



Maria Cecília Vertulli Carneiro

**Compostagem de resíduos vegetais em área
verde urbana: um experimento no campus da PUC-Rio**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Urbana e Ambiental

Orientador: Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego

Rio de Janeiro

Junho de 2020



Maria Cecília Vertulli Carneiro

**Compostagem de resíduos vegetais
em área verde urbana: um experimento
no campus da PUC-Rio**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e
Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão
Examinadora abaixo.

Prof. Luiz Felipe Guanaes Rego

Orientador

Departamento de Geografia e Meio Ambiente – PUC-Rio

Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PUC-Rio

Prof. Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da Cunha

UVA

Dr. Lusimar Lamarte Gonzaga Galindo da Silva

Jardim Botânico do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, 12 de junho de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Maria Cecília Vertulli Carneiro

Graduou-se em Engenharia Ambiental pela Universidade Veiga de Almeida – UVA, em 2016.

Ficha Catalográfica

Carneiro, Maria Cecília Vertulli

Compostagem de resíduos vegetais em área verde urbana: um experimento no campus da PUC-Rio / Maria Cecília Vertulli Carneiro ; orientador: Luiz Felipe Guanaes Rego. – 2020.

72 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2020.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Aeração passiva. 4. Composto orgânico. 5. Cultivo orgânico. 6. Agricultura urbana. I. Rego, Luiz Felipe Guanaes. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Agradeço à minha mãe Regina Célia (*in memoriam*) que me acompanhou ao longo de parte desta jornada do mestrado, por todo apoio, parceria e incentivo até seu último momento.

Ao meu orientador Luiz Felipe Guanaes por acreditar na minha pesquisa, pelo apoio, observações e orientações ao longo da elaboração deste trabalho.

Ao professor Roosevelt Fidelis e sua equipe de estagiários do NIMA – PUC-Rio pela ajuda na montagem e desmontagem das composteiras que fizeram parte do experimento de campo.

Ao Dr. Lusimar Lamarte do JBRJ por ceder parte de material que serviu de matéria-prima para o experimento que compôs este trabalho.

À pesquisadora Ana Paula Turetta por tornar possível que as amostras do experimento fossem analisadas no laboratório da Embrapa Solos.

Aos secretários Daise Mendonça e Bruno Reis por serem sempre muito solícitos.

Aos amigos e colegas pelo apoio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Carneiro, Maria Cecília Vertulli; Rego, Luiz Felipe Guanaes (Orientador); **Compostagem de resíduos vegetais em área verde urbana: um experimento no campus da PUC-Rio**. Rio de Janeiro, 2020. 72p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A compostagem apresenta-se como um dos principais tratamentos e destino para os resíduos orgânicos, entretanto na área urbana tem sido utilizada em pequena escala, pois grande parte desta fração é disposta diretamente em aterros sanitários. Associada à grande oferta de matéria orgânica e a fim de incentivar a adoção desta prática nas cidades, torna-se interessante aliá-la às hortas urbanas, visto que o produto gerado no processo auxilia na fertilidade e fornece nutrientes ao solo. Este trabalho pretendeu testar diferentes misturas de resíduos vegetais em um processo de compostagem em leiras estáticas com aeração passiva realizado dentro de um ambiente urbano com intuito de avaliar os compostos produzidos. A pesquisa se deu por meio de experimento de campo, o qual foi conduzido no *campus* da PUC-Rio, na cidade do Rio de Janeiro, entre novembro de 2018 e março de 2019. O experimento foi constituído por leiras com 3 diferentes composições e 2 repetições. As misturas foram folha + grama, folha + grama + galho e folha + galho. As matérias-primas foram pesadas no início e no fim do processo. Os compostos produzidos foram pesados e amostras foram levadas para análise em laboratório. A mistura folha + grama foi a mais produtiva; a mistura folha + grama + galho apresentou, em geral, os resultados analíticos mais altos, porém não houve grandes diferenças entre as misturas. Todos os compostos apresentaram resultados satisfatórios e de acordo com padrões existentes em literatura e legislação brasileira relacionada. A metodologia se mostrou eficiente.

Palavras-chave

Aeração passiva; composto orgânico; cultivo orgânico; agricultura urbana.

Extended Abstract

Carneiro, Maria Cecília Vertulli; Rego, Luiz Felipe Guanaes (Advisor); **Composting of plant residues in an urban green area: an experiment on the campus of PUC-Rio.** Rio de Janeiro, 2020. 72p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Solid waste is a problem, some consequences and negative environmental impacts of its generation and wrong disposal are inappropriate treatment; waste dumps disposal; emissions; air, soil and water pollution; a threat to marine biodiversity; incorporated hazardous substances.

In Brazil in 2017, circa 42,3 million tons of MSW collected, equivalent of 59,1%, was disposed in sanitary landfill. The rest, 40,9%, more than 29 million tons, was disposed in inappropriate places, such as waste dumps and controlled landfills (ABRELPE, 2018).

In the country, more than the half of the MSW, 51,4%, consists in organic matter (Brasil, 2012). This material is often disposed together with other types of waste. It influences the production of methane from landfills and reduces its lifespan. A very good management, separate collection systems, searching alternatives to give this material a better destination and treatment is necessary.

An alternative of treatment to organic waste is composting, a simple and good technology. It is a biological process that occurs mainly by microorganisms' action, decomposition of organic matter, such as food scraps, fruits, leaves and manure. The product of the process is the compost, a stable material that is dark brown or black and has an earthy smell, rich in nutrients, able to improve physical, chemical and biological qualities of the soil and may be used in agriculture (Souza *et al.*, 2001; Nunes, 2009).

Composting is a useful technique for organic waste management in urban and industrial areas, agricultural use and sustainable development, a satisfactory process for waste treatment (Oliveira *et al.*, 2008; Inácio & Miller, 2009). The high generation of organic waste shows the potential of material able to be treated.

According to Leal (2014), the use of these materials is fundamental to cause sustainability of national agriculture and environmental conservation. Thus, avoiding materials from accumulating in a certain location, which can cause

environmental problems, taking them to other places for agricultural and plant production.

There is in Brazil a specific law for solid waste, it is the law number 12.305 of 2010, that institutes the National Policy on Solid Waste (Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, in Portuguese). It defines terms and sets goals. The law mentions composting as a final environmentally adequate destination and that it should be implemented a composting system for organic waste (Brasil, 2010).

Composting in the cities and its product can be more interesting and attractive if it is combined with urban agriculture. Reduces the amount of waste that would be disposed in landfills or dumps and transforms the organic waste into organic compost, these may be used in agricultural activities in the cities, supply nutrients to production and avoid expenses for farmers that buy commercial fertilizers.

Urban agriculture is growing vegetables and raising animals within the limits or on the immediate periphery of a city, being named intra-urban agriculture and peri-urban agriculture, respectively. Among the main activities carried out are horticulture, animal husbandry, agroforestry, aquaculture, vermiculture and cultivation of medicinal plants, herbs, spices and mushrooms (Machado & Machado, 2004).

This activity improves the access to fresh and nutritious food for own or community consumption, such as associations and schools; values the local production of food and medicinal and ornamental plants; reduces dependence on imported food; it contributes to socio-environmental education and develops teamwork; it becomes a leisure option because it can also be used as a recreational activity (Roese, 2003; Herzog, 2013; Dubbeling, 2014).

Fertilization is an essential part of cultivation, it provides important nutrients for the growth and development of plants (Brasil *et al.*, 1999).

The organic matter contributes to plant growth, nutrition, water retention capacity and water availability, it makes the plant less vulnerable to attacks by parasites and promotes faster development of the roots. In the soil, there will be more nutrients, the texture, structure, aeration, drainage, wind resistance and temperature stability will be improved (EPA, 1994; Inácio & Miller, 2009; Nunes, 2009).

A large amount of garden waste is produced in the university campus and most of the material is sent to landfill. In order to change this scenario and adopt a sustainable solution, treat the material by composting was an idea. Then, find a good method that would be able to be used according to the local conditions.

Adoption of composting in the city may face some challenges. The urban area is dense, there is space limitation for composting plants installation, the practice also involves factors as costs and labour. People can turn the material manually, but it is required strength, availability and space. Adopting mechanical equipment demands space and costs for its acquisition and maintenance. By forced aeration, the costs also increase and it is needed a ventilation-system with good sizing and control.

It is necessary to create composting methods appropriated to the reality, that take advantage of locally available materials and that reduce labour (Leal, 2014).

The purpose of this study was evaluating organic composts produced by composting using static piles and passive aeration with different garden waste combinations. Try a simple and low-cost methodology that considers urban limitations, uses smaller piles and few operating through the process. It can be more attractive, cheaper and easier to be implemented in places with low infrastructure.

After the introduction, the chapter 2 of the paper mentioned the solid waste, its recent generation and disposal in Brazil. Presented the specific Brazilian law for solid waste, its main ideas and relevance. Then, described the organic waste, presented its recent generation in Brazil and what is being done to treat this material in the city of Rio de Janeiro.

The chapter 3 presented the composting process, definition, brief history and benefits. Showed fundamentals and different methods. Specified and justified factors that affect the process.

The chapter 4 presented the organic compost, its characteristics and benefits, showed Brazilian legislations about fertilizers and composts.

In the chapter 5 it was presented the experiment. The study site description and details of the methodology used for the organic compost production. Then, the results obtained were presented and discussed.

The experiment was carried out between November 2018 and March 2019 at the university campus, located in the south zone of the city of Rio de Janeiro, in Brazil.

The place where the experiment was set has shade interference, caused by the tops of the trees, so there was no intense direct solar radiation on the piles.

The experiment contained three treatments and two replications (A and B). The treatment were leaves + grass, leaves + grass + branch and leaves + branch. The leaves and branch came from the sweeping of the university campus and the grass was collected from the Botanical Garden of Rio de Janeiro – JBRJ, abbreviation in Portuguese.

Due to lack of funds and space, it wasn't able to carry out more replications.

The piles were built in layers that interspersed garden waste and water. The layers were made uniformly, all them with the same size and material proportion. Both piles from treatment leaves + grass had 16 layers, both piles from treatment leaves + grass + branch had 16 layers and the piles from treatment leaves + branch had 10 and 14 layers, it was due to the difference of the structure size where they were set. All the three piles "A" were set in structure with 80 cm x 80 cm x 133 cm = 0,8512 m³, the piles leaves + grass B and leaves + grass + branch B in 80 cm x 75 cm 150 cm = 0,9 m³ and pile leaves + branch B in 80 cm x 90 cm x 150 cm = 1,08 m³.

The composting method used was static pile with passive aeration.

There was no material turning and no forced aeration, so branch was used in order to provide spaces to supply air, as aeration has some functions such as recharge the composting pile with oxygen for microorganism's growth, reduce water to dry the material and prevents the formation of unpleasant smell.

Grass is green and has high nitrogen content, a component with a relevant role in the process and that is essential for protein synthesis, so the grass was used because of that.

Water is essential, no biological processes are possible with low moisture.

In order to simplify, the irrigation used rainwater, but when there was absence or few, as well as high local temperatures, the piles were watered manually. It was made a weekly local average temperature and local rainfall monitoring during the period of the experiment.

The local average temperature was between 25°C and 30°C. There were dry and rainy weeks. December 2018 and January 2019 were very dry, whereas February and March 2019 were rainy.

The process lasted 19 weeks. At the end of the process the remaining material and the produced compost were measured and resulting samples from each pile were collected and transferred to the laboratory for analysis: pH, electrical conductivity, moisture, potassium (K_2O), phosphorus (P_2O_5) and CEC. The analysis was carried out at Embrapa Solos, in Rio de Janeiro, Brazil.

The remaining material may be used in following composting systems. The grass was totally decomposed on all treatments that it was used. A little bit more than a half of the amount of leaves was decomposed on treatments leaves + grass and leaves + branch, 56,6% and 54%, respectively. Whereas in treatment leaves + grass + branch only 29,1% of this raw material was decomposed. Few branches were decomposed on treatment leaves + grass + branch, 11,5%, on the leaves + branch it was 15,3%.

The amount of compost produced, treatment leaves + grass produced more than the other two treatments, 14,7 kg. The treatment leaves + grass + branch produced only a few, 3,4 kg.

The results for pH were between 6,33 and 7,03. The Normative Instruction No. 25 of 2009 from Brazil's Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply determines that the pH must be minimum 6 (Brasil, 2009). According to Kiehl (2004), composts with pH between 6,0 and 7,6 presents good level and can be used as fertilizer. So, this parameter was satisfactory in all treatments.

For electrical conductivity, treatment leaves + grass + branch reached the highest value, 579,25 $\mu s\ cm^{-1}$, and treatments leaves + grass and leaves + branch obtained similar values to each other, 456,75 and 451,1 $\mu s\ cm^{-1}$ respectively. High salinity may be toxic to plants. The value should be less than 4000 $\mu s\ cm^{-1}$ (Kiehl, 2004). Therefore, this parameter was satisfactory in all treatments.

Treatment leaves + grass obtained the lowest moisture content value, 19,23%, and treatments leaves + grass + branch and leaves + branch were similar to each other, 34,03 and 31,58% respectively. According to Normative Instruction No. 25 of 2009 from Brazil's Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, maximum moisture content must be 40%. Kiehl (1985) suggests a values scale, a compost that contains moisture between 15 and 25% presents an optimum level,

between 25 and 35% good and above 35% undesirable. Therefore, according to this author, treatment leaves + grass presents optimum level and treatments leaves + grass + branch and leaves + branch are good.

Potassium (K_2O) and phosphorus (P_2O_5) are plant macronutrients.

All treatments obtained low total potassium (K_2O) values, from 0,075 to 0,160% only. Kiehl (1985) suggests a values scale, K_2O below 0,5% means it is low.

Treatment leaves + grass obtained the lowest total phosphorus (P_2O_5) value, 0,210%, and treatment leaves + grass + branch the highest, 0,295%, however it was very close to treatment leaves + branch, 0,275%. In general, all results were close to each other.

Cation exchange capacity – CEC is an important parameter regarding soil fertility, it indicates the total cation retention capacity that, in general, will become available to plants (Chaves *et al.*, 2004). Treatment leaves + grass obtained the lowest result, 380,95 mmolc kg^{-1} , and treatments leaves + grass + branch and leaves + branch obtained higher results, 599,05 and 518,75 mmolc kg^{-1} . According to Kiehl (2004), a good compost should show values between 600 and 800 mmolc kg^{-1} . Thus, only treatment leaves + grass + branch almost achieve this.

The conclusion was that according to the obtained results, all treatments showed chemical characteristics with satisfactory levels and within existing standards, resulting in a good quality compost, even though they all showed low potassium content.

Treatment leaves + grass was the most productive. Its chemical results were good, however it showed lower moisture content and CEC than other treatments.

Treatment leaves + grass + branch was the least productive, few raw materials were decomposed. It showed the highest analytical results to four of six parameters.

Treatment leaves + branch showed good results and they were very similar to the treatment leaves + grass + branch ones.

The methodology proved to be efficient, as it did not require high investment in infrastructure and labour to carry out the process and the produced

compost showed good quality. Thus, it can be a good alternative to urban agricultural producers and to improve the solid waste management.

Keywords

Passive aeration; organic compost; organic farming; urban agriculture.

Sumário

1. Introdução	18
1.1. Objetivo geral	20
1.2. Objetivos específicos	20
1.3. Justificativa	21
1.4. Estrutura do trabalho	22
2. Resíduos sólidos	23
2.1. Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil	23
2.2. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos	25
2.3. Panorama e problemática dos resíduos orgânicos	26
3. Compostagem	31
3.1. A técnica da compostagem	31
3.2. Métodos de compostagem	34
3.2.1. Métodos de leiras revolvidas (sistema <i>windrow</i>)	35
3.2.2. Método de leiras estáticas (<i>static plie</i>)	36
3.2.3. Método acelerado (<i>in-vessel</i>)	37
3.3 Fatores que influenciam o processo	37
3.3.1. Temperatura	38
3.3.2. Umidade	39
3.3.3. Aeração	40
3.3.4. Tamanho das partículas	41
3.3.5. Relação carbono/nitrogênio (C/N)	41
3.3.6. pH	43
3.3.7. Organismos	43
4. Composto orgânico	45
4.1. O composto orgânico e sua utilização	45
4.2. Características e propriedades	47
5. Estudo no <i>campus</i> da PUC-Rio	51
5.1. Material e métodos	51
5.2. Resultados e discussão	59
6. Conclusão	66
Referências bibliográficas	68

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil de 1989 a 2017.	24
Tabela 2 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.	27
Tabela 3 – Quantificação dos materiais utilizados no experimento.	52
Tabela 4 – Proporção da quantidade de matéria-prima.	53
Tabela 5 – Pesagem do material ao final do processo em kg.	59
Tabela 6 – Diferença entre o material de entrada e o material de saída em kg.	59
Tabela 7 – Diferença entre o material de entrada e o material de saída em %.	60
Tabela 8 – Pesagem do composto produzido e beneficiado em kg.	60
Tabela 9 – Resultado analítico do pH.	61
Tabela 10 – Resultado analítico da condutividade elétrica.	62
Tabela 11 – Resultado analítico de umidade.	62
Tabela 12 – Resultado analítico de K ₂ O total.	63
Tabela 13 – Resultado analítico de P ₂ O ₅ total.	64
Tabela 14 – Resultado analítico da CTC.	65

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Composição dos resíduos sólidos na cidade do Rio de Janeiro.	27
Gráfico 2 – Temperaturas médias durante o período de estudo.	54
Gráfico 3 – Pluviosidade durante o período de estudo.	55
Gráfico 4 – Irrigação manual do sistema.	55

Lista de Figuras

Figura 1 – Comportamento do processo de compostagem e suas fases ao longo do tempo.	34
Figura 2 – Mapa com indicação da área de estudo.	51
Figura 3 – Representação das camadas das leiras.	53
Figura 4 – Leiras de compostagem montadas para a pesquisa.	54
Figura 5 – Materiais que não foram totalmente decompostos.	56
Figura 6 – Peneiramento do composto.	57
Figura 7 – Composto produzido.	57
Figura 8 – Amostras coletadas.	58

Lista de abreviaturas e siglas

SIGLA UTILIZADA	NOME COMPLETO
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
C/N	Carbono/Nitrogênio
Comlurb	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CTC	Capacidade de troca catiônica
CTR-Rio	Centro de Tratamento de Resíduos-Rio
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IN	Instrução Normativa
JBRJ	Jardim Botânico do Rio de Janeiro
K ₂ O	Óxido de potássio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
mmolc/kg	Milimol de carga por quilograma
mS/cm ⁻¹	MiliSiemens por centímetro
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RSU	Resíduos sólidos urbanos

Introdução

Os resíduos sólidos urbanos são gerados em altas quantidades e muitas vezes não recebem o devido tratamento. Por meio de tecnologias apropriadas para cada tipo de resíduo é possível reduzir a quantidade a ser disposta em aterros sanitários, bem como a diminuição do uso e dos gastos com transporte e aumento da vida útil dos aterros (Vilhena, 2018). Algumas das consequências da geração e destinação inadequada dos resíduos sólidos são tratamentos inapropriados, disposição em lixões, poluição de rios e mares (Peixe e Hack, 2014).

De acordo com o documento preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012 (MMA, 2012), cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil são constituídos de matéria orgânica. Este material normalmente é encaminhado para disposição final junto com outros tipos de resíduos que não foram coletados de maneira seletiva. Esta forma de destinação ocasiona, para a maioria dos municípios, despesas que poderiam ser evitadas caso houvesse separação na fonte e encaminhamento para um tratamento específico (Massukado, 2008; MMA, 2012). Portanto, faz-se necessária a formulação e a prática de uma boa gestão, busca de alternativas e incentivos para que ocorra mudança na disposição deste material, que ele tenha um destino mais adequado e seja melhor aproveitado.

Uma alternativa de tratamento para o resíduo de origem orgânica é a compostagem, uma tecnologia simples e prática. Segundo Souza *et al.* (2001), a compostagem é um processo biológico que se dá principalmente por meio da ação de microorganismos, trata-se da transformação e decomposição deste resíduo, como restos de alimentos, frutos, folhas, esterco, etc. que resulta em um produto chamado composto. Este é caracterizado por não apresentar cheiro, ser de cor escura, estável, solto, possuir potencial de melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e poder ser usado em qualquer cultura sem causar dano.

A palavra composto foi originada do vocábulo “*compost*” da língua inglesa para designar o fertilizante orgânico preparado a partir de restos vegetais e animais por meio de um processo denominado compostagem (Kiehl, 2004).

A compostagem é uma técnica útil para a gestão de resíduos orgânicos dos centros urbanos e industriais, aproveitamento agrícola e desenvolvimento sustentável, um processo satisfatório do ponto de vista tecnológico para tratamento de resíduos (Oliveira *et al.*, 2008; Inácio e Miller, 2009). A alta quantidade de geração de resíduos orgânicos demonstra o enorme potencial de material apto à compostagem. Trata-se de uma prática que envolve desde a participação do cidadão ao segregar no seu domicílio a fração orgânica, a coleta seletiva e o tratamento especializado em pátios de compostagem (Peixe e Hack, 2014).

Para Leal (2014), o aproveitamento desses resíduos é fundamental para ocasionar a sustentabilidade da agricultura nacional e a conservação do ambiente. Deste modo evita que os nutrientes se acumulem em determinado local, podendo causar problemas ambientais, enquanto são demandados em outros locais para produção vegetal.

A adoção desta alternativa de tratamento entra em acordo com a Lei específica deste tema, a Lei nº 12.305 do ano de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. A qual define conceitos e estabelece metas. Em determinados trechos da Lei é comentado sobre a compostagem, desta sendo uma destinação final ambientalmente adequada, além de no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos dever ser implantado sistema deste tratamento para resíduos sólidos orgânicos (Brasil, 2010).

Como meio de tornar mais interessante e atrativa a adoção da prática da compostagem nas cidades e ter uma destinação melhor adequada do produto gerado no processo, é aliá-la à agricultura urbana. Assim, além de reduzir a quantidade de resíduos que seriam descartados em aterros sanitários, ou, na pior hipótese, em lixões, e transformá-los em adubo orgânico, estes poderão ser utilizados nas atividades agrícolas das cidades fornecendo nutrientes à produção e evitando gastos dos agricultores com fertilizantes e adubos comerciais.

A agricultura urbana de acordo com Machado e Machado (2004) é representada pelo cultivo de vegetais e criação de animais domésticos dentro dos limites ou na imediata periferia de uma cidade, sendo nomeada agricultura intraurbana e agricultura periurbana, respectivamente. Dentre as principais atividades realizadas, estão horticultura, criação de animais, agrofloresta, aquicultura, vermicultura e o cultivo de plantas medicinais, ervas, condimentos e cogumelos.

Esta atividade proporciona melhoria no acesso de alimentos frescos e nutritivos para consumo próprio ou comunitário, como associações e escolas; valoriza a produção local de alimentos e outras plantas medicinais e ornamentais, fortalecendo a cultura local; reduz a dependência de alimentos importados; torna-se uma oportunidade para geração de renda; contribui para a educação socioambiental; ocupa pessoas, desenvolve trabalhos em equipe; torna-se uma opção de lazer, pois também pode ser usada como atividade recreativa (Roese, 2003; Herzog, 2013; Dubbeling, 2014).

Segundo Roese (2003), a agricultura urbana desenvolve a reciclagem de resíduos, por meio da utilização de materiais oriundos de domicílios, diminuindo a quantidade descartada, sendo aproveitados tanto na forma de composto orgânico para adubação, como na reutilização de embalagens para formação de mudas.

A adubação é parte importante do cultivo, fornece nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo ser realizada por meio do uso de adubos ou fertilizantes, conforme Brasil *et al.* (1999).

De acordo com Nunes (2009), a utilização de “matéria orgânica na adubação de culturas é essencial para a melhoria da qualidade do solo e manutenção da fertilidade”. Para as plantas, contribui no desenvolvimento, nutrição, capacidade de retenção e disponibilidade de água, torna-as menos vulneráveis a ataques de parasitas e promove desenvolvimento mais rápido de suas raízes. E no solo, a quantidade de nutrientes será aumentada, a textura, estrutura, aeração, drenagem, resistência a vento e estabilidade de temperatura também serão melhoradas (EPA, 1994; Inácio e Miller, 2009; Nunes, 2009).

1.1

Objetivo geral

Avaliar a qualidade e características dos compostos orgânicos produzidos a partir de diferentes resíduos vegetais dentro de um cenário urbano.

1.2

Objetivos específicos

- Apresentar a técnica da compostagem e métodos existentes;

- Apresentar as características e benefícios do produto gerado no processo de compostagem;
- Desenvolver uma metodologia de compostagem que seja eficaz, atrativa e adequada às limitações do meio urbano;
- Testar diferentes misturas de resíduos vegetais em um processo de compostagem de leiras estáticas com aeração passiva;
- Quantificar a matéria-prima utilizada, o material produzido e o material que voltará ao sistema;
- Apresentar e avaliar as características dos compostos orgânicos produzidos.

1.3

Justificativa

Visto a alta geração de resíduos orgânicos nas cidades, a destinação e tratamento na maioria das vezes inadequado, o alto potencial agrícola e ambiental do composto orgânico, torna-se interessante estudar o tratamento destes resíduos via compostagem e o produto gerado, a fim de se apresentar como uma alternativa mais atraente e com maior utilização.

No *campus* da universidade, a questão da alta geração desses resíduos também se aplica. A maior parte do material orgânico é encaminhada para aterro sanitário. Para mudar este cenário e adotar soluções mais sustentáveis, pensou-se em tratar o material por meio de compostagem e buscar um bom método que fosse possível de ser utilizado nas condições locais e recursos disponíveis.

Dentro do contexto urbano a adoção da prática da compostagem pode enfrentar alguns desafios. Como o meio urbano é adensado, há limitação de espaço para instalação de pátios de compostagem, a prática também envolve fatores como custos e mão de obra. O revolvimento, movimento que permite a aeração, ou seja, entrada de oxigênio no processo, pode ser realizado de forma manual, porém requer certa força, disponibilidade e mais espaço. A mecanização através da utilização de retroescavadeiras, por exemplo, demanda espaço e custo na aquisição e na manutenção do equipamento. Realizar a aeração por meio de tubulações encarece a utilização da técnica, além de necessitar de um bom dimensionamento e controle do sistema.

Para Leal (2014), é necessário criar processos de compostagem adequados à realidade, que aproveitem os materiais localmente disponíveis e que reduzam a quantidade de mão de obra necessária.

Diante disso, o experimento realizado para estudo neste trabalho buscou se aproximar de uma situação real e funcional ao adotar leiras menores e com pouco manuseio ao longo do processo, testou um método simples que possa ser implementado com mais facilidade e em lugares sem grande infraestrutura. Com isso, reduzir custos, aumentar a praticidade e a atratividade para a adesão da prática.

1.4

Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em quatro partes principais: introdução, revisão de literatura, experimento de campo e conclusão.

A revisão de literatura foi composta por três capítulos. O primeiro abordou os resíduos sólidos urbanos, apresentou panorama da situação recente em relação à geração e à disposição deste material no país. Apresentou a legislação específica do tema, expondo sua essência e relevância. Depois se direcionou a um certo tipo de resíduo, o orgânico, com caracterização, exposição de dados de geração e abordagem de iniciativas de tratamento no Rio de Janeiro.

O segundo expôs sobre a técnica da compostagem, com definições, breve histórico e benefícios da prática. Apresentou o processo e os diferentes métodos existentes. Especificou e justificou fatores que influenciam seu processo.

O terceiro tratou sobre o produto gerado pelo processo da compostagem, abordando as características e benefícios, além de apresentar legislações relacionadas.

Terminada a revisão, foi apresentado o experimento de campo. A descrição do local de estudo e detalhamento da metodologia utilizada para a produção do composto orgânico. Em seguida, a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

2

Resíduos sólidos

2.1

Panorama dos resíduos sólidos urbanos

Com uma população mundial de mais de 7,4 bilhões de habitantes estima-se que há a geração de 2 a 3 bilhões de toneladas de resíduo por ano (Vilhena, 2018). O Brasil como um grande gerador de resíduos sólidos. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017 da ABRELPE (2018), a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2017 foi de 78,4 milhões de toneladas, o qual representa aumento de cerca de 1% comparado ao ano anterior, 2016. Foram coletados 71,6 milhões de toneladas deste montante, equivalente a 91,2%.

No estado do Rio de Janeiro, de acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) de 2013, estimasse que sejam coletados 17 mil t/dia de RSU, das quais aproximadamente 5 mil t/dia são consideradas como resíduos de limpeza urbana e 13 mil t/dia de resíduo domiciliar, com uma taxa de cobertura de coleta de resíduos domésticos igual ou superior a 90%.

Os aterros e lixões são os principais destinos dos resíduos na maioria dos países. Nos países desenvolvidos, boa parte dos resíduos é incinerada para aproveitamento energético ou é encaminhada para compostagem e reciclagem. Na Alemanha, apenas 9 kg em média de resíduos por habitante são destinados para aterro por ano, enquanto que no Brasil são 348 kg de resíduos por habitante anualmente (Vilhena, 2018).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 do IBGE (2010), os vazadouros a céu aberto (lixões) são o destino final dos resíduos sólidos em 50,8% dos municípios brasileiros. Porém, este quadro está se alterando ao longo dos anos, conforme apontam dados mais recentes. O Panorama de 2017 da ABRELPE (2018) constatou que cerca de 42,3 milhões de toneladas de RSU, equivalente a 59,1% do coletado, foi disposto em aterros sanitários. O restante, equivalente a 40,9%, mais de 29 milhões de toneladas, foi disposto em locais inadequados (lixões ou aterros controlados) por 3.352 municípios brasileiros.

Na tabela 1, encontram-se valores relativos à destinação final dos resíduos sólidos no Brasil de 1989 a 2017.

Tabela 1 – Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil de 1989 a 2017.

Ano	Destinação final dos resíduos sólidos (%)		
	Lixão	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7
2017		40,9	59,1

Fonte: Elaborado pela autora com base em Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 do IBGE, 2010; Panorama Abrelpe 2017, 2018.

Na cidade do Rio de Janeiro, os resíduos coletados são destinados ao aterro sanitário CTR-Rio localizado no município de Seropédica. Antes de serem dispostos no aterro, os resíduos passam por uma das sete ETRs (Estação de transferência de resíduo) da cidade. Este aterro recebe, além do Rio de Janeiro, resíduos de Seropédica e Itaguaí, totalizando 10 mil toneladas por dia (Ciclus, 2018).

Todo resíduo deve ter o descarte adequado, com intuito de proporcionar menos impactos ambientais. Pode haver possibilidade de reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, conforme a Política Nacional dos Resíduos Sólidos de 2010 propõe.

O tratamento de resíduos é feito através de métodos, tecnologias e operações que respeitam as legislações aplicáveis aos resíduos desde a produção até o destino final, tendo em vista diminuir o impacto na saúde humana e ao ambiente. O manejo inadequado dos resíduos sólidos causa problemas. A disposição final de resíduos em aterros controlados e lixões oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde. Nestes locais pode haver pessoas convivendo com animais que podem transmitir doenças, facilidade na proliferação de vetores, além da possibilidade de as pessoas entrarem em contato com resíduos perigosos. Há a contaminação do solo e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e não captação do gás metano gerado, o qual é nocivo ao meio ambiente e um dos causadores do efeito estufa (Bidone e Povinelli, 1999; Trigueiro, 2012).

2.2

A Política Nacional de Resíduos Sólidos

Após vinte e um anos de tramitação, o presidente da República sancionou em 2010 a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Neto, 2011).

A PNRS apresenta sólida base constitucional e um marco inovador e ousado na implementação da gestão compartilhada do meio ambiente, defendida pelo art. 225 da Constituição Federal (CF), o qual trata sobre o meio ambiente (Jardim *et al.*, 2012). Marcou o início de uma interrelação institucional que envolve os três entes federados (União, estados e municípios), o setor produtivo e a sociedade em geral na procura de soluções para os problemas na gestão de resíduos sólidos que comprometem a qualidade de vida dos brasileiros (MMA, 2012).

A PNRS é uma Lei revolucionária não só no campo propriamente dito do manejo e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, mas em todo o modo de operar do setor empresarial e do setor público (Trigueiro, 2012), já que obriga a implantação de coleta seletiva e logística reversa, instrumentos instituídos no art. 8º. Tanto na logística reversa quando na coleta seletiva há a inovação da inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis (Brasil, 2010).

Esta Lei abrange todos os tipos de resíduos sólidos gerados, classificando-os e especificando-os. A classificação pode ser quanto à origem: resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes, resíduos de mineração ou quanto à periculosidade: resíduos perigosos e resíduos não perigosos. Existem outras formas de se classificar os resíduos além das mencionadas na Lei. Pela natureza física (seco e molhado), composição química (orgânico ou inorgânico) ou, conforme é mostrado na norma ABNT 10.004 de 2004, pela periculosidade, que considera riscos potenciais ao meio ambiente (perigoso, não-inerte e inerte).

A PNRS cria e estabelece metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microregional, intermunicipal e metropolitano e municipal;

além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Segundo Peixe e Hack (2014), a partir desta Lei lança-se uma visão moderna sobre um dos maiores problemas do planeta, que é a geração, tratamento e disposição de resíduos sólidos. Os autores também destacam que a PNRS tem por princípio a responsabilidade compartilhada entre toda a cadeia produtiva, a coleta, o destino final e a inclusão social dos catadores. Obriga o poder público de todas as esferas da União a planejar o gerenciamento dos resíduos sólidos. Além de apresentar novos conceitos como o da logística reversa.

No que se trata diretamente sobre os resíduos de origem orgânica e compostagem, a Lei aponta em seu artigo 3º inciso VII esta técnica como uma destinação final ambientalmente adequada e o artigo 36º inciso V trás:

Art. 36. No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

V - implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido (Brasil, 2010).

2.3

Panorama e problemática dos resíduos orgânicos

Entende-se como resíduo orgânico a fração orgânica passível de compostagem presente nos resíduos domiciliares, resíduos comerciais e de serviços (grandes geradores) e resíduos de poda e varrição de limpeza pública, como sobras de alimentos, folhas e galhos, porém é necessário ressaltar que nem todos os resíduos orgânicos podem ser tratados por compostagem, como madeira tratada, borracha e couro (Siqueira e Assad, 2015).

A maior parte dos resíduos sólidos gerados no Brasil é constituída de matéria orgânica, conforme é indicado no documento preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012 (MMA, 2012), representa 51,4% do total, este valor foi gerado a partir da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008, e está apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material reciclável	31,9	58.527,40
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico firme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100,0	183.481,50

Fonte: MMA, 2012.

Cenário que não se mostra diferente no estado do Rio de Janeiro, onde, segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de 2013, 53,28% dos resíduos sólidos gerados nos domicílios são orgânicos, 39,98% potenciais recicláveis e 6,74% rejeitos.

No município do Rio de Janeiro a situação se repete, de acordo com dados do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro de 2015, a maior fração de resíduos recolhidos corresponde aos de origem orgânica, representando 52%. Enquanto que materiais potencialmente recicláveis correspondem a 41,7% do total. Vale ressaltar que desta quantidade apenas 25% são efetivamente recicláveis, como plástico, metal, papel e papelão. O valor restante, correspondente a 6,3%, é composto por restos de madeira, ossos, cerâmica, folhas e tecidos, entre outros.

O gráfico 1 expressa a composição dos resíduos sólidos urbanos recolhidos na cidade do Rio de Janeiro de acordo com dados apresentados no PMGIRS de 2015.

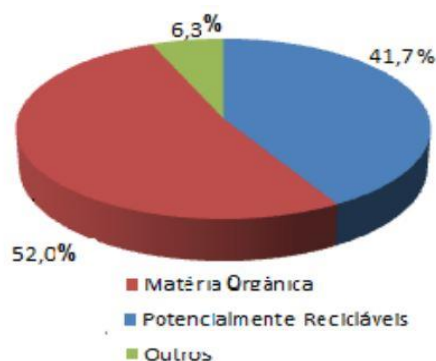


Gráfico 1 – Composição dos resíduos sólidos na cidade do Rio de Janeiro.
Fonte: PMGIRS/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015.

Embora os resíduos sólidos domiciliares no Brasil apresentem alta quantidade de resíduos orgânicos, por não ser coletado de forma seletiva, passa a ser encaminhado para disposição final junto com outros tipos de resíduos, como os perigosos. Esta forma de destinação cria, para a maioria dos municípios, despesas que poderiam ser evitadas caso o material orgânico fosse separado na fonte e encaminhada para um tratamento específico, como a compostagem (Massukado, 2008).

Do total estimado de resíduos orgânicos que são coletados no Brasil (94.335,10 t/d) apenas 1,6% (1.509 t/d) é encaminhado para tratamento via compostagem, segundo o documento preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012 (MMA, 2012). De acordo com relatório de pesquisa do IPEA (2012), no ano de 2008, 211 municípios brasileiros possuíam unidades de compostagem, equivalente a 3,8% do número total de municípios do país.

Nota-se que a prática da compostagem no país é pequena. Segundo Massukado (2008), isto se dá à dificuldade da obtenção dos resíduos orgânicos separados na fonte, insuficiência da manutenção do processo, preconceito com o produto e carência de investimentos e de tecnologia adequada para a coleta deste tipo de material.

Na cidade do Rio de Janeiro já foram e são notadas algumas iniciativas, tanto públicas quanto de origem particular para o tratamento de resíduos orgânicos.

Existe uma usina de transferência e reciclagem localizada no bairro Caju, na zona portuária da cidade, onde os resíduos orgânicos urbanos coletados pela Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), como resíduo domiciliar, restos de alimentos e folhas, além de resíduos orgânicos de grandes geradores do ramo hortifrutigranjeiros, são encaminhados para o processo de compostagem. O composto produzido chama-se Fertilurb e é utilizado em ações municipais de reflorestamentos de morros e encostas. A iniciativa se dá por meio de uma parceria entre a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC), a Secretaria de Conservação e Serviços Públicos (SECONSERVA) e a Comlurb (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2010; 2015).

A produção de composto para utilização de diversos fins - paisagístico, florestal e agrícola - tem como consequência o aumento da vida útil do aterro do CTR-Rio, em Seropédica (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015).

De acordo com Alencar (2011), o composto já foi utilizado no programa de plantio de topos de morro e em 115 mil mudas que estavam sendo plantadas no Morro dos Macacos e do Pau da Bandeira, no bairro de Vila Isabel.

Os resíduos orgânicos encaminhados para a usina do Caju também têm outro aproveitamento, o energético, ao transformar o material em combustível derivado de resíduo (CDR) na Usina Verde da UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro (Alencar, 2011).

Em 2011, a usina do Caju recebia, mensalmente, cerca de 7 mil toneladas de resíduos, oriundos da zona sul, centro e parte da zona norte, equivalente à 9% do total gerado nestas regiões.

Em 2013, por meio de uma parceria entre a Ceasa (Central Estadual de Abastecimento) e a Embrapa Solos, foi inaugurado um espaço piloto para compostagem no Ceasa do bairro de Irajá. O espaço possui uma área de dois mil metros quadrados e o material utilizado são os alimentos não aproveitados no Banco de Alimentos que seriam descartados, equivalente a 500 quilos diário (Santos, 2013).

O adubo produzido seria destinado aos agricultores do estado. Seriam realizados testes preliminares por aproximadamente um ano, durante o qual seria analisada a qualidade do adubo orgânico produzido no local (Santos, 2013).

Além da produção de adubo, o local se destinou também para ações voltadas à educação ambiental, com cursos e palestras aos interessados em técnicas de compostagem, como estudantes e agricultores (Santos, 2013).

Pela iniciativa particular encontra-se o Ciclo Orgânico, iniciado em 2015 e em atividade até o momento. Um serviço de coleta domiciliar de resíduos orgânicos que são encaminhados para compostagem (Ciclo Orgânico, 2018).

Além do resíduo orgânico domiciliar, há também o proveniente de poda e varrição de vias públicas e arborização municipal. O PMGIRS do Rio de Janeiro de 2015 aponta que se busca identificar alternativa de destinação para estes resíduos, os quais se mostram na ordem de 50 t/dia. Este material é volumoso, possui difícil compactação e características de decomposição diferenciada. Estuda-se, em parceria com empresas do ramo, as mais apropriadas alternativas e técnicas ambientalmente viáveis para seu reaproveitamento como fonte energética ou como matéria prima para produção de composto orgânico, a fim de evitar seu encaminhamento para disposição em aterros e garantir o aumento da vida útil dos mesmos (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2015).

Em 2018, a Comlurb recebeu como doação da cidade de Colônia, na Alemanha, um equipamento para aproveitamento de biomassa de resíduos de poda. O maquinário se encontra no EcoParque do Caju e tem a função de fazer a fragmentação e peneiramento de restos de poda da Comlurb. Tem valor estimado em 475 mil euros e capacidade para processar até 15 toneladas de resíduos de poda por dia (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2018, 2019b).

Após a fragmentação e peneiramento, o material mais fino é transformado em composto orgânico, para utilização em reflorestamento de encostas, e os resíduos mais grossos são utilizados como combustível em fornos da indústria de cerâmicas, substituindo a lenha convencional (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2019b).

No local, também se encontra a unidade de biometanização, a primeira da América Latina, a qual transforma fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em biogás para geração de energia, biocombustível ou condicionador de solos (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2019a).

3

Compostagem

3.1

A técnica da compostagem

Chama-se compostagem o processo biológico que se dá especialmente por meio da ação biológica microbiana na presença de oxigênio, trata-se da transformação bioquímica e decomposição de resíduos orgânicos - como sobras de alimentos, frutos e folhas - em sais minerais solúveis, um processo que transforma os nutrientes existentes na forma orgânica nos resíduos vegetais em nutrientes disponíveis para a cultura (Souza *et al.*, 2001; Nunes, 2009; Vilhena 2018). Ao final tem-se um produto chamado composto, um material rico em matéria orgânica e nutrientes capaz de proporcionar melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo ser utilizado em qualquer cultura sem causar dano (Souza *et al.*, 2001; Nunes, 2009).

Esta é uma prática muito antiga, surgiu provavelmente junto aos primeiros cultivos agrícolas feitos pelo homem. Gregos, romanos e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para sua fertilidade. Isto por meio da observação do processo natural da formação da matéria orgânica através da decomposição de materiais orgânicos como folhas, plantas, dejetos humanos e de animais caídos sobre a terra. Porém, apenas no século XX que o agrônomo britânico *sir* Albert Howard sistematizou e apresentou para o ocidente a compostagem como se conhece atualmente e que ele observou e aprendeu quando trabalhou na Índia, nas décadas de 20 e 30 (Fernandes e Silva, 1999; Inácio e Miller, 2009; Peixe e Hack, 2014).

Segundo Inácio e Miller (2009), a compostagem é uma técnica útil para a gestão de resíduos orgânicos das cidades e das indústrias, aproveitamento agrícola e desenvolvimento sustentável. Para Peixe e Hack (2014), esta prática mostra-se como uma solução eficiente, eficaz e de baixo custo. Vem sendo aprimorada e, portanto, tornando-se acessível à municipalidade, desonerando cofres públicos e devolvendo ao meio ambiente, húmus para a reestruturação de solo.

Para que o processo seja realizado de maneira satisfatória, deve-se observar as características físico-químicas das matérias-primas utilizadas, pois os resíduos precisam ser misturados e combinados em função de seus aspectos, assim garantindo eficiência e gerando um produto final de qualidade (Inácio e Miller, 2009).

Oliveira *et al.* (2008) destacam que não pode fazer parte do processo de compostagem materiais que contenham vidros, plásticos, tintas, óleos, metais e pedras. Também não devem conter um excesso de gorduras, pois pode haver liberação de ácidos graxos de cadeia curta como o acético, o propiónico e o butírico que retardam o processo e prejudicam o produto final; ossos inteiros também não devem ser utilizados, estes devem estar moídos.

A carne, mesmo que sendo resíduo orgânico, deve ser evitada, pois pode atrair animais e vetores. Papel pode ser utilizado, mas não deve exceder 10% da pilha e o papel encerado deve ser evitado, pois é de difícil decomposição e o papel de cor tem que ser evitado porque contem metais pesados (Oliveira *et al.*, 2008).

Segundo Kiehl (2004), se o processo for corretamente conduzido, a leira não deve produzir chorume. Ele é formado quando o material a ser compostado está muito molhado. Uma leira com altura baixa não libera chorume, mesmo se ela possuir 60 a 70% de umidade, porém se aumentada para 2 metros ou mais, então poderá passar a produzir. Isso se dá pelo fato de as camadas superiores comprimirem as inferiores, assim o líquido até então retido, passa a ser liberado como chorume.

A duração do processo de compostagem varia de acordo com diversos fatores como condições ambientais, agentes físicos, químicos e biológicos, o método utilizado, técnicas operacionais, eficiência do processo, características das matérias-primas utilizadas. Normalmente, a compostagem natural demora de 90 a 120 dias. Já a compostagem acelerada demora de 60 a 90 dias (Vilhena, 2018).

De acordo com Vilhena (2018), o grau de decomposição do material submetido à compostagem é indicativo do estágio de maturação do composto orgânico. Isto pode ser notado através de características como cor, odor e umidade.

Por meio da compostagem há liberação de macronutrientes e micronutrientes, mas há também liberação de sais minerais não nutrientes ou até mesmo potencialmente tóxicos (Kiehl, 2004).

O processo da compostagem acontece em três fases principais denominadas mesofílica (também chamada mesófila), termofílica (termófila) e maturação.

A fase mesofílica é caracterizada por ser curta, com duração de aproximadamente 15 dias. Os microrganismos, principalmente bactérias, metabolizam as moléculas mais simples. A temperatura se encontra por volta de 40°C (Fetti, 2013).

Com a elevação gradativa da temperatura, decorrente do processo de biodegradação, a população de organismos mesófilos diminui e os microrganismos termófilos se proliferam com mais intensidade (Fernandes e Silva, 1999). Inicia-se a fase termofílica, a qual é a mais longa do processo, com duração de cerca de dois meses. A temperatura atinge níveis mais altos, podendo chegar aos 70°C. Os organismos que atuam nesta fase são capazes de sobreviver às altas temperaturas, degradam moléculas mais complexas e também há eliminação de agentes patogênicos (Fetti, 2013).

Em seguida, a temperatura diminui gradativamente, se aproximando da temperatura ambiente, a população termófila é limitada, a atividade biológica é reduzida de maneira significativa e os organismos mesófilos se instalam novamente. A maior parte das moléculas facilmente biodegradáveis são transformadas, o composto apresenta odor agradável e se dá início ao processo de humificação, que consiste na fase de maturação. A qual dura de um a dois meses. Nesta fase ocorre também diminuição da acidez (Fernandes e Silva, 1999; Fetti, 2013).

Na etapa de bioestabilização, que pode ocorrer entre os 30 e 60 dias do processo, ocorre intensa atividade microbiológica e rápida transformação da matéria orgânica. Logo, há grande consumo de oxigênio pelos microrganismos, elevação da temperatura e mudanças visíveis na massa dos materiais, pois ela se torna escura e não apresenta odor forte. Neste momento, embora não seja mais um material danoso às plantas, podendo o composto até ser empregado como fertilizante orgânico, ainda não está totalmente pronto para ser utilizado, pois ainda não apresenta as excelentes propriedades físico-químicas e biológicas como as de um produto humificado. Este só se apresentará após a fase seguinte, de maturação (Fernandes e Silva, 1999; Kiehl, 2004).

De acordo com Fernandes e Silva (1999), na fase de maturação a atividade biológica é pequena, e conseqüentemente a necessidade de aeração também diminui. O processo acontece em temperatura ambiente e ocorrem principalmente transformações de ordem química como polimerização de

moléculas orgânicas estáveis no processo conhecido como humificação. Segundo Kiehl (2004), esta fase ocorre entre os 90 e 120 dias, o composto já passa a apresentar coloração mais escura, certo brilho quando úmido e perde o forte cheiro acre inicial e passar a ter o de terra mofada.

A figura 1 a seguir mostra o comportamento do processo e suas fases ao longo do tempo.



Figura 1 – Comportamento do processo de compostagem e suas fases ao longo do tempo.
Fonte: Kiehl, 2004

De acordo com Kiehl (2004), a maturação do composto ocorre quando a decomposição microbológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus. Segundo Fernandes e Silva (1999), após a maturação, o composto pode ser peneirado e ensacado, ou vendido a granel. O material mais grosseiro retido nas peneiras pode retornar ao início do processo e desempenhar a função de agente estruturante.

3.2

Métodos de compostagem

É relevante ressaltar que a compostagem é um processo que pode ser realizado por diversos métodos: leiras revolvidas (sistema *windrow*), leiras estáticas (*static pile*) e acelerado (*in-vessel*).

Os dois primeiros métodos geralmente são realizados ao ar livre, mas também podem ser realizados em áreas cobertas. O terceiro é realizado em reatores biológicos e apresenta várias alternativas de reatores e níveis de automação (Fernandes e Silva, 1999).

3.2.1

Método de leiras revolvidas (sistema *windrow*)

Neste método, a mistura de resíduos é disposta em leiras e a aeração é realizada por meio do revolvimento, manual ou mecânico, e pela convecção e difusão do ar na massa do composto com o objetivo de aumentar a porosidade da leira e melhorar a homogeneidade dos resíduos (Massukado, 2008).

Quando o revolvimento é realizado, o material entra em contato com a atmosfera rica em oxigênio, assim permitindo suprir momentaneamente as necessidades de aeração do processo biológico. Entretanto, seu efeito é limitado, pois alguns estudos revelaram que cerca de uma hora depois, o nível de oxigênio da leira fica próximo de zero (Fernandes e Silva, 1999).

O revolvimento tem como objetivo, além de fornecer ar, aumentar a porosidade do meio, homogeneizar a mistura, diminuir o teor de umidade e melhorar a eficiência de desinfecção ao colocar as camadas externas em temperaturas mais elevadas no interior (Fernandes e Silva, 1999).

A altura e seção das leiras, de acordo com Fernandes e Silva (1999), dependem do resíduo e do seu método de construção, sendo que as de seção triangular, com 1,5 m a 1,8 m de altura e 4,0 m a 4,5 m de base, são as mais comuns e que apresentam resultados comprovados.

Segundo Leal (2019), o método de compostagem com revolvimento é o mais utilizado no Brasil. O mais comum, especialmente em pequenas produções rurais, é realizado por meio de revolvimento manual e isto é um grande obstáculo para a adoção da prática de compostagem, pois exige esforço físico muito grande e necessidade de mão de obra. Já em nível de grandes produtores ou em usinas, o revolvimento é feito com uso de maquinário, o que gera custos e maior investimento.

Para Fernandes e Silva (1999), este método oferece vantagens como flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos, simplicidade de operação, produção de composto homogêneo e de boa qualidade. Porém, os autores destacam que dentre as desvantagens estão a maior necessidade de área, a dificuldade de controlar o odor e dependência do clima, já que em períodos de chuva, não se pode fazer o revolvimento.

3.2.2

Método de leiras estáticas (*static pile*)

Nesse método não há nenhum tipo de revolvimento das leiras. O material a ser processado é colocado sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto (Fernandes e Silva, 1999).

Há restrições quanto ao tipo de resíduo a ser utilizado nesse método, podendo ser apenas os que têm material de entrada mais homogêneo, tanto na composição quanto na granulometria (Massukado, 2008).

Segundo Fernandes e Silva (1999), a aeração deve ser dimensionada de acordo com os objetivos de satisfazer às demandas de oxigênio do processo de biodegradação aeróbia, remover o excesso de umidade e remover o excesso de calor para manter a temperatura em torno de 60°C.

Algumas vantagens desse método são melhor controle de odores e melhor uso da área disponível comparado ao método anterior. E as desvantagens são a necessidade de bom dimensionamento e controle do sistema de aeração e sofrer influência do clima (Fernandes e Silva, 1999).

Outro meio de se realizar a compostagem com uso de leiras estáticas, mas sem a necessidade de utilização de tubulações e injeções de ar é a adoção da técnica com aeração passiva. Trata-se de um método no qual a aeração do processo se dá devido a movimentação natural do ar (Leal, 2019). Segundo Peixe e Hack (2014), este método de compostagem possui um diferencial atraente, que é o baixo custo e a eficiência em seu propósito.

No início do processo, quando é necessário maior aeração, esta ocorre principalmente devido ao aquecimento da leira, o ar quente sobe e sai pela parte superior, enquanto que o ar frio infiltra-se nas laterais (Leal, 2019).

De acordo com Peixe e Hack (2014), dentre os métodos de compostagem com aeração natural deve-se destacar o método UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, o qual tem como mentor o Prof. Dr. Paul Richard Momsem Miller. Neste método, não há revolvimento da leira nem aeração forçada. Sendo o método centrado na arquitetura da leira e no equilíbrio dos materiais utilizados. As leiras são montadas em paredes retas e nelas uma grossa camada de grama cortada ou cavaco oriundo de picador florestal. O formato retangular permite a ventilação natural da leira. Há somente uma revirada, a qual é feita no final da fase termofílica a fim de homogeneizar o processo de maturação. O não revolvimento se deve a ótima estruturação

causada pela adição de materiais de granulometria consistente tipo maravalha, capim ou poda picada.

3.2.3

Método acelerado (*in-vessel*)

Método o qual os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, com utilização de dispositivos tecnológicos como reatores, digestores e bioestabilizadores que permitem a aceleração do processo de compostagem e controle de todos os parâmetros do mesmo, como odor e aeração (Fernandes e Silva, 1999; Massukado, 2008).

Depois de separados, os resíduos são colocados em um grande tubo de metal, a umidade é drenada por meio de pequenos furos existentes neste tubo e sua rotação permite o revolvimento e a aeração forçada do material. Neste processo, o material permanece dentro do reator por, aproximadamente, cinco dias, o que acelera muito a estabilização. Porém, o composto precisa depois ficar vários dias em um pátio de compostagem a fim de concluir o processo de estabilização e maturação (Leal, 2019).

Algumas vantagens desse método são a menor demanda de área, melhor controle do processo e não sofre interferência do clima. E as desvantagens são o alto investimento inicial, dependência de sistemas mecânicos especializados, risco de erro difícil de ser reparado caso o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia utilizada for inadequada (Fernandes e Silva, 1999).

3.3

Fatores que influenciam no processo

Diversos fatores do meio influenciam no processo de compostagem, deste modo, torna-se necessário conhecê-los e identificar as suas interferências.

Por se tratar de um processo biológico, segundo Fernandes e Silva (1999), os fatores mais importantes que influenciam na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. Outros fatores físicos, químicos e biológicos como temperatura, umidade, pH, relação C/N e organismos também influenciam o processo. Geralmente, esses fatores estão

correlacionados. Segundo Vilhena (2018), é necessário haver condições físicas e químicas adequadas para formar um produto de boa qualidade.

3.3.1

Temperatura

A temperatura é um fator de alta relevância durante o processo de compostagem. Apresenta-se como um indicativo do equilíbrio biológico e da atividade dos microrganismos no processo de fermentação dos resíduos, à eliminação de patógenos, é de fácil monitoramento e reflete a eficiência do processo (Fernandes e Silva, 1999; Nunes, 2009).

O intervalo de temperatura define as fases de compostagem (termófila, mesófila e de maturação), as quais são caracterizadas pela predominância de comunidades microbiológicas (Kiehl, 2004; Barreira, 2005).

O desenvolvimento da temperatura está relacionado com diversos fatores, como materiais ricos em proteínas, baixa relação C/N e umidade. Materiais moídos e peneirados, que possuem granulometria fina e maior homogeneidade, formam montes com melhor distribuição de temperatura e menor perda de calor (Oliveira *et al.*, 2008).

Bidone e Povinelli (1999) apontam que o calor gerado no interior da biomassa do processo é importante e necessário, pois estabilizará o material transformando-os em húmus, facilita a evaporação de água e reduz a quantidade de patógenos.

Segundo Fernandes e Silva (1999), no início do processo há um grande crescimento de microrganismos mesófilos. Com a elevação gradual da temperatura, decorrente do processo de biodegradação, esta população diminui e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. Estes organismos são extremamente ativos, ocasionam intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura.

À medida que a ação microbiana se intensifica com aeração apropriada, a temperatura se eleva até 55°C a 60°C, fase termófila, e há eliminação de microrganismos patogênicos, como fungos e bactérias, e plantas daninhas, seres causadores de doenças nas plantas, sementes e ovos e larvas de insetos. Essas temperaturas elevadas aceleram a hidrólise das principais moléculas estruturantes dos materiais em compostagem (Brito, 2005; Nunes, 2009; Vilhena, 2018). A temperatura nessa faixa permite a máxima intensidade de

atividade microbológica e acima de 65°C a atividade microbológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo (Fernandes e Silva, 1999).

Se a leira registrar temperatura entre 40 e 60°C no segundo ou terceiro dia é sinal que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem grande possibilidade de ser bem-sucedida. Caso contrário, é sinal de que algum ou alguns parâmetros físico-químicos, como pH, relação C/N e umidade não estão agindo adequadamente, assim limitando a atividade microbiana (Bidone e Povinelli, 1999; Fernandes e Silva, 1999).

Segundo Vilhena (2018), nas faixas de 30-35°C a 45-50°C ocorre a bioestabilização da matéria orgânica.

Além da temperatura das pilhas de compostagem, para Oliveira *et al.* (2008), a temperatura do ambiente onde se realiza o processo é relevante.

3.3.2

Umidade

De acordo com Fernandes e Silva (1999), a água é fundamental para a vida microbiana e a umidade é um dos parâmetros que devem ser monitorados durante a compostagem para que o processo se desenvolva adequadamente.

A umidade e a oxigenação são dois aspectos que se relacionam, já que o teor de umidade depende da eficiência da aeração e das características físicas dos resíduos, como estrutura, porosidade e grau de compactação. Ao se conseguir boa relação entre estes fatores, tem-se o teor de umidade ideal no composto (Bidone e Povinelli, 1999; Fernandes e Silva, 1999; Vilhena 2018).

De acordo com Oliveira *et al.* (2008), quanto mais úmidas estiverem as matérias primas utilizadas no processo, mais deficiente será a oxigenação, assim providências deverão ser tomadas para reduzir a umidade.

Segundo Massukado (2008), quando há excesso de umidade, seu ajustamento pode ser feito através de revolvimentos, injeção de ar ou adição de material seco à leira. E quando há pouca umidade, precisa-se irrigar a leira.

O teor de umidade no composto, de modo geral, situa-se entre 50 e 60%. Abaixo de 35-40% a decomposição da matéria orgânica é muito reduzida e abaixo de 30% é praticamente interrompida. Acima de 65% a água ocupa os espaços vazios do meio e impede a passagem de oxigênio, podendo provocar aparecimento de zonas de anaerobiose (Brito, 2005; Fernandes e Silva, 1999).

Nunes (2009) apresenta uma forma prática de monitoramento, o teste da mão. Este consiste em pegar com a mão um pouco de material do interior da leira e comprimi-lo com bastante força. O ponto ideal da umidade é quando a água começa a vazar entre os dedos, mas sem escorrer.

3.3.3

Aeração

A aeração é necessária para a sobrevivência dos microrganismos e atividade biológica, ela favorece a oxigenação, a secagem e o resfriamento no interior da leira. Evita a formação de odores ruins e a presença de moscas, algo importante tanto para o processo quanto para o meio ambiente (Brito, 2005; Fernandes e Silva, 1999; Nunes, 2009; Vilhena, 2018). Para Kiehl (2004), este é o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica.

O oxigênio é vital para a atividade microbiana, permitindo que os microrganismos aeróbios possam realizar oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos e ocorra produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a decomposição (Fernandes e Silva, 1999; Oliveira *et al.*, 2008). De acordo com a EPA (1994), a quantidade de oxigênio necessária para a compostagem depende do estágio em que ela se encontra, do tamanho das partículas, umidade do substrato e do tipo do resíduo.

A ausência de oxigênio na compostagem torna o processo anaeróbio, assim aumentando o tempo de estabilização do composto, além de provocar maus odores. Estes eliminados na atmosfera em forma de gás ácido sulfídrico, mercaptanas (dimetildissulfeto, dimetilsulfeto, metilmercaptanas) e outros produtos contendo enxofre, além de formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano (Kiehl, 2004; Bidone e Povinelli, 1999).

O processo aeróbio é determinado pela alta temperatura desenvolvida no composto, ausência de maus odores, menor tempo de degradação da matéria orgânica e reações de oxigenação e oxidação que ocorrem (Kiehl, 2004).

A aeração pode ser realizada por revolvimento manual ou mecânico das leiras, ou por insuflação ou aspiração do ar (Fernandes e Silva, 1999; Massukado, 2008).

3.3.4

Tamanho das partículas

Este parâmetro é importante no processo, pois controla o comportamento de líquidos e gases na leira, além de influenciar aspectos como aeração, compactação e umidade (Kiehl, 2004).

Materiais moídos e peneirados, com granulometria fina e maior homogeneidade, formam montes com melhor distribuição da temperatura e menor perda de calor, possuem maior área exposta à atividade microbiana, promove o aumento das reações bioquímicas, já que aumenta a área superficial em contato com o oxigênio (Fernandes e Silva, 1999; Oliveira *et al.*, 2008).

Segundo Fernandes e Silva (1999), as partículas não devem ser muito pequenas para evitar a compactação durante o processo de compostagem, comprometendo a aeração.

De acordo com Oliveira *et al.* (2008), as partículas devem possuir dimensões entre 1,3 cm e 7,6 cm. Menores que isso seria necessária utilização de sistemas de aeração forçada. Tamanhos superiores podem ser oportunos para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado. O ideal é que os materiais utilizados no processo não tenham dimensões superiores a 3 cm de diâmetro.

3.3.5

Relação carbono/nitrogênio (C/N)

Segundo Kiehl (1985), Brito (2005) e Oliveira *et al.* (2008), o carbono é considerado como fonte de energia para microrganismo e representa aproximadamente metade da massa das células microbianas e o nitrogênio é fundamental para a síntese de proteínas, e estas, representam aproximadamente metade da biomassa microbiana. Este elemento acelera o processo, pois é necessário para o crescimento de microrganismos. Portanto, são dois elementos muito importantes para o crescimento e divisão das células dos microrganismos.

De acordo com Kiehl (2004), a relação C/N apresenta-se como um bom parâmetro para conhecer o andamento do processo, pois quando o composto atinge a semicura, ou bioestabilização, a relação se encontra em torno de 18/1, e quando se transformou no produto final ou humificado, se encontra em torno de 10/1.

A relação C/N desejável para o início da compostagem deve ser 30/1 e o teor de nitrogênio deve estar entre 1,2 e 1,5% (Vilhena, 2018). O valor da relação pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do composto (Fernandes e Silva, 1999).

Altos valores na relação C/N podem prolongar o processo, já relações com valores baixos fazem com que os organismos utilizem toda a fonte de carbono e eliminem o nitrogênio na forma amoniacal, reduzindo assim o teor de nitrogênio (Kiehl, 1985). Para Oliveira *et al.* (2008), em geral, quanto mais baixa é a relação C/N mais rapidamente termina a compostagem.

Os microrganismos degradam o carbono orgânico apenas se houver nitrogênio suficiente para seu crescimento. Ao longo do processo de compostagem, parte do carbono é transformada em dióxido de carbono e parte é usada para crescimento microbiano (Massukado, 2008; Vilhena, 2018).

Os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem carbono e nitrogênio. O nitrogênio nos materiais orgânicos encontra-se principalmente na forma orgânica. Na fração mineral, encontra-se principalmente como nitrogênio amoniacal (Kiehl, 1985; Brito, 2005).

Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limitam a atividade microbiológica. Se a relação for elevada (60/1, por exemplo) os microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para a síntese de proteínas, terão desenvolvimento limitado, por consequência maior o tempo da compostagem. Se a relação for muito baixa (teor de nitrogênio elevado), os microrganismos não vão conseguir utilizar o nitrogênio, pois faltará carbono disponível, o nitrogênio pode se acumular e se perder por volatilização ou por lixiviação. Para correção e que a compostagem seja adequada, é necessário incorporar ao material outro resíduo rico em carbono (Brito, 2005; Fernandes e Silva, 1999; Vilhena, 2018).

Quando há falta de materiais com elevada relação C/N, as perdas de nitrogênio podem ser muito altas, 50%, por exemplo, ao longo do processo de compostagem (Oliveira *et al.*, 2008).

Devido à relevância da relação C/N tanto no processo da compostagem, bem como na seleção da matéria-prima, segundo Oliveira *et al.* (2008), pode-se dividir em duas classes os materiais utilizados na compostagem, a dos materiais ricos em carbono e a dos materiais ricos em nitrogênio. Entre os ricos em carbono encontram-se os materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas e fenos, e papel. Entre os materiais nitrogenados apresentam-se as folhas verdes, estrumes de animais, urinas, erva e restos de vegetais hortícolas.

3.3.6

pH

O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos (Brito, 2005). Se a relação C/N da mistura for conveniente, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem (Fernandes e Silva, 1999).

Segundo Oliveira *et al.* (2008) e Fernandes e Silva (1999) durante as primeiras horas de compostagem o pH baixa até valores de 5,0 e depois aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem e estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 7,0 e 8,0. Portanto, valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da leira em compostagem (Brito, 2005).

De acordo com Fernandes e Silva (1999), o início da compostagem (fase mesófila) é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos. Na passagem à fase seguinte, termófila, acontece uma rápida elevação do pH, explicada pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5 a 9,0), durante a fase termófila.

Conforme Massukado (2008), a bactéria prefere valores de pH próximos de 7,0 e os fungos se desenvolvem melhor em um ambiente mais ácido.

Ao mesmo tempo, que os fungos e bactérias consomem a matéria orgânica, ácidos que se acumulam e acidificam o meio são liberados. Com a diminuição do pH, há o crescimento de fungos e a decomposição da celulose e da lignina. Depois, estes ácidos são decompostos até serem totalmente oxidados. Se houver escassez de oxigênio, o pH poderá cair a valores inferiores a 4,5 e limitar a atividade microbiana, assim torna-se lento o processo de compostagem. Quando isto ocorre, é necessário revolver as leiras para o pH voltar a subir (Brito, 2005; Oliveira *et al.*, 2008).

3.3.7

Organismos

Segundo Oliveira *et al.* (2008), a transformação da matéria orgânica é resultante da ação combinada da macro e mesofauna (minhocas, formigas,

besouros e acáros) e microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos). Para Kiehl (2004), os microrganismos são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica em húmus.

Os microrganismos encontrados em maior quantidade durante o processo são as bactérias, responsáveis por cerca de 90% dos processos de degradação. As bactérias tem a função de decompor açúcares, amidos, proteínas e outros compostos de fácil decomposição, atuando principalmente na fase termófila. Os fungos e actinomicetos são fundamentais para degradar celulose. Os três microrganismos são fixadores de nitrogênio (Bidone e Povinelli, 1999; Kiehl, 2004).

Inicialmente no processo de compostagem, segundo Oliveira *et al.* (2008), os microrganismos metabolizam o nitrogênio orgânico transformando-o em nitrogênio amoniacal e ao longo da decomposição, a amônia pode ser volatizada ou convertida para forma de nitratos, por meio da nitrificação, a qual é acidificante e contribui para que o composto maturado seja mais ácido do que o material original. Contudo, se existirem condições de anaerobiose, o nitrato será perdido por desnitrificação e este fenômeno possui efeito alcalinizante.

4

Composto orgânico

4.1

O composto orgânico e sua utilização

O produto gerado após o processo de compostagem é denominado composto orgânico, adubo orgânico ou fertilizante orgânico. Um produto que possui a capacidade de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo.

Segundo Oliveira *et al.* (2008), trata-se de um produto utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, bem como, fertilizante orgânico que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas.

Para Leal (2014), este é um insumo utilizado para manter a fertilidade do solo, com aplicações em grande volume e, geralmente, de forma periódica e que possui uma demanda crescente. De acordo com Inácio e Miller (2009), seu uso no solo é benéfico, pois é fonte de nutrientes e matéria orgânica para as plantas, aumenta a capacidade de troca catiônica – CTC, auxilia na diminuição de perdas por lixiviação, na formação de agregados e na aeração do solo, eleva a estabilidade do pH e enriquece a biodiversidade da microbiota do solo.

Segundo Trani e Trani (2011), este fertilizante é útil tanto no sistema agrícola convencional como no sistema orgânico de produção de alimentos.

De acordo com Leal (2019), o composto que não possui risco de apresentar contaminação química e/ou biológica "pode ser utilizado para qualquer finalidade, inclusive na produção de alimentos que podem ter contato com o solo", como as hortaliças. O composto com reduzido risco de apresentar contaminação química e/ou biológica, ou seja, aquele o qual foi produzido a partir de matéria-prima com algum grau de contaminação, não deve ser utilizado na produção de alimentos que podem possuir contato com o solo. E por fim, o composto com elevado risco de apresentar contaminação química e/ou biológica não deve ser utilizado na produção de alimentos, porém pode ser utilizado em reflorestamentos e com ressalvas para fins paisagísticos, evitando locais onde pode haver contato de pessoas com o solo.

Kiehl (2004) aponta que no produto final há dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físico-químicas e biológicas do solo.

Segundo mesmo autor, o húmus tem a capacidade de reter ou absorver cátions eletrostaticamente evitando que sejam facilmente arrastados pela água da chuva que atravessa o perfil do solo. Os cátions adsorvidos serão depois cedidos por troca para as raízes ou transferidos para a própria solução do solo, se nela ocorrer alteração na proporção entre os íons ou uma variação do pH.

De acordo com Leal (2019), quando pretende-se aplicar o composto em pequenas proporções, ou seja, como parte de formulação de substratos junto a outros materiais, ele pode ser utilizado a partir de 90 dias de compostagem. Normalmente, isto ocorre em casos que envolvem espécies arbóreas. Já para aplicação em grandes proporções, deve-se optar pelo composto produzido a partir de 120 dias de processo de compostagem, como no caso de produção de hortaliças.

Nunes (2009) coloca que quando o composto atinge 50 a 60% da humificação, pode ser utilizado na adubação de plantas arbustivas/trepadeiras como acerola, mamão, maracujá, uva, bananeiras, laranjeira etc., arbóreas, como laranjeiras, limoeiros, coqueiro etc. e plantas ornamentais de grande porte. Já quando possui 80 a 100% de humificação, pode ser utilizado na adubação de hortaliças e plantas medicinais em canteiros.

Kiehl (2004) atenta que no fertilizante orgânico humificado nem toda a matéria orgânica é húmus, embora todo húmus é matéria orgânica. Não se deve confundir maturidade com qualidade. Enquanto que maturidade trata-se do “resultado de uma correta decomposição microbiológica da matéria orgânica, originando nutrientes e húmus. Um composto de qualidade, além de ter perfeita maturidade, deve apresentar características e propriedade. que não torne o produto inadequado para o uso agrícola.”.

Com intuito de utilização do composto como substrato ou matéria-prima de substrato, o produto não pode apresentar contaminação biológica, para assim evitar que algum fitopatógeno afete as mudas, além de ter de possuir elevada estabilização e maturidade (Leal, 2019).

É necessário que a matéria orgânica sofra um processo de decomposição microbiológica, acompanhado de mineralização de componentes orgânicos, para então poder fornecer nutrientes às plantas e a matéria orgânica ser útil a elas. Pois, estas não se alimentam de matéria orgânica, mas sim de

sais minerais, nutrientes nas formas minerais ou inorgânicas. Ao fermentar e se decompor, o material orgânico forma húmus e compostos minerais assimiláveis pelas plantas. “As raízes das plantas absorvem o nitrogênio na forma amoniacal ou nítrica, o fósforo nas formas de radicais aniônicos e o potássio na forma catiônica.”. (Kiehl, 1985, 2004).

A utilização de composto em adubação de cobertura não é muito recomendada, pois o composto é um material estabilizado e por isso sua decomposição é lenta, logo a liberação de nutrientes será lenta também. Neste caso, deve-se utilizar um composto que seja pouco estável (Leal, 2019).

O sucesso do uso de compostos orgânicos é influenciado por diversos fatores como condições ambientais, clima, condições do solo, textura e temperatura, quantidade aplicada e a cultura desenvolvida (Inácio e Miller, 2009). De acordo com Oliveira *et al.* (2008), o composto tem maior eficiência quando é usado logo após o fim do processo de compostagem. Caso isto não seja possível, deve-se armazenar o produto em local protegido do sol e da chuva.

Ao se utilizar um composto orgânico para produção vegetal, é importante saber o que se pretende alcançar com a sua utilização, além de verificar se o produto possui as características agronômicas necessárias (Leal, 2019).

Segundo Kiehl (1985), até 1842 os adubos aplicados aos solos eram praticamente os de origem orgânica, mas após esta data houve o lançamento da teoria mineralista e a partir disto surgiram os fertilizantes minerais.

4.2

Características e propriedades

De acordo com Oliveira *et al.* (2008), o composto apresenta tom escuro, temperatura igual à ambiente, textura turfa, é quebradiço quando seco e moldável quando úmido, não atrai moscas e não possui cheiro desagradável.

A Lei nº 6.894 de 1980, alterada pela Lei nº 12.890 de 2013, dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes destinados à agricultura, e define fertilizante como “a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais” (Brasil, 1980). Existem diversos tipos de fertilizantes. No Decreto nº 4.954 de 2004, com alterações do Decreto nº 8.384 de 2014, em seu inciso II do artigo 2º,

são classificadas catorze categorias de fertilizantes. Sendo os de natureza orgânica os seguintes:

- b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;
- l) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;
- o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (Brasil, 2004).

A Instrução Normativa nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento trata especificadamente de fertilizantes orgânicos. Ela aprova “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” (MAPA, 2009).

Logo em seu Artigo 1º são expostas definições e notam-se dez diferentes tipos de fertilizantes orgânicos, além de outros dois produtos. São eles:

- II - vermicomposto: produto resultante da digestão, pelas minhocas, da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;
- III - composto de lixo: produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;
- IV - fertilizante orgânico e organomineral foliar: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação na parte aérea das plantas;
- V - fertilizante orgânico e organomineral para fertirrigação: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação via sistemas de irrigação;
- VI - fertilizante orgânico e organomineral para hidroponia: produto de natureza fundamentalmente orgânica, que se

destina à aplicação em sistemas de cultivo sem solo ou hidropônico;

VII - fertilizante orgânico e organomineral para sementes: produto de natureza fundamentalmente orgânica que se destina à aplicação via tegumento de sementes;

VIII - fertilizante orgânico e organomineral em solução para pronto uso: produto de natureza fundamentalmente orgânica, em solução verdadeira já diluída e em condições de pronto uso por aspersão na parte aérea das plantas ou como solução nutritiva para hidroponia ou cultivo em vaso;

IX - fertilizante orgânico e organomineral fluido: produto de natureza fundamentalmente orgânica cuja natureza física é líquida, quer seja solução ou suspensão;

X - fertilizante orgânico e organomineral em solução: produto de natureza fundamentalmente orgânica fluido, sem partículas sólidas;

XI - fertilizante orgânico e organomineral em suspensão: produto de natureza fundamentalmente orgânica, fluido, com partículas sólidas em suspensão, podendo ser apresentado com fases distintas, no caso de suspensões heterogêneas, ou sem fases, no estado líquido, no caso de suspensões homogêneas;

XII - fertilizante orgânico e organomineral complexado: produto de natureza fundamentalmente orgânica que contém em sua composição Cálcio, Magnésio ou micronutrientes ligados quimicamente a um ou mais agentes complexantes;

XIII - fertilizante orgânico e organomineral quelatado: produto de natureza fundamentalmente orgânica que contém em sua composição Cálcio, Magnésio ou micronutrientes ligados quimicamente a um ou mais agentes quelantes (MAPA, 2009).

Os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais são classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, sendo divididos em quatro classes, A, B, C e D, conforme aponta o Artigo 2º desta mesma IN. Sendo elas:

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

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

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

Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura (MAPA, 2009).

No Artigo 1º desta mesma Instrução são expostas definições de dois parâmetros relevantes, capacidade de troca catiônica (CTC) e condutividade elétrica.

A CTC está estabelecida como a “quantidade total de cátions adsorvidos por unidade de massa, expresso em mmolc/kg” (MAPA, 2009). A CTC é um parâmetro muito importante quanto à fertilidade do solo, pois indica a capacidade total de retenção de cátions que, em geral, se tornarão disponíveis para as plantas (Chaves *et al.*, 2004). Um excelente e confiável parâmetro a ser determinado para acompanhamento e comprovação da maturação do composto. Ela se origina e aumenta com a decomposição da matéria orgânica (Kiehl, 2004).

Condutividade elétrica, segundo a Instrução nº 25 é “a capacidade de uma solução de conduzir corrente elétrica devido à presença de íons dissolvidos, sendo o valor expresso em miliSiemens por centímetro (mS/cm^{-1})” (MAPA, 2009). Este é um parâmetro para verificar o grau de qualidade do produto, pois serve como indicativo dos níveis de fitotoxicidade (Massukado, 2008).

Quanto a nutrientes presentes nos fertilizantes, o Decreto nº 4.954 de 2004 considera no inciso XIV do artigo 2º nutriente como “elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais” (Brasil, 2004). E subdividido em:

- a) macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), expressos nas formas de Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo (P_2O_5) e Óxido de Potássio (K_2O);
- b) macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), expressos nas formas de Cálcio (Ca) ou Óxido de Cálcio (CaO), Magnésio (Mg) ou Óxido de Magnésio (MgO) e Enxofre (S); e
- c) micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si) e outros elementos que a pesquisa científica vier a definir, expressos nas suas formas elementares (Brasil, 2004).

De acordo com Trani e Trani (2011), os fertilizantes na verdade não contêm fósforo (P) e potássio (K) na forma de óxidos. Esta forma de apresentação vem da tradição dos primórdios das análises químicas.

5

Estudo no *campus* da PUC-Rio

5.1

Material e métodos

O estudo ocorreu por meio de experimento de campo e pretendeu desenvolver e testar uma metodologia de compostagem que fosse simples, eficiente, prática, atrativa e que se adequasse às limitações do ambiente urbano. Foram testadas diferentes misturas de resíduo vegetal e leiras de tamanho menor que o convencional e foi realizada avaliação dos produtos gerados no processo.

O experimento foi conduzido entre novembro de 2018 e março de 2019 no *campus* da PUC-Rio, localizado no bairro Gávea, na zona sul da cidade do Rio de Janeiro (figura 2).



Figura 2 – Mapa com indicação da área de estudo.
Fonte: Google Earth, 2020.

O local onde foi montado o experimento possui interferência de sombra, provocado pelas copas das árvores presentes, portanto não houve radiação solar direta intensa sobre as leiras.

Para a realização do estudo foram utilizados três resíduos de origem vegetal: folhas, galhos e grama. As folhas e os galhos foram oriundos da varrição do próprio *campus* da universidade e a grama foi coletada do Jardim Botânico do Rio de Janeiro – JBRJ.

Foram montadas 6 pilhas constituídas por três misturas distintas, havendo duas repetições para cada mistura. Portanto, o desenho experimental foi 3 misturas x 2 repetições. A nomenclatura utilizada para as repetições foi A e B. As misturas utilizadas foram: folha + grama, folha + grama + galho e folha + galho.

As camadas foram feitas de maneira uniforme, todas com mesma proporção de tamanho e quantidade de material.

Na leira folha + grama A foi utilizado um total de 62,4 kg de folha, 55,9 kg de grama e 70 litros de água. Já na folha + grama B foram 73 kg de folha, 67,8 kg de grama e 70 litros de água. Ambas com 16 camadas.

Na leira folha + grama + galho A foram utilizados 24,5 kg de folha, 12,6 kg de galho, 22,8 kg de grama e 56 litros de água. Na folha + grama + galho B foram 14,6 kg de folha, 13,3 kg de galho, 25,6 kg de grama e 56 litros de água. Ambas com 12 camadas.

Na leira folha + galho A foram utilizados 43,1 kg de folha, 18,9 kg de galho e 49 litros de água. Na folha + galho B foram 55,4 kg de folha, 24 kg de galho e 63 litros de água. Possuíram 10 e 14 camadas, respectivamente. A diferença da quantidade de camadas entre estas duas pilhas se deu devido a diferença de tamanho das estruturas onde foram dispostas.

Os valores da quantificação e da proporção da matéria-prima utilizada em cada pilha encontram-se organizados, respectivamente, nas tabelas 3 e 4 a seguir.

Tabela 3 – Quantificação da matéria-prima utilizada no experimento.

Pilha	Folhas	Grama	Galhos	Água
		kg		L
Folha + grama A	62,4	55,9	0	70
Folha + grama B	73	67,8	0	70
Média folha + grama	67,7	61,9	0	70
Folha + grama + galho A	24,5	22,8	12,6	56
Folha + grama + galho B	14,6	25,6	13,3	56
Média folha + grama + galho	19,6	24,2	13	56
Folha + galho A	43,1	0	18,9	49
Folha + galho B	55,4	0	24	63
Média folha + galho	49,3	0	21,5	56

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Tabela 4 – Proporção da quantidade de matéria-prima.

Pilha	Folhas	Gramma	Galhos	Água
		%		L
Folha + grama A	52,7	47,3	0	70
Folha + grama B	51,8	48,2	0	70
Média folha + grama	52,2	47,8	0	70
Folha + grama + galho A	40,9	38,1	21	56
Folha + grama + galho B	27,3	47,9	24,8	56
Média folha + grama + galho	34,1	43	22,9	56
Folha + galho A	69,5	0	30,5	49
Folha + galho B	69,8	0	30,2	63
Média folha + galho	69,6	0	30,4	56

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

As pilhas foram montadas em camadas, intercalou-se material vegetal e água, conforme ilustra a figura 3.

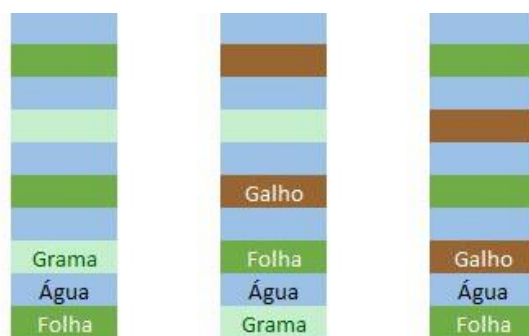


Figura 3 – Representação das camadas das leiras.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

As leiras possuíram formato retangular. As três pilhas denominadas A foram montadas em estruturas que apresentavam as seguintes dimensões: 80 cm x 80 cm x 133 cm = 0,8512 m³, as pilhas folha + grama B e folha + grama + galho B em estruturas de: 80 cm x 75 cm 150 cm = 0,9 m³ e, por fim, a pilha folha + galho B em: 80 cm x 90 cm x 150 cm = 1,08 m³.

Os materiais utilizados para a montagem das estruturas das composteiras foram tronco de bambu e tela de arame do tipo para galinheiro (figura 4).

Com a intenção de facilitar ainda mais a prática, optou-se pela irrigação por meio da água que caía das chuvas ocorridas, porém quando houvesse ausência ou escassez, bem como altas temperaturas, esta fosse feita manualmente.

Foi realizado acompanhamento semanal da temperatura média e da pluviosidade local durante o período da realização do experimento (gráficos 2 e 3). Os dados foram coletados do Sistema Alerta Rio, da estação Jardim

Botânico, a qual é a mais próxima do local de estudo e que apresenta características geográficas semelhantes.



Figura 4 – Leiras de compostagem montadas para a pesquisa.
Fonte: Foto da autora, 2018.

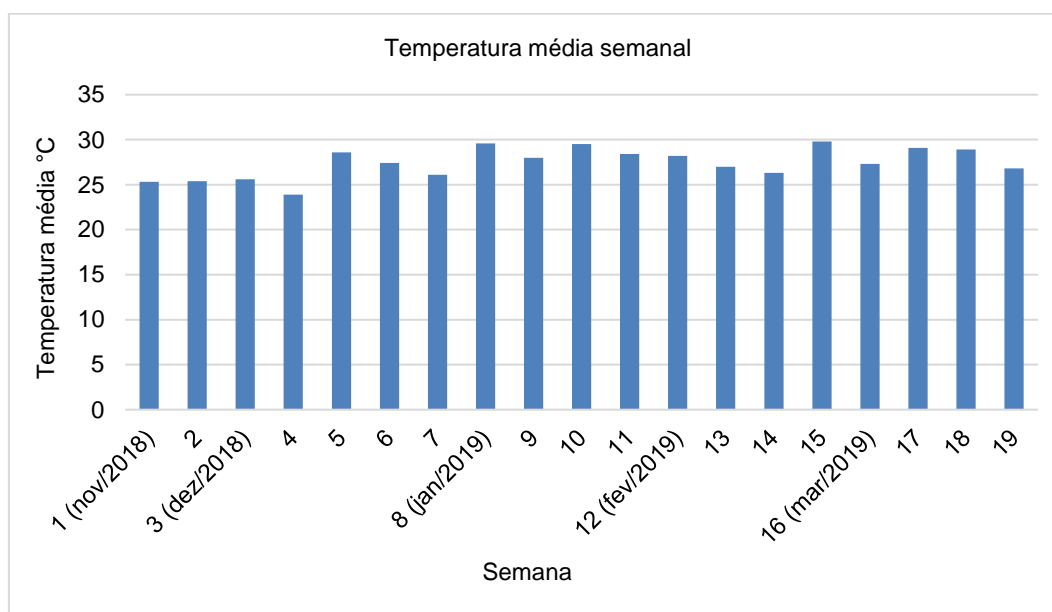


Gráfico 2 – Temperaturas médias durante o período de estudo – novembro 2018 a março 2019.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Ao longo do período do processo de compostagem, a temperatura local se manteve em uma faixa entre 25°C e 30°C. Enquanto que os valores referentes às chuvas oscilaram mais, com semanas chuvosas e dias mais secos. Os meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019 foram muito secos, fevereiro e março de 2019 foram mais chuvosos.

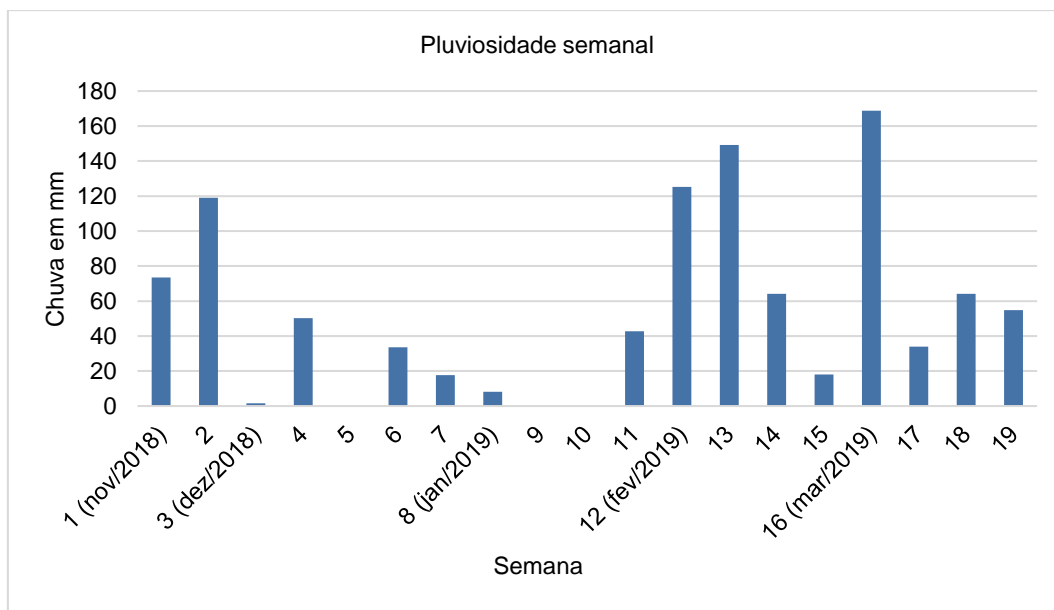


Gráfico 3 – Pluviosidade durante o período de estudo – novembro 2018 a março 2019.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Devido ao forte verão que ocorreu, especialmente no mês de janeiro de 2019, quando foram alcançadas altas temperaturas e praticamente não houve ocorrência de chuva, foi realizada irrigação manual das pilhas com o auxílio de um balde. Com isto, foi possível quantificar a água adicionada no sistema (gráfico 4). A água foi distribuída de maneira uniforme sobre as pilhas.

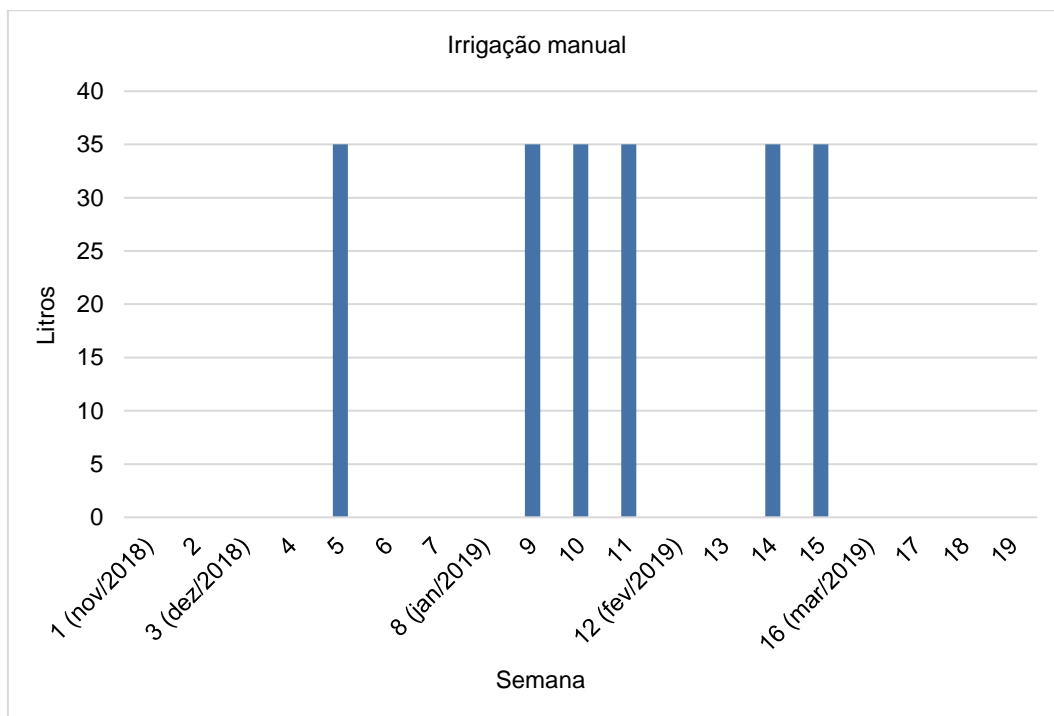


Gráfico 4 – Irrigação manual do sistema.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O método de compostagem utilizado no experimento foi o de pilhas estáticas com aeração passiva, no qual não houve revolvimento e a aeração

aconteceu naturalmente. A escolha deste método se deu por ser muito prático, demandar menos espaço, menos mão de obra e menos custos, portanto mais atrativo para utilização.

Este é um sistema no qual não há revolvimento e o fator aeração é de grande importância no processo. Segundo Bidone e Povinelli (1999), a falta de oxigênio no processo, o torna anaeróbio, provoca maus odores e prolonga o processo. De acordo com Fernandes e Silva (1999), o oxigênio é vital para os microrganismos. Exposto isto, o uso de galhos foi pensado para criar espaços que permitissem a passagem de ar na leira e fornecer oxigênio.

As aparas de grama são verdes e possuem elevado teor de nitrogênio (Leal, 2019), um componente o qual tem papel relevante no processo. Segundo Brito (2005), o nitrogênio é fundamental para a síntese de proteínas. Devido a isso, foi pensado no uso de grama no experimento.

Segundo Oliveira *et al.* (2008), os materiais vegetais frescos e verdes são mais ricos em nitrogênio do que os materiais secos e acastanhados. A coloração verde é resultante da clorofila que contém nitrogênio, o castanho se trata da ausência de clorofila que dá outra pigmentação aos tecidos vegetais. As folhas ficam amareladas por causa da degradação da clorofila e queda do nitrogênio, isto está associado à passagem do nitrogênio das folhas mais velhas para outras partes da planta.

A aplicação de água nas pilhas serviu para umedecer o material. Já que a água é fundamental e indispensável para a vida microbiana (Fernandes e Silva, 1999).

Após 19 semanas, as pilhas foram desmontadas. Foram separados os materiais que não foram totalmente decompostos e que podem voltar ao sistema, o composto foi beneficiado em uma peneira e disposto em sacos plásticos (figuras 5, 6 e 7).



Figura 5 – Materiais que não foram totalmente decompostos.
Fonte: Foto da autora, 2019.



Figura 6 – Peneiramento do composto.
Fonte: Foto da autora, 2019.



Figura 7 – Composto produzido.
Fonte: Foto da autora, 2019.

Em seguida, para cada leira, foram retiradas sub-amostras em diferentes pontos do montante beneficiado para formar uma amostra composta. Os pontos foram escolhidos aleatoriamente, com o intuito de evitar amostrar apenas um ponto da leira e, assim, que a amostra composta representasse a leira por inteiro. As amostras (figura 8) foram organizadas e encaminhadas para análise realizada em laboratório, na Embrapa Solos.



Figura 8 – Amostras coletadas.
Fonte: Foto da autora, 2019.

Os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica, umidade, K_2O total, P_2O_5 total e CTC.

A metodologia das análises seguiu o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos de 2017 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Para pH e umidade foi seguido “Fertilizantes orgânicos e organominerais destinados a aplicação via solo: Umidade e pH”. Para condutividade elétrica, “Fertilizantes destinados a aplicação foliar, hidroponia, fertirrigação e soluções para pronto uso: Condutividade elétrica a 25°C”. Para K_2O total, “Fertilizantes orgânicos e organominerais destinados a aplicação via solo: Potássio solúvel em água: Método por fotometria de chama”. P_2O_5 total, “Fertilizantes orgânicos e organominerais destinados a aplicação via solo: Fósforo total: Método gravimétrico do Quimociac”. Para CTC, “Fertilizantes orgânicos e organominerais destinados a aplicação via solo: Capacidade de troca de cátions (CTC)”.

Foram realizadas duas repetições de cada mistura do experimento a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados. Para representar cada mistura como um todo, calculou-se uma média entre as repetições por meio de média aritmética simples. Devido falta de recursos e de espaço não foi possível realizar mais repetições do experimento, bem como monitoramento contínuo de parâmetros ao longo do processo.

5.2

Resultados e discussão

Assim como foi realizada a pesagem do material utilizado como matéria-prima, ao final do processo também foi feita uma pesagem, desta vez dos materiais restantes no sistema e que podem voltar ao ciclo, para um novo processo de compostagem (tabela 5):

Tabela 5 – Pesagem do material ao final do processo em kg.

Pilha	Folhas	Galhos	Gramma
	kg		
folha + grama A	29	-	0
folha + grama B	29,8	-	0
Media folha + grama	29,4	-	0
folha + grama + galho A	16,8	10,1	0
folha + grama + galho B	11	12,9	0
Media folha + grama + galho	13,9	11,5	0
folha + galho A	17,3	11,3	-
folha + galho B	28	19,3	-
Media folha + galho	22,7	15,3	-

Fonte: Elaborado da autora, 2019.

Observou-se que a grama foi totalmente decomposta. Por ela ser um material com alto teor de nitrogênio, acabou sendo totalmente consumida.

Para uma melhor visão, foi realizada uma comparação do montante de material que entrou no início da compostagem e do restante após as 19 semanas de duração (tabela 6). Portanto, a diferença equivale à quantificação do material decomposto no processo.

Tabela 6 – Diferença entre o material de entrada e o material de saída em kg.

Pilha	Folhas			Galhos			Grama		
	Ent	Saí	Dif	Ent	Saí	Dif	Ent	Saí	Dif
	kg								
Folha + grama A	62,4	29	33,4	-	-	-	55,9	0	55,9
Folha + grama B	73	29,8	43,2	-	-	-	67,8	0	67,8
Media folha + grama	67,7	29,4	38,3	-	-	-	61,9	0	61,9
Folha + grama + galho A	24,5	16,8	7,7	12,6	10,1	2,5	22,8	0	22,8
Folha + grama + galho B	14,6	11	3,6	13,3	12,9	0,4	25,6	0	25,6
Media folha + grama + galho	19,6	13,9	5,7	13	11,5	1,5	24,2	0	24,2
Folha + galho A	43,1	17,3	25,8	18,9	11,3	7,6	-	-	-
Folha + galho B	55,4	28	27,4	24	19,3	4,7	-	-	-
Media folha + galho	49,3	22,7	26,6	21,5	15,3	6,2	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os valores denominados “diferença” na tabela 6 estão, agora, na tabela 7 a seguir, representados em porcentagem. A partir dos valores calculados anteriormente na tabela 6 foi realizada uma transformação para porcentagem do quanto de material utilizado foi decomposto no processo.

Tabela 7 – Diferença entre o material de entrada e o material de saída em %.

Pilha	Folhas			Galhos			Grama		
	Ent	Saí	Dif	Ent	Saí	Dif	Ent	Saí	Dif
	kg		%	kg		%	kg		%
Folha + grama A	62,4	29	53,5	-	-	-	55,9	0	100
Folha + grama B	73	29,8	59,2	-	-	-	67,8	0	100
Media folha + grama	67,7	29,4	56,6	-	-	-	61,9	0	100
Folha + grama + galho A	24,5	16,8	31,4	12,6	10,1	19,9	22,8	0	100
Folha + grama + galho B	14,6	11	24,6	13,3	12,9	3	25,6	0	100
Media folha + grama + galho	19,6	13,9	29,1	13	11,5	11,5	24,2	0	100
Folha + galho A	43,1	17,3	59,9	18,9	11,3	40,2	-	-	-
Folha + galho B	55,4	28	49,5	24	19,3	19,6	-	-	-
Media folha + galho	49,3	22,7	54	21,5	15,3	28,8	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A grama foi totalmente descomposta nas duas misturas nas quais foi utilizada, ou seja, nas misturas folha + grama e folha + grama + galho.

Pouco mais da metade da quantidade de folhas foi decomposta nas misturas folha + grama e folha + galho, enquanto que na mistura folha + grama + galho somente quase um terço da matéria prima de folhas foi decomposta.

Observou-se que, na mistura folha + grama + galho, além das folhas, os galhos também foram pouco decompostos e em menor quantidade quando comparado a outra mistura que fez uso deste material.

Além das matérias primas, também foi pesada a quantidade de composto produzido no processo (tabela 8).

Tabela 8 – Pesagem do composto produzido e beneficiado em kg.

Pilha	Composto beneficiado
	kg
Folha + grama A	10,4
Folha + grama B	19
Media folha + grama	14,7
Folha + grama + galho A	3,8
Folha + grama + galho B	3
Media folha + grama + galho	3,4
Folha + galho A	5,2
Folha + galho B	7,8
Media folha + galho	6,5

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A mistura folha + grama produziu maior quantidade de composto do que as outras duas misturas testadas. Chegando a contabilizar mais do que o dobro produzido por cada uma das outras misturas.

A mistura folha + grama + galho produziu pouco composto e foi a menos produtiva dentre as três.

Quanto às análises dos compostos em laboratório, a tabela 9 apresenta os resultados referentes ao pH.

Tabela 9 – Resultado analítico do pH.

Pilha	pH
Folha + grama A	6,67
Folha + grama B	6,39
Media folha + grama	6,53
Folha + grama + galho A	6,17
Folha + grama + galho B	6,49
Media folha + grama + galho	6,33
Folha + galho A	6,96
Folha + galho B	7,1
Media folha + galho	7,03

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Não houve grande diferença dos valores de pH entre as misturas, eles se mantiveram entre 6 e 7.

De acordo com Kiehl (2004), composto com pH abaixo de 6,0 indica que ele está cru ou em fase inicial de decomposição e apresenta fitotoxicidade, sendo de um nível indesejável. Entre 6,0 e 7,6 provavelmente ele está semicurado, bioestabilizado, com capacidade para ser utilizado como fertilizante e nível bom. Acima de 7,6 indica que está encaminhado para a maturação ou já está humificado, sendo nível ótimo.

A Instrução Normativa nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento determina que o pH deve ser de no mínimo 6.

Portanto, todos os compostos estão enquadrados na legislação, aptos para serem utilizados e possuem nível bom.

Os resultados foram similares aos encontrados por Lima (2014), o qual produziu composto com diferentes proporções de bagaço de cana prensado e torta de mamona, e Teixeira *et al.* (2004), o qual utilizaram lixo orgânico urbano, capim e caroço de açaí como matérias-primas.

A tabela 10 apresenta os resultados para condutividade elétrica, em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

Tabela 10 – Resultado analítico da condutividade elétrica.

Pilha	Condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$)
Folha + grama A	571,6
Folha + grama B	341,9
Media folha + grama	456,75
Folha + grama + galho A	561,7
Folha + grama + galho B	596,8
Media folha + grama + galho	579,25
Folha + galho A	381,1
Folha + galho B	521,1
Media folha + galho	451,1

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Observa-se que a mistura folha + grama + galho registrou o valor mais alto, enquanto que as misturas folha + grama e folha + galho apresentaram valores próximos entre si.

Segundo Kiehl (2004), a condutividade elétrica é mais um indicador do grau de maturação do fertilizante a ser considerado e este não deve ultrapassar $4000 \mu\text{s cm}^{-1}$ ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$). Portanto, todos os compostos produzidos estão dentro do limite indicado na literatura.

Os resultados foram próximos aos de Leal *et al.* (2008) em composto produzido a partir de capim Napier e crotalária. Os autores encontraram o valor $528 \mu\text{s cm}^{-1}$ para a proporção 66% de crotalária e 33% de capim Napier e $409 \mu\text{s cm}^{-1}$ para a proporção 33% crotalária e 66% de capim Napier.

Já Lima (2014) experimentou diferentes proporções de bagaço de cana prensado e moído com torta de mamona na produção de composto e encontrou valores entre 1000 e $1474 \mu\text{s cm}^{-1}$. Valores mais elevados do que os encontrados para todas as misturas do presente trabalho.

A tabela 11 apresenta os valores encontrados para umidade, em %.

Tabela 11 – Resultado analítico de umidade.

Pilha	Umidade (%)
Folha + grama A	23,42
Folha + grama B	15,04
Media folha + grama	19,23
Folha + grama + galho A	21,3
Folha + grama + galho B	46,76
Media folha + grama + galho	34,03
Folha + galho A	31,04
Folha + galho B	32,11
Media folha + galho	31,58

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A mistura folha + grama apresentou o valor mais baixo e as outras duas misturas obtiveram valores próximos entre si.

Os resultados das misturas folha + grama + galho e folha + galho foram semelhantes aos encontrados por Silva (2016), entre 29,1 a 33,2%, que utilizou diferentes proporções de material vegetal e resíduos de alimentos.

De acordo com o anexo II da Instrução Normativa nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, onde estão expostas especificações dos fertilizantes orgânicos simples, a umidade máxima permitida é 40%. Sendo assim, todas as misturas se enquadram neste parâmetro.

Kiehl (1985) sugere uma escala de valores, um composto que apresenta umidade entre 15 e 25% tem nível ótimo, entre 25 e 35% bom e acima de 35% indesejável. Portanto, segundo este autor, a mistura folha + grama se enquadra em nível ótimo, enquanto que as misturas folha + grama + galho e folha + galho se enquadram em bom.

A tabela 12 mostra os resultados referentes ao óxido de potássio (K_2O) total, em %.

Tabela 12 – Resultado analítico de K_2O total.

Pilha	K_2O total (%)
Folha + grama A	0,200
Folha + grama B	0,120
Media folha + grama	0,160
Folha + grama + galho A	0,130
Folha + grama + galho B	0,080
Media folha + grama + galho	0,105
Folha + galho A	0,060
Folha + galho B	0,090
Media folha + galho	0,075

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A mistura folha + grama apresentou valor um pouco mais alto do que as outras duas misturas. A mistura folha + galho apresentou o valor mais baixo, não alcançando nem 0,1%. Em geral, foram resultados baixos.

Em uma escala de valores sugerida por Kiehl (1985), possuir K_2O abaixo de 0,5% indica que é baixo. E todos as misturas deste trabalho apresentaram valores inferiores a este sugerido.

De acordo com Abreu *et al.* (2017), o Fertilurb, composto orgânico produzido a partir de resíduos orgânicos urbanos coletados pela Comlurb – Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro, apresenta 0,12% de potássio. Valor mais baixo que o encontrado para a mistura folha + grama e mais alto que as demais misturas.

Cravo *et al.* (1998) encontraram 0,33% em composto produzido a partir de lixo urbano na cidade de Manaus; Teixeira *et al.* (2004) 0,79% em composto desenvolvido a partir de lixo orgânico urbano, capim e caroço de açaí; e Lima

(2014) com a utilização de bagaço de cana e torta de mamona para formação do composto encontrou 0,908%. Resultados mais elevados do que todas as misturas do presente trabalho.

A tabela 13 apresenta os resultados referentes ao pentóxido de fósforo (P_2O_5) total, em %.

Tabela 13 – Resultado analítico de P_2O_5 total.

Pilha	P_2O_5 total (%)
Folha + grama A	0,220
Folha + grama B	0,200
Media folha + grama	0,210
Folha + grama + galho A	0,430
Folha + grama + galho B	0,160
Media folha + grama + galho	0,295
Folha + galho A	0,390
Folha + galho B	0,160
Media folha + galho	0,275

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A mistura folha + grama apresentou o valor mais baixo, enquanto que a mistura folha + grama + galho, o mais alto, contudo, bem aproximado ao da mistura folha + galho. Em geral, não houve grande diferença entre os valores encontrados entre as misturas, já que se apresentaram próximos entre si.

O resultado da mistura folha + grama foi próximo ao que Leal (2006) encontrou, 0,231%, ao utilizar apenas capim Napier como matéria-prima e ao de Cravo *et al.* (1998), 0,217%, em composto produzido a partir de lixo urbano nas cidades de Florianópolis e São Paulo. Enquanto que os resultados das misturas folha + grama + galho e folha + galho foram próximos ao que Silva *et al.* (2011) em produção de composto com uso de capim elefante e casca de café encontraram, 0,3% e ao de Cravo *et al.* (1998), 0,303%, em composto produzido a partir de lixo urbano na cidade de Belo Horizonte.

De acordo com Abreu *et al.* (2017), o Fertilurb, composto orgânico produzido a partir de resíduos orgânicos urbanos coletados pela Comlurb – Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro, apresenta 0,53% de fósforo. Valor mais alto que o encontrado em todas as misturas testadas neste trabalho.

Em experimento realizado por Lima (2014) com utilização de bagaço de cana e torta de mamona para formação do composto, foi encontrado 0,682% de fósforo. Valor acima de todas as misturas da presente pesquisa.

A tabela 14 apresenta os resultados para capacidade de troca de cátions (CTC), em mmolc kg⁻¹.

Tabela 14 – Resultado analítico da CTC.

Pilha	CTC (mmolc kg ⁻¹)
Folha + grama A	432,80
Folha + grama B	329,10
Media folha + grama	380,95
Folha + grama + galho A	548,00
Folha + grama + galho B	650,10
Media folha + grama + galho	599,05
Folha + galho A	507,90
Folha + galho B	529,60
Media folha + galho	518,75

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A mistura folha + grama apresentou o resultado mais baixo. As outras duas misturas, folha + grama + galho e folha + galho, obtiveram valores altos e aproximados entre si.

O resultado da mistura folha + grama foi similar ao de Teixeira *et al.* (2004) na produção de composto a partir de lixo orgânico urbano, capim e caroço de açaí, quando encontrou 375,7 mmolc kg⁻¹.

De acordo com Kiehl (2004), um bom composto deve apresentar uma CTC entre 600 e 800 mmolc kg⁻¹. Portanto, seguindo o autor, a mistura folha + grama + galho foi a que praticamente se aproximou deste valor, ao apresentar 599,05 mmolc kg⁻¹.

6

Conclusão

O Brasil é um grande gerador de resíduos sólidos e muitas vezes estes materiais não recebem o devido tratamento. Em 2017, 59,1% dos RSU coletados foram dispostos em aterros sanitários. Contudo, o restante, 40,9%, equivalente a mais de 29 milhões de toneladas, foi disposto em locais inadequados, como lixões e aterros controlados, por 3.352 municípios brasileiros.

Todo resíduo deve ter o descarte adequado, com intuito de proporcionar menos impactos ambientais. A destinação inadequada causa riscos ao meio ambiente e à saúde. Polui corpos hídricos e solo e atrai vetores que podem fazer mal à saúde, por exemplo. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, Lei 12.305 de 2010, específica do tema, aponta como destinação final ambientalmente adequada a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético.

Existem diversos tipos de resíduos sólidos, dentre eles, o resíduo orgânico. Representado pela fração orgânica presente nos resíduos domiciliares, comerciais e limpeza pública. Normalmente é encaminhado para disposição final junto com outros tipos de resíduos que não foram coletados de forma seletiva.

Mais da metade dos resíduos sólidos gerados no país é constituído de matéria orgânica, equivalente à 51,4%. Este cenário se repete tanto no estado quanto no município do Rio de Janeiro, representando, respectivamente 53,28% e 52%.

Um dos tratamentos deste tipo de resíduo é a compostagem. Um processo onde ocorre decomposição por ação de microorganismos e transformação do material. Possui diferentes métodos e diversos fatores influenciam no processo. Como produto final, tem-se um composto orgânico, material rico em matéria orgânica e nutrientes, capaz de proporcionar melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e que auxilia na fertilidade. Tem diversos usos, como agricultura, paisagismo e reflorestamento.

Além de gerar um produto útil, a adoção da compostagem também proporciona redução da quantidade de resíduos encaminhados para aterros sanitários, aumentando o tempo de vida útil dos mesmos.

Do experimento de campo realizado no *campus* da universidade, concluiu-se que os resultados analíticos encontrados estão de acordo e dentro

de limites dispostos em literatura e na Instrução Normativa nº 25 de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Porém, o ponto negativo foi que os valores para o macronutriente potássio foram baixos para todas as misturas. O potássio é muito móvel e se perdeu facilmente por lixiviação ao longo do processo de compostagem.

Em geral, não houve grandes diferenças entre os compostos avaliados. Exceto para os parâmetros umidade e CTC, nos quais a mistura folha + grama apresentou resultados distantes e mais baixos que as outras duas misturas.

A mistura folha + grama foi a mais produtiva, a que gerou maior quantidade de composto ao final do processo. Seus resultados analíticos se mostraram satisfatórios. Embora tenha apresentado o menor teor de umidade e menor CTC dentre as misturas testadas.

A mistura folhas + galhos + grama foi a que obteve menor sucesso quanto a quantidade de produção de composto. Pouco material foi decomposto no período e, conseqüentemente, menos composto foi obtido. Para quatro dos seis parâmetros analisados em laboratório esta mistura apresentou valores superiores que os resultados das outras duas misturas. Embora tenha obtido bons resultados analíticos e que estão dentro dos padrões, esta mistura produziu pouco material final.

A mistura folha + galho apresentou boa eficiência na decomposição de folhas, ao decompor cerca da metade do que foi posto no início do processo. Seus resultados analíticos foram muito próximos ao encontrados para a mistura anterior, folhas + galhos + grama.

A metodologia se mostrou eficiente, pois não foi necessário grande investimento em infraestrutura e mão de obra para a realização do processo e o composto produzido apresentou boa qualidade. Portanto, mostra-se como uma boa alternativa para o tratamento de resíduos orgânicos, assim como fonte de adubo para produtores agrícolas urbanos.

Para trabalhos futuros, seria interessante realizar o experimento em localidades que possuam diferentes características ambientais de onde o presente estudo foi conduzido, como em áreas mais abertas, onde não haja influência de sombra sobre as pilhas. Assim como realizar mais repetições, a fim de aumentar a apuração dos resultados. Testar o experimento em diferentes épocas do ano. Aplicar maior instrumentação ao longo do processo com intuito de monitorar fatores como temperatura e umidade das pilhas e realizar acompanhamento da compostagem. Utilizar o composto obtido para a produção de mudas de hortaliças a fim de avaliar seu desempenho.

Referências bibliográficas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2018. 73 p. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

ABREU, A. H. M de; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A. de; LELES, P. S. dos S.; ABEL, E. L. S.; ALONSO, J. M. Urban solid waste in the production of Lafoensia pacari seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 2, p. 83-87, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v21n2/1415-4366-rbeaa-21-02-0083.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004:2004 **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004.

ALENCAR, E. Compostagem de lixo do Rio pode gerar 4.500 toneladas de adubo e energia necessária para abastecer 25 mil residências. **O Globo**. 16 jul. 2011. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/compostagem-de-lixo-do-rio-pode-gerar-4500-toneladas-de-adubo-energia-necessaria-para-abastecer-25-mil-residencias-2714849>> Acesso em: 10 abr. 2019.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. São Paulo, 2005. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1.ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1999. 120 p.

BRASIL. **Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004**. Presidente da República. Brasília, DF. 2004.

BRASIL. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980**. Presidente da República. Brasília, DF. 1980.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Presidente da República. Brasília, DF. 2010.

BRASIL, E.C.; VIÉGAS, I. de J.M.; SILVA, E.S.A.; GATO, R.F. **Nutrição e adubação: conceitos e aplicações na formação de mudas de pimenta longa**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 13).

BRITO, M. **Manual de compostagem da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (ESAPL)**. 2005. Disponível em: <http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_de_compostagem%20capa.htm> Acesso em: 30 jan. 2019.

CHAVES, L. H. G., TITO, G. A., CHAVES, I. B., LUNA, J. G., SILVA, P. C. M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção - Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, mar/jun. 2004.

CICLO ORGÂNICO. **Sobre o Ciclo Orgânico**. Disponível em: <<https://cicloorganico.com.br/sobre-o-ciclo-organico/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

CICLUS. **Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Rio)**. Disponível em: <http://www.ciclusambiental.com.br/ciclus_ctr.php>. Acesso em 20 mar. 2018.

CRAVO, M. S.; MURAOKA, T.; GINE, M. F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 547-553, 1998. Disponível em: <<http://scielo.br/pdf/rbcs/v22n3/21.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

DUBBELING, M. **A agricultura urbana como estratégia de redução de riscos e desastres diante da mudança climática**. The RUAF Foundation. Revista de Agricultura Urbana, nº 27, 2014.

EPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Composting yard trimmings and municipal solid waste**. EPA530-R-94-003, 1994. 141 p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Edição FINEP - PROSAB, Rio de Janeiro, 1999. 84 p.

FETTI, G, L, R. **Evolução da matéria orgânica durante o processo de compostagem**. 2013. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/ib/ceis/mundoleveduras/2013/Compostagem-GeorgeFetti.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2019.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro**: relatório síntese. 2013.

HERZOG, C. P. **Cidades para Todos**: (re)aprendendo a conviver com a natureza. Mauad X, Inverde, Rio de Janeiro, 2013.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**: relatório de pesquisa. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_r elatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf> Acesso em 22 mar. 2018.

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

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri: Editora Manole, 2012.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. 1.ed. Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres", 1985. 492 p.

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

LEAL, M. A. de A.; SILVA, S. de D. da; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. dos G. **Adubação orgânica de beterraba com composto obtido a partir da mistura de palhada de gramínea e de leguminosa**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 15 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 43).

LEAL, M. A. de A. **Curso de Compostagem**: curso online, Embrapa Agrobiologia. Notas de Aula, 2019.

LEAL, M. A. de A. **Produção e eficiência agronômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para cultivo de hortaliças orgânicas**. Seropédica, 2006. 133 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

LEAL, M. A. **Produção de fertilizante orgânico de origem 100% vegetal por meio da compostagem**. Embrapa Agrobiologia, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1865056/artigo-producao-de-fertilizante-organico-de-origem-100-vegetal-por-meio-da-compostagem>> Acesso em: 19 jun. 2019.

LIMA, J. T., **Obtenção de fertilizantes e substratos orgânicos a partir da compostagem de bagaço de cana mais torta de mamona e seu uso na produção de algumas hortaliças**. Seropédica, 2014. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

MACHADO, A. T.; MACHADO, C. T. de T. **Agricultura urbana e periurbana: Benefícios e riscos potenciais**. Embrapa Cerrados, 2004. Disponível em: <<http://www.agriculturaurbana.org.br/sitio/textos/Cynthia%20sobre%20AU.htm>> Acesso em: 22 mai. 2018.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009**. Secretário de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. Brasília, DF. 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano nacional de resíduos sólidos**: versão pós audiências e consulta pública para conselhos nacionais – proposta. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf> Acesso em 20 mar. 2018.

NETO, T. J. P. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: os reflexos nas cooperativas e a logística reversa. **Revista Diálogo**, n. 18, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/artigos/dialogo/Aguardando_liberacao_direitos_autorais/2011_n18/tjpneto.pdf> Acesso em: 23 mar. 2019.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 7 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 59).

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. 2008. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo. Piracicaba.

PEIXE, M; HACK, M. B. **Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos**: experiência do município de Florianópolis/SC. 2014. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/27_03_2014_10.52.58.648dc17b1d3f981315f8ecf7d2104d2f.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Comlurb apresenta equipamento para compostagem doado pela Alemanha**. 2018. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/exibeconteudo?id=8301269>>. Acesso em 10 abr. 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Delegação alemã visita EcoParque do Caju da Comlurb**. 2019b. Disponível em: < <https://prefeitura.rio/comlurb/delegacao-alema-visita-ecoparque-do-caju-da-comlurb/>>. Acesso em 14 jan. 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Delegação do Parlamento Alemão conhece projetos sustentáveis da Comlurb**. 2019a. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/exibeconteudo?id=9994408>>. Acesso em 14 jan. 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro**. 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Prefeitura intensifica produção de composto orgânico para ações de reflorestamento**. 2010. Disponível em: <<http://prefeitura.rio/web/guest/exibeconteudo?id=1023913>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ROESE, A. D. **Agricultura urbana**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/812707/1/ADM036.pdf>> Acesso em 22 mai. 2018.

SANTOS, E. Ceasa do Rio vai produzir adubo orgânico com resíduos não comercializados. **Agência de Notícias - Embrapa Solos**. 10 dez. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-noticias/-/noticia/1504264/ceasa-do-rio-vai-produzir-adubo-organico-com-residuos-nao-comercializados>> Acesso em: 10 abr. 2019.

SILVA, A. S. F. da. **Avaliação do processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos**. Recife, 2016. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

SILVA, V. M. da; RIBEIRO, P. H.; TEIXEIRA, A. F. R. Caracterização de compostos de resíduos orgânicos em propriedade de base familiar: aspectos qualitativos, quantitativos e econômicos. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p.405-409, jul-set, 2011.

SIQUEIRA, T.; ASSAD, M. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil)**. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2015000400014> Acesso em 3 jun. 2018.

SOUZA, F. A de; AQUINO, A. M. de; RICCI, M. dos S. F.; FEIDEN, A. **Compostagem**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 10 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 50).

TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. de; FURLAN JUNIOR, J.; GERMANO, V. L. C. **Características químicas de composto orgânico produzido com lixo orgânico, caroço de açaí, capim e serragem**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 105).

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes**: cálculo de fórmulas comerciais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011. 29p. online (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 208).

VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4. Ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p.