição de resíduos e a ausência de revolvimentos, pode-se afirmar que o aumento da temperatura não está associado ao revolvimento, assim como apresentado também no Gráfico 3, em que as temperaturas não aumentaram após o revolvimento da massa de resíduos. As temperaturas elevadas estão relacionadas à aeração eficiente, que neste caso, foi proporcionada pelo material estruturante (PC) e à estrutura em que o resíduo foi disposto.

Variação do volume da leira

A princípio, na elaboração do projeto, imaginou-se que o acúmulo de resíduos na leira faria com que esta atingisse a altura média de 1 m a partir da estrutura de bambu (base da pilha), ou seja, um volume próximo aos 0,96 m³. Contudo, a compactação e degradação do material

ocorreram de forma que o volume do resíduo não permitiu que a altura da leira ultrapassasse os 0,4 m de altura. E ao final do processo, aos 60 dias de operação, a altura foi em torno de 0,15 m de altura a partir da base da pilha.

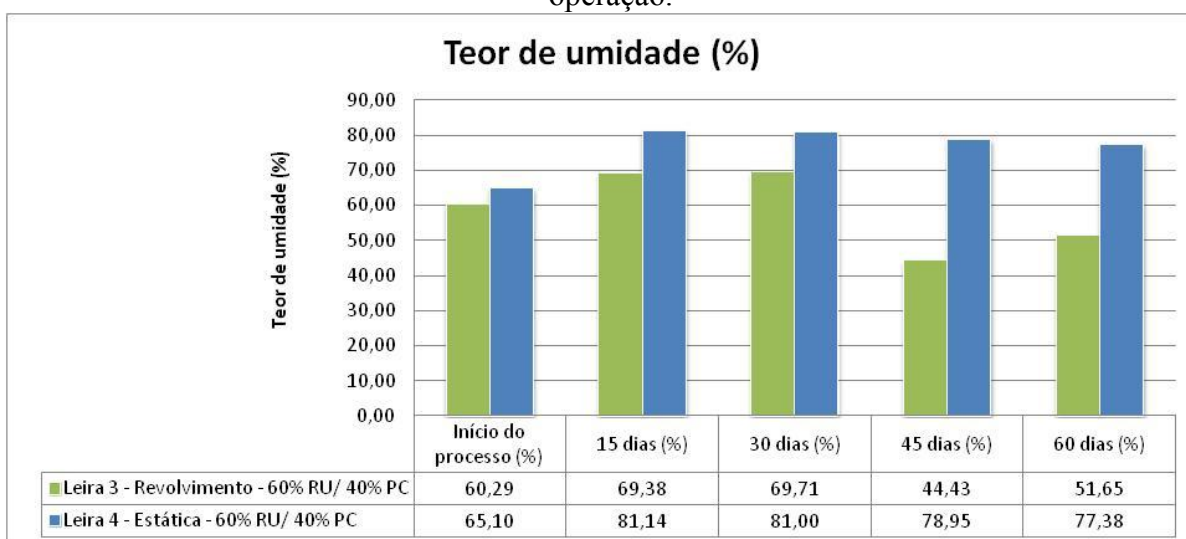
Com base na quantidade de resíduos coletados na leira estática, supõe-se que, no caso de implantação de uma central de compostagem na universidade utilizando este tipo de sistema, a disposição dos resíduos pode ocorrer em média de 2 a 3 meses na leira. Pois, como apresentado mais a frente, serão necessários mais de 60 dias de operação da leira para que esta atinja os padrões previstos na legislação. Desta forma, poderiam ser montadas 2 leiras estáticas na universidade e quando fosse finalizada a disposição de resíduos em uma delas, a outra já apresentaria o composto maturado.

6.4. Comparação entre leira de revolvimento manual e leira estática

Neste item foram comparados os resultados obtidos com a leira que apresentou melhor degradação da matéria orgânica e maiores temperaturas dentre as leiras de revolvimento (Leira III), com a leira estática. Ambas foram montadas com a mesma proporção de resíduos, 60% de resíduos de RU e 40% de resíduos de PC.

O Gráfico 13 apresenta a comparação dos resultados obtidos nas leiras para o teor de umidade.

Gráfico 13. Comparação dos teores de umidade das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação.



Fonte: Autor e Takeda (2015).

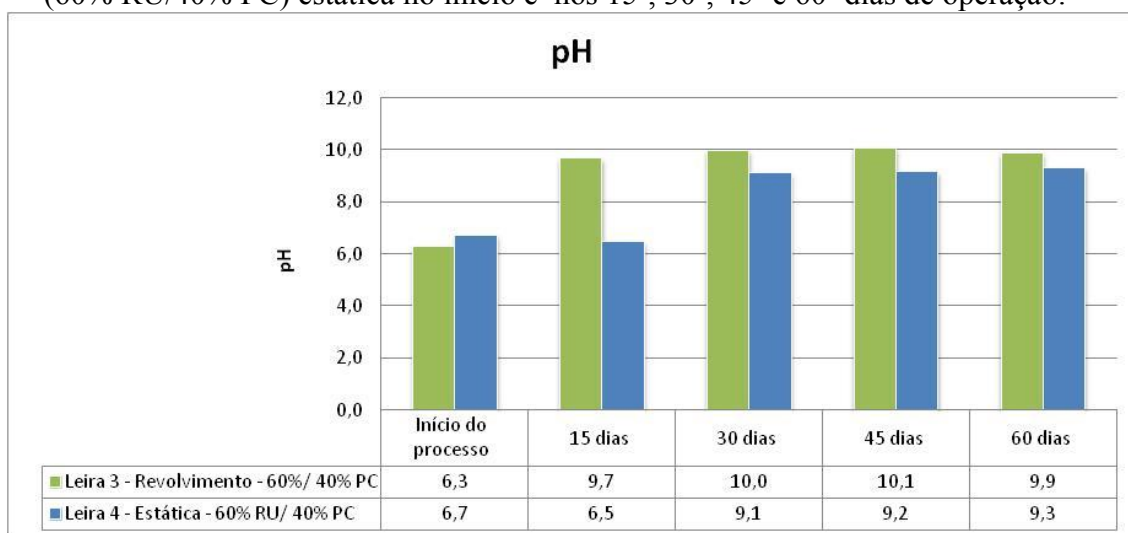
No início do processo, os teores de umidade foram relativamente próximos, a Leira IV apresentou um valor um pouco mais elevado, pois a poda e capina foi coletada após um dia de

chuva e encontrava-se em local aberto. Por esta razão o seu teor de umidade foi mais elevado. Durante a operação, a Leira III, assim como a Leira IV tiveram um aumento no teor devido às chuvas. Na Leira IV a interferência foi maior, pois a cobertura superior cedeu, de forma que umidificou significativamente a leira. Contudo, ela foi capaz de atingir valores de teor de umidade próximos a 58%, como apresentado no Apêndice B.

Apesar das interferências, pode se perceber que a redução no teor de umidade de ambas as leiras foi gradual. Na Leira III houve adição de água para observar se a atividade biológica havia diminuído devido à maturação do composto ou devido à falta de água para os microrganismos realizarem as reações. Enquanto que na Leira IV, não foi necessária a adição de água.

O Gráfico 14 apresenta os resultados de pH para as Leiras III e IV.

Gráfico 14. Comparação do pH das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação.



Fonte: Autor e Takeda (2015).

No início do processo, ambas apresentaram resultados similares, em torno de 6,5. No caso da Leira III, o pH já estava elevado no 15° dia e permaneceu até o fim dos dias de operação. Na Leira IV, assim como na Leira III, a fase fitotóxica provavelmente ocorreu entre o início do processo e o 15° dia.

Como o pH das leiras manteve-se acima de 9,0, com as altas da temperatura, ocorreu a transformação parcial do amônio em amônia (VON SPERLING, 2005). Contudo, como apresentado nos Gráficos 9 e 10, no caso da Leira IV, a concentração de nitrogênio manteve-se relativamente constante, indicando desta forma, que não ocorreu a volatilização da amônia e esta permaneceu na leira. Como citado na literatura, a presença de material estruturante,

como poda e capina, dificulta a perda do nitrogênio por volatilização para o ambiente. Fator que possivelmente influenciou nos elevados valores de pH da leira.

Fato semelhante pode ter ocorrido na Leira III. Embora, os revolvimentos potencializam a volatilização da amônia. Desta forma, supõe-se também que na Leira III, parte da amônia foi volatilizada, deixando íons de hidrogênio livres nos resíduos. Apesar disso, o pH não se reduziu, isto indica a possibilidade de haver substâncias tampões atuando na manutenção do elevado pH das leiras.

Com intuito de comparar a relação C/N entre as leiras foi feita a média dos valores de relação C/N dos pontos P1, P1', P2 e P2' da Leira IV, como apresentado na Tabela 9 a seguir.

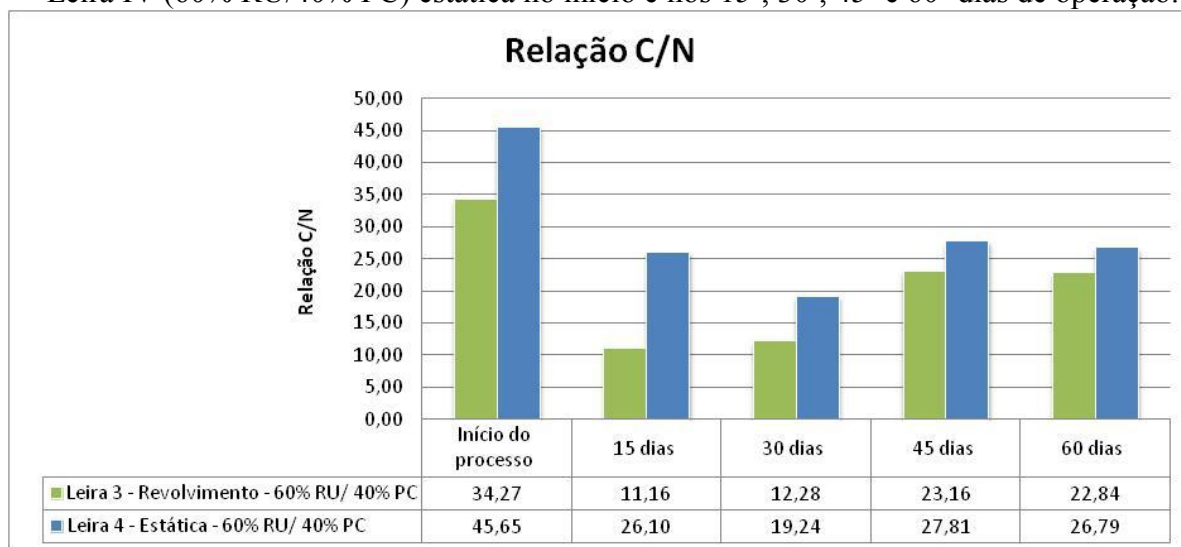
Tabela 9. Média dos valores de relação C/N obtidos nos pontos P1 e P1', P2 e P2' da Leira IV.

| Pontos de coleta | Início do processo | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias |
|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| P1 e P1' | 45,65 | 30,79 | 13,31 | 22,94 | 20,76 |
| P2 e P2' | 45,65 | 21,42 | 25,16 | 32,67 | 32,82 |
| Média | 45,65 | 26,10 | 19,24 | 27,81 | 26,79 |

Fonte: Autor.

O Gráfico 15 apresenta a variação dos resultados da relação C/N das Leiras III e IV.

Gráfico 15. Comparação da relação C/N das Leiras III (60% RU/40% PC) de revolvimento e Leira IV (60% RU/40% PC) estática no início e nos 15°, 30°, 45° e 60° dias de operação.



Fonte: Autor e Takeda (2015).

Os valores da relação C/N variaram, mas foram inferiores ao “Início do processo”, demonstrando que houve degradação dos resíduos. A Leira III apresentou os menores valores

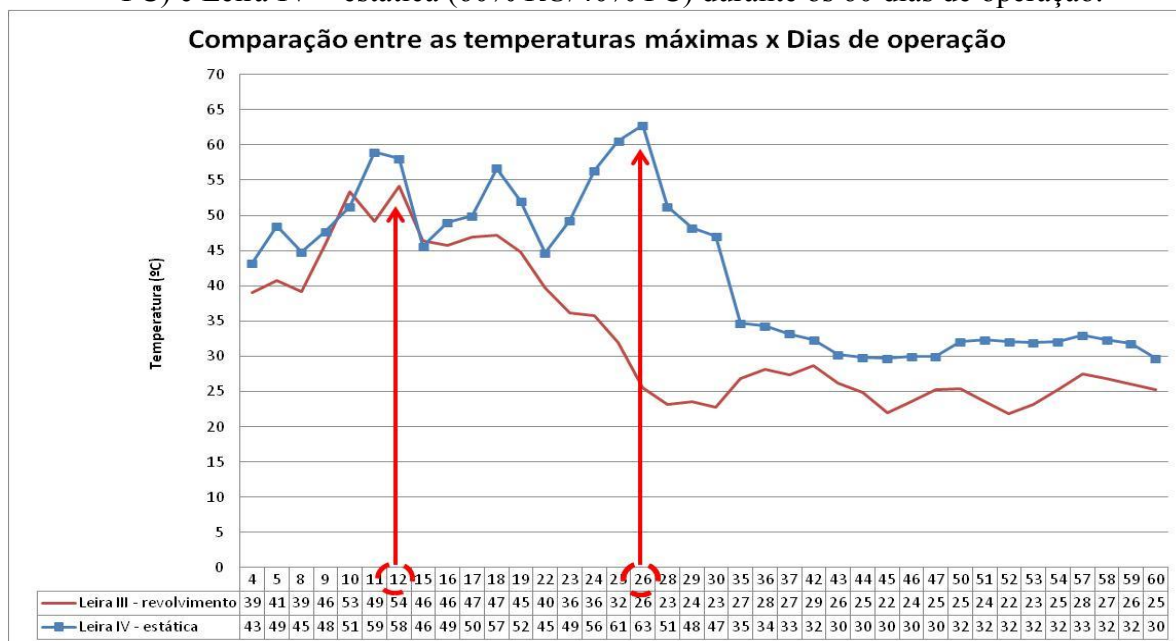
no 15° e 30° dias próximos da maturação, e valores maiores no 45° e 60° dias, próximos da bioestabilização. A variação pode ter ocorrido no momento coleta.

No caso da Leira IV, os valores variaram durante toda a operação, provavelmente devido ao ponto de coleta e o tempo do resíduo na leira, como discutido no item anterior (4.3).

Comparando-se os resultados de relação C/N, a Leira III apresentou valores mais baixos que a Leira IV, contudo, o valor inicial da relação C/N da Leira IV foi maior, de forma que, a taxa de degradação da Leira IV foi similar quando comparado os resultados da Leira III com a média da Leira IV. Por esta razão, não é possível definir qual leira apresentou melhor degradação do material, ou seja, teve maior atividade biológica.

O Gráfico 16 abaixo, apresenta a comparação entre as temperaturas máximas aferidas durante o período de análise das Leiras III e IV.

Gráfico 16. Variação de temperatura máxima das Leiras III - revolvimento (60% RU/40% PC) e Leira IV – estática (60% RU/40% PC) durante os 60 dias de operação.



Fonte: Autor e Takeda (2015).

É possível notar que a maior temperatura aferida em ambas as leiras ocorreu no último dia de coleta e disposição de resíduos, 12° dia para a Leira III e 26° dia para Leira IV, conforme destacado no Gráfico 16. Além disto, ambas diminuíram as temperaturas após o fim da disposição de resíduos.

Tendo em vista que a coleta da Leira III durou 10 dias e a Leira IV durou 20 dias, supõe-se que a quantidade de resíduo disposta nas leiras influenciou a temperatura máxima atingida.

Nota-se que no Gráfico 16, ambas as leiras atingem o valor máximo de temperatura com o fim da coleta, desta forma, é possível que a Leira III atingisse valores de temperatura tão elevados quanto a Leira IV, se a mesma quantidade de resíduos fosse coletada.

Desta forma, as maiores temperaturas aferidas na Leira IV ocorreram devido a fatores como a maior quantidade de resíduo em relação à Leira III, a qual criou uma camada isolante com capacidade térmica para retenção de calor, além da ausência dos revolvimentos, evitando assim a dissipação do calor no interior da leira e contribuindo para aumentar as temperaturas.

Considerando-se os resultados obtidos, em que as 2 leiras tiveram a capacidade de atingir a fase termofílica da compostagem, pode-se concluir que a proporção 60% RU/ 40% PC é eficaz neste dois processo de compostagem. Contudo, em função da heterogeneidade dos resíduos e reduzida quantidade de análises, houve a dificuldade da padronização das condições de controle do experimento, principalmente nos parâmetros Nitrogênio Kjeldahl e relação C/N. Nesse sentido não é possível afirmar apenas pelas maiores temperaturas obtidas na Leira IV que houve uma maior atividade biológica em relação a Leira III.

Em seguida, compararam-se na Tabela 10 os parâmetros finais obtidos em cada leira, no 60º dia de operação, com a Instrução Normativa (Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009) que dá as condições para venda dos compostos orgânicos no Brasil.

Tabela 10. Comparação entre Instrução Normativa para comercialização de composto e resultados finais das Leiras III e IV.

| | IN | Leira III | Leira IV |
|---------------------|----------------|-----------|----------|
| Teor de umidade (%) | Máximo de 50% | 51,65 | 77,38 |
| pH | Mínimo de 6,5 | 9,9 | 9,3 |
| Relação C/N | Máximo de 20/1 | 22,84 | 25,53 |

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa Nº 25, 23/07/09, Anexo III.

As Leiras III e IV não estão em conformidade com a Instrução Normativa com relação ao teor de umidade e relação C/N para o caso de comercialização do material. Contudo, ambas obtiveram resultados que se aproximaram dos valores aprovados pela legislação. Neste caso, a operação das leiras por mais alguns dias poderia ser suficiente para que o composto atingisse os valores apresentados na IN.

No caso da Leira IV, o teor de umidade ainda encontrava-se elevado ao fim dos 60 dias devido às chuvas que romperam a cobertura superior da leira e interferiram neste parâmetro.

Contudo, a Leira IV atingiu valores de aproximadamente 58%, como pode ser observado no Apêndice B. Destaca assim, a importância do controle de umidade nas leiras por meio de uma estrutura de cobertura que evite a interferência no teor de umidade da leira, independente das condições climáticas de precipitação.

Analisando todos os resultados obtidos com as Leiras III e IV, pode-se afirmar que ambas tem o potencial de degradar a matéria orgânica por meio de reações aeróbicas, para a proporção 60% RU e 40% PC, produzindo um composto maturado em um período de tempo superior a 60 dias. Contudo, destaca-se a vantagem da facilidade de operação da leira estática (Leira IV), em relação à leira de revolvimento.

6.5. Custo benefício da compostagem

Considerando-se o custo médio de R\$76,81/ton de resíduos urbanos enviados para aterro sanitário no município de Rio Claro, a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos do RU deixaria de enviar em média 314kg de resíduos por mês para aterro sanitário, no caso da sua reutilização ou tratamento. Desta forma a partir de um investimento inicial de aproximadamente R\$160, como detalhado na Tabela 11 abaixo, em média a cada 3 meses o valor R\$76,81 referente a coleta deste resíduo seria poupado pelo município e o composto poderia ser utilizado em jardins e hortas da universidade, por exemplo, evitando gastos com adubos.

Tabela 11. Valor aproximado dos produtos necessários para montagem de leira estática.

| Produto | Dimensões | Valor unitário | Valor Total |
|--|------------------|-----------------------|--------------------|
| Tela de arame soldada malha 5cmx10cm | 1,5mx3m | R\$25/m | R\$ 75 |
| Arame galvanizado nº18 | 90m | R\$ 20 | R\$ 20 |
| Tela de mosqueteiro | 1,2mx4m | R\$7/m | R\$ 28 |
| Lona para impermeabilização | 2,5mx2,5m | - | R\$ 37 |

Fonte: Autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto apresenta possibilidade de implantação na UNESP de Rio Claro, por meio do Plano de Gerenciamento de Resíduos, em fase de elaboração. Desta forma, são apresentadas sugestões para sua implantação:

- Montagem da estrutura próximo ao Restaurante, possivelmente na parte posterior, para facilitar ainda mais a operacionalidade do sistema.
- Recomenda-se a montagem de 2 leiras estáticas, e que a disposição de resíduos em cada uma ocorra durante um período médio de 2 a 3 meses.
- Providenciar/adequar o atual recipiente (lixeira de inox) utilizado para armazenar os resíduos orgânicos, de forma que possibilite a drenagem do excesso de água presente nos resíduos do Restaurante.
- Utilizar a proporção de 60% de resíduos do RU e 40% de resíduos de PC, sugere-se adotar valores de umidade dos resíduos, preferencialmente obtidos em laboratório, na seguinte equação.

$$P_{up} = \frac{(1 - U_r) * P_{ur} * 0,4}{0,6 * (1 - U_p)}$$

Onde, P_{up} : Peso úmido dos resíduos de poda e capina; U_p : teor de umidade de poda e capina; P_{ur} : Peso úmido dos resíduos do Restaurante; e U_r : teor de umidade dos resíduos do Restaurante.

- Os resíduos do Restaurante devem ser triturados com ferramenta de corte ou equipamento próprio, de forma atingir entre 25mm e 75mm.
- Em seguida, devem ser homogeneizados manualmente com os resíduos de poda e capina, previamente à disposição na leira estática.
- Por fim, os resíduos são dispostos na leira estática.
- Recomenda-se que a massa de resíduos permaneça em média 90 dias na leira, de forma a atingir os valores definidos na I.N. vigente.

8. CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- A compostagem dos resíduos da Leira I (100% RU) não foi satisfatória, devido à elevada umidade dos resíduos que ocasionou a degradação lenta da matéria orgânica e conseqüentemente não atingiu elevadas temperaturas. O pH manteve-se ácido em grande parte do período de análise. A relação C/N variou, de forma que não foi possível identificar a degradação efetiva dos resíduos. Além disto, houve a geração de odores e atração de vetores (moscas). Desta forma recomenda-se que um recipiente de armazenamento dos resíduos no restaurante (lixeira) permita a drenagem do excesso de água, de forma a evitar o excesso de umidade nas leiras, no momento da disposição dos resíduos.
- A adição de material estruturante como, por exemplo, poda e capina gerado nos serviços de jardinagem e limpeza da universidade foi fundamental para melhorar a aeração da leira.
- A comparação dos resultados das leiras de revolvimento manual (Leira I, II e III) aponta que a leira com proporção 60% resíduos orgânicos do restaurante e 40% resíduos de poda e capina (Leira III), apresentou maior atividade biológica, indicada pelas elevadas temperaturas atingidas. Adicionalmente, os parâmetros pH, teor de umidade e relação C/N que apresentaram valores próximos ao de maturação do composto. Desta forma, dentre as leiras de revolvimento manual comparadas, a Leira III obteve melhor desempenho na degradação da matéria orgânica no período de análise.
- Os resultados das análises de relação C/N apresentaram uma elevada variação de valores durante o experimento. Esta variação pode estar relacionada à pequena quantidade de amostra utilizada para análise química em laboratório (aproximadamente 1g), o que dificultou a coleta de amostra representativa, por se tratar de material heterogêneo (alface, tomate, cebola, poda e capina, entre outros). Estes fatos podem ter ocasionado a variação não esperada dos valores de nitrogênio, carbono e relação C/N, dificultando desta forma, a determinação da degradação dos resíduos.
- Apesar da leira estática (Leira IV) apresentar maiores temperaturas em relação à Leira III, não é possível afirmar que ocorreu uma maior atividade biológica, pois a

quantidade de resíduo disposta na Leira IV foi superior e pode ter criado uma camada isolante, de forma que o calor não se dissipasse, elevando a temperatura.

- As Leiras III e IV apresentaram relação C/N próxima à maturação, indicando uma degradação satisfatória do material. Além disto, ambas apresentaram resultados de pH dentro da faixa estabelecida pela Instrução Normativa. Desta forma, a compostagem dos resíduos do Restaurante Universitário pode ser realizada de forma eficaz por leiras de revolvimento manual e leira estática, na proporção de 60% de resíduos do RU e 40% de resíduos de poda e capina.
- Observou-se também que a temperatura da Leira IV aumentou gradativamente com a disposição de resíduos, indicando que a aeração passiva para este tipo de sistema é eficiente e dispensa revolvimentos, pois retém o calor liberado nas reações dos microrganismos, favorecendo desta forma, a criação de um ambiente adequado para a degradação do material, sem a necessidade de operação manual.
- O sistema de leira estática é mais adequado no caso da implantação de uma central de compostagem na universidade, pois tem facilidade de operação em relação à leira de revolvimento manual.
- O sistema de leira estática na proporção de 60% resíduos do RU e 40% de PC pode ainda ser utilizado em outros restaurantes universitários.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil 2013**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 30 março 2015.

ADAMS, J. D. W.; FROSTICK, L. E. Analysis of bacterial activity, biomass and diversity during windrow composting. **Waste Management**, Hull. v. 29, p. 598–605, 2009.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese de doutorado. São Paulo, São Paulo, Brasil - Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/>>. Acesso em: 07 maio. 2014

BARRINGTON, S.; CHOINIÈRE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W. Compost convective airflow under passive aeration. **Bioresource Technology**, Québec, v. 86, p. 259–266, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. 2009. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542>>. Acesso: 14 maio. 2014

BRASIL. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 30 março. 2015.

BRITO, M. J. C. **Processo De Compostagem De Resíduos Urbanos Em Pequena Escala E Potencial De Utilização Do Composto Como Substrato**. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Processos. Universidade Tiradentes. Aracaju, fev, 2008.

FAVERIAL, J.; SIERRA, J. Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). **Journal of Cleaner Production**, Guadalupe. v xxx, p. 1-7, 2014.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para reciclagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. v. 2000. 84p. Disponível em:

<<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>> Acesso em: 23 maio. 2014

FERNANDES, P. A. L. **Estudo Comparativo e Avaliação de Diferentes Sistemas de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1999. 128p Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Coimbra. Coimbra, 1999.

FIALHO, L. L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. 2007. 170p. Tese apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

INÁCIO, C. de T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156p. v. 1.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 28/02/2015.

KARNCHANAWONG, S., SURIYANON, N. Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration. **Resources, Conservation and Recycling**, Chiang Mai, v. 55, p. 548–553, 2011.

KIEHL, E. J.; PORTA, A. **Análises de lixo e composto - métodos de amostragem, preparo da amostra, análises, cálculos e interpretação dos resultados analíticos**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres. 492p., 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ªed. Piracicaba, SP. 173p. 2004.

KÖRNER, I.; Saborit-Sánchez, I.; Aguilera-Corrales, Y. Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba. **Waste Management**, Havana. v. 28, p. 64–72, 2008.

LI, Z., LU, H., REN, L., HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, Oxford, v. 93, n. 7, p. 1247-1257, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513009211>>. Acesso em: 28 maio. 2014.

LLEÓ, T., ALBACETE, E., BARRENA, R., FONT, X., ARTOLA, A., SÁNCHEZ, A. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 47, p. 70-76, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612004180>>. Acesso em: 25 maio. 2014.

MASÓ, M. A.; BLASI, A. B. Evaluation of composting as a strategy for managing organic wastes from a municipal market in Nicaragua. **Bioresource Technology**, Girona, v. 99, p. 5120–5124, 2008.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento de processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/>>. Acesso em: 15 maio. 2014

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. G. **Compostagem**. Programa De Pós-Graduação Em Solos E Nutrição De Plantas. Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2008.

ORTOLAN, C. H. S.; MOYA, M. T. M. **Compostagem dos resíduos da FCT/ UNESP de Presidente Prudente - SP**. 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/bpp/52044/2011/ortolan_chs_tcc_prud.pdf>. Acesso em: 15.abr. 2013

PICCIAFUOCO, B. di F. **Avaliação dos resíduos gerados no restaurante universitário da UNESP de Rio Claro: uma análise do potencial de compostagem**. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013. Acesso por meio da autora.

PICCIAFUOCO, B. F.; TAKEDA, C. M.; SOUZA, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. **Quantificação dos resíduos sólidos gerados no restaurante universitário do Campus de Rio Claro-UNESP: avaliação do potencial de compostagem**. 2014. Apresentado no III Workshop do Programa de Gerenciamento de Resíduos na Unesp: o uso de ferramentas de gestão na Universidade. Araçatuba-SP. 3 a 5 junho. 2014. Disponível em: <<http://www.archhealthinvestigation.com.br/>>.

PIRES, C. S. **O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da Política Nacional dos Resíduos Sólidos: Análise dos planos municipais da alta bacia do Tietê**. Mestrado em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo.São Carlos, SP. 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/>>. Acesso em: 15 maio. 2014

PREFEITURA DE RIO CLARO. **Plano Municipal De Saneamento Básico (Módulo: Resíduos Sólidos)**. 2014. Disponível em: <<http://www.rioclaro.sp.gov.br/planodesaneamento/ApresentacaoResiduosSolidos.pdf>>. Acesso em: 30.março.2015

PROJETO REDUZO LIXO. Agência do Meio Ambiente de Resende. Visconde de Mauá, 2013. Disponível em: <<http://agriculturaurbana.org.br/nuvem/index.html#reduzo>>. Acesso em: 20/10/2015

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNAL, M.P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC, and maturity of the composting mixtures. **Bioresource Technology**. Murcia, v.78, p. 301-308. 2001.

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**, Tofu, v. 114, p. 216-224, 2013.

SOLANO, M. L.; Iriarte, F.; Ciria, P. ; Negro, M. J. Performance Characteristics of Three Aeration Systems in the Composting of Sheep Manure and Straw. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Madrid, v. 79 n. 3, p. 317-329, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade de águas e ao tratamento de esgotos**. v1. 3ª ed. Princípio do tratamento biológico das águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005, p. 98.

TAKEDA, C. M. **Compostagem dos resíduos orgânicos gerados no Restaurante Universitário da UNESP de Rio Claro**. Relatório de Pesquisa. PROEX. Projeto de Extensão Universitária. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro. Fev, 2015.

YUAN, Y., TAO, Y., ZHOU, S., YUAN, T., LU, Q., HE, J. Electron transfer capacity as a rapid and simple maturity index for compost. **Bioresource Technology**. v 116. p 428-434. 2012.

ZANTAS, V. M., FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos. Cap.1. Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. PROSAB. Florianópolis, 2003.

ZHU, N.; DENG, C.; XIONG Y.; QIAN H. Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting. **Bioresource Technology**, Guangzhou, v. 95, p. 319–326, 2004.

APÊNDICE A – RESULTADOS DE TEOR DE UMIDADE DA LEIRA II

| DATA | IDENTIFICAÇÃO AMOSTRA | PESO RECIPIENTE (g) | AMOSTRA + RECIPIENTE (g) | AMOSTRA + RECIPIENTE (g) APÓS 110°C | Umidade (%) | Média |
|------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|
| 19/05/2014 | Amostra 1 - 19/05 | 407,12 | 653,42 | 447,42 | 83,64 | 89,09 |
| 20/05/2014 | Amostra 2 - 20/05 | 613,08 | 983,15 | 644,29 | 91,57 | |
| 21/05/2014 | Amostra 3 - 21/05 | 611,72 | 813,09 | 635,08 | 88,40 | |
| 22/05/2014 | Amostra 4 - 22/05 | 613,06 | 844,59 | 627,64 | 93,70 | |
| 23/05/2014 | Amostra 5 - 23/05 | 407,03 | 743,55 | 446,91 | 88,15 | |
| 28/05/2014 | Amostra Poda - 28/05 | 613,05 | 650,89 | 634,85 | 42,39 | |
| 05/06/2014 | Amostra 1.1. - 05/06 | 613,1 | 1114,82 | 687,03 | 85,26 | 85,47 |
| | Amostra Bioagri - 05/06 | 127,35 | 381,03 | 163,7 | 85,67 | |
| 16/06/2014 | Amostra 1.2. - 16/06 | 170,24 | 501,19 | 236,72 | 79,91 | 80,88 |
| | Amostra Bioagri2 - 16/06 | 178,56 | 510,82 | 238,84 | 81,86 | |
| 30/06/2014 | Amostra 1.3. - 30/06 | 170,3 | 495,38 | 254,94 | 73,96 | 73,89 |
| | Amostra Bioagri3 - 30/06 | 178,58 | 529,87 | 270,59 | 73,81 | |
| 14/07/2014 | Amostra 1.4. - 14/07 | 205,11 | 451,76 | 282,83 | 68,49 | 67,78 |
| | Amostra Bioagri4 - 14/07 | 196,07 | 474,58 | 287,77 | 67,07 | |

APÊNDICE B – RESULTADOS DE TEOR DE UMIDADE DA LEIRA IV

| DATA | IDENTIFICAÇÃO AMOSTRA | PESO RECIPIENTE (g) | AMOSTRA + RECIPIENTE (g) | AMOSTRA + RECIPIENTE (g) APÓS 110°C | Umidade (%) | Média |
|------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|
| 24/11/2014 | L41 (1) | 196,16 | 449,83 | 221,34 | 90,07 | 88,68 |
| 24/11/2014 | L41 (2) | 205,17 | 597,73 | 255,10 | 87,28 | |
| 25/11/2014 | L42 (1) | 184,26 | 319,95 | 196,76 | 90,79 | 90,76 |
| 25/11/2014 | L42 (2) | 178,47 | 337,48 | 193,21 | 90,73 | |
| 26/11/2014 | L43 (1) | 195,43 | 411,53 | 209,40 | 93,54 | 92,96 |
| 26/11/2014 | L43 (2) | 178,63 | 356,94 | 192,20 | 92,39 | |
| 27/11/2014 | L44(1) | 205,11 | 290,03 | 209,97 | 94,28 | 94,35 |
| 27/11/2014 | L44 (2) | 196,08 | 303,33 | 202,06 | 94,42 | |
| 28/11/2014 | L45(1) | 165,65 | 341,44 | 183,24 | 89,99 | 90,26 |
| 28/11/2014 | L45(2) | 184,19 | 377,26 | 202,50 | 90,52 | |
| 01/12/2014 | L46(1) | 220,75 | 444,54 | 243,56 | 89,81 | 89,23 |
| 01/12/2014 | L46(2) | 185,44 | 431,34 | 213,33 | 88,66 | |
| 02/12/2014 | L47(1) | 195,42 | 369,81 | 208,33 | 92,60 | 92,74 |
| 02/12/2014 | L47(2) | 178,62 | 346,63 | 190,57 | 92,89 | |
| 03/12/2014 | L48(1) | 196,16 | 318,65 | 202,86 | 94,53 | 94,56 |
| 03/12/2014 | L48(2) | 205,19 | 340,51 | 212,5 | 94,60 | |
| 04/12/2014 | L49(1) | 220,79 | 362,33 | 233,81 | 90,80 | 90,91 |
| 04/12/2014 | L49(2) | 185,47 | 301,09 | 195,86 | 91,01 | |
| 05/12/2014 | L410(1) | 170,29 | 312,41 | 179,42 | 93,58 | 93,87 |
| 05/12/2014 | L410(2) | 184,24 | 375,82 | 195,42 | 94,16 | |
| 08/12/2014 | L411(1) | 205,17 | 337,08 | 222,77 | 86,66 | 86,14 |
| 08/12/2014 | L411(2) | 185,46 | 331,53 | 206,45 | 85,63 | |
| 09/12/2014 | L412(1) | 195,45 | 290,16 | 203,47 | 91,53 | 91,11 |
| 09/12/2014 | L412(2) | 178,63 | 281,89 | 188,24 | 90,69 | |
| 10/12/2014 | L413(1) | 166,72 | 259,56 | 174,52 | 91,60 | 89,33 |
| 10/12/2014 | L413(2) | 170,3 | 287 | 185,39 | 87,07 | |
| 11/12/2014 | L414(1) | 159,86 | 211 | 165,74 | 88,50 | 87,51 |
| 11/12/2014 | L414(2) | 182,4 | 249,01 | 191,38 | 86,52 | |
| 12/12/2014 | L415(1) | 184,29 | 304,9 | 193,08 | 92,71 | 92,48 |
| 12/12/2014 | L415(2) | 178,46 | 296,96 | 187,65 | 92,24 | |
| 15/12/2014 | L416(1) | 184,29 | 304,9 | 193,08 | 92,71 | 92,48 |
| 15/12/2014 | L416(2) | 178,46 | 296,96 | 187,65 | 92,24 | |
| 16/12/2014 | L417(1) | 166,73 | 363,12 | 183,47 | 91,48 | 91,04 |
| 16/12/2014 | L417(2) | 170,29 | 335,92 | 185,86 | 90,60 | |
| 17/12/2014 | L418(1) | 195,48 | 339,89 | 207,67 | 91,56 | 91,39 |
| 17/12/2014 | L418(2) | 178,64 | 327,58 | 191,72 | 91,22 | |
| 18/12/2014 | L419(1) | 159,8 | 257,48 | 168,98 | 90,60 | 90,38 |
| 18/12/2014 | L419(2) | 178,49 | 285,33 | 189,01 | 90,15 | |
| 19/12/2014 | L420(1) | 159,8 | 257,48 | 168,98 | 90,60 | 90,38 |
| 19/12/2014 | L420(2) | 178,49 | 285,33 | 189,01 | 90,15 | |
| 24/11/2014 | PC1 L4 | 170,27 | 198,8 | 194,85 | 13,85 | 13,85 |
| 24/11/2014 | PC2 L4 | 165,68 | 201,9 | 191,18 | 29,60 | 29,60 |
| 02/12/2014 | PC3 L4 (1) | 205,17 | 234,27 | 225,03 | 31,75 | 34,37 |
| 02/12/2014 | PC3 L4 (2) | 196,14 | 221,18 | 211,92 | 36,98 | |
| 25/11/2014 | Le41 (1) | 166,74 | 243,58 | 180,36 | 82,27 | 81,83 |
| 25/11/2014 | Le41 (2) | 161,14 | 266,42 | 180,73 | 81,39 | |
| 03/12/2014 | Le42 (1) | 166,76 | 237,73 | 180 | 81,34 | 81,14 |
| 03/12/2014 | Le42 (2) | 161,14 | 202,39 | 169 | 80,95 | |
| 10/12/2014 | Le43(1) | 165,7 | 218,37 | 174,85 | 82,63 | 82,18 |
| 10/12/2014 | Le43(2) | 220,77 | 269,68 | 229,7 | 81,74 | |
| 17/12/2014 | Le44(1) | 205,17 | 283,53 | 220,17 | 80,86 | 81,00 |
| 17/12/2014 | Le44(2) | 185,44 | 276,96 | 202,69 | 81,15 | |
| 28/12/2014 | Le45(1) | 182,41 | 257,24 | 197,62 | 79,67 | 80,10 |
| 28/12/2014 | Le45(2) | 183,39 | 257,03 | 197,73 | 80,53 | |
| 04/01/2015 | Le46(1) | 161,15 | 249,82 | 177,7 | 81,34 | 78,95 |
| 04/01/2015 | Le46(2) | 166,75 | 300,28 | 198,05 | 76,56 | |
| 07/01/2015 | Le47(1) | 205,23 | 319,89 | 227,97 | 80,17 | 76,91 |
| 07/01/2015 | Le47(2) | 185,47 | 287,62 | 212,39 | 73,65 | |
| 14/01/2015 | Le48(1) | 220,79 | 330,63 | 221,67 | 99,20 | 77,38 |
| 14/01/2015 | Le48(2) | 196,78 | 309,72 | 246,96 | 55,57 | |
| 21/01/2015 | Le49(1) | 184,23 | 288,3 | 214,7 | 70,72 | 57,58 |
| 21/01/2015 | Le49(2) | 110,32 | 267,5 | 197,64 | 44,45 | |
| 28/01/2015 | Le410(1) | 205,21 | 295,78 | 228,52 | 74,26 | 73,51 |
| 28/01/2015 | Le410(2) | 196,15 | 319,54 | 229,77 | 72,75 | |
| 21/01/2015 | Le411(1) | 182,41 | 274,41 | 216,35 | 63,11 | 58,30 |
| 21/01/2015 | Le411(2) | 166,74 | 223,11 | 192,96 | 53,49 | |

Le – amostra de Leira em operação; L – amostra de resíduos do RU antes da disposição.