

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL

ANA JÚLIA DE OLIVEIRA VITO

ESTUDO DE CONCEPÇÃO E VIABILIDADE DE UM PÁTIO DE  
COMPOSTAGEM NO BAIRRO SANTA ANGELINA, SÃO CARLOS - SP

São Carlos

2025



ANA JÚLIA DE OLIVEIRA VITO

Estudo de concepção e viabilidade de um pátio de compostagem no bairro Santa  
Angelina, São Carlos – SP

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Ambiental, da Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Dr. Guilherme Henrique Duarte de  
Oliveira

São Carlos

2025

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

V845e Vito, Ana Júlia de Oliveira  
Estudo de concepção e viabilidade de um pátio de  
compostagem no bairro Santa Angelina, São Carlos - SP /  
Ana Júlia de Oliveira Vito; orientador Guilherme  
Henrique Duarte de Oliveira. São Carlos, 2025.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2025.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Compostagem  
comunitária. 3. Sustentabilidade urbana. 4. Compostagem  
de pequeno porte. 5. Método UFSC. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

# FOLHA DE JULGAMENTO

---

Candidato(a): Ana Julia de Oliveira Vito

Data da Defesa: 23/06/2025

Comissão Julgadora:

Resultado:

Guilherme Henrique Duarte de Oliveira (Orientador(a))

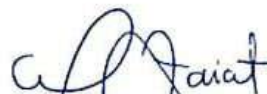
APROVADA

Marco Aurélio Soares de Castro

APROVADA

Igor Matheus Benites

APROVADA



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

*Este trabalho é dedicado ao meu avô, José  
Maria, que sempre me perguntava o que fazia uma  
Engenheira Ambiental*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Daniela e Fernando, por todo o apoio e oportunidades de estudo que me proporcionaram chegar até a melhor universidade da América Latina.

À minha irmã Ana Clara, carinhosamente chamada de Chess, minha melhor amiga desde que nasci, obrigada por sempre me encorajar e estar ao meu lado com tanto amor.

Ao meu namorado, Pedro, por ser colo, carinho e presença constante em todos os momentos. Sua companhia foi essencial nessa jornada.

À República Cama de Gato, por ter tornado minha experiência universitária inesquecível e por me presentear com amizades que levarei para sempre no coração.

À Maria Eduarda, por todos os aprendizados e pela troca diária no nosso último semestre em São Carlos.

À minha melhor amiga de infância, Agnes, por tantos momentos especiais vividos juntas e pelo companheirismo de sempre.

E ao veganismo, que transformou minha forma de enxergar o mundo e foi a semente que despertou em mim o desejo de cuidar do planeta. Foi por ele que escolhi a Engenharia Ambiental como caminho de vida e profissão.





## RESUMO

VITO, A. J. O. **Estudo de concepção e viabilidade de um pátio de compostagem no bairro Santa Angelina, São Carlos – SP.** 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

Este trabalho apresenta o estudo de concepção e viabilidade de um pátio de compostagem de pequena escala, consorciado com horta urbana comunitária, no bairro Santa Angelina, em São Carlos-SP. O projeto contempla a utilização de um terreno de aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup> para a compostagem dos resíduos orgânicos gerados pela comunidade em seu entorno, integrando a gestão de resíduos sólidos com agricultura urbana sustentável. Os objetivos específicos incluíram a avaliação dos requisitos regulatórios aplicáveis, a comparação entre opções tecnológicas, o dimensionamento das unidades necessárias e o levantamento orçamentário. A metodologia adotada envolveu revisão normativa, análise multicritério, dimensionamento técnico e levantamento de custos. Foram avaliadas duas alternativas de compostagem: leiras estáticas com aeração passiva e leiras estáticas com aeração forçada. A geração estimada de resíduos orgânicos em um raio de 400 m do terreno em estudo foi calculada em aproximadamente 415,89 kg/dia, considerando a adesão de parte da população e de grandes geradores locais. Para essa situação, a tecnologia de leiras estáticas de aeração passiva demonstrou-se mais adequada. O pátio foi dimensionado para operar com oito leiras de 2 x 8 m, ocupando uma área útil de 545 m<sup>2</sup> e área total de 672 m<sup>2</sup>, incluindo a barreira verde. As estruturas de apoio ao processo e à gestão da compostagem somam, no total, 1.228,29 m<sup>2</sup> de área construída. O custo preliminar de implantação foi calculado em R\$ 33.984,80, considerando operação predominantemente manual e uma equipe composta por quatro operadores. A produção diária de composto foi projetada em 388,8 kg, sendo parte desse volume destinada a uma horta comunitária de 345 m<sup>2</sup>. Os resultados indicam que a implementação do pátio é tecnicamente viável, de baixo custo e com potencial impacto positivo na gestão de resíduos e na promoção da agricultura urbana. A abordagem adotada pode servir de modelo para políticas públicas de compostagem descentralizada em municípios de médio porte.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Compostagem comunitária. Sustentabilidade urbana. Compostagem de pequeno porte. Método UFSC.

## ABSTRACT

VITO, A. J. O. **Conception and Feasibility Study of a Composting Yard in the Santa Angelina Neighborhood, São Carlos – SP.** 2025. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025.

This work presents the design and feasibility study of a small-scale composting site, integrated with a community urban garden, located in the Santa Angelina neighborhood in São Carlos, São Paulo, Brazil. The project involves the use of a plot of approximately 2,500 m<sup>2</sup> for composting organic waste generated by the surrounding community, integrating solid waste management with sustainable urban agriculture. The specific objectives included the assessment of applicable regulatory requirements, comparison of technological options, sizing of necessary units, and cost estimation. The adopted methodology involved regulatory review, multicriteria analysis, technical sizing, and cost assessment. Two composting alternatives were evaluated: static piles with passive aeration and static piles with forced aeration. The estimated generation of organic waste within a 400-meter radius of the site was calculated at approximately 415.89 kg/day, considering the participation of a portion of the population and local large-scale generators. For this scenario, the technology of static piles with passive aeration proved to be more suitable. The composting site was designed to operate with eight piles measuring 2 x 8 meters, occupying a working area of 545 m<sup>2</sup> and a total area of 672 m<sup>2</sup>, including a green fence. The support structures for the composting process and site management total 1,228.29 m<sup>2</sup> of built area. The preliminary implementation cost was estimated at R\$ 33,984.80, assuming predominantly manual operation and a team of four operators. The projected daily compost output is 388.8 kg, with part of this volume intended for a 345 m<sup>2</sup> community garden. The results indicate that the implementation of the composting site is technically feasible, low-cost, and has the potential for a positive impact on waste management and the promotion of urban agriculture. The adopted approach may serve as a model for decentralized composting policies in medium-sized municipalities.

**Keywords:** Urban solid waste. Community composting. Urban sustainability. Small-scale composting. UFSC Method.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABRELPE	Programa de Aproveitamento de Madeira de Podas de Árvores
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
AMC	Análise Multicritério
CD	Compostagem descentralizada
CEPAGRO	Centro de Estudos e Promoção da Agricultura
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPMGIRS	Departamento de Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FORSU	Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos
GEISA	Grupo de Estudos e Intervenções Socioambientais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PCD	Pessoa com Deficiência
PEVs	Pontos de Entrega Voluntária
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
QGIS	Sistema de Informação Geográfica
RD	Resíduos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SMMADS	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UDC	Unidades Descentralizadas de Compostagem

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	5
3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS) .....	5
3.3 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL .....	7
3.4 PANORAMA GERAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS .....	9
3.5 COMPOSTAGEM.....	11
3.5.1 DEFINIÇÃO .....	11
3.5.2 PARÂMETROS OPERACIONAIS.....	11
3.5.2.1 TEMPERATURA.....	12
3.5.2.2 pH .....	13
3.5.2.3 UMIDADE .....	13
3.5.2.4 AERAÇÃO.....	13
3.5.2.5 RELAÇÃO C/N.....	14
3.5.2.6 GRANULOMETRIA .....	14
3.5.3 PARÂMETROS SOCIOAMBIENTAIS .....	15
3.5.3.1 CONTROLE DE ODOR .....	15
3.5.3.2 CONTROLE DE FORMAÇÃO DE VETORES .....	17
3.5.3.3 CONTROLE DE FORMAÇÃO DE LIXIVIADO.....	17
3.5.3.4 DESTINAÇÃO DO LIXIVIADO .....	18
3.5.3.5 IMPACTO NA VIZINHANÇA .....	18
3.6 ESTUDOS DE CASO DE COMPOSTAGEM DE PEQUENA ESCALA.....	18
3.6.1 ESTUDO DE CASO: REVOLUÇÃO DOS BALDINHOS .....	21
3.6.2 ESTUDO DE CASO: LACOR HOSPITAL (UGANDA) .....	22
3.7 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM DE PEQUENO PORTE .....	23
3.7.1 LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA MÉTODO UFSC .....	23
3.7.1.1 CONCEITO E FUNCIONAMENTO.....	23
3.7.1.2 ESTRUTURA E MONTAGEM DA LEIRA .....	24

3.7.1.3 ESTRATÉGIA DE MANEJO DE LEIRAS.....	27
3.7.1.4 PRINCIPAIS MAQUINÁRIOS/MATERIAIS NECESSÁRIOS .....	28
3.7.1.5 ESPAÇOS E ESTRUTURAS NECESSÁRIAS .....	28
3.7.2 LEIRAS ESTÁTICAS DE AERAÇÃO FORÇADA.....	30
3.8 ASPECTOS NORMATIVOS E REGULATÓRIOS PARA COMPOSTAGEM .....	31
3.8.1 LEI MUNICIPAL Nº 19.926/2020 .....	33
3.8.2 LEI MUNICIPAL Nº 21.354/2023 .....	33
3.8.3 RESOLUÇÃO ESTADUAL SIMA Nº 69.....	34
3.8 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS .....	35
4. METODOLOGIA.....	37
4.1 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS .....	37
4.2 GERAÇÃO DE FORSU .....	51
4.2.1 ESTIMATIVA POPULACIONAL.....	52
4.2.2 ESTIMATIVA DA FORSU GERADA EM SÃO CARLOS .....	55
4.2.2.1 GERAÇÃO DE RD EM SÃO CARLOS .....	55
4.2.2.2 FORSU DE GRANDES GERADORES DA ÁREA DE INTERESSE.....	56
4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA- MÉTODO UFSC .....	57
4.3.1 ÁREA OPERACIONAL PARA A COMPOSTAGEM.....	57
4.3.2 TRANSPORTE ATÉ O PÁTIO .....	64
4.3.3 QUANTIDADE NECESSÁRIA DE MATERIAL ESTRUTURANTE.....	64
4.3.4 GERAÇÃO DE LIXIVIADO.....	65
4.3.5 DESTINAÇÃO DO LIXIVIADO .....	65
4.3.6 PRODUÇÃO DE COMPOSTO E AVALIAÇÃO DA HORTA .....	65
4.3.7 MAQUINÁRIO NECESSÁRIO E DEMANDA DE MÃO DE OBRA .....	66
4.4 CROQUI DE OCUPAÇÃO DA ÁREA .....	66
4.5 LEVANTAMENTO ORÇAMENTÁRIO.....	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	68
5.1 ESCOLHA DA ÁREA DE INTERESSE.....	68
5.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	71
5.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS NA ÁREA DE INTERESSE.....	75
5.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA- MÉTODO UFSC .....	77
5.4.1 ÁREA OPERACIONAL PARA COMPOSTAGEM.....	77

5.4.2 QUANTIDADE NECESSÁRIA DE MATERIAL ESTRUTURANTE.....	83
5.4.3 FORMAÇÃO E DESTINAÇÃO DE LIXIVIADO .....	83
5.4.4 PRODUÇÃO DO COMPOSTO E AVALIAÇÃO DA HORTA.....	86
5.4.5 DEMANDA DE MÃO DE OBRA.....	88
5.5 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	88
5.5.1 ENQUADRAMENTO LEGAL .....	92
5.6 CROQUI DE OCUPAÇÃO DA ÁREA .....	92
5.7 LEVANTAMENTO PRELIMINAR ORÇAMENTÁRIO.....	95
6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	105
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	106
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	107
REFERÊNCIAS .....	109





## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e urbanização das cidades brasileiras têm intensificado os desafios relacionados à gestão de resíduos sólidos. Com a quantidade de resíduos gerados aumentando significativamente, torna-se essencial encontrar soluções eficazes e sustentáveis para o tratamento e destinação final dos mesmos (Vaverková, 2019). Esta necessidade se torna ainda mais relevante quando se trata da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), a qual representa a maior parte da massa de resíduos gerados no Brasil (Abrelpe, 2020).

Atualmente, a prática predominante para a gestão da FORSU no país é o aterramento (Abrelpe, 2020), que, apesar de ser amplamente utilizado, apresenta diversas desvantagens ambientais. Entre elas, destacam-se a emissão de gases de efeito estufa, como o metano, resultante da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos e a produção de lixiviado, que pode infiltrar-se no solo e contaminar os lençóis freáticos (Vaverková, 2019). Esses impactos podem comprometer a qualidade ambiental das áreas próximas aos aterros, afetando o equilíbrio ecológico e contribuindo para a degradação de ecossistemas sensíveis.

Segundo Massukado (2008), no Brasil, cerca de 50% a 60% dos resíduos domiciliares (RD) produzidos são constituídos de material compostável. No entanto, por este não ser coletado separadamente, acaba sendo encaminhado para os aterros sanitários. Nesse contexto, a compostagem se destaca como uma alternativa promissora, capaz de transformar resíduos orgânicos em composto condicionador de solo, reduzindo o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários e promovendo práticas de agricultura urbana.

As experiências de compostagem nos países em desenvolvimento remetem à grandes plantas centralizadas e mecanizadas, que, por falta de recursos para operação e manutenção, acabam encerrando sua atividade (Massukado, 2008). Dessa forma, a descentralização da compostagem pode ser considerada uma opção viável.

A compostagem descentralizada (CD) é realizada em instalações físicas destinadas a receber e tratar os resíduos compostáveis provenientes de coleta separada, gerenciando a fração orgânica o mais próximo possível do local onde foi gerada. Essa prática pode proporcionar uma redução nos custos de transporte e no volume de resíduos enviados aos aterros sanitários.

Além disso, a compostagem está em conformidade com a hierarquia de gerenciamento de resíduos sólidos estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa hierarquia determina uma ordem de prioridade nas ações de gestão: não geração, redução,

reutilização, reciclagem, tratamento e, por último, disposição final. Por se enquadrar na etapa de tratamento, a compostagem deve ser incentivada e priorizada em relação ao envio de resíduos para aterros sanitários, conforme orienta a legislação (Brasil, 2010a).

Segundo Pereira e Fiore (2022), para a CD funcionar adequadamente é crucial a segregação na fonte, prática que depende fortemente da participação da população. Ou seja, a eficácia do processo está diretamente ligada à qualidade do material recebido pelas unidades de compostagem, que só é alcançada com o engajamento ativo dos cidadãos. No entanto, no Brasil, essa participação é limitada por fatores como falta de infraestrutura adequada, baixa conscientização ambiental, ausência de campanhas educativas e desconfiança nos serviços públicos de coleta e gestão de resíduos.

Uma análise aprofundada das técnicas de compostagem mais adequadas para um determinado contexto torna-se fundamental para o planejamento efetivo de políticas públicas relacionadas ao tópico. Esta avaliação deve considerar diversos fatores, como a geração e composição dos resíduos orgânicos, as distâncias de coleta, o perfil socioeconômico da população, entre outros aspectos relevantes, com o intuito de apoiar a tomada de decisões por parte dos gestores municipais e assegurar a implementação de iniciativas de CD eficazes, ambientalmente sustentáveis e socialmente justas (Paes *et al.*, 2019).

Dentre as técnicas de compostagem aplicáveis para CD, destacam-se as leiras estáticas de aeração passiva (método UFSC) e leiras estáticas de aeração ativa. As leiras estáticas de aeração passiva baseiam-se na circulação de ar por convecção natural, sem a necessidade de equipamentos mecânicos (Inácio; Miller, 2009), enquanto as leiras estáticas de aeração ativa utilizam equipamentos para a insuflação ou aspiração de ar no interior das leiras para auxiliar na atividade biológica e acelerar o processo de decomposição (Nóbrega, 1991).

A CD, especialmente em menor escala, apresenta-se como uma solução potencial para a gestão da FORSU, visto que é classificada como de baixo impacto ambiental pela Resolução SIMA nº 69/2020, podendo ser dispensado de licenciamento (São Paulo, 2020). Além disso, oferece a vantagem de integrar-se a outras iniciativas de interesse municipal, como projetos de educação ambiental e hortas urbanas comunitárias, ampliando seus benefícios sociais e ambientais.

Diante desse cenário, este trabalho faz parte de uma iniciativa piloto, realizada em parceria com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SMMADS) da Prefeitura Municipal de São Carlos, que visa fornecer suporte para a viabilização da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos gerados no município, atendendo a metas do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de

São Carlos (PMGIRS) (São Carlos, 2020), que prevê a implementação de projetos descentralizados de pequeno porte (menos de 500 kg/dia). Um levantamento preliminar de áreas institucionais disponíveis no município revelou um terreno no bairro Santa Angelina, localizado próximo à área 2 da USP São Carlos que teria aptidão para a CD.

Este estudo busca identificar a alternativa de compostagem mais adequada para o contexto do bairro Santa Angelina, considerando os âmbitos ambiental, social, econômico e técnico, propondo uma alternativa local e de baixo custo para o tratamento da FORSU. Para isso, além de analisar métodos de compostagem aplicáveis, adotou-se uma abordagem quantitativa para embasar a pesquisa, realizando cálculos com base em dados selecionados para determinar a viabilidade e os benefícios das diferentes técnicas de compostagem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho teve como objetivo geral elaborar um estudo de concepção de um pátio de compostagem em pequena escala (500 kg/dia) consorciado com horta urbana comunitária em um terreno de aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup>, no bairro Santa Angelina (São Carlos, SP).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Avaliar os requisitos regulatórios aplicáveis a esse tipo de iniciativa;
- ii. Comparar opções tecnológicas aplicáveis;
- iii. Dimensionar as unidades necessárias;
- iv. Elaborar o levantamento orçamentário preliminar.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define, no artigo 3º, inciso XVI, resíduos sólidos como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010a).

Estes são divididos em duas classes principais, de acordo com a Norma Brasileira NBR 10004:2004 (ABNT, 2024), sendo elas:

- Resíduos sólidos classe I- Perigosos;
- Resíduos sólidos classe II- Não perigosos.

Considerando que, para este trabalho, os resíduos sólidos utilizados são provenientes de fontes vegetais ou animais, como folhas de vegetais, partículas de solo, cascas de frutas e outros materiais orgânicos, a classificação dada a eles é de resíduos sólidos não perigosos (classe II).

Além dessa classificação apresentada, a PNRS também categoriza os resíduos sólidos de acordo com sua origem, conforme o Art. 13º da Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010a). Para o presente estudo, o foco será nos resíduos sólidos urbanos, que incluem os RD- provenientes de atividades domésticas em residências urbanas- e os resíduos de limpeza urbana.

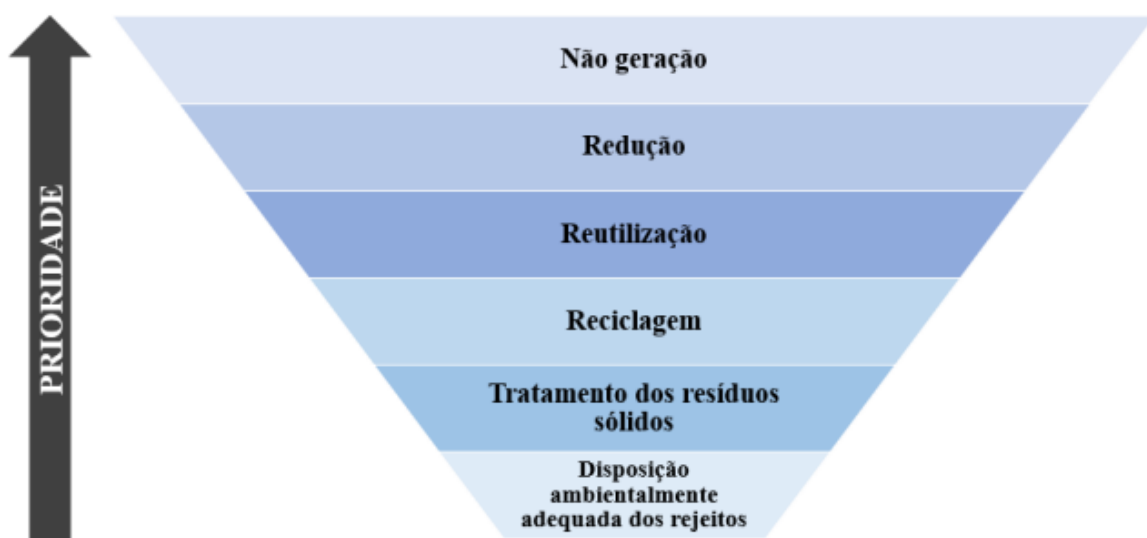
#### **3.2 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)**

A PNRS (Brasil, 2010a), define objetivos, princípios e diretrizes para a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos do Brasil. Dessa forma, ela fornece dois conceitos importantes, o de ordem de prioridade e o de responsabilidade compartilhada.

A ordem de prioridade, definida no Art. 9º e representada na Figura 1, estabelece que, “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e

disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Ou seja, a política define como essencial adotar, desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos, sendo que a disposição final ambientalmente adequada seja realizada apenas para rejeitos, os quais são aqueles que se esgotaram todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (Brasil, 2010a).

Figura 1: Ordem de prioridade na gestão de resíduos



Fonte: Fecchio; Camara, 2020.

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é definida no Art. 3º, inciso XVII, como:

conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei (Brasil, 2010a).

Assim, unindo o conceito de ordem de prioridade e responsabilidade compartilhada, pode-se inferir que a implementação de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e o manejo conjunto com agentes sociais do uso do composto final produzido estão em consonância com o exigido pela PNRS.

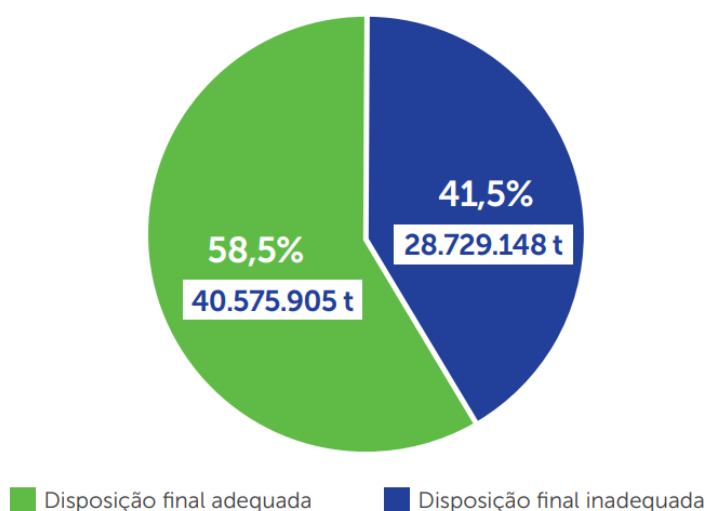
### 3.3 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

A PNRS determina que, esgotadas as possibilidades viáveis de destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU), os rejeitos devem ter uma disposição final ambientalmente adequada, que, neste caso, é o aterro sanitário. Diferentemente dos lixões e aterros controlados, os aterros sanitários contam com diversos dispositivos e procedimentos operacionais para a minimização de impactos ambientais, tais como sistemas de impermeabilização do solo, controle de gases e tratamento de chorume, que evitam riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Já os lixões e aterros controlados não possuem essas estruturas de proteção, sendo considerados inadequados para a disposição final de resíduos (Abrelpe, 2020).

Diante desse cenário, deve-se ressaltar que no Brasil há grande heterogeneidade espacial no gerenciamento de RSU. Em 2023, enquanto na região Sudeste 30,2% do RSU gerado foi disposto inadequadamente, as regiões Norte e Nordeste ainda enfrentam desafios nesse tema, sendo que 62% e 56,2% dos RSU tiveram disposição final inadequada no mesmo ano, respectivamente (Abrema, 2024).

A média nacional revela que mais de 40% de RSU gerado no país ainda é disposto inadequadamente (Figura 2), o que pode gerar impactos significativos para a saúde pública e meio ambiente (Abrema, 2024).

Figura 2: Disposição final adequada e inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil em 2023

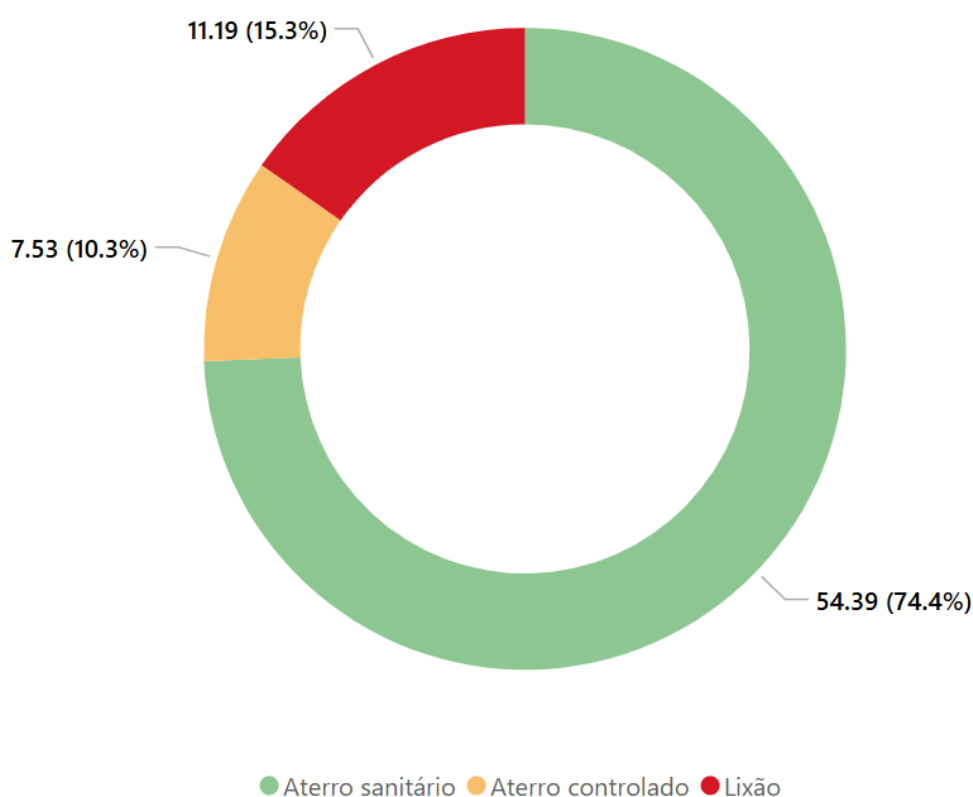


Fonte: Abrema, 2024.

Com o objetivo de mitigar os impactos da disposição final inadequada, foi criada uma das metas centrais da PNRS que se refere à desativação dos lixões no Brasil, com prazo inicialmente previsto até agosto de 2014 (Figueiredo, 2023). No entanto, diversos municípios não conseguiram cumprir esse prazo, o que se fez necessário a promulgação da Lei 14.026/2020, a qual estabelece no Art. 54º um prazo de no máximo agosto de 2024 para que os municípios garantam a disposição ambientalmente correta dos rejeitos (o prazo varia entre agosto de 2021 a agosto de 2024, a depender da sua localização e quantidade de habitantes) (Brasil, 2020a).

No entanto, os dados mais atuais fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2025 mostram que 25,6% dos RSU ainda são destinados para aterros controlados e lixões, conforme a Figura 3, mostrando que a medida não foi eficaz (SNIS, 2025a).

Figura 3: Estimativa da disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos no solo no Brasil. Dados de 2023.



Fonte: SNIS, 2025a.



Diante disso, pode-se inferir que a disposição final dos RSU no Brasil ainda é uma demanda premente, já que não há o cumprimento por diversos municípios do estabelecido pelas duas leis mencionadas anteriormente. Neste cenário, um projeto de lei, PL 1.323/24 (Brasil, 2024) está em análise na Câmara dos Deputados, desde agosto de 2024, o qual propõe prorrogar o prazo para municípios com até 50 mil habitantes, o que torna ainda mais urgente o estudo de medidas alternativas para a destinação final ambientalmente adequada dos RSU, já que esta inclui a desativação de lixões e uma ordem de prioridade a qual os aterros sanitários estão em último lugar, quando não há nenhum tratamento a mais para ser dado aos resíduos.

### **3.4 PANORAMA GERAL DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS**

São Carlos, município do interior do estado de São Paulo, reconhecida por seu vigor acadêmico, tecnológico e industrial, abriga duas universidades importantes para o país, a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), além da presença de grandes empresas, como Geosystems, Volkswagen e Faber Castell (Prefeitura de São Carlos, s.d).

Com uma população estimada de 254.857 habitantes em 2022, (IBGE, 2023), São Carlos gerou, por ano, cerca de 80,4 mil toneladas de RSU (CETESB, 2024). Dessa quantidade infere-se que uma parte considerável de resíduos é composta por matéria orgânica, dado que Kim (2019), ao avaliar a composição gravimétrica dos RSU de São Carlos, em 2018, encontrou que 37,8% da massa gerada corresponde à FORSU.

A gestão dos serviços de coleta e transporte dos RSU, juntamente com sua disposição final em aterro sanitário, é realizada, desde 2010, pela empresa privada São Carlos Ambiental, subsidiária do Grupo Solví, por meio de uma Parceria Público-Privada (PPP) firmada com o município. Dessa forma, a fração orgânica dos resíduos coletados em toda a extensão municipal é encaminhada sem diferenciação para o aterro sanitário localizado no município, acessível pela rodovia SP-215 (São Carlos, 2020).

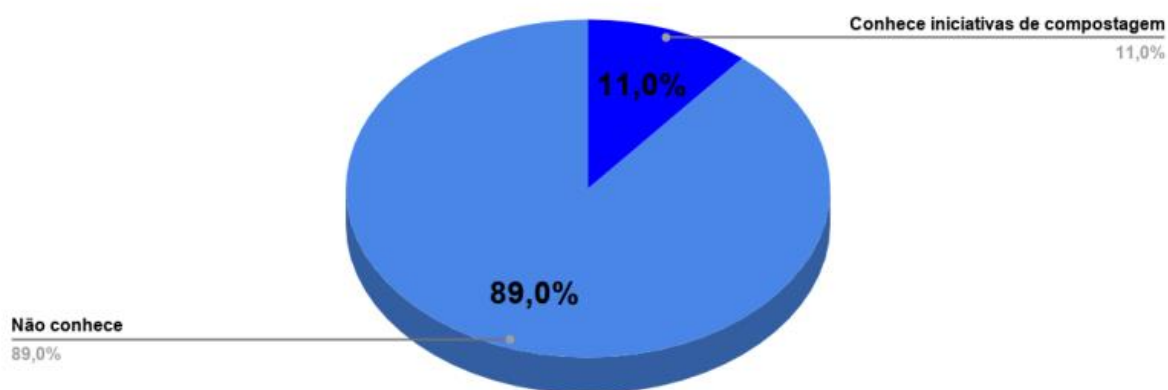
Mesmo com uma parte significativa da massa dos RSU coletados sendo composta por resíduos orgânicos, observa-se uma expressiva presença de materiais recicláveis, como papel (5,13%), papelão (4,59%), plástico filme (6,51%), plástico rígido (7,25%), vidro (3,10%) e

metais (1,73%), totalizando 28,31% da composição dos RSU. O que resta são os rejeitos, representando 25,89% da composição dos RSU em São Carlos (Kim, 2019).

A coleta seletiva em São Carlos da fração reciclável é realizada institucionalmente pela Cooperativa de Trabalho de Catadores de Materiais de São Carlos (Coopervida), em contrato com a Prefeitura Municipal (IFSP, 2023). No entanto, a reciclagem desses materiais esbarra em duas problemáticas: a coleta é limitada, já que abrange uma porção limitada da área urbana, não ocorrendo coleta na área rural e, segundo percepção dos próprios cooperados, a quantidade de rejeitos que chega à central de triagem é muito significativa, devido à inadequada segregação dos resíduos pelos cidadãos e presença de resíduos recicláveis sujos. Ou seja, além dos resíduos recicláveis não serem coletados em sua totalidade, uma parte significativa do que chega não pode ser reciclada, se tornando rejeito (São Carlos, 2020).

Embora o PMGIRS de São Carlos preveja a compostagem como alternativa à destinação de parte dos RSU à aterros sanitários, a prática ainda não é uma realidade, visto que existem poucas iniciativas no município. Além disso, mesmo a compostagem já estando prevista desde 2010 na PNRS, a maioria da população de São Carlos desconhece a prática e sua necessidade, como avaliado por Fecchio e Camara (2020) (Figura 4).

Figura 4: Conhecimento da população de São Carlos sobre iniciativas de compostagem na cidade



Fonte: Fecchio; Camara, 2020.

No estudo de Fecchio e Camara (2020), foram feitos questionários com a população de São Carlos, para identificar as iniciativas de compostagem de que tinham conhecimento. Assim, percebeu-se que essas iniciativas, no ano em que a pesquisa foi realizada, eram isoladas e funcionavam por conta própria, encontrando muitas dificuldades de sustentação,

principalmente financeira, para crescerem e continuarem operando. A falta de investimento na ampliação da coleta diferenciada e na estruturação de um sistema de compostagem limita a exploração do potencial da compostagem para a gestão da FORSU no município.

### 3.5 COMPOSTAGEM

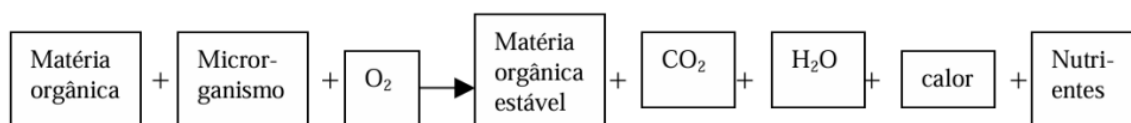
#### 3.5.1 DEFINIÇÃO

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece, na resolução nº 481/2017, a definição de compostagem.

processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem (Brasil, 2017a).

Sendo assim, a compostagem é um processo biológico controlado, que se utiliza da ação de microrganismos para transformar materiais orgânicos complexos em subprodutos orgânicos estabilizados. Conforme mostra a Figura 5, a compostagem é dependente de oxigênio e, devido a atividade biológica, ela possui elevadas temperaturas decorrentes da geração de calor do processo, chegando a picos de mais de 70°C (Inácio; Miller, 2009).

Figura 5: Esquema simplificado do processo de compostagem



Fonte: Fernandes; Silva, 1999.

#### 3.5.2 PARÂMETROS OPERACIONAIS

A compostagem, tratando-se de um processo biológico, depende de um delicado equilíbrio entre diversos parâmetros para que a degradação da matéria orgânica ocorra de forma

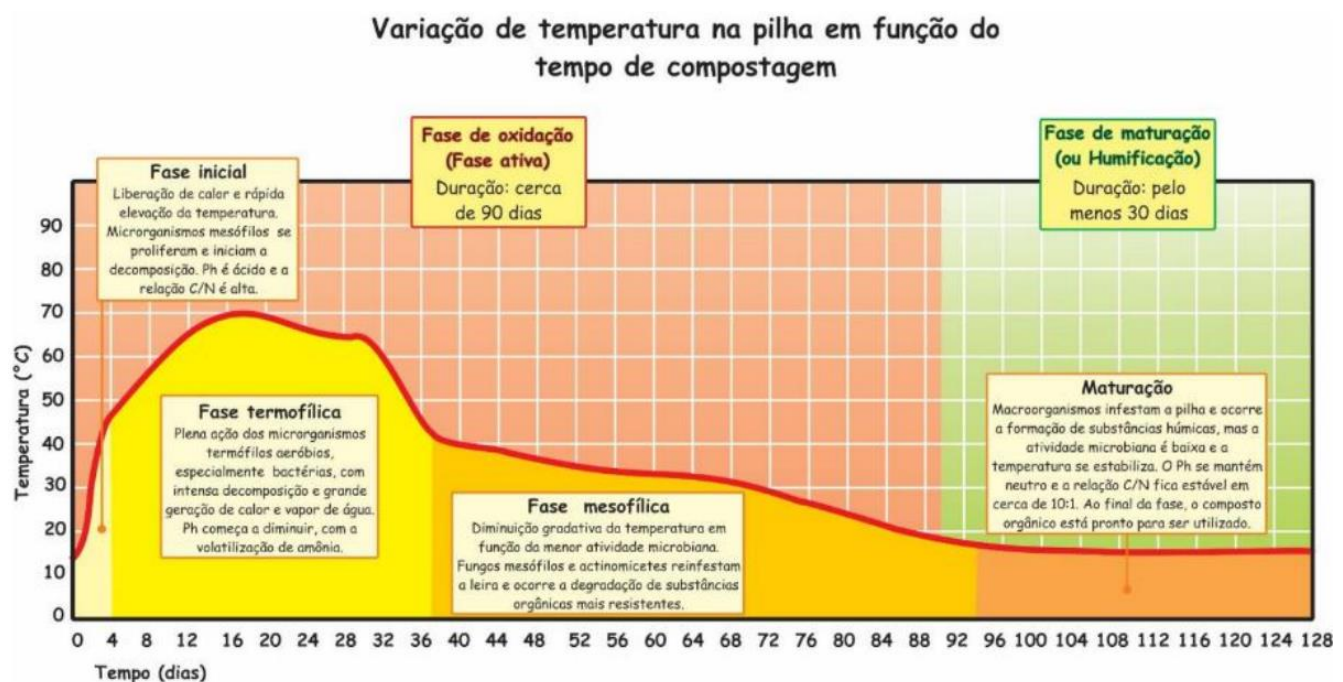
adequada, como temperatura, pH, umidade, aeração, relação C/N (Carbono/Nitrogênio) e granulometria.

### 3.5.2.1 TEMPERATURA

A temperatura é um parâmetro crucial na compostagem. Embora desempenhe um papel essencial na aceleração da decomposição e na eliminação de patógenos e sementes de plantas invasoras, esse fator é, na verdade, um indicativo da atividade biológica, variando de acordo com a intensidade do processo. (Fernandes; Silva, 1999).

As faixas de temperatura nas leiras de compostagem determinam os grupos de organismos predominantes, sendo classificadas como: criófilas (temperatura ambiente), mesófilas (até 45°C) e termófilas (acima de 50°C), conforme a Figura 6. O ideal é acompanhar e manter a temperatura entre 55°C e 65°C, garantindo a otimização do processo e a produção de um composto de qualidade (Inácio; Miller, 2009), pois temperaturas entre 70°C e 75°C por períodos prolongados podem prejudicar o processo, reduzindo a atividade benéfica dos microrganismos (Kiehl, 1998).

Figura 6: Variação de temperatura na pilha de compostagem em função do tempo de compostagem



Fonte: Inácio; Miller, 2009.

### **3.5.2.2 pH**

O pH pode variar durante a compostagem, de 3,0 a 11,0, mas a faixa em que a atividade microbiana é plenamente satisfatória é entre 5,0 e 7,0 (Inácio; Miller, 2009). Índices abaixo de 5,0 podem reduzir significativamente a atividade dos microrganismos e impedir que a leira atinja a fase termofílica (Andreoli *et al.*, 2001). Kiehl (1998) explica que a decomposição inicial da matéria orgânica, seja vegetal ou animal, é geralmente ácida, devido à formação de ácidos orgânicos. Na fase termofílica esse pH começa a aumentar, devido a reação com a amônia (base) volatilizada, e tende a se manter neutro até a maturação.

### **3.5.2.3 UMIDADE**

A água é essencial para a decomposição da matéria orgânica, pois é necessária para a atividade microbiana. Com umidade abaixo de 40%, a decomposição é aeróbia e lenta, predominando fungos e bactérias pouco ativas. Com umidade acima de 60%, o material fica encharcado, favorecendo a decomposição anaeróbia e a produção de maus odores. O ideal é manter a umidade entre 40% e 60%, sendo 55% o valor ótimo (Kiehl, 1998).

### **3.5.2.4 AERAÇÃO**

A aeração exerce influência direta sobre a taxa de absorção de oxigênio e sua distribuição espacial no composto. Manter o composto com aeração adequada fornece aos microrganismos um meio aeróbio, o que garante ausência de odores e um menor tempo de degradação. Já o processo anaeróbio, realizado por bactérias fermentativas produz maus odores, maior tempo de cura e tendência do composto a se tornar ácido (Kiehl, 1998).

Para o presente estudo ressalta-se a importância de a compostagem ocorrer em meio aeróbio, visto que, sendo um pátio dimensionado para implementação em área urbana, é de suma importância garantir que não produza maus odores.

### 3.5.2.5 RELAÇÃO C/N

O fornecimento adequado de nutrientes é crucial para o sucesso da compostagem, já que os microrganismos dependem desses elementos para prosperar e degradar a matéria orgânica. O carbono, obtido principalmente da própria matéria orgânica, serve como combustível para esses organismos, enquanto o nitrogênio é fundamental para a construção de suas células. A relação carbono/nitrogênio (C/N), nesse contexto, destaca-se como um fator crítico. Assim, a proporção ideal desses elementos é em torno de 30, podendo variar entre 20 e 70 (Fernandes; Silva, 1999).

Kiehl (1998) resumiu a relação C/N e o tempo de maturação da seguinte forma:

- C/N acima de 50/1: deficiência de nitrogênio, maturação prolongada;
- C/N entre 30/1 e 50/1: decomposição mais rápida;
- C/N abaixo de 10/1: perda de nitrogênio por volatilização, se não ajustada;
- C/N entre 25/1 e 35/1: considerada ótima.

Independentemente da relação C/N inicial, ao final do processo, a proporção tende a se estabilizar entre 10 e 20, devido à maior perda de carbono (Kiehl, 1998).

### 3.5.2.6 GRANULOMETRIA

Segundo Kiehl (1998), quanto menores as partículas de matéria orgânica, maior a superfície para os microrganismos atuarem, o que facilita a degradação. No entanto, deve-se ficar atento, pois a granulometria pode afetar a aeração, compactação e encharcamento durante a compostagem.

### **3.5.3 PARÂMETROS SOCIOAMBIENTAIS**

A gestão adequada do processo de compostagem é fundamental para minimizar riscos ambientais e possíveis incômodos à comunidade do entorno, ou seja, a forma como as leiras são manejadas exerce papel central na prevenção de impactos negativos. Dessa forma, torna-se evidente a importância de práticas sustentáveis e responsáveis que considerem não apenas os fatores ambientais, mas também os efeitos sociais decorrentes da atividade.

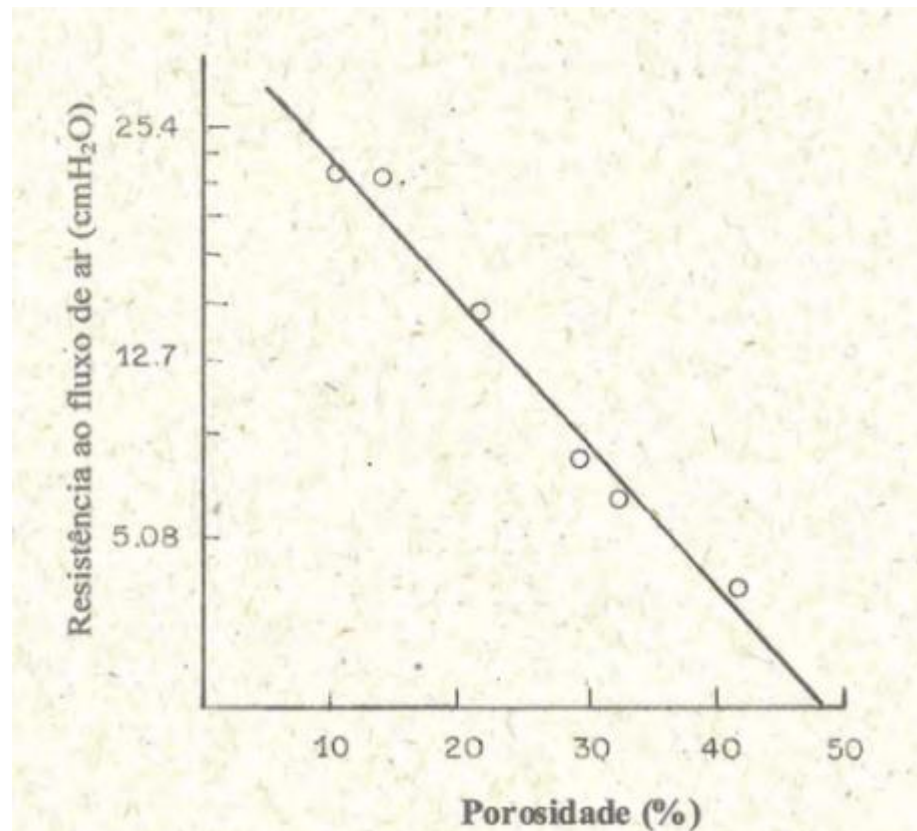
#### **3.5.3.1 CONTROLE DE ODOR**

A compostagem, quando mal conduzida, pode gerar odores desagradáveis, relacionados à decomposição da matéria orgânica em condições de anaerobiose. Segundo Inácio e Miller (2009), os principais gases associados ao mau cheiro são compostos organo-sulfurados.

Conforme indicado na Figura 7, uma alta porosidade da leira diminui a resistência ao fluxo de ar, facilitando a sua aeração. Portanto, sendo a porosidade representada pelo peso específico aparente da mistura, ou ainda denominada “densidade da mistura”, quando temos uma mistura mais densa, temos menores espaços para a passagem do ar na leira e, consequentemente, uma maior produção de odores através da atividade anaeróbia, que produz odores desagradáveis (Inácio; Miller, 2009).

Dessa forma, sendo a porosidade relacionada à densidade da mistura, recomenda-se o uso de materiais estruturantes com baixa densidade, como podas de jardim, folhas secas e aparas de madeira, a fim de garantir uma boa aeração no processo de compostagem.

Figura 7: Relação entre porosidade e fluxo de ar



Fonte: Epstein (1997); Singley *et al.* (1982) *apud* Inácio; Miller (2009).

Além disso, o monitoramento da temperatura é frequentemente empregado como indicativo da eficiência do processo aeróbio. Temperaturas superiores a 50 °C são consideradas favoráveis, pois indicam condições aeróbias, com menor formação de substâncias voláteis responsáveis pelos maus odores (Kiehl, 1998).

De acordo com Inácio e Miller (2009), eventos com fortes odores ocorrem com baixa frequência e apenas durante o revolvimento ao final do processo para maturação do composto e, em alguns casos, por falta de material estruturante na parte inferior na leira, causando um ambiente anaeróbio e consequentemente emissão de forte odor quando revolvida. No entanto, esses odores não persistem no ambiente e nem na massa do composto revolvido em maturação.



### 3.5.3.2 CONTROLE DE FORMAÇÃO DE VETORES

Para o controle da formação de vetores, o controle da temperatura é de suma importância, especialmente na superfície na leira, porque as moscas tendem a subir e se concentrar no resíduo fresco, logo abaixo da camada de palha, por isso é nessa subsuperfície que a temperatura deve atingir rapidamente temperaturas acima de 50°C, já que ovos e larvas de moscas não sobrevivem nessas temperaturas (Inácio; Miller, 2009).

Além disso, deve-se vedar bem as leiras, através de uma camada de palha externa, a fim de evitar a oviposição e auxiliar no controle da temperatura. Junto com isso, assegurar que os resíduos que chegam ao pátio sejam bem vedados em um *container* fechado, e preferencialmente destinados o mais rápido possível às leiras, evitando o estoque no local e a atração de vetores.

### 3.5.3.3 CONTROLE DE FORMAÇÃO DE LIXIVIADO

Existem diversas estratégias para minimizar a produção de lixiviado durante a compostagem, especialmente em sistemas com leiras estáticas. Uma delas é o uso de materiais estruturantes, como serragem, palha ou casca de arroz, que aumentam a porosidade da mistura. Isso melhora a circulação de ar dentro da leira, favorecendo a decomposição aeróbia e reduzindo o acúmulo de umidade (Inácio; Miller, 2009).

Isso ocorre porque esse tipo de leira tende a apresentar uma liberação reduzida e variável de percolado, em razão de sua elevada capacidade de retenção de água. Estima-se que possa reter até 500 L/m<sup>3</sup>, principalmente devido às propriedades absorventes de materiais estruturantes como aparas de madeira. A maior parte da água presente no sistema é eliminada por evapotranspiração, e apenas o excedente percola através da leira (Inácio; Miller, 2009).

Outra medida importante é a construção das leiras sobre uma base permeável e bem drenada, como brita ou areia sobre lona, que permite o escoamento do excesso de água. Isso evita o contato direto dos resíduos com o solo, reduzindo o risco de contaminação ambiental (Inácio; Miller, 2009).

Além disso, o monitoramento da temperatura é essencial. Quando a compostagem atinge a fase termofílica (acima de 50 °C), a atividade microbiana é intensa e aeróbia, o que promove a evaporação natural da umidade. Isso contribui para uma menor geração de percolato (lixiviado), mantendo o processo mais limpo e eficiente (Inácio; Miller, 2009).

#### **3.5.3.4 DESTINAÇÃO DO LIXIVIADO**

Para a destinação do lixiviado pode-se adotar tanto soluções para que ele seja coletado e prioritariamente recirculado nas leiras, ou ainda, preparar esse lixiviado rico em nutrientes para que seja disposto em solo agrícola.

Deve-se atentar, principalmente, ao ponto de lançamento do efluente, a fim de cumprir os parâmetros exigidos pelas normas ambientais, e o projeto de tratamento deve contar com dois dados primários: a análise da DBO do efluente e o cálculo da vazão diária máxima do efluente em L/dia. Esses dois dados permitem o cálculo da carga orgânica do efluente (Inácio; Miller, 2009).

#### **3.5.3.5 IMPACTO NA VIZINHANÇA**

Quando tratamos de um pátio de compostagem no centro urbano, o impacto gerado na vizinhança é um importante fator a ser levado em consideração, por isso, deve-se tomar medidas para evitá-los. Além do controle de odor e de vetores, é necessário implementar como critério um recuo mínimo de 5 a 10 metros em relação às construções vizinhas (Galvão, 2019) e, sempre que possível, a de implantação de barreiras vegetais para diminuir os impactos de ruídos, poeiras e eventuais odores da atividade nas vizinhanças do pátio (Brasil, 2017b).

### **3.6 ESTUDOS DE CASO DE COMPOSTAGEM DE PEQUENA ESCALA**

Buscou-se encontrar exemplos bem sucedidos de aplicações de técnicas compatíveis com o contexto deste trabalho, ou seja, pátios de compostagem de pequeno porte em área urbana, com uma massa esperada de resíduos orgânicos de cerca de 500 kg/dia. Para isso, a

principal referência utilizada foi o livro “Novos modelos de compostagem” (Santos; Vieira, 2023). A Tabela 1 representa a síntese dessa busca.

Tabela 1: Caracterização de unidades de compostagem de pequena escala no Brasil.

Organização	Resíduos (t/mês)	Área (m²)	Origem e tipo de resíduos	Segregação na origem	Coleta	Método	Manejo
CoperCicla	250	1.120	Domiciliar; RD sem segregação	Não	Porta a porta	Leiras com revolvimento	100% mecanizado
VerdeCoop	180	1.920	4% domiciliar, 85% comércio, 11% indústria	Sim	Porta a porta (comercial e industrial)	Pilhas com revolvimento	Mecanizado
Revolução dos Baldinhos	15	250	Domiciliar; FORSU segregada; poda municipal	Sim	Porta a porta e PEVs (pontos de entrega voluntária)	Leiras estáticas aeração passiva	Manual
ACAMARTI	12	–	30% domiciliar; 70% comercial	Não	Porta a porta	Pilhas com revolvimento	Manual
CooperCicli	6,7	480	Comercial; FORSU segregada	Sim	Porta a porta	Pilhas com revolvimento	Manual
COOMPAG	4,5	361	Domiciliar; FORSU segregada	Sim	Porta a porta	Mecanizada	Manual e mecanizada
Põe no Balde	20	1.200	23% domiciliar; 76% poda e capina municipal	Sim	Porta a porta	Leiras estáticas aeração passiva	Manual
Pila Verde	38	–	Domiciliar; FORSU segregada; poda municipal	Sim	PEVs	Leiras com revolvimento	Semimecanizado

Fonte: Adaptado de Santos e Vieira, 2023.

Entre as iniciativas analisadas, embora todas apresentem pontos de aproveitamento relevantes, a Revolução dos Baldinhos destacou-se por ser a que mais se aproxima do contexto abordado neste estudo. Por esse motivo, ela será descrita com maior profundidade na próxima seção desta revisão.

Ademais, embora o levantamento de estudos de caso apresentado em Santos e Vieira (2023) não mencione o uso de leiras estáticas com aeração forçada (ou *Aerated Static Pile - ASP*), o detalhamento desse método nas seções seguintes se justifica por sua relevância crescente em contextos urbanos descentralizados e de pequeno porte. Portanto, essa escolha visa preencher uma lacuna identificada na literatura nacional e oferecer uma avaliação mais abrangente e estratégica para a definição de modelos de compostagem aplicáveis ao contexto deste projeto.

### **3.6.1 ESTUDO DE CASO: REVOLUÇÃO DOS BALDINHOS**

A iniciativa Revolução dos Baldinhos constitui uma referência em CD com viés socioambiental, atuando em comunidades urbanas de Florianópolis, SC. O projeto surgiu como resposta a uma infestação de ratos nas comunidades atendidas, ocasionada por falhas na coleta convencional de resíduos. Diante desse cenário, foi articulada uma ação comunitária com o apoio técnico do Centro de Estudos e Promoção da Agricultura (CEPAGRO), que estruturou um sistema de coleta seletiva de resíduos orgânicos e compostagem (Santos; Vieira, 2023).

Atualmente, a operação da iniciativa envolve a distribuição de pequenos baldes (“baldinhos”) nas residências, destinados à separação domiciliar dos resíduos orgânicos, e a instalação de bombonas plásticas, que seriam pontos de entrega voluntária (PEVs), em locais estratégicos do bairro. O sistema de coleta é feito de forma híbrida: os próprios moradores levam a FORSU segregada até o PEV mais próximo, e a prefeitura municipal realiza a coleta desses resíduos duas vezes por semana, transportando-os para a unidade de compostagem comunitária (Santos; Vieira, 2023).

Embora seja uma organização de pequeno porte, composta por 8 pessoas, das quais apenas 4 atuam exclusivamente nas atividades de compostagem, a iniciativa atende cerca de

2.400 pessoas, evidenciando sua relevância no manejo da FORSU na comunidade local (Santos; Vieira, 2023).

A Revolução dos Baldinhos também integra em sua prática a manutenção de uma horta comunitária, que funciona como um espaço de convivência, educação ambiental e produção de alimentos orgânicos para a comunidade. Essa horta utiliza o composto produzido pela própria iniciativa, fechando o ciclo da reciclagem de resíduos orgânicos e promovendo a segurança alimentar local (Santos; Vieira, 2023).

Assim, essa iniciativa se destaca não apenas por manejar uma quantidade de FORSU muito próxima à estimada para o presente projeto, mas também por contar com uma horta comunitária associada, que é nutrida pelo composto produzido por meio da compostagem.

### **3.6.2 ESTUDO DE CASO: LACOR HOSPITAL (UGANDA)**

A aplicação do método de leiras estáticas com aeração forçada no Hospital Lacor, localizado em Gulu, Uganda, constitui uma referência internacional em compostagem descentralizada de pequeno porte com viés técnico-operacional. O projeto foi desenvolvido como resposta à necessidade de manejo sustentável da FORSU gerada no hospital, que atende cerca de 3.000 pessoas e representa uma das maiores instituições de saúde da região (Castellani *et al.*, 2024).

A operação envolve a coleta seletiva da FORSU gerada no hospital, incluindo restos de alimentos, folhas e cinzas, que são encaminhados para uma unidade de compostagem comunitária instalada dentro do próprio complexo hospitalar. A planta ocupa uma área de aproximadamente 190 m<sup>2</sup> e trata cerca de 29 toneladas de resíduos por mês (Castellani *et al.*, 2024).

Apesar de ser uma instalação de pequeno porte, o sistema de ASP no Hospital Lacor se destaca por sua eficiência espacial, baixo custo operacional e simplicidade de manejo, sendo operado por uma equipe reduzida e com infraestrutura acessível. O composto produzido é utilizado na fazenda do hospital e vendido para agricultores locais, promovendo a valorização dos resíduos e contribuindo para a segurança alimentar da região.

O sistema utiliza células de compostagem com aeração forçada por tubos perfurados e sopradores, permitindo o controle da temperatura e da umidade sem a necessidade de revolvimento mecânico.

Assim, essa aplicação se destaca não apenas por sua escala compatível com o presente projeto, mas também por demonstrar a viabilidade técnica e econômica do método ASP em contextos urbanos descentralizados, reforçando sua relevância como alternativa estratégica para o manejo de resíduos orgânicos urbanos.

### **3.7 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM DE PEQUENO PORTE**

As técnicas descritas a seguir correspondem aos estudos de caso apresentados na seção anterior, sendo o método UFSC referente a Revolução dos Baldinhos, e as leiras estáticas de aeração forçada ao Lacor Hospital.

#### **3.7.1 LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA MÉTODO UFSC**

O método utilizado pela Revolução dos Baldinhos é a compostagem via método UFSC, desenvolvida pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Esta é uma técnica simples e acessível para tratar resíduos orgânicos, especialmente útil para comunidades ou estabelecimentos que buscam uma solução descentralizada (Inácio; Miller, 2009). Esta alternativa destaca-se devido à sua versatilidade e baixo custo operacional, dispensando equipamentos sofisticados. Além disso, o método é sanitariamente adequado se realizado corretamente, impedindo a atração de vetores e geração de maus odores (Inácio; Miller, 2009).

##### **3.7.1.1 CONCEITO E FUNCIONAMENTO**

O método UFSC consiste na montagem de leiras estáticas com aeração passiva. Trata-se de leiras que não são revolvidas com frequência ao longo do processo, sendo essa característica responsável pela denominação “estáticas”; normalmente, realiza-se apenas um ou dois revolvimentos ao final da fase termofílica, com o objetivo de homogeneizar o material e prepará-lo para a etapa de maturação (Inácio; Miller, 2009). A aeração “passiva” refere-se à

dinâmica de circulação do ar, que ocorre por convecção natural: o ar quente ascende pelo topo da leira, enquanto o ar frio é naturalmente puxado pela base, promovendo a oxigenação sem necessidade de mecanismos mecânicos (Inácio; Miller, 2009).

O funcionamento das leiras estáticas com aeração passiva segue um protocolo que orienta a observação das diferentes fases do processo de compostagem. Após a primeira alimentação da leira, a temperatura deve se elevar rapidamente, atingindo a fase termofílica, que varia entre 45 °C e 70 °C. Essa etapa é caracterizada pela intensa atividade de micro-organismos termofílicos e pela rápida decomposição da matéria orgânica, com o pico de temperatura geralmente alcançado em até sete dias. Em seguida, tem início a fase mesofílica, marcada pela redução gradual da temperatura — situando-se entre 40 °C e 45 °C —, pela diminuição da atividade microbiana, além da perda de umidade, volume e odores (Galvão, 2019).

Após o término das alimentações semanais, realiza-se a revira da leira com o objetivo de homogeneizar os resíduos que se encontram em diferentes estágios de decomposição. Na fase de maturação, as temperaturas estabilizam-se abaixo de 40 °C e o composto passa a apresentar odor característico semelhante ao de terra, além da presença de macro-organismos que auxiliam na formação do húmus. A retirada do material da leira ocorre logo após o término da fase termofílica, durante o período de estabilização. Nesse estágio, o composto ainda apresenta alta umidade, o que dificulta sua manipulação eficiente. Por isso, a maturação é concluída fora da leira, o que também permite a liberação do espaço para o início de um novo ciclo de compostagem (Galvão, 2019).

### **3.7.1.2 ESTRUTURA E MONTAGEM DA LEIRA**

A configuração física da leira é um dos elementos mais importantes para o sucesso do processo, pois influencia diretamente a circulação de ar. As leiras podem ser montadas manualmente ou com auxílio de máquinas, como pás carregadeiras. Embora o comprimento possa variar conforme o espaço disponível, recomenda-se que a largura não ultrapasse 2 metros, para favorecer a entrada de oxigênio (Brasil, 2017b).

A montagem começa com a construção das paredes laterais de palha, com até 50 cm de espessura, e da base da leira, a qual é composta por materiais como galhos, folhas secas e restos



de poda, que criam canais de ar, conforme Figura 8. Esse arranjo permite que, durante a fase termofílica, o vapor quente suba e puxe o ar frio da base, mantendo o ambiente aerado.

Figura 8: Montagem da parede lateral e base da leira



Fonte: Brasil, 2017b

Sobre essa base, adiciona-se uma camada de folhas, serragem ou material triturado e depois, apenas uma camada de resíduos orgânicos (Figura 9). Na primeira montagem, é essencial incluir uma porção de composto já maturado (inoculante), que acelera o início da decomposição e reduz o risco de atração de vetores como roedores e insetos (Figura 10).

Figura 9: Adição da cama de folhas, serragem ou material triturado sobre a base da leira, e resíduos orgânicos



Fonte: Brasil, 2017b.

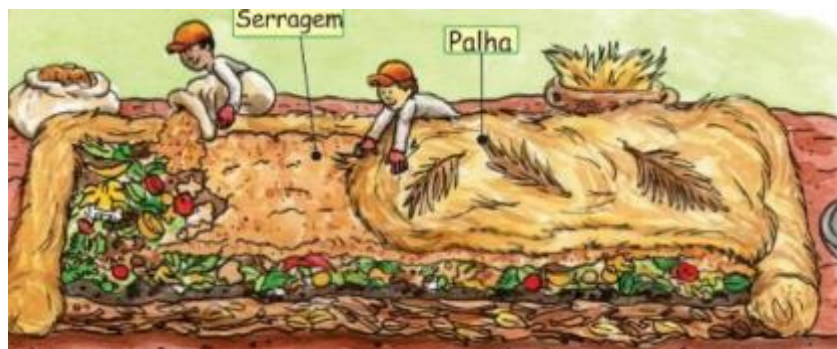
Figura 10: Adição do inoculante



Fonte: Brasil, 2017b.

Em seguida, são inseridos a FORSU, que é misturada ao inoculante (Figura 10). A cobertura é feita com matéria seca (como serragem e folhas), seguida por uma camada de palha, que atua como barreira contra a evaporação e a proliferação de moscas (Figura 11). Essa camada superior será posteriormente incorporada às paredes laterais.

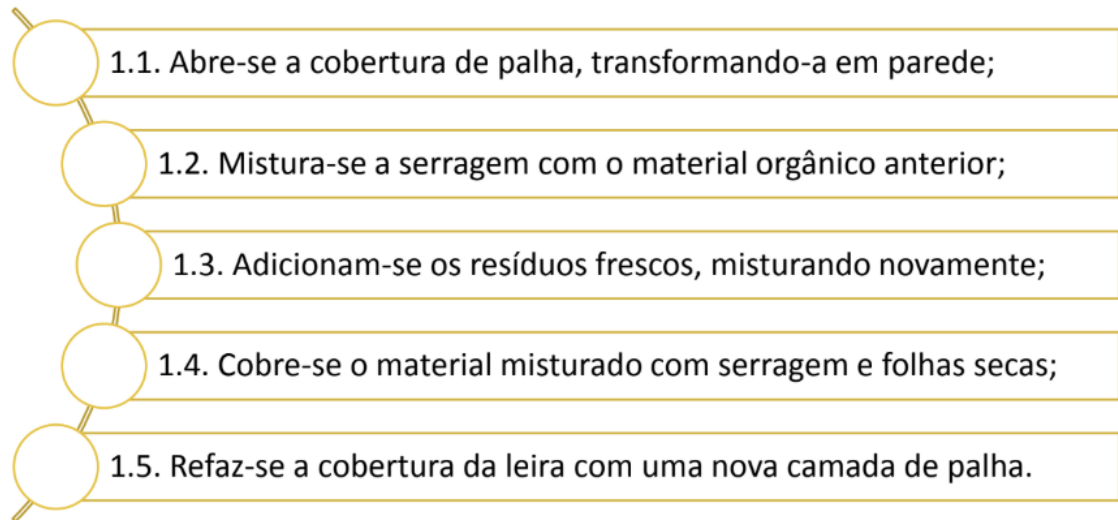
Figura 11: Cobertura da leira com camada de palha



Fonte: Brasil, 2017b.

Após o fechamento da leira por pelo menos 48 horas, novos resíduos podem ser adicionados, repetindo-se o processo. Esse manejo contínuo, representado na Figura 12, permite manter as fases mesófila e termofílica ativas, evitando odores e a presença de vetores (Santos; Vieira, 2023).

Figura 12: Ciclo de manejo de uma leira estática de aeração passiva



Fonte: Brasil, 2017b.

### 3.7.1.3 ESTRATÉGIA DE MANEJO DE LEIRAS

Para lidar com o volume diário de resíduos orgânicos, Inácio e Miller (2009) recomendam a montagem simultânea de 2 a 3 leiras, no mínimo. Essa estratégia visa evitar a degradação descontrolada da FORSU e minimizar a proliferação de vetores.

Nesse sistema, os resíduos são distribuídos em leiras diferentes em dias alternados, conforme as orientações descritas no tópico 3.7.1.2. Cada leira é preenchida até atingir a altura máxima recomendada para operação manual, que é de 1,5 metros (Inácio; Miller, 2009). Ao atingir esse limite, inicia-se a montagem de um novo conjunto de leiras, enquanto o anterior entra em fase de repouso até atingir a fase de maturação (Santos; Vieira, 2023).

O ciclo completo de compostagem tem duração média de 4 meses (120 dias), sendo aproximadamente 90 dias destinados à fase de oxidação e 30 dias à fase de maturação (Brasil, 2017b). Por isso, é essencial que o planejamento do espaço leve em consideração tanto o tempo de descanso das leiras quanto a logística de acesso para a retirada do composto e a montagem de novas estruturas.

#### **3.7.1.4 PRINCIPAIS MAQUINÁRIOS/MATERIAIS NECESSÁRIOS**

Conforme orientado pela Lara Teixeira Laranjo<sup>1</sup>, em um pátio de compostagem descentralizado com leiras estáticas de aeração passiva, é essencial pelo menos dois maquinários e um material, sendo eles:

- Balança plataforma: importante para o monitoramento e controle do processo, visto que permite medir a quantidade dos resíduos e monitorar suas proporções (de materiais orgânicos e secos). Além disso, ela auxilia no monitoramento da quantidade de água adicionada na pilha, garantindo que permaneça na faixa ideal para a atividade microbiana, pois caso contrário, a decomposição é prejudicada. Por fim, ela ainda quantifica a quantidade de composto gerado;
- Peneira rotativa: sua importância principal advém da necessidade de separar os materiais compostados de resíduos indesejados, que podem ter vindo por acidente ou por erro na separação. Por fim, ela permite obter um composto com uma granulometria adequada para ser usada como adubo na horta comunitária;
- Termômetro de solo: este termômetro permite medir a temperatura em diferentes profundidades da leira, o que auxilia no controle do processo de compostagem.

#### **3.7.1.5 ESPAÇOS E ESTRUTURAS NECESSÁRIAS**

A definição adequada dos elementos estruturais em um pátio de compostagem é fundamental para garantir tanto a eficiência operacional quanto o atendimento às exigências ambientais, sanitárias e sociais. Sendo assim, Galvão (2019) define os principais componentes que devem compor um pátio de compostagem de pequeno porte, com leiras estáticas de aeração passiva.

- Barreira verde: tem como função ser um isolante entre a área do pátio de compostagem e o entorno, em especial para as pessoas que circulam na região, importante auxiliar na prevenção dos ruídos, odores e possível atração de vetores;
- Portões de acesso ao pátio: dispor de dois portões de acesso, um para visitantes e outro para entrada e saída de caminhões e carros com resíduos e/ou material estruturante,

---

<sup>1</sup> Informação verbal fornecida por Lara Teixeira Laranjo, , bióloga e microempreendedora da Minhocaria, pátio de compostagem de pequeno porte em Araraquara (SP), em visita técnica realizada em outubro de 2023.

dispostos de maneiras que os visitantes e veículos não cruzem a área interna de operação do pátio e nem a área de descarga dos resíduos;

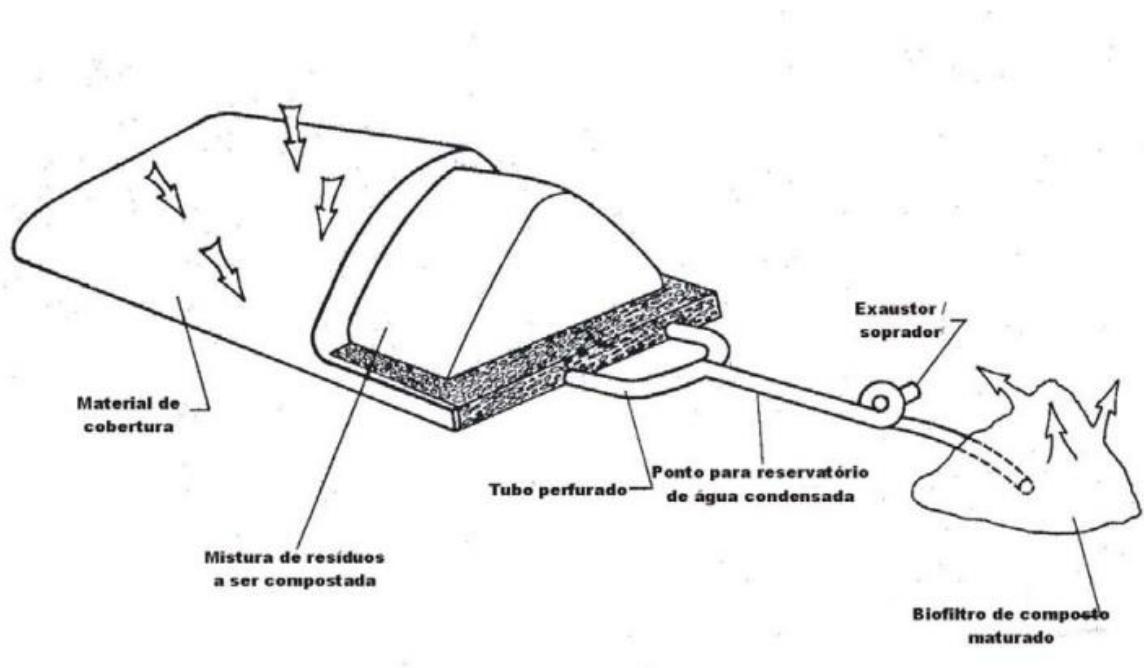
- Layout geral do pátio: disposição em forma de “U”, com as entradas de acesso para caminhões, área de manobra e baía de descarga próximas para evitar circuitos desnecessários de transporte. Além disso, a área de leiras, a área de recepção e armazenamento de resíduos, a área de secagem e a área de armazenamento do composto devem ser dispostas de forma a evitar cruzamentos indesejáveis;
- Placas de sinalização: fornece uma clara comunicação dos objetivos e atividades da unidade, dos resíduos aceitos e das condições para acesso e a identificação da função de cada espaço
- Piso: impermeabilizar as áreas construídas e sob as leiras, e os caminhos das máquinas e caminhões, evitando a contaminação de solo e lençóis freáticos;
- *Containers* de apoio administrativo: containers adaptados em conformidade com as normas de segurança e saúde do trabalhador, um para escritório, armazenamento de ferramentas, refeitório e área para educação ambiental, outro para chuveiros e sanitários. A base dos containers deve ser piso nivelado e concretado com amarrações subterrâneas, e estarem localizados próximos aos pontos de água, esgoto e energia elétrica para ligação e abastecimento;
- Área de armazenamento de materiais estruturantes: garantir a disponibilidade de materiais estruturantes — como resíduos de poda triturada e aparas de grama — essenciais para o equilíbrio da compostagem.;
- Área das leiras de compostagem: área utilizada exclusivamente para o processo de compostagem nas leiras;
- Sistema de drenagem, coleta e recirculação de líquidos percolado pela leira: evitar o acúmulo de umidade nas leiras, garantindo um processo eficiente;
- Barracão de finalização - secagem e armazenamento do composto finalizado: espaço destinado para a finalização e estocagem do composto. O barracão deve possuir telhado alto e piso de concreto, sendo totalmente aberto, exceto por uma parede localizada no lado voltado para a face externa do pátio. Além disso, os equipamentos utilizados como balanças, peneiras e outros devem ser guardados nesse barracão;
- Estacionamento de visitantes e funcionários;
- Iluminação do pátio: possuir sistema de iluminação para eventuais operações noturnas, como em casos de emergências;

- Acessibilidade: garantir que o pátio tenha rampas de acordo com o que dita a norma NBR 9050:2020 (ABNT, 2020);
- Guarita: garantir a segurança dos equipamentos e pessoas presentes no pátio.

### 3.7.2 LEIRAS ESTÁTICAS DE AERAÇÃO FORÇADA

Trata-se de um método de compostagem que utiliza equipamentos e visa a insuflação ou aspiração de ar no interior das leiras para auxiliar na atividade biológica. Pode ser utilizada com diversos resíduos orgânicos. Nessa técnica, tubos perfurados são instalados na base das leiras e conectados a um compressor ou ventilador através de um tubo adjacente não perfurado (Nóbrega, 1991), conforme mostra a Figura 13.

Figura 13: Desenho representativo de uma leira estática aeração forçada



Fonte: Fernandes; Silva, 1999.

É um método que permite a formação de leiras mais largas em um menor espaço, além de demandar menor tempo de compostagem, sendo de três a cinco semanas na fase ativa e mais seis semanas para a maturação do composto. Trata-se de um processo sem muita necessidade de manutenção, uma vez que o auxílio de sensores de temperatura programados para controlar o fornecimento de oxigênio e/ou o controle da temperatura por meio da insuflação/sucção de ar (Rynk *et al.*, 1992).

Possuem três modos de aeração: positivo (injeção de ar), negativo (sucção de ar) e híbrido (os dois modos juntos, em ciclos). A aeração pode ser estabelecida e utilizada no controle de oxigênio necessário para a biodegradação, remoção de umidade ou a diminuição de calor para manter na média de 60°C. Entretanto, possui demanda de custos com energia elétrica e apesar de ser automatizada deve ter um maior cuidado no controle dos parâmetros (Nóbrega, 1991).

### **3.8 ASPECTOS NORMATIVOS E REGULATÓRIOS PARA COMPOSTAGEM**

A Tabela 2 apresenta as principais legislações nacionais, estaduais e municipais que estão relacionadas com a temática de compostagem. Embora a PNRS também seja destaque acerca do tema, ela já foi descrita na seção 3.2 deste trabalho.

Tabela 2: Dispositivos legais, administrativos e normativos relacionadas à compostagem

Legislação	Esfera	Objeto principal	Descrição	Referência
Lei nº 14.480/2008	Municipal (São Carlos)	Política de Limpeza Urbana e Manejo de RSU	Define compostagem como parte do serviço público e considera resíduos compostáveis recicláveis, passíveis de coleta seletiva	São Carlos, 2008
Resolução CONAMA nº 481/2017	Nacional	Critérios para qualidade ambiental da compostagem	Estabelece diretrizes técnicas e ambientais para o processo de compostagem de resíduos orgânicos	Brasil, 2017a
Resolução SIMA nº 69/2020	Estadual (São Paulo)	Licenciamento ambiental de atividades de tratamento de resíduos	Define critérios para dispensa ou licenciamento simplificado da compostagem de pequeno porte.	São Paulo, 2020b
Lei nº 19.926/2020	Municipal (São Carlos)	Institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Incentiva segregação na fonte, educação ambiental e parcerias para desenvolver tecnologias sustentáveis, reativar compostagem comunitária e promover tratamento local de resíduos orgânicos	São Carlos, 2020
Instrução Normativa nº 61/2020	Nacional	Regulamenta o uso de resíduos orgânicos como insumo agrícola	Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura	Brasil, 2020b
Lei nº 21.354/2023	Municipal (São Carlos)	Gestão descentralizada da reciclagem de resíduos orgânicos em São Carlos	Estabelece diretrizes para a gestão descentralizada de resíduos orgânicos, incentivando práticas como a compostagem comunitária, doméstica e institucional	São Carlos, 2023

Fonte: A autora, 2025.



Nas seções seguintes, são detalhadas as mais relevantes para o presente projeto.

### **3.8.1 LEI MUNICIPAL Nº 19.926/2020**

A Lei Municipal nº 19.926/2020, que institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de São Carlos, estabelece diversas diretrizes e obrigações voltadas à redução dos impactos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos. Entre essas diretrizes, destacam-se o incentivo à coleta seletiva, à reutilização e à reciclagem (São Carlos, 2020).

Embora o termo "compostagem" não seja mencionado de forma explícita no texto da lei, o PMGIRS contempla essa prática de maneira indireta ao prever a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias ambientalmente saudáveis (Art. 3º, inciso X), categoria na qual a compostagem se insere como uma alternativa reconhecida e sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos. Ademais, o plano também menciona o incentivo à reciclagem (Art. 3º, inciso IX) e, por ser considerada uma forma de reciclagem orgânica, a compostagem se alinha diretamente aos objetivos estabelecidos pelo PMGIRS (São Carlos, 2020).

Os instrumentos previstos para alcançar esses objetivos incluem a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas (Art. 4º, inciso III, alínea e), além da definição de que a responsabilidade pelos resíduos sólidos, desde a geração até a destinação final, cabe aos geradores (Art. 8º). Ademais, o plano prevê a separação na fonte geradora dos resíduos sólidos, essencial para que o método de tratamento de resíduos sólidos orgânicos seja mais bem aproveitado (Art. 3º, inciso V) (São Carlos, 2020).

### **3.8.2 LEI MUNICIPAL Nº 21.354/2023**

A Lei Municipal nº 21.354/2023 estabelece a obrigatoriedade da destinação ambientalmente adequada da FORSU por meio da reciclagem e, preferencialmente, da compostagem (São Carlos, 2023). Essa legislação representa uma continuidade e um desdobramento prático do que foi previsto no PMGIRS.

A norma reforça diretrizes já contempladas pelo PMGIRS, como a implementação gradativa de soluções adequadas conforme a tipologia dos resíduos (resíduos de poda, grandes geradores alimentares e RD), a descentralização da gestão, e o estímulo à compostagem doméstica e comunitária. Além disso, proíbe a destinação de FORSU para aterros sanitários e incineração, salvo em casos excepcionais, como calamidade pública, estado de emergência ou interrupção prolongada da coleta (São Carlos, 2023).

O Poder Executivo municipal poderá destinar áreas públicas para compostagem, e o acompanhamento das ações ficará sob responsabilidade dos órgãos técnicos do município (São Carlos, 2023). Dessa forma, a Lei nº 21.354/2023 fortalece o PMGIRS como instrumento de planejamento e execução das políticas públicas locais voltadas à sustentabilidade e à valorização da FORSU.

Tais dispositivos fortalecem a compostagem como estratégia viável e alinhada aos princípios da sustentabilidade urbana.

### **3.8.3 RESOLUÇÃO ESTADUAL SIMA Nº 69**

A resolução Estadual SIMA nº 69, sancionada em 8 de setembro de 2020, dispõe sobre “a dispensa de licenciamento ambiental das atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis de baixo impacto ambiental, sob condições determinadas.” (São Paulo, 2020b). Dessa forma, para a dispensa do licenciamento ambiental, deve-se seguir as exigências:

- Receber e processar no máximo 500 kg resíduos/dia;
- Resíduos compostáveis previamente separados na fonte, isentos de despejos e contaminações sanitárias;
- Não utilizar resíduos de processos industriais, ETE de processos industriais e sanitários;
- Não processar animais mortos;
- Adotar medidas de proteção ambiental em todas as etapas;
- Não utilizar aditivos químicos e biológicos;
- Garantir condições mínimas de tempo de residência e temperatura necessários para a higienização (55°C por 14 dias ou 65°C por 3 dias, em sistemas abertos, 60°C por 3 dias, em sistemas fechados);

- Composto para uso próprio ou de terceiros em atividades domésticas (jardinagem, hortas, paisagismo).

É importante ressaltar que essa resolução não isenta os responsáveis pelos pátios de compostagem de cumprir as leis municipais, estaduais e federais, bem como a obtenção dos demais documentos exigidos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA para a aplicação do composto gerado. Em casos de infração às normas ambientais aplicáveis, a CETESB pode adotar medidas administrativas cabíveis (São Paulo, 2020b).

### 3.8 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

A Análise Multicritérios (AMC) é uma metodologia de apoio à tomada de decisão que visa organizar e hierarquizar alternativas de acordo com múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes entre si. Diferentemente de métodos tradicionais que consideram apenas um fator decisório, como custo ou eficiência, a AMC reconhece a complexidade das decisões reais, que geralmente envolvem aspectos econômicos, ambientais, técnicos, sociais e políticos (Ferreira, 2017; Garcia-Garcia, 2019).

No contexto da gestão de resíduos sólidos, a AMC se mostra especialmente útil, pois essa área frequentemente demanda decisões que equilibram metas de sustentabilidade com restrições financeiras e operacionais. Por meio da estruturação de problemas em forma hierárquica, a AMC permite que os tomadores de decisão atribuam pesos aos critérios com base em sua importância relativa. Esses pesos refletem prioridades específicas e ajudam a classificar alternativas como tecnologias de tratamento, modos de coleta ou estratégias de destinação final dos resíduos (Garcia-Garcia, 2019).

A metodologia pode ser aplicada por meio de diferentes técnicas, como o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), o método ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) ou o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) ou ainda o SAW (*Simple Additive Weighting*), todas com a função de transformar julgamentos subjetivos em dados estruturados e analisáveis.

A subjetividade é considerada uma característica inerente e relevante ao processo decisório, sendo tratada na AMC de maneira sistematizada. Isso é essencial em cenários onde

faltam dados quantitativos confiáveis, o que é comum na gestão de resíduos, especialmente em regiões com baixa capacidade institucional ou técnica (Garcia-Garcia, 2019).

Apesar das vantagens da AMC, Ferreira (2017) destaca que o método apresenta limitações importantes, especialmente no que diz respeito à avaliação subjetiva dos critérios. Essa subjetividade pode gerar vieses, principalmente quando os avaliadores não possuem experiência técnica suficiente ou quando faltam mecanismos eficazes para garantir a consistência dos julgamentos.

Ainda assim, a AMC tem sido amplamente aplicada em estudos sobre gestão de resíduos sólidos urbanos. Garcia-Garcia (2019), por exemplo, utilizou a abordagem para comparar diferentes cenários de gestão de resíduos em termos de impacto ambiental, custos operacionais e aceitação social. Isso demonstra o potencial da metodologia para auxiliar na formulação de políticas públicas e na escolha de soluções mais equilibradas e sustentáveis.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

Após a revisão da literatura para caracterização de iniciativas bem sucedidas de CD urbana de pequena escala, foi realizada uma AMC para a avaliação da técnica de compostagem mais adequada para o contexto deste projeto. Para tanto, foram consideradas duas alternativas:

- **Alt-1:** Leiras estáticas com aeração passiva método UFSC;
- **Alt-2:** Leiras estáticas com aeração forçada.

Para isso, utilizou-se a técnica SAW, que se baseia na soma ponderada das avaliações das alternativas, considerando os pesos atribuídos a cada critério. Tal metodologia foi considerada adequada para este estudo, visto que há alternativas com características diferentes e fatores determinantes intrínsecos que impactam a escolha, especialmente por depender de fatores técnicos, ambientais, sociais e econômicos, os quais muitas vezes não são comparáveis entre si por meio de uma única unidade de medida. Ademais, a técnica SAW foi escolhida por ser amplamente utilizada por sua simplicidade e clareza na aplicação (Taherdoost, 2023).

Sendo assim, a análise foi dividida nos seguintes passos:

- 1) **Definição do problema:** definir e escolher uma técnica de compostagem que melhor atenderá a demanda de tratamento de resíduos sólidos em um pátio de pequeno porte no espaço disposto no bairro Santa Angelina;
- 2) **Identificação dos critérios selecionados**

Os critérios foram organizados em quatro principais categorias: Ambiental, Social, Econômica e Técnica. Dentro de cada uma, foram listados os principais fatores que influenciam o sucesso da operação de um pátio de compostagem urbano. Estes critérios estão dispostos na Tabela 3 e as escolhas justificativas na Tabela 4.

Tabela 3: Critérios selecionados para a análise multicritérios

Ambiental	Social	Econômica	Técnica
Geração de lixiviado	Odor	Custo de implantação	Requisitos de área
	Potencial para atração de vetores	Custo operacional	Qualificação demandada dos operadores
	Ruídos		Tempo de maturação do composto
	Visual		Qualidade do composto gerado
	Trânsito de pessoas e maquinários		Quantidade do material estruturante

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 4: Justificativa para os critérios utilizados na análise multicritérios

Categoria	Critério	Justificativa
Ambiental	Geração de lixiviado	Importante para evitar contaminação do solo e garantir controle ambiental
Econômico	Custo de implantação	Interfere diretamente na viabilidade do projeto junto à administração pública
Econômico	Custo operacional	Interfere na sustentabilidade e continuidade do pátio a longo prazo

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 4: Justificativa para os critérios utilizados na análise multicritérios (continuação)

Categoria	Critério	Justificativa
Social	Odor	Pode afetar significativamente a aceitação da vizinhança ao redor
Social	Potencial para atração de vetores	Relevante para a saúde pública e imagem do projeto junto à comunidade
Social	Ruídos	Pode gerar desconforto e incômodo à população do entorno
Social	Visual	O impacto estético interfere na integração do pátio à paisagem urbana
Social	Trânsito de pessoas e maquinários	Pode causar desconforto e sensação de insegurança para os moradores
Técnica	Área	Deve ser compatível com o espaço físico disponível no terreno
Técnica	Qualificação dos operadores	Avalia a complexidade da operação e a necessidade de capacitação especializada
Técnica	Tempo de maturação do composto	Influencia a frequência de uso do composto na horta e a rotação das leiras
Técnica	Qualidade do composto gerado	Essencial para garantir o aproveitamento agrônomo e ambiental do produto
Técnica	Quantidade de material estruturante	Impacta na logística e fornecimento dos insumos necessários para o processo

Fonte: A autora, 2025.

Embora existam outros critérios ambientais que poderiam ser considerados, como emissões de gases de efeito estufa e consumo energético, optou-se por não os incluir nesta etapa do estudo. Essa decisão se baseou na avaliação de que, na comparação entre as tecnologias, a geração de lixiviado representa o principal risco ambiental. Por outro lado, as diferenças em termos de emissões atmosféricas e consumo de energia entre os dois sistemas, embora existentes, tendem a ser menos significativas no contexto da escala e das condições operacionais consideradas neste projeto. Assim, a escolha por focar na geração de lixiviado como critério ambiental buscou priorizar o fator de maior relevância e risco identificado.

### **3) Importância relativa de cada critério**

Para a distribuição e definição da importância relativa de cada critério, foram atribuídos pesos individuais a cada um dos treze critérios apresentados na Tabela 4. A atribuição levou em consideração a avaliação da autora e as especificidades do presente projeto, que envolve um pátio de compostagem em área urbana, com objetivos de ser economicamente viável, socialmente aceito, e ambientalmente responsável.

Dessa forma, os critérios que compõem a categoria Social foram ponderados como os mais importantes e com o maior peso (60%), uma vez que a aceitação da comunidade local é essencial, já que se trata de uma compostagem em área urbana.

Em segundo lugar, foi estabelecida a categoria Econômico, com peso relativo de 23%, visto que iniciativas como essas geralmente dependem do custeio por parte do poder público, sendo assim importante almejar a sustentabilidade financeira do empreendimento.

Em seguida está a categoria Ambiental, com peso de 7%, que embora de extrema importância, devido a compostagem não ser um processo altamente poluente, se feito de maneira adequada com controle de lixiviado, não trará impactos ambientais relevantes.

Por fim, a categoria Técnico recebeu um peso relativo de 10% por não ser determinante, ou seja, possui impacto limitado na escolha final entre as alternativas analisadas. Embora os métodos comparados apresentem diferenças operacionais e estruturais, ambos são tecnicamente viáveis e adequados ao contexto estudado. Assim, a decisão entre eles não depende prioritariamente de aspectos técnicos, mas sim de outros fatores como viabilidade social, econômica e ambiental. O peso reduzido reflete, portanto, a menor influência da dimensão técnica na diferenciação entre as opções.



Os categorias e critérios para a avaliação das alternativas e seus respectivos pesos individuais e globais são apresentados na Tabela 5, juntamente com as justificativas para escolha de cada peso.

Tabela 5: Critérios e categorias, com seus pesos e respectivas justificativas

Categoria	Peso global da categoria	Critério	Peso do critério dentro da categoria	Justificativa	Peso global do critério
Ambiental	7%	Geração de lixiviado	100%	Único critério ambiental e representa o principal risco ambiental do processo. No entanto, seu peso é menor visto que a quantidade de lixiviado produzido é muito baixa	7%
Econômico	23%	Custo de implantação	60%	Maior peso por representar a barreira inicial para execução do projeto	13.8%
		Custo operacional	40%	Importante para a sustentabilidade a longo prazo, mas menos impactante que o inicial	9.2%
Social	60%	Odor	51%	Recebeu o maior peso por ser o fator com maior potencial de incômodo direto para a vizinhança. O mau odor é frequentemente um dos principais motivos de rejeição de pátios de compostagem em áreas urbanas	30.6%
		Potencial para atração de vetores	25%	Importante para a saúde pública e percepção de higiene do local. A presença de moscas e outros insetos pode gerar desconforto e rejeição por parte da comunidade	15%
		Ruídos	12%	De importância moderada, pois os métodos propostos não envolvem máquinas muito barulhentas, no entanto qualquer ruído constante em áreas urbanas pode gerar queixas	7.2%
		Visual	8%	Peso um pouco menor, pois pode ser mitigado com barreiras verdes e paisagismo simples	4.8%
		Trânsito de pessoas e maquinários	4%	Menor peso dentro do critério, visto que prioriza a operação manual e entrega voluntária dos resíduos	2.4%

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 5: Critérios e categorias, com seus pesos e respectivas justificativas (continuação)

Categoria	Peso global da categoria	Critério	Peso do critério dentro da categoria	Justificativa	Peso global do critério
Técnico	10%	Área	40%	Maior peso pois o espaço disponível é limitado e precisa comportar todas as estruturas	4%
		Qualificação demandada dos operadores	25%	Recebeu um menor peso, pois por mais que seja essencial, as alternativas escolhidas possuem uma certa facilidade de implementação e operação e, quanto menor a necessidade de treinamento especializado, mais viável será o projeto	2.5%
		Tempo de maturação do composto	15%	Afeta a rotatividade e eficiência na utilização das leiras. Quanto mais rápida a maturação do composto, melhor o aproveitamento da área	1.5%
		Qualidade do composto gerado	18%	Importante para o uso direto na horta e aproveitamento do ciclo	1.8%
		Quantidade do material estruturante	2%	Recebeu menor peso por ser fornecido pela prefeitura, sem custo adicional	0.2%

Fonte: A autora, 2025.

#### **4) Desempenho de cada critério**

Para avaliar o desempenho das duas alternativas de compostagem em cada critério, adotou-se uma escala qualitativa à qual foram atribuídas pontuações de 1 a 10, conforme o grau de aderência de cada alternativa a cada critério. Notas maiores designam critérios mais bem atendidos pela alternativa tecnológica. A Tabela 6 apresenta essas escalas de forma estruturada, indicando como cada nível de desempenho foi convertido em nota, acompanhado das justificativas correspondentes.

Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério

Critério	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
A1: Geração de lixiviado	Quantidade e tratamento	Insignificante	9	A nota é maior quanto menor for a geração e maior o controle do lixiviado, por conta do impacto ambiental e risco de contaminação. Alternativas com menor geração e melhor tratamento são mais desejáveis
		Limitado, mas controlado	7	
		Significante, mas controlado	5	
		Limitado, mas descontrolado	3	
		Significante	1	
E1: Custo de implantação	Custos com maquinário, transporte, estrutura, etc.	Baixo	9	Notas maiores são dadas para alternativas com menor custo inicial, o que favorece a viabilidade econômica do projeto
		Relativamente baixo	7	
		Moderado	5	
		Relativamente alto	3	
		Alto	1	

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério (continuação)

Critério	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
E2: Custo operacional	Custos com operação, mão de obra, energia, água (demanda por irrigação-horta e leiras)	Baixo	9	Alternativas que exigem menos recursos contínuos recebem notas mais altas, pois representam economia a longo prazo
		Relativamente baixo	7	
		Moderado	5	
		Relativamente alto	3	
		Alto	1	
S1: Odor	Intensidade da emissão de odores	Insignificante	9	Alternativas que geram menos odor recebem notas mais altas, pois o desconforto olfativo é um dos principais fatores de rejeição da comunidade em áreas urbana
		Limitado, mas controlado	7	
		Significante, mas controlado	5	
		Limitado, mas descontrolado	3	
		Significante	1	

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério da categoria (continuação)

Critério	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
S2: Potencial para atração de vetores	Propensão para atrair vetores.	Improvável	10	Técnicas que evitam ou controlam melhor a presença de vetores (como moscas e roedores) recebem notas maiores por representarem menor risco à saúde pública e maior aceitação social.
		Remoto	7	
		Ocasional	5	
		Provável	3	
		Frequente	1	
S3: Ruídos	Intensidade	Mínima	10	Soluções silenciosas ou de baixo ruído são mais apropriadas para o contexto urbano e, por isso, recebem notas mais altas
		Limitada	8	
		Alta	5	
		Relativamente alta	3	
		Extrema	1	

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério (continuação)

Critério	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
S4: Visual	Características estéticas seu e impacto na vizinhança	Baixo	10	Métodos com menor impacto visual negativo, mais organizados e discretos, são mais bem avaliados por causarem menos incômodo à vizinhança
		Relativamente baixo	7	
		Moderado	5	
		Relativamente alto	3	
		Alto	1	
S5: Trânsito de pessoas e maquinários	Intensidade e potencial para perturbação na vizinhança	Baixo	10	Alternativas com menor circulação de veículos e movimentação intensa são preferidas, pois reduzem o incômodo e o risco de acidentes na vizinhança
		Relativamente baixo	7	
		Moderado	5	
		Relativamente alto	3	
		Alto	1	

Fonte: A autora, 2025.



Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério (continuação)

Categoria	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
T1: Área	Espaço necessário para as leiras (comparados ao espaço disponível)	Satisfatório	10	Alternativas que demandam menor área ocupada recebem notas maiores, pois são mais viáveis em contextos urbanos ou com limitação de espaço
		Relativamente satisfatório	8	
		Moderado	5	
		Relativamente insatisfatório	3	
		Insatisfatório	1	
T2: Qualificação demandada dos operadores	Nível de treinamento de pessoal para pleno funcionamento das técnicas	Baixa qualificação	10	Soluções que exigem menor nível de qualificação recebem notas mais altas, pois facilitam a operação, reduzem custos com capacitação e ampliam a acessibilidade da mão de obra
		Qualificação moderada	8	
		Qualificação relativamente alta	5	
		Alta qualificação	3	
		Muito alta qualificação	1	

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 6: Escala de pontuação de cada critério (continuação)

Categoria	Descrição	Escala	Nota	Justificativa
T4: Qualidade do composto gerado	Se possui qualidade para ser utilizado como adubo das hortas	Alto	10	Quanto maior a qualidade final do composto (nutrientes, estabilidade, ausência de contaminantes), maior a nota atribuída, pois isso amplia a aplicabilidade e o valor do produto
		Relativamente alto	8	
		Moderado	5	
		Relativamente baixo	3	
		Baixo	1	
T5: Quantidade do material estruturante	Relativo à demanda para as leiras	Alto	10	Alternativas que necessitam de menor volume de material estruturante recebem notas mais altas, por facilitarem a operação, reduzirem a logística e dependerem menos de recursos externos
		Relativamente alto	8	
		Moderado	5	
		Relativamente baixo	3	
		Baixo	1	

Fonte: A autora, 2025.

### 5) Desempenho global de cada alternativa

Por fim, atribuiu-se, para cada alternativa de compostagem, uma nota individual para cada critério. Essas notas foram dadas pela autora, e por duas especialistas em compostagem: Lara Teixeira Laranjo, bióloga e microempreendedora da Minhocaria, pátio de compostagem de pequeno porte em Araraquara (SP), similar ao proposto neste projeto em termos de resíduos recebidos e tecnologia utilizada, e Julia Guermandi, mestre pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), cuja dissertação abordou a compostagem de resíduos alimentícios, e ex-funcionária do Departamento de Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Carlos.

Uma explicação mais aprofundada das notas atribuídas pela autora é apresentada na Tabela 10. Para as duas especialistas, a atribuição de notas foi realizada através de um formulário, que foi preenchido de acordo com as suas experiências profissionais e conhecimento das técnicas.

O desempenho global de cada alternativa de compostagem foi obtido pelo método SAW, pela soma ponderada de todas as notas para cada um dos critérios, de acordo com a Equação 1.

$$D_g(A) = \sum_{i=1}^m W_i \cdot v_i(A) \quad \text{Equação 1}$$

Sendo  $D_g(A)$  a nota de desempenho global da alternativa A,  $W_i$  o peso relativo ao critério  $i$  e  $v_i(A)$  a média aritmética das três avaliações atribuídas à alternativa A para o critério  $i$ .

## 4.2 GERAÇÃO DE FORSU

A estimativa da geração de fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) foi realizada com base nos dados populacionais da área de abrangência do pátio e na geração média per capita de resíduos orgânicos.

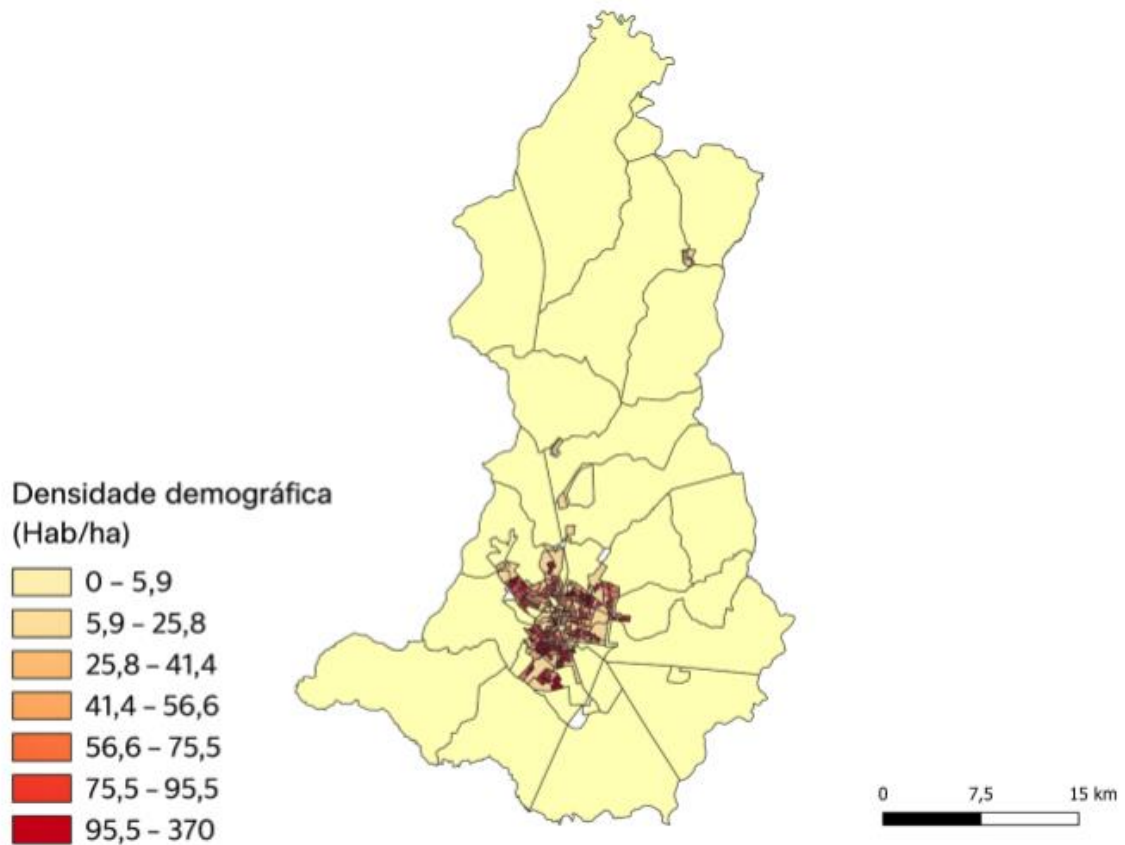
#### **4.2.1 ESTIMATIVA POPULACIONAL**

Para obter uma estimativa da quantidade de pessoas que seriam contempladas pelo pátio de compostagem, definiu-se uma área de abrangência de forma que a população ao redor pudesse levar voluntariamente seus resíduos orgânicos até o pátio. Isso foi adotado porque, de acordo com Vaz (2013), um dos principais motivos da descontinuação de uma unidade descentralizada de compostagem é a falta de apoio do poder público e/ou de uma empresa terceirizada de coleta. Dessa maneira, considerou-se que seria inicialmente mais viável que os moradores dos arredores do pátio levassem seus resíduos sólidos orgânicos até o pátio.

Assumiu-se que 10% da população residente em um raio de 400 m do pátio de compostagem estaria disposta a levar seus resíduos sólidos orgânicos para a compostagem, de acordo com o estudo de Pai, Ai e Zheng (2019). Assim, utilizou-se do software Google Earth para delimitar o raio de influência de 400 m ao redor da área disponível para o pátio de compostagem, conforme representado na Figura 14.



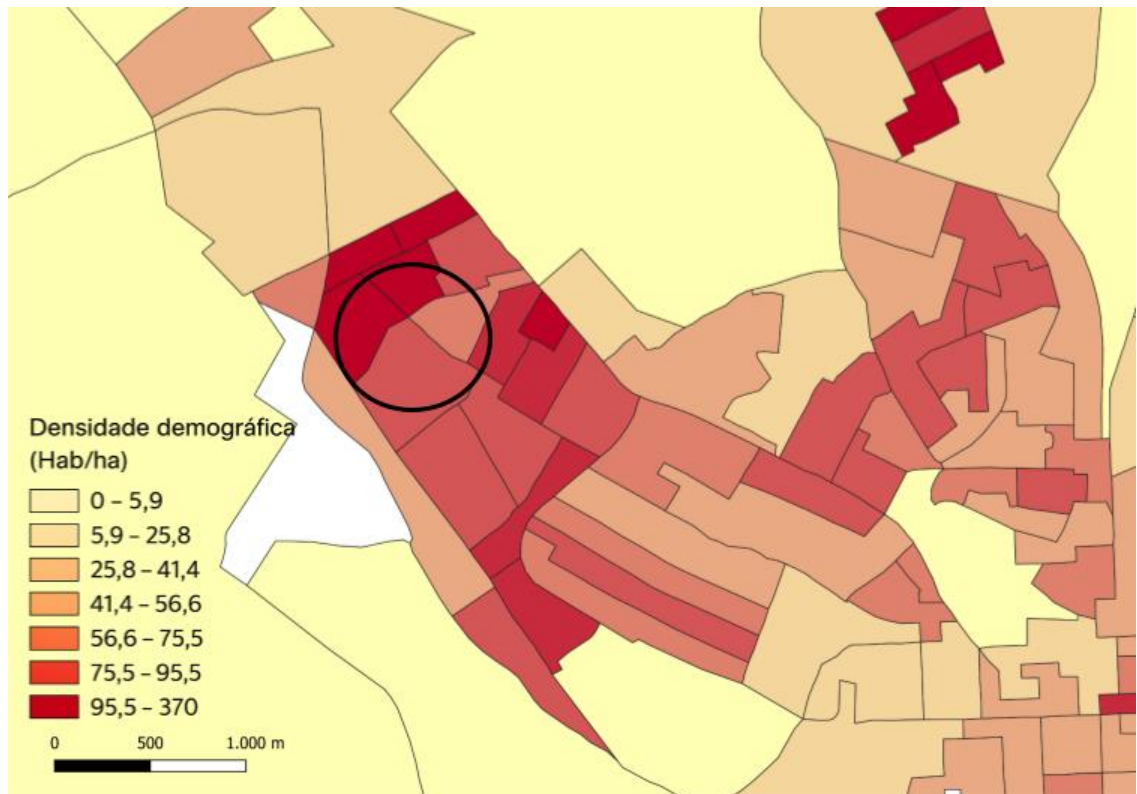
Figura 15: Estimativa da densidade demográfica de São Carlos, escala 1:320.000



Fonte: QGIS, elaborado pela autora, 2025.

Utilizou-se o software QGIS para analisar a densidade demográfica dos setores censitários localizados ao redor do pátio de compostagem (Figura 15). Por meio do cálculo da área de cada setor censitário inserida no interior da área de influência, conforme Figura 16, e sua respectiva densidade demográfica foi possível estimar a população total residente no interior do perímetro de influência do pátio.

Figura 16: Área de interesse aos arredores do pátio de compostagem, escala 1:20.000



Fonte: QGIS, elaborado pela autora, 2025.

## 4.2.2 ESTIMATIVA DA FORSU GERADA EM SÃO CARLOS

### 4.2.2.1 GERAÇÃO DE RD EM SÃO CARLOS

Para a quantificação da massa de FORSU, foi inicialmente realizado o levantamento da geração per capita de RSU em São Carlos ( $RSU_{São\ Carlos}$ ), disponibilizada pela Relação de Indicadores de Resíduos Sólidos por ano de referência do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2025b), que é de 0,73 kg RSU/hab.dia.

A partir da geração per capita de RSU, para se determinar a contribuição dos RD utilizou-se a relação mássica média RD/RSU representativa do estado de São Paulo, que é de 86% (SNIS, 2025b). Tem-se pela multiplicação dessa relação pela geração per capita de RSU, uma estimativa da geração per capita de RD em São Carlos.



A determinação da fração orgânica dos RD de São Carlos ( $FORSU_{RD}$ ), foi realizada a partir da composição gravimétrica dos RD do município. Para isso, foi utilizado o estudo de caracterização realizado por Kim (2018), que relata que a fração orgânica corresponde a aproximadamente 37% dos RD em São Carlos.

Por fim, a geração mássica diária de resíduos orgânicos de origem domiciliar na área de influência do pátio de compostagem ( $FORSU_{AI}$ ) é obtida multiplicando-se a estimativa populacional da área de interesse, obtido da seção anterior, pela geração per capita de RD e pela fração gravimétrica de orgânicos no RD.

#### 4.2.2.2 FORSU DE GRANDES GERADORES DA ÁREA DE INTERESSE

Estimou-se a geração de resíduos orgânicos por grandes geradores localizados na área de influência do pátio, tais como restaurantes, lanchonetes e instituições de ensino, os quais foram considerados potenciais fornecedores de FORSU para fins de compostagem.

Cabe ressaltar que, embora esses estabelecimentos possam se enquadrar na categoria de grandes geradores, de acordo com a PNRS (Brasil, 2010a) — o que, em princípio, implicaria a responsabilidade individual pelo gerenciamento de seus resíduos, de forma independente do sistema público —, na prática, os resíduos por eles gerados são atualmente coletados e gerenciados pelo serviço público municipal, sendo, portanto, equiparados aos resíduos domiciliares. Diante disso, tais estabelecimentos também foram incluídos como público-alvo do presente projeto.

Portanto, realizou-se um levantamento dos estabelecimentos e organizações nas proximidades do pátio que gerariam quantidades significativas de FORSU. Tentou-se, também, estimar a geração de FORSU nessas instituições por meio de entrevistas realizadas por telefone.

Para a quantificação da geração de FORSU desses estabelecimentos, utilizou-se o estudo de Venzke (2000) que estima que para cada refeição servida em um restaurante, a geração de resíduos é aproximadamente de 0,1802 kg por refeição.

Para determinar a massa diária de FORSU gerada ( $FORSU_{geradores}$ ), multiplicou-se o número de refeições por dia pela geração de resíduos por refeição, conforme a Equação 2.



Considerou-se que as escolas não servem refeição aos finais de semana, resultando em 23 dias de refeição mensais, em média.

$$FORSU_{geradores} = n^{\circ} \text{ de refeições/dia} \cdot \text{geração de resíduos/refeição} \quad \text{Equação 2}$$

### 4.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA- MÉTODO UFSC

O pré-dimensionamento do pátio de compostagem para o método UFSC teve base em parâmetros de referência da literatura. Os valores de área, tempo de retenção e volume de resíduos utilizados foram obtidos a partir de dados secundários e boas práticas recomendadas na literatura. Assim, os resultados apresentados têm caráter preliminar e poderão ser ajustados em etapas futuras do projeto executivo, conforme levantamento de campo e condições específicas do terreno.

#### 4.3.1 ÁREA OPERACIONAL PARA A COMPOSTAGEM

A área necessária para viabilizar a operação do pátio de compostagem foi estimada calculando-se a área útil operacional, ou seja, a porção do terreno dedicada exclusivamente às etapas do processo de compostagem, excluindo-se áreas administrativas ou de apoio externo.

A área de recepção dos resíduos orgânicos ( $A_r$ ) foi utilizando a Equação 3

$$A_r = \frac{V \cdot te}{hr} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo  $V$  o volume diário de resíduos orgânicos ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),  $te$  o tempo máximo de estocagem na recepção (d) e  $hr$  a altura da leira de resíduos na recepção (m).

Para a obtenção do volume de resíduos adotou-se  $700 \text{ kg/m}^3$  para a densidade aparente da FORSU, uma média entre  $450$  a  $1000 \text{ kg/m}^3$ , faixa típica de variação desse valor na literatura (Meirelles, 2018). Assim, o volume diário de resíduos orgânicos ( $V$ ) é calculado pela Equação 4.

$$V = \frac{m_{diária}}{d} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo  $V$  o volume diário de resíduos orgânicos ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),  $m_{diária}$  a massa diária de resíduos orgânicos ( $\text{kg}/\text{d}$ ) e  $d$  a densidade aparente dos resíduos orgânicos ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Adotou-se um tempo máximo de estocagem na recepção ( $te$ ) de 3 dias, visando assegurar uma margem de segurança em situações emergenciais, como a indisponibilidade imediata de espaço para disposição nas leiras. Contudo, recomenda-se que os resíduos sejam encaminhados às leiras no menor intervalo de tempo possível, a fim de evitar o início da decomposição descontrolada, a proliferação de vetores e a emissão de odores desagradáveis. Caso seja necessário o armazenamento temporário, os resíduos devem ser mantidos em *containers* bem vedados (Inácio; Miller, 2009).

Adotou-se uma altura máxima da estocagem de resíduos ( $hr$ ) de 1,5 m, já que se pretende fazer a manutenção das leiras manualmente, por isso as alturas não devem ser muito altas.

No presente trabalho, adota-se a terminologia “pátio de oxidação” e “pátio de maturação” para se referir, respectivamente, às duas principais etapas do processo de compostagem adotado no método UFSC. O “pátio de oxidação” corresponde à fase inicial do processo, ou também conhecido por fase ativa, na qual ocorre uma degradação acelerada da matéria. Já o “pátio de maturação” refere-se à fase subsequente, em que o material parcialmente estabilizado permanece em repouso, com redução da atividade biológica e estabilização final dos compostos orgânicos. Embora essa nomenclatura não seja tradicionalmente utilizada nas publicações sobre o método UFSC — uma vez que, nesse método, as fases ativa e de maturação ocorrem sucessivamente no mesmo local físico, sem separação entre áreas destinadas a cada etapa (Brasil, 2017b) — sua adoção neste estudo tem o objetivo de facilitar o entendimento e o pré-dimensionamento das áreas necessárias para cada fase do processo.

Assim, será dimensionado o espaço necessário para operação da compostagem, a partir dos volumes em fase de oxidação ( $Vo$ ) e em fase de maturação ( $Vm$ ). É importante considerar, neste momento, a presença essencial de material estruturante na leira para o método de compostagem estática proposto, para garantir aeração e evitar aglutinação dos resíduos. Considerou-se que a proporção de volume ocupado pelo material estruturante equivale a 2/3 do volume da leira, com base em Inácio e Miller (2009).

A redução de volume da FORSU e do material estruturante não foram consideradas no dimensionamento da área ocupada pela compostagem, porque, nesse método uma vez que a leira é carregada, ela não é revirada, então a redução de volume que ocorre naturalmente não resulta em uma economia de espaço, embora a altura diminua, a área ocupada continua a mesma.

Dessa forma, para o cálculo do volume de material em fase de oxidação ( $V_o$ ) segue-se a Equação 5.

$$V_o = 3 \cdot V \cdot t_o \quad \text{Equação 5}$$

Sendo  $V$  o volume diário de resíduos orgânicos ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),  $t_o$  o tempo médio de oxidação (dias) e o coeficiente 3 é resultado da composição estabelecida para leira: 1/3 do volume da leira de resíduos orgânicos e 2/3 do volume da leira de material estruturante.

Para o tempo médio de oxidação ( $t_o$ ) adotou-se 90 dias (Brasil, 2017b).

A seguir, dimensionou-se o volume em fase de maturação ( $V_m$ ) pela Equação 6.

$$V_m = 3 \cdot V \cdot t_m \quad \text{Equação 6}$$

Sendo  $V$  o volume diário de resíduos orgânicos ( $\text{m}^3/\text{d}$ ),  $t_m$  o tempo médio de maturação, que foi adotado em 30 dias (Brasil, 2017b) e o coeficiente 3 é resultado da composição estabelecida para leira: 1/3 do volume da leira de resíduos orgânicos e 2/3 do volume da leira de material estruturante.

O cálculo da área da seção transversal ( $S$ ) das leiras é feito pela Equação 7. Para isso, buscou-se na literatura a melhor opção para a conformação das leiras de forma a suportar precipitações, garantir a melhor eficiência de funcionamento, e evitar a atração e proliferação de moscas e outros vetores. Dessa forma, optou-se pelo formato retangular das leiras, que demonstram uma capacidade de suportar precipitações elevadas ( $> 1500 \text{ mm/ano}$ ), além de que as paredes retas são fundamentais para favorecer o fluxo de ar interno da leira, garantindo sua melhor eficiência (Inácio; Miller, 2009).

$$S = (0,4 + l) \cdot (0,2 + h) \quad \text{Equação 7}$$

Sendo  $S$  a área da seção transversal da leira ( $\text{m}^2$ ),  $l$  a largura da leira (m), adotada como 2 m (Inácio; Miller, 2009),  $h$  a altura (m), adotada de 1,5 m (Inácio; Miller, 2009), e os valores de 0,2 e 0,4 são referentes ao espaço ocupado por uma camada de palha externa de 20 cm de espessura.

Posteriormente, obteve-se comprimento total de leiras, tanto para a oxidação ( $Lo$ ) quanto para a maturação ( $Lm$ ), pelas Equações 8 e 9, respectivamente.

$$Lo = \frac{Vo}{S} \quad \text{Equação 8}$$

$$Lm = \frac{Vm}{S} \quad \text{Equação 9}$$

A fim de dimensionar a área do pátio de oxidação, primeiro calcula-se o número de leiras necessárias pela Equação 10.

$$n_o = \frac{Lo}{B} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo  $B$  o comprimento de cada leira, adotado de 8 m, para facilitar o trabalho manual, além de ser compatível com a produção estimada de resíduos (Brasil, 2017b).

Ademais, se faz necessário também considerar a área entre leiras para auxiliar na manutenção. De acordo com Galvão (2019), adota-se para o presente projeto a distância entre as leiras ( $D$ ) de 4 m. Porém, ressalta-se que no caso de Galvão (2019) são utilizadas máquinas para carregar as leiras, necessitando de um maior espaçamento para sua passagem, portanto essa medida usada no presente projeto está superdimensionada, mas é válida para garantir segurança. Sendo assim, a área entre leiras de compostagem se dá pela Equação 11.

$$A_{entre} = B \cdot D \quad \text{Equação 11}$$

Sendo  $A_{entre}$  a área entre as leiras de compostagem ( $m^2$ ),  $B$  o comprimento da leira (m) e  $D$  o distanciamento entre elas (m).

Com os valores de largura e comprimento adotados anteriormente e, considerando os 20 cm da camada de palha externa, é possível obter a área de cada leira ( $A_{leira}$ ) pela Equação 12.

$$A_{leira} = (0,4 + l) \cdot (0,4 + B) \quad \text{Equação 12}$$

Sendo  $l$  a largura (m),  $B$  o comprimento da leira (m) e o número 0,4 representa a camada de palha externa.

Então, obtém-se que a área total do pátio de oxidação ( $A_{to}$ ) pela Equação 13.

$$A_{to} = (A_{leira} + A_{entre}) \cdot n_o \quad \text{Equação 13}$$

Para o cálculo da área do pátio de maturação, segue-se o mesmo raciocínio, porém com os valores da maturação apresentados anteriormente, conforme a Equação 14.

$$n_m = \frac{Lm}{B} \quad \text{Equação 14}$$

Segue-se, portanto, que a área total do pátio de maturação dado pela Equação 15.

$$A_{tm} = (A_{leira} + A_{entre}) \cdot n_m \quad \text{Equação 15}$$

Para os cálculos da área na fase de oxidação ( $A_{to}$ ) e da área na fase de maturação ( $A_{tm}$ ) optou-se por considerar  $n$  espaços entre leiras, correspondendo ao número total de leiras, sem aplicar as fórmulas mais precisas que utilizam  $(n - 1)$  ou  $(n + 1)$ , conforme a presença ou ausência de espaços de circulação nas extremidades. Essa escolha foi feita por se tratar de uma estimativa preliminar, e porque o número real de espaços de circulação varia significativamente de acordo com o arranjo adotado no pátio. Assim, a adoção de  $n$  como referência representa uma aproximação prática, suficiente para fins de dimensionamento inicial.

No presente projeto, considerou-se a necessidade de um barracão de finalização, uma área coberta destinada à secagem final e estocagem do composto produzido. Essa área possibilita a finalização da estabilização fora da leira, liberando espaço no pátio para um novo ciclo de compostagem, conforme orientações de Galvão (2019).

Assim, para o pré-dimensionamento da área para estocagem de composto considera-se o volume máximo a ser estocado ( $V_{te}$ ). Para isso, considerou-se que o composto será armazenado no máximo por 60 dias, além de uma redução média de 55% de volume (Inácio; Miller, 2009), conforme a Equação 16.

$$V_{te} = 3 \cdot V \cdot te \cdot (1 - fr) \quad \text{Equação 16}$$

Sendo  $V$  o volume diário de resíduos orgânicos ( $m^3/d$ ),  $te$  o tempo de estocagem máximo (d),  $fr$  o fator de redução de volume.

A altura de estocagem do composto será a mesma da leira ( $h$ ), ou seja, 1,5 m, para facilitar o manejo. Portanto, a área destinada a estocagem, mas também, a secagem do composto ( $A_c$ ) é obtida pela Equação 17.

$$A_c = \frac{V_{te}}{h} \quad \text{Equação 17}$$

Por fim, considera-se essencial a destinação de uma área específica para o armazenamento de material estruturante ( $A_{me}$ ), uma vez que esse recurso é fundamental para o bom andamento do processo. A presença desse espaço contribui para a manutenção de níveis adequados de resíduos secos, favorecendo a eficiência operacional. Para tal finalidade, foi adotada uma área de 24 m<sup>2</sup>.

Finalmente, chega-se numa área total útil ( $A_{tu}$ ) dada pela Equação 18.

$$A_{tu} = A_r + A_{to} + A_{tm} + A_c + A_{me} \quad \text{Equação 18}$$

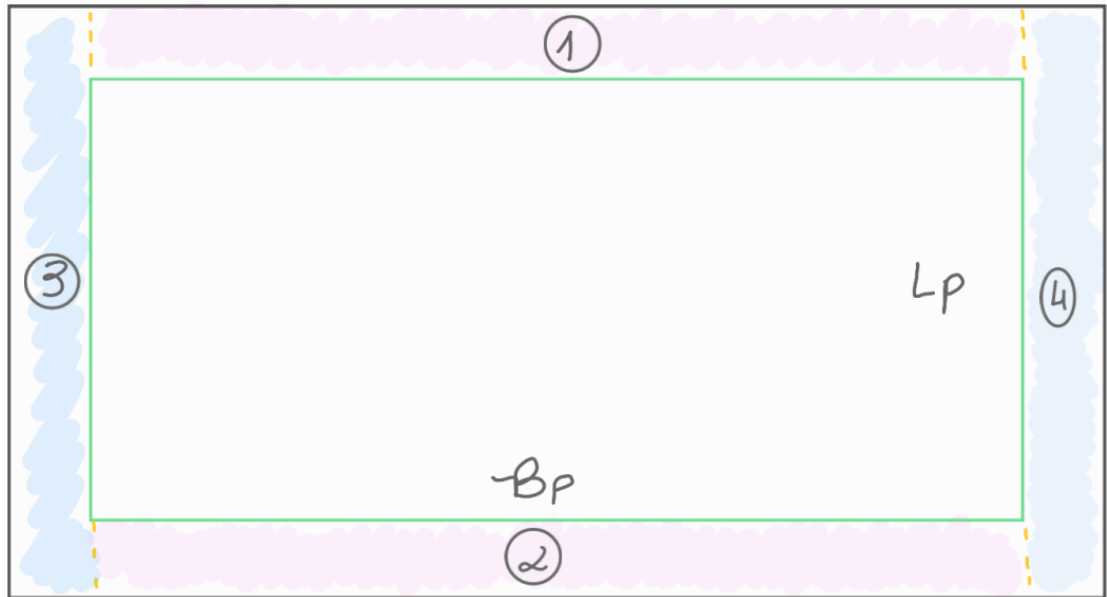
A área total útil representa apenas o espaço necessário para a operação, sem considerar outras estruturas importantes para o pátio de compostagem, como o prédio administrativo, estruturas sanitárias e barreiras arborizadas.

Por fim, propõe-se uma geometria retangular para o pátio de compostagem, assim como feito por Galvão (2019), e os valores de comprimento ( $Bp$ ) e largura ( $Lp$ ) do pátio são adotados considerando a área útil total ( $A_{tu}$ ) calculada. Há de se ressaltar que o local de construção exato do pátio da área disponível pode ser modificado de acordo com a condição do terreno local.

Ademais, há a necessidade de considerar um espaço para a barreira verdes, visto que se trata de um pátio em área urbana, e por isso é de suma importância garantir o isolamento da área para evitar vetores e minimizar impactos visuais e de odor. Dessa forma, considerou-se um acréscimo 20% da área total útil para acomodar a barreira verde (Galvão, 2019).

Para o cálculo da espessura da barreira, foi feito um desenho esquemático onde a cerca verde contorna todo o perímetro do pátio, representado na Figura 17, com o objetivo de facilitar os cálculos seguintes.

Figura 17: Representação da barreira verde



Fonte: A autora, 2025.

Assim, em verde está representado o perímetro do pátio de compostagem, e em azul e rosa estão os retângulos auxiliares para calcular a espessura da barreira verde. Dessa forma, calculou-se a soma das áreas dos retângulos 1 e 2 pela Equação 19.

$$A_1 = A_2 = Bp \cdot e \quad \text{Equação 19}$$

Sendo  $A_1$  a área do retângulo 1 ( $m^2$ ),  $A_2$  a área do retângulo 2 ( $m^2$ ),  $Bp$  o comprimento do pátio (m) e  $e$  a espessura (m).

E, posteriormente, a soma das áreas dos retângulos 1 e 2 pela Equação 20.

$$A_{t1,2} = 2 \cdot (Bp \cdot e) \quad \text{Equação 20}$$

Sendo  $A_{t1,2}$  a área total dos retângulos 1 e 2 ( $m^2$ ).

O mesmo foi feito para a soma dos outros dois retângulos, o 3 e 4, conforme Equação 21.

$$A_3 = A_4 = (Lp + 2e) \cdot e = Lp \cdot e + 2e^2$$

$$A_{t3,4} = 2 \cdot (Lp \cdot e + 2e^2) = 2 \cdot Lp \cdot e + 4e^2 \quad \text{Equação 21}$$

Sendo  $A_{t3,4}$  a área total dos retângulos 3 e 4 ( $m^2$ ) e  $Lp$  a largura do pátio de compostagem.

Por fim, o valor da espessura ( $e$ ) da barreira verde é obtido através da Equação 22, sendo  $A_{bv}$  a área da barreira verde, anteriormente obtida como sendo 20% do valor da  $A_{tu}$ .

$$A_{bv} = A_{t1,2} + A_{t3,4} = 0,2 \cdot A_{tu} \quad \text{Equação 22}$$

$$(2 \cdot Bp \cdot e) + (2 \cdot Lp \cdot e + 4e^2) = 0,2 \cdot A_{tu}$$

#### 4.3.2 TRANSPORTE ATÉ O PÁTIO

Em relação ao transporte dos resíduos orgânicos até o pátio, considerou-se a entrega voluntária pelas famílias e grandes geradores como estratégia preferencial, de acordo com práticas recomendadas por projetos comunitários de compostagem (Brasil, 2017b). Em relação ao material estruturante (folhas secas, galhos triturados e serragem), foi definido que seria fornecido pela Prefeitura Municipal, oriundo da coleta de podas urbanas, sendo periodicamente transportado ao pátio conforme a demanda do processo de compostagem.

#### 4.3.3 QUANTIDADE NECESSÁRIA DE MATERIAL ESTRUTURANTE

A serragem e os materiais orgânicos grosseiros como galhos secos, materiais com alta relação C/N e maior granulometria, são muito importantes no método UFSC, pois são eles os responsáveis por dar a estrutura de porosidade e, conseqüente, aeração adequada (Inácio; Miller, 2009).

Dessa forma, o objetivo é obter resíduos secos com uma menor densidade para garantir a melhor aeração da leira, e ainda, utilizar esses materiais já triturados, o que torna a iniciativa mais rentável, já que não terão gastos para obtê-los, nem com o maquinário e nem com o transporte, pois ficaria por conta da prefeitura de levar os resíduos até a unidade de compostagem.

Então, para determinar o volume de resíduos estruturantes necessários ( $V_{me}$ ), multiplica-se o volume de resíduos orgânicos ( $V$ ) por 2, que é equivalente, matematicamente, a proporção de material estruturante por volume de leira estabelecida por Inácio e Miller (2009) descrita na seção 4.3.1.



#### 4.3.4 GERAÇÃO DE LIXIVIADO

A geração de lixiviado nas leiras foi estimada considerando que uma leira projetada para funcionar pelo método UFSC com 30 m<sup>2</sup> de área projetada, gera cerca de 1291 litros de lixiviado em um período de 4 meses (Inácio; Miller, 2009).

#### 4.3.5 DESTINAÇÃO DO LIXIVIADO

Por fim, para escolher o melhor ponto de coleta do lixiviado no terreno do pátio de compostagem, avaliou-se a inclinação da área por meio de mapa topográfico da região, a fim de favorecer a drenagem natural, ou seja, posicionar o ponto de coleta na parte mais baixa do terreno.

#### 4.3.6 PRODUÇÃO DE COMPOSTO E AVALIAÇÃO DA HORTA

O volume diário de composto produzido no pátio ( $V_c$ ) foi estimado por meio da Equação 23, que considera um fator médio de redução de volume de 55% (Inácio; Miller, 2009).

$$V_c = (V_{me} + V) \cdot (1 - 55\%) \quad \text{Equação 23}$$

Considera-se que a produção de composto seja parcialmente absorvida pela horta comunitária que se planeja implantar de forma consorciada ao pátio de compostagem. Para tanto, avaliou-se se a geração de composto seria suficiente para atender a horta.

A adubação de uma horta não é feita continuamente, já que as plantas demoram um tempo até absorver os nutrientes, e ainda, o composto orgânico também leva um tempo para liberar os seus nutrientes (Borges, 2021).

Como a aplicação de composto nos canteiros da horta ocorre com menor frequência do que sua produção nas leiras de compostagem, é esperado que se produza mais composto do que a horta consegue absorver. Por isso, seria inviável dimensionar a horta com base apenas na quantidade de composto gerado.

Dessa forma, o tamanho da horta foi definido com base na análise territorial feita por meio do mapa da área em estudo, considerando os espaços disponíveis para o cultivo. Para estimar a capacidade de absorção de composto, adotou-se a média de 5 kg/m<sup>2</sup> de canteiro de horticultura, conforme recomendação da Universidade de Passo Fundo (UPF, 2020).

#### **4.3.7 MAQUINÁRIO NECESSÁRIO E DEMANDA DE MÃO DE OBRA**

A necessidade de maquinário e mão de obra foi dimensionada com base em outras iniciativas de pátios de compostagem semelhantes, especialmente o pátio da empresa Minhocaria, que foi visitado durante a realização do presente estudo, em 2023, para um levantamento dessas informações.

Assim, foi definido que o sistema funcionará sem o uso de mecanização pesada, empregando apenas ferramentas manuais, como pás, enxadas e carrinhos de mão. Em relação à demanda de mão de obra, além das considerações discutidas durante a visita técnica ao pátio de compostagem da Minhocaria, foi realizada uma comparação com a experiência da Revolução dos Baldinhos, a fim de estimar o número necessário de trabalhadores para assegurar um processo eficiente e condições adequadas de trabalho.

#### **4.4 CROQUI DE OCUPAÇÃO DA ÁREA**

Para a elaboração do croqui de ocupação da área, que estabelece o arranjo espacial das unidades que compõem um pátio de compostagem, foi realizado um levantamento das necessidades específicas para um pátio de pequeno porte, utilizando leiras estáticas com aeração passiva, integrado a uma horta comunitária. Além das áreas previamente definidas — como os setores que compõem o espaço operacional do pátio de compostagem e a horta comunitária — foram estabelecidos também os espaços de apoio às atividades de ambos, considerando sua configuração e as exigências para o pleno funcionamento da estrutura.

As estimativas de dimensionamento, organização espacial e demais requisitos do pátio foram definidas, em sua maioria, com base nas orientações de Galvão (2019). Com a determinação de todos os espaços e medidas necessários no pátio de compostagem, realizou-se

então o croqui de ocupação do espaço determinado de duas maneiras diferentes: a primeira com o auxílio do Google Earth e a segunda por meio de desenho digital.

#### **4.5 LEVANTAMENTO ORÇAMENTÁRIO**

Para a determinação do orçamento, foi realizado o levantamento de todos os materiais necessários para a implantação do pátio de compostagem, sendo que as quantidades foram definidas com base nas diretrizes do *Manual para Implementação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos* (Brasil, 2010b).

Ademais, os valores dos itens necessários foram obtidos por meio de uma pesquisa exploratória de mercado, realizada com base em consultas a sites de fornecedores e lojas especializadas disponíveis na internet. Para cada item, foram considerados diferentes preços encontrados em plataformas de busca (como o Google), sendo adotada a média dos valores praticados como referência para a composição da planilha orçamentária.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 ESCOLHA DA ÁREA DE INTERESSE**

Durante a etapa de prospecção de áreas públicas institucionais com potencial para a implantação de pátios de compostagem no município de São Carlos, a Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano indicou, em maio de 2023, a disponibilidade de um terreno com aproximadamente 2.500 m<sup>2</sup>. O referido lote está situado no Loteamento Municipal São Carlos III, delimitado pelas vias Francisco Possa, Álvaro Dziabas e Avenida João Dagnone, conforme ilustrado na Figura 18 (USP, 2023).

Figura 18: Representação da área destinada à implantação do projeto de compostagem (em vermelho), em relação a instituições e equipamentos públicos no entorno: Escola Estadual Prof. Bento da Silva Cesar, Centro Municipal de Educação Infantil Homero Frei e Área 2 do Campus da USP em São Carlos (em amarelo); Centro Público de Economia Solidária (em laranja); e terrenos sob linhas de transmissão de energia elétrica com potencial para uso em horticultura urbana (em azul).



Fonte: USP, 2023.

A área em questão apresenta características favoráveis à execução do projeto, tanto pelas suas dimensões quanto pela localização estratégica, próxima a instituições de ensino como o Centro Municipal de Educação Infantil Homero Frei, a Escola Estadual Professor Bento da Silva Cesar e a Área 2 do Campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos. Além disso, o entorno conta com equipamentos públicos relevantes, como um Centro Público de

Economia Solidária e uma praça esportiva, evidenciando o dinamismo social da região. Destaca-se ainda a proximidade com faixas de passagem de linhas de transmissão de energia elétrica, atualmente desocupadas, que podem ser utilizadas para fins de horticultura urbana mediante autorização da concessionária responsável (Grupo CPFL), conforme estabelecido na Orientação Técnica GED 22 – Ocupação de Faixa de Linha de Transmissão (CPFL, 2020). Tal modelo já foi implementado com êxito em diversos municípios paulistas, como Americana, Sorocaba, Suzano e São Paulo, sendo inclusive incentivado por outras concessionárias, como a Enel, por meio de programas como o “Hortas em Rede” (USP, 2023).

Assim, a Figura 19 mostra a área ampliada do terreno escolhido, delimitada em rosa, a qual está localizada na Avenida João Dagnone, nº 48. Neste local há um espaço disponível para a instalação de uma UDC, além de se tratar de uma área vulnerável, que enfrenta desafios socioambientais como a disposição inadequada de resíduos e entulho em terrenos baldios, erosões e ligações clandestinas de esgoto, o que a torna um ponto estratégico para a implementação do presente projeto (Schenk, 2014 *apud* USP, 2023).

Figura 19: Vista aérea da área escolhida, delimitada em rosa



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora, 2025.

## 5.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Com os pesos previamente estabelecidos para cada critério e categoria, e após a atribuição das respectivas notas pela autora e pelas duas especialistas em compostagem, obteve-se a Tabela 7.

Tabela 7: Pesos e notas globais para as duas alternativas selecionadas

	Critério	A1	E1	E2	S1	S2	S3	S4	S5	T1	T2	T3	T4	T5	Nota global
	Peso	7%	13.8%	9.2%	30.6%	15%	7.2%	4.8%	2.4%	4%	2.5%	1.5%	1.8%	0.2%	
Alt-1	Autora	9	7	9	7	7	9	5	9	10	10	10	10	10	7,25
	Especialista 1	5	7	7	9	7	9	9	9	7	8	10	10	10	
	Especialista 2	5	9	7	5	5	9	3	7	5	8	10	5	5	
Alt-2	Autora	9	3	5	7	7	5	5	7	10	8	10	10	8	5,89
	Especialista 1	7	3	3	5	5	5	5	5	5	5	10	10	8	
	Especialista 2	7	3	3	7	7	10	10	8	5	5	10	8	5	

Fonte: A autora, 2025.

As justificativas das notas escolhidas pela autora estão dispostas na Tabela 8.

Tabela 8: Justificativa para as notas escolhidas pela autora

Critério	Nota Alt-1/Alt-2	Descrição da escala	Justificativa
A1: Geração de lixiviado	9/9	9 = Insignificante	Ambas as alternativas, por se tratar de leiras de aeração estática, tendem a gerar menos lixiviado em comparação com leiras que são revolvidas, desde que sejam garantidas a estruturação adequada e o controle de umidade (Inácio; Miller, 2009).
E1: Custo de implantação	7/3	7 = Relativamente baixo; 3 = Relativamente alto	Alt-1 tem baixo custo devido à utilização de equipamentos simples (Inácio; Miller, 2009 <i>apud</i> Buttenbender, 2004). Alt-2 possui um custo maior de implantação devido aos equipamentos necessários (FAPESC, 2017)
E2: Custo operacional	9/5	9 = Muito baixo; 5 = Médio	Alt-1 não consome energia diretamente no processo e sua com mão de obra é reduzida (Inácio; Miller, 2009 <i>apud</i> Buttenbender, 2004). Alt-2 tem um custo de operação maior devido, principalmente, ao consumo contínuo de energia para manter o equipamento de aeração em funcionamento (FAPESC, 2017)
S1: Odor	7/7	7 = Perceptível em momentos pontuais	Ambas possuem baixa emissão odores, se mantidas as condições corretas de aeração. Os odores emitidos são pontuais, apenas no momento de revolvimento ao final da maturação (Inácio; Miller, 2009 e FAPESC, 2017)
S2: Potencial para atração de vetores	7/7	7 = Baixa	Ambas as alternativas apresentam baixa atração de vetores, uma vez que não exigem revolvimento frequente e possuem camada de palha externa. Além disso, podem manter temperaturas elevadas quando operadas sob condições controladas, o que contribui para o controle da formação de vetores (Inácio; Miller, 2009)

Fonte: A autora, 2025.



Tabela 8: Justificativa para as notas escolhidas pela autora (continuação)

Critério	Nota Alt-1/Alt-2	Descrição da escala	Justificativa
S3: Ruídos	9/5	9 = Inaudível; 5 = Constante e incômodo	Alt-1 é silenciosa. Alt-2 possui ruídos contínuos, devido aos equipamentos mecânicos para insuflação do ar
S4: Visual	5/5	5 = Visivelmente simples, mas rústico	Ambas têm aspectos estéticos simples e exposição de elementos estruturais, mas a cerca verde oferece um bom isolamento da área
S5: Trânsito de pessoas e maquinários	9/7	9 = Trânsito leve e seguro; 7 = Trânsito moderado	Alt-1 opera de forma manual com pouco deslocamento. Alt-2 exige maior cuidado no manejo das leiras, provocando um aumento do fluxo de pessoas e maquinários para manutenção (FAPESC, 2017)
T1: Área	10/10	10 = Área totalmente compatível	Ambas as alternativas cabem perfeitamente no espaço previsto para o pátio
T2: Qualificação demandada dos operadores	10/8	9 = Baixa exigência de qualificação; 7= Exigência moderada de qualificação	Alt-1 requer apenas treinamento básico. Alt-2 exige conhecimento técnico para manutenção dos equipamentos.
T3: Tempo de maturação do composto	10/10	10 = Compatível com a capacidade de uso	Apesar da Alt-2 apresentar menor tempo de maturação, ambos receberam o mesmo peso, pois a capacidade de absorção da horta projetada já é limitada. Assim, a agilidade no processo não representa uma vantagem significativa no contexto específico deste projeto.

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 8: Justificativa para as notas escolhidas pela autora (continuação)

Critério	Nota Alt-1/Alt-2	Descrição da escala	Justificativa
T4: Qualidade do composto gerado	10/10	10 = Alta qualidade	Ambas produzem composto estável e com aplicabilidade na agricultura (Inácio; Miller, 2009).
T5: Quantidade do material estruturante	10/10	10 = Volume facilmente fornecido	As duas técnicas requerem a mesma proporção de material estruturante (Inácio; Miller, 2009), que podem ser obtidos facilmente pela prefeitura de São Carlos.

Fonte: A autora, 2025.

Assim, como a nota global da Alt-1 é superior a nota global da Alt-2, e a alternativa escolhida para o pátio de compostagem foi a das leiras estáticas com aeração passiva- método UFSC.

Os principais pontos de divergência entre as duas alternativas são os critérios econômicos e sociais. Em relação aos custos, os das leiras com aeração forçada naturalmente são mais elevados do que as de aeração passiva, uma vez que maquinários e equipamentos são imprescindíveis para a técnica e seu pleno funcionamento. Denota-se essa diferença desde os gastos iniciais necessários para a implantação que elevam o custo do projeto como um todo, até os gastos contínuos com energia e trocas regulares de alguns materiais.

Acerca dos critérios sociais, foi necessário ter bastante cuidado em sua avaliação uma vez que se trata de um pátio de compostagem em área urbana. Sendo assim, ocorreu uma maior diferença entre as alternativas em relação a ruídos, isso porque, as leiras estáticas com aeração forçada podem gerar mais ruídos devido, principalmente, ao funcionamento da máquina de insuflação de ar.

### **5.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS NA ÁREA DE INTERESSE**

A partir da área calculada e delimitada e dos valores de densidade populacional apresentados na Figura 16, estimou-se que a população total dentro do raio de 400 m, é de 5.246 habitantes. Considerando o estudo de Pai, Ai e Zheng (2019) a contribuição de cerca de 10% dos residentes, a estimativa total de contribuintes deve ser aproximadamente de 525 habitantes.

Do levantamento dos grandes geradores, revelou-se a presença dos seguintes estabelecimentos e instituições:

1. C.E.M.E.I Homero Frei: não tinham informações a respeito;
2. Escola Estadual Prof. Bento da Silva Cesar: 8900 refeições servidas no mês de março de 2024;
3. C.E.M.E.I Prof. Vicente de Paulo Rocha Keppe: 10936 refeições servidas no mês de março de 2024;
4. Restaurante “Skinão Lanchonete e Restaurante”: não tinham informações a respeito;
5. Restaurante “Frango Assado”: entre 50 e 60 por dia, mas alegaram que varia muito;

6. Restaurante “King Lanches e Pastéis”: não tinham informações a respeito;
7. Restaurante “Pizzaria Bon Appetit”: não tinham informações a respeito;
8. Restaurante “Hamburger SK”: não tinham informações a respeito.

Dados do Censo Escolar 2023 inferem que a quantidade total de alunos matriculados no CEMEI Homero Frei é próxima à do C.E.M.E.I Prof. Vicente de Paulo Rocha Keppe, sendo para a primeira 160 alunos matriculados e a segunda 223 alunos (Brasil, 2023). Portanto, considerou-se o mesmo número de refeições servidas para essas duas escolas. Para os demais estabelecimentos, foi estimado que a quantidade de refeições é semelhante à do restaurante “Frango Assado”.

A Tabela 9 mostra os valores obtidos referentes a produção de resíduos sólidos.

Tabela 9: Resultados obtidos dos cálculos referentes a fração orgânica de resíduos domiciliares e de grandes geradores da área de interesse

Dado calculado	Identificador	Nº da equação	Valor	Unidade
Geração per capita média de resíduos domiciliares em São Carlos	$RSD_{São\ Carlos}$	-	0,63	$\frac{kg\ RSD}{hab \cdot dia}$
Geração per capita média da fração orgânica dos resíduos domiciliares em São Carlos	$FORSU_{RD}$	-	0,23	$\frac{kg\ FORSU}{hab \cdot dia}$
Geração mássica diária de resíduos orgânicos domiciliares na área de interesse	$FORSU_{AI}$	-	120,75	$\frac{kg}{dia}$
Geração mássica diária de resíduos orgânicos dos grandes geradores na área de interesse	$FORSU_{geradores}$	2	295,14	$\frac{kg}{dia}$
Geração mássica diária total de resíduos orgânicos na área de interesse	$FORSU_{total}$	-	415,89	$\frac{kg}{dia}$

Conforme exposto na Tabela 12, a geração mássica total de resíduos sólidos orgânicos na área de interesse, considerando a adesão da população e os grandes geradores, é de 415,89 kg/dia. Porém, é necessário destacar que existem algumas limitações para os dados obtidos.

Os índices e valores analisados são estimativas médias para toda a cidade de São Carlos. É de se esperar, contudo, que exista significativa variabilidade espacial nesses valores, por diversos fatores como aspectos sociais e socioeconômicos da população, disponibilidade para segregação de resíduos na fonte, dentre outros.

Além disso, quanto aos grandes geradores, reitera-se que os valores podem ser diferentes de acordo com o estabelecimento, fluxo de pessoas atendidas por dia, alunos presentes na escola, funcionamento mensal, entre outras variáveis. E mesmo não atingindo o limite de 500 kg/dia, ressalta-se que se trata de uma estimativa inicial e que conforme o seu andamento e familiarização da população no entorno espera-se que a adesão seja maior.

#### **5.4 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA- MÉTODO UFSC**

Devido ao resultado favorável decorrente da análise multicritério, o método UFSC de compostagem foi escolhido para o pré-dimensionamento e análise mais detalhada para avaliar sua viabilidade de implantação no local. De fato, a FAPESC (2017) afirma que essa metodologia é a mais indicada para UDC de pequeno porte em área urbana.

##### **5.4.1 ÁREA OPERACIONAL PARA COMPOSTAGEM**

A Tabela 10 apresenta os valores calculados do dimensionamento da área total útil do pátio de compostagem. Essa área contempla o espaço destinado às leiras; as áreas reservadas para a estocagem e secagem do composto final; os corredores entre as leiras; e a área de armazenamento de material estruturante, elementos essenciais para garantir a operacionalização eficiente do sistema.

Tabela 10: Dimensionamento da área operacional do pátio de compostagem

Dado calculado	Identificador	Nº da equação	Valor	Unidade
Área de recepção dos resíduos	$Ar$	3	1,44	m <sup>2</sup>
Volume diário resíduos orgânicos	$V$	4	0,72	$\frac{m^3}{dia}$
Volume de material em fase de oxidação	$Vo$	5	194,4	m <sup>3</sup>
Volume de material em fase de maturação	$Vm$	6	64,8	m <sup>3</sup>
Área seção transversal da leira	$S$	7	4,08	m <sup>2</sup>
Comprimento total de leiras em fase de oxidação	$Lo$	8	48	m
Comprimento total de leiras em fase de maturação	$Lm$	9	16	m

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 10: Dimensionamento da área operacional do pátio de compostagem (continuação)

Dado calculado	Identificador	Nº da equação	Valor	Unidade
Número de leiras na fase de oxidação	$n_o$	10	6	leiras
Número de leiras na fase de maturação	$n_m$	14	2	leiras
Área em planta de cada leira	$A_{leira}$	12	20,16	m <sup>2</sup>
Área entre leiras	$A_{entre}$	11	32	m <sup>2</sup>
Área das leiras em fase de oxidação	$A_{to}$	13	384	m <sup>2</sup>
Área das leiras em fase de maturação	$A_{tm}$	15	96	m <sup>2</sup>
Volume máximo de composto estocado	$V_{te}$	16	58,32	m <sup>3</sup>
Área de estocagem e secagem do composto	$A_c$	17	38,88 $\approx$ 39	m <sup>2</sup>

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 10: Dimensionamento da área operacional do pátio de compostagem (continuação)

Dado calculado	Identificador	Nº da equação	Valor	Unidade
Área de armazenamento de material estruturante	$A_{me}$	Adotado	24	m <sup>2</sup>
Área total útil	$A_{tu}$	18	544,44 $\approx$ 545	m <sup>2</sup>
Área da barreira verde	$A_{bv}$	22	112	m <sup>2</sup>
Espessura da cerca viva	$e$	22	100	cm

Fonte: A autora, 2025.



Dessa forma, definiu-se que o pátio terá um comprimento ( $B_p$ ) de 35 metros e uma largura ( $L_p$ ) de 16 metros, totalizando uma área em planta ( $A_{pp}$ ) de 560 m<sup>2</sup>. Embora esse valor represente um superdimensionamento em relação à área estimada como necessária, a disponibilidade de espaço no local permite essa escolha sem prejuízos, garantindo maior flexibilidade e conforto operacional. Essa margem adicional pode ser estrategicamente utilizada para ampliar a área destinada à recepção de resíduos orgânicos, inicialmente calculada em 1,44 m<sup>2</sup>, conforme a demanda operacional. No entanto, recomenda-se que essa ampliação seja feita com cautela, de modo a evitar o acúmulo prolongado de resíduos na recepção, o que poderia resultar na geração de odores desagradáveis e na atração de vetores.

Somando com a cerca verde, a área total final do pátio resulta em 672 m<sup>2</sup>, ou seja, ao comparar com os 2.500 m<sup>2</sup> disponíveis, conclui-se que é mais que suficiente a área disponibilizada para a implantação da UDC. A Figura 20, mostra a área em planta do pátio de compostagem e os recuos (adotados com 8 m de comprimento) para definir um possível layout do pátio, evidenciando a suficiência da área disponível, embora outras coisas ainda tenham que ser consideradas adiante, prevê-se que o espaço é adequado.

Figura 20: Layout do pátio definido e linhas de recuo



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora, 2025.

Assim, as 8 leiras de 2 x 8 m são suficientes para a massa de resíduos orgânicos a serem tratados, visto que essa dimensão de leira ela suporta até 10 toneladas de resíduos orgânicos no mês (Brasil, 2017b) e, para este projeto, a massa recebida estimada seria no máximo 15,5 toneladas no mês.

#### **5.4.2 QUANTIDADE NECESSÁRIA DE MATERIAL ESTRUTURANTE**

Admitindo a proporção da seção 4.3.3, a quantidade de resíduos estruturantes necessária ( $V_{me}$ ), é de 1,44 m<sup>3</sup>/dia, o que mensalmente seria aproximadamente 43,2 m<sup>3</sup>.

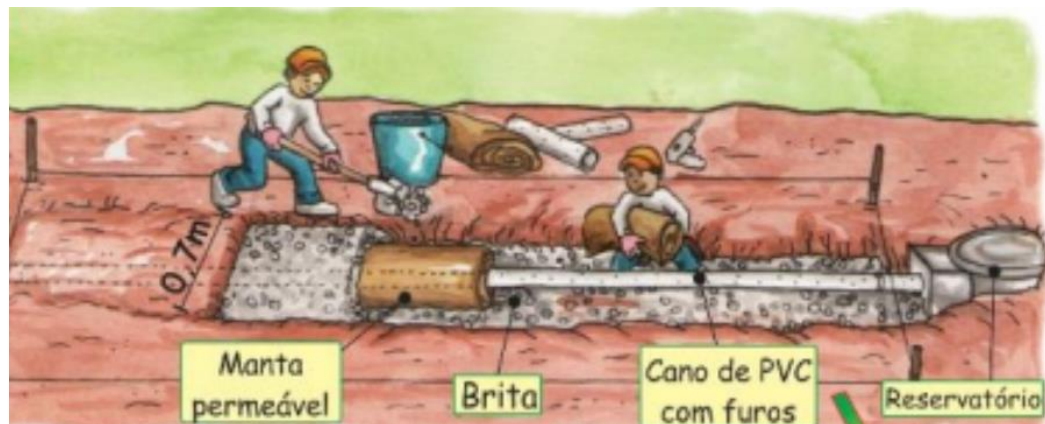
Considerando essa demanda, é possível suprir esse volume por meio dos resíduos provenientes dos serviços de poda realizados pela Prefeitura Municipal de São Carlos, que gera mensalmente cerca de 4.800 m<sup>3</sup> de resíduos sólidos oriundos dessas atividades (São Carlos, 2012). Trata-se, portanto, de um material já disponível, cuja destinação adequada é essencial. Nesse contexto, o pátio de compostagem localizado no bairro Santa Angelina surge como uma alternativa viável para o recebimento e aproveitamento desse resíduo, contribuindo para o funcionamento eficiente do sistema de compostagem.

#### **5.4.3 FORMAÇÃO E DESTINAÇÃO DE LIXIVIADO**

Para o presente projeto, onde estão sendo consideradas 8 leiras com área de 20,16 m<sup>2</sup> cada e, admitindo a proporção descrita na seção 4.3.4, estima-se que a geração de lixiviado será em torno de 6.940,42 litros a cada 4 meses, ou aproximadamente 1735,1 L/mês de líquido lixiviado.

Dessa forma, junto com a montagem da leira, deve ser implantado um sistema de drenagem com largura de 0,7 m, profundidade de 0,25 m e comprimento igual ao da leira, escavado em formato de “V” para facilitar o escoamento do lixiviado. No interior desse canal, é colocada uma camada de brita, sobre a qual se instala um cano perfurado, com declividade de 2%, permitindo a condução eficiente do líquido. Esse dreno é envolvido por uma manta geotêxtil, que atua como filtro, impedindo a entrada de partículas sólidas, e recoberto com areia até o nível do piso. A Figura 21 mostra um desenho esquemático sistema de drenagem feito sob cada leira.

Figura 21: Desenho esquemático do sistema de drenagem



Fonte: Brasil, 2017b.

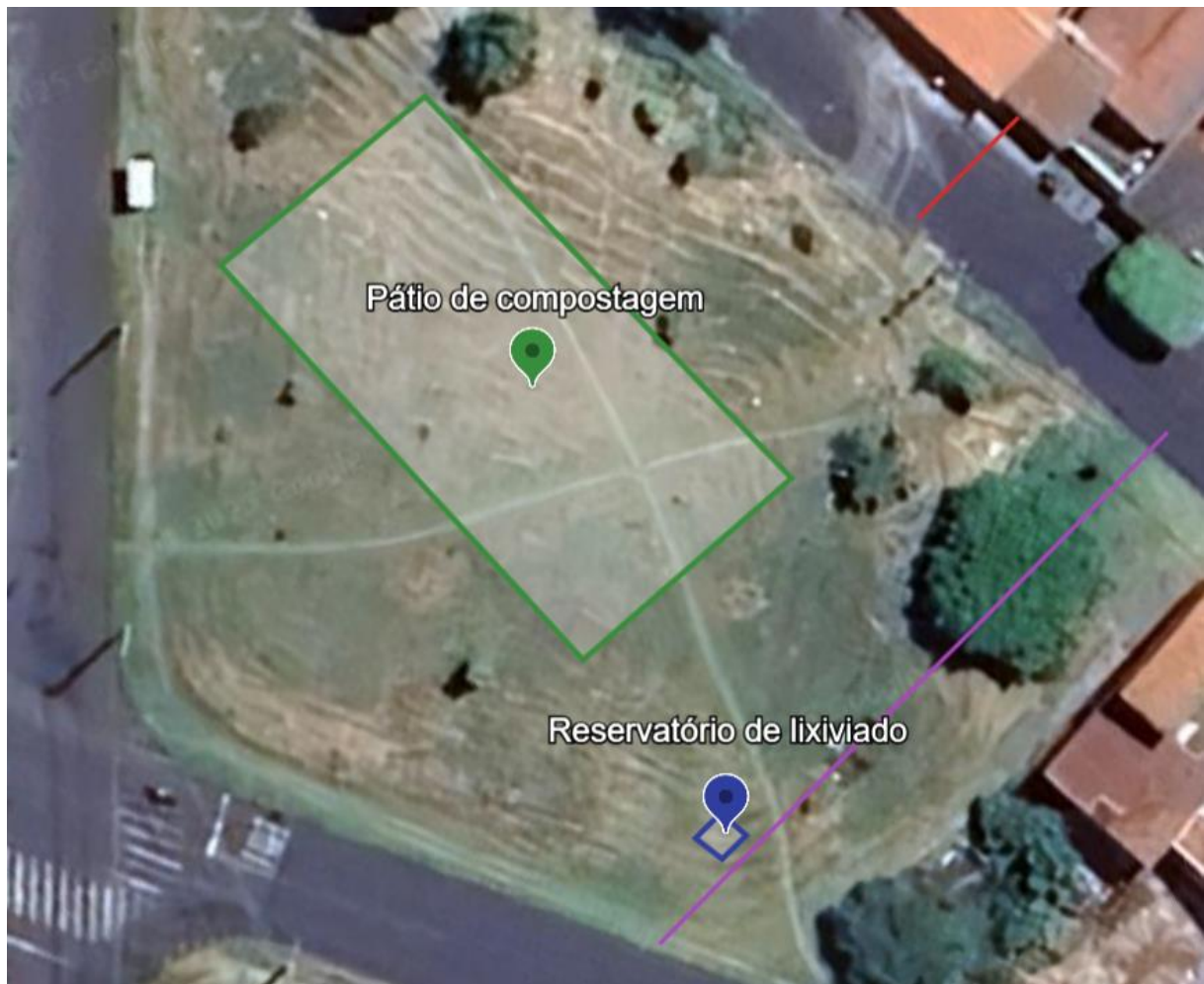
A base do sistema é impermeabilizada com geomembrana PEAD, garantindo que o lixiviado não infiltre no solo. O líquido coletado é conduzido até caixas de inspeção, que funcionam como barreiras para retenção de sólidos em caso de falhas operacionais, e posteriormente direcionado para um reservatório subterrâneo. Esse reservatório armazena o lixiviado, que pode ser reintroduzido nas leiras por meio de mangueiras com dispersores, promovendo a reciclagem de nutrientes, manutenção da umidade ideal e aceleração da decomposição biológica, especialmente em períodos secos (Brasil, 2017b).

Em relação ao posicionamento do reservatório subterrâneo, conforme mostra a Figura 22, a área escolhida apresenta leve inclinação natural, o que favorece a drenagem dos líquidos. Dessa forma, todas as caixas de inspeção das leiras devem ser interligadas ao sistema de drenagem, de modo que o escoamento do lixiviado ocorra por gravidade até o ponto de coleta.





Figura 23: Posicionamento do ponto de coleta de lixiviado (em azul)

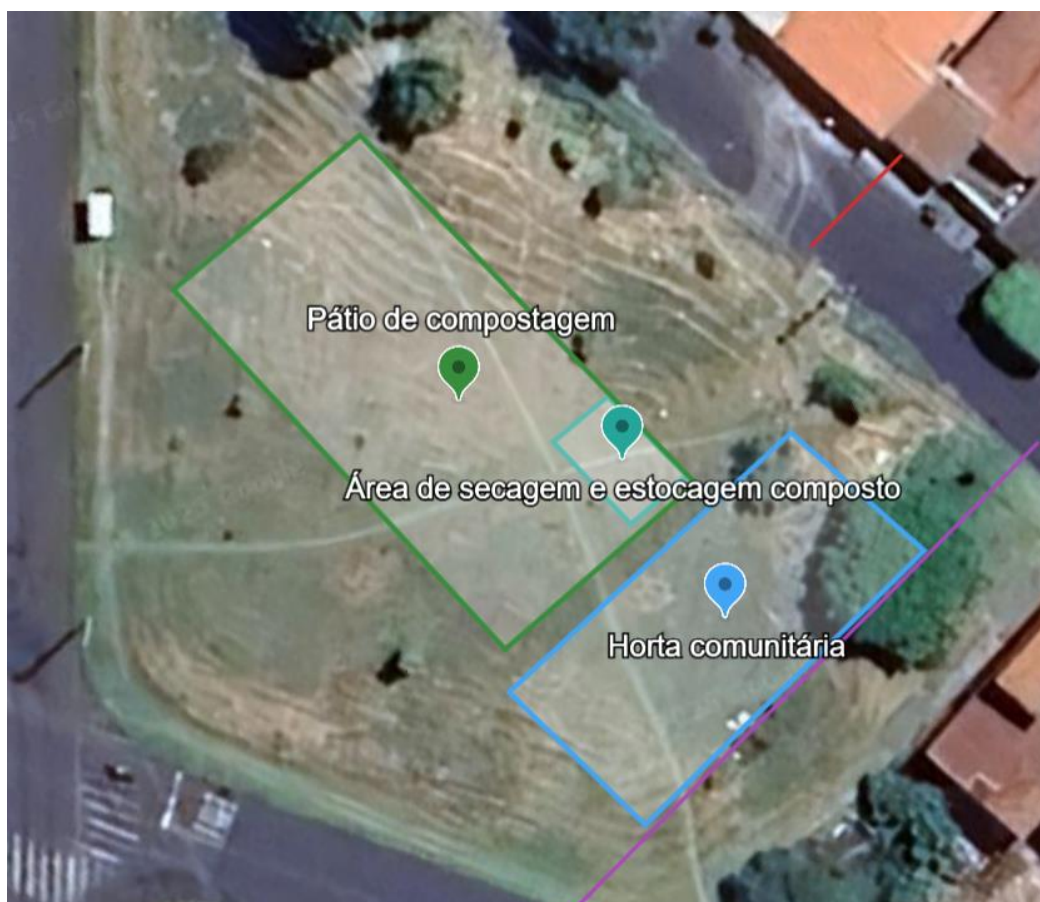


Fonte: Google Earth, elaborado pela autora, 2025.

#### 5.4.4 PRODUÇÃO DO COMPOSTO E AVALIAÇÃO DA HORTA

Da avaliação do espaço disponível, projetou-se uma horta de 24,5 m por 14,2 m, o que resulta numa área aproximada de 345 m<sup>2</sup>, como mostra a Figura 24. Seu posicionamento foi definido estrategicamente, para que fique visível à população que passa pelo local.

Figura 24: Layout da horta definido



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora, 2025.

Como tem-se uma área disponível de 345 m<sup>2</sup>, a horta seria capaz de absorver 1725 kg de composto durante a montagem dos canteiros (UPF, 2020). O volume de composto ( $V_c$ ) produzido foi calculado pela Equação 23, resultando numa produção de 0,972 m<sup>3</sup>/dia. Em massa, considera-se a densidade do composto sendo aproximadamente 400 kg/m<sup>3</sup> (EMBRAPA, 2018), isso corresponde a aproximadamente 388,8 kg de composto produzido por dia.

Adotando que a horta será adubada 1 vez ao mês, sendo 58,32 m<sup>3</sup> o volume máximo de composto que pode ser estocado por 2 meses ( $V_{te}$ ) na área disponível, que corresponde a 23.328 kg, a área projetada é suficiente para absorver o excesso gerado no mês, de 21.603 kg de composto. No entanto, em 2 meses já excederá a capacidade da área de estocagem. Fica claro, portanto, que a produção de composto supera, em muito, a demanda de composto pela horta comunitária, o que evidencia a necessidade de se obter outras formas de escoamento da produção de composto do pátio, como por exemplo a comercialização, a doação aos moradores e o uso na manutenção de áreas verdes do município.

A respeito do composto gerado, devido ao alto período de exposição dos agentes patogênicos a altas temperaturas durante o processo da compostagem, o composto orgânico gerado é, geralmente, isento de organismos patogênicos, portanto, ele pode ser utilizado como condicionador de solo para uma horta comunitária que, posteriormente, os alimentos produzidos podem ser consumidos pela população local (Inácio e Miller, 2009). Contudo, embora a teoria preveja essa higienização do composto pelas altas temperaturas, é recomendável realizar uma análise microbiológica do composto para garantir sua segurança.

#### **5.4.5 DEMANDA DE MÃO DE OBRA**

De acordo com Lara Teixeira Laranjo<sup>2</sup>, seu pátio conta com apenas duas pessoas para fazer todo o processo, desde a coleta, transporte, controle e manutenção das leiras, até o composto gerado. No entanto, Lara e seu companheiro mencionaram que é um trabalho intenso, o qual acaba passando do horário comercial algumas vezes. Já no caso da Revolução dos Baldinhos, existem 4 pessoas empregadas exclusivamente para a compostagem.

Posto isso, para o presente projeto, de forma a ser saudável aos trabalhadores empregados, considera-se ideal de três a quatro pessoas experientes para receber os resíduos, alimentar as leiras e fazer seu monitoramento, sendo que não será necessário alocar mão de obra para o transporte, já que ele será feito pela vizinhança ou pelos grandes geradores até o pátio.

#### **5.5 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Na Tabela 11, estão dispostos os principais cálculos obtidos do pré-dimensionamento das leiras estáticas de aeração passiva, bem como alguns critérios técnicos de operação (como transporte até o pátio e necessidade de pré-triagem), mas também as medidas adotadas referentes aos aspectos socioambientais de impacto do pátio de compostagem, descritos na seção 3.5.3.

---

<sup>2</sup> Informação verbal fornecida por Lara Teixeira Laranjo, bióloga e microempreendedora da Minhocaria, pátio de compostagem de pequeno porte em Araraquara (SP), em visita técnica realizada em outubro de 2023.



Tabela 11: Síntese dos resultados calculados e medidas adotadas para o pátio de compostagem usando o método UFSC no bairro Santa Angelina, em São Carlos – SP

		Justificativa	Referência
Número de leiras	8	Calculado	Autora (2025)
Área operacional	560 m <sup>2</sup>	Calculado	Autora (2025)
Área do pátio com cerca verde	672 m <sup>2</sup>	Calculado	Galvão (2019)
Conformação das leiras	Formato retangular, com 2 leiras montadas simultaneamente	Adotado da literatura	Inácio e Miller (2009)
Transporte até o pátio	Transporte feito pelos voluntários	Adotado da literatura	Brasil (2017b)
Quantidade de resíduos secos	43,2 m <sup>3</sup> /dia	Calculado	Inácio e Miller (2008)
Controle de odor	Uso de materiais estruturantes de baixa densidade, monitoramento da temperatura e camada de palha externa	Materiais estruturantes de baixa densidade favorecem a aeração da pilha, prevenindo condições anaeróbias e o mau odor. A temperatura acima de 50 °C é utilizada como indicador de que o processo permanece em condições aeróbias adequadas, sendo ideal que se mantenha entre 50 °C e 65 °C para garantir a eficiência da compostagem	Inácio e Miller (2009); Kiehl (1998)

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 11: Síntese dos resultados calculados e medidas adotadas para o pátio de compostagem usando o método UFSC no bairro Santa Angelina, em São Carlos – SP  
(continuação)

		Justificativa	Referência
Controle de formação de vetores	Controle de temperatura, evitar estocagem e cobertura adequada	O controle da temperatura é essencial para manter temperaturas acima de 50°C, as quais larvas de moscas não sobrevivem. A estratégia de montagem simultânea de 2 leiras garante que os resíduos orgânicos que chegam não fiquem muito tempo estocados. A cobertura adequada, além de auxiliar no controle da temperatura, dificulta a ovoposição externa.	Inácio e Miller (2009)
Minimização de lixiviado	Formato de leira adequado, controle de temperatura, construção de leiras com base permeável e materiais estruturantes de baixa densidade	O formato retangular minimiza a formação de percolado. Além disso, temperaturas altas (entre 50 e 70°C) garante a eficiência do processo e evaporação do excesso de água. A base permeável garante a drenagem do lixiviado produzido. E o uso de materiais estruturas de baixa densidade garante a aeração adequada, evitando acúmulo de umidade	Inácio e Miller (2009)
Destinação de lixiviado	Aproveitamento da inclinação natural do terreno	O ponto de coleta do lixiviado foi posto no ponto mais baixo do terreno	Autora (2025)
Quantidade de lixiviado produzido	1735,1 L/mês	Calculado	Inácio e Miller (2009)

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 11: Síntese dos resultados calculados e medidas adotadas para o pátio de compostagem usando o método UFSC no bairro Santa Angelina, em São Carlos – SP  
(continuação)

		Justificativa	Referência
Impacto na vizinhança	Recuo às edificações e barreira verde	Adotou-se um recuo de 8 m e a barreira verde é necessária para isolar a área, evitando a entrada/saída de vetores, mas também, trazendo um melhor aspecto visual	Galvão (2019)
Produção de composto	388 kg/dia	Calculado	Autora (2025)
Demanda de mão de obra	4 operadores	Adotado da literatura	Santos e Vieira (2023)
Maquinário necessário	Balança plataforma, peneira rotativa e termômetro de solo	Adotado com base na visita técnica	Lara Teixeira Laranjo (2023) <sup>3</sup>
Necessidade de pré-triagem?	Sim	Adotado da literatura	Pereira e Fiore (2022)

Fonte: A autora, 2025.

<sup>3</sup> Informação verbal fornecida por Lara Teixeira Laranjo, bióloga e microempreendedora da Minhocaria, pátio de compostagem de pequeno porte em Araraquara (SP), em visita técnica realizada em outubro de 2023.

### 5.5.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

O pátio de compostagem proposto no presente estudo pode ser isento de licenciamento ambiental, conforme previsto na Resolução SIMA nº 69/2020 (São Paulo, 2020b). Isso porque, além de atender ao limite de até 500 kg de resíduos por dia, a operação será de pequeno porte, com baixo impacto ambiental e resíduos previamente separados na fonte. Ademais, a mesma resolução estabelece que o composto gerado deve ser destinado a atividades como jardinagem, hortas ou uso próprio, o que será atendido neste projeto por meio da utilização do composto em uma horta comunitária.

## 5.6 CROQUI DE OCUPAÇÃO DA ÁREA

No levantamento das necessidades para um pátio de compostagem de pequeno porte, utilizando leiras estáticas com aeração passiva e integrado a uma horta comunitária, foram identificadas as seguintes exigências, sendo que as dimensões dos espaços foram determinadas com base em cálculos ou adotadas de forma arbitrária, conforme especificado em cada tópico.

- Barreira verde: a área total da barreira verde foi calculada na seção 5.4.1, e possui cerca de 1 m de espessura;
- Portões de acesso ao pátio: o portão de visitantes estará localizado na Rua Francisco Possa, enquanto o portão de caminhões estará localizado na direção da Rua João Dagnone;
- Layout geral do pátio: disposto na Figura 25;
- Piso: impermeabilização das áreas construídas e sob as leiras com geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), por ter longa durabilidade, baixa permeabilidade (quase impermeável) e facilidade na instalação, e a impermeabilização dos caminhos das máquinas e caminhões com material de pavimentação de estradas rurais (Galvão, 2019);
- *Containers* de apoio administrativo: adotou-se 51 m<sup>2</sup> para a área total, sendo 20 m<sup>2</sup> para o escritório, 21 m<sup>2</sup> para a copa, 6 m<sup>2</sup> para os banheiros (um feminino e um masculino) e 4 m<sup>2</sup> para um banheiro PCD unissex;
- Área de armazenamento de materiais estruturantes: adotou-se 24 m<sup>2</sup>;
- Área total útil: calculado na seção 5.4.1, resultando em uma área de 545 m<sup>2</sup>, a qual representa a área operacional do pátio de compostagem, considerando as leiras da fase

maturação e oxidação, bem como a área entre elas, mas também a área de armazenamento de material estruturante e o barracão de finalização e secagem de composto;

- Sistema de drenagem, coleta e recirculação de líquidos percolado pela leira: descrito com detalhes na seção 5.4.3, que representa 4 m<sup>2</sup> de área;
- Barracão de finalização - secagem e armazenamento do composto finalizado: calculado na seção 5.4.1, representa uma área de 39 m<sup>2</sup>;
- Estacionamento de visitantes e funcionários: as dimensões de uma vaga de garagem variam para diferentes veículos (Bagatim, 2023). Dessa forma, foram estipuladas duas vagas para vans escolares e quatro vagas para cada tamanho de carro (pequeno e médio), resultando numa área total de 126,5 m<sup>2</sup>, já contabilizado o espaço para manobra;
- Área da horta: além da área dos canteiros, adotado como 345 m<sup>2</sup> (seção 5.4.4), esse espaço deve incluir um galpão de armazenamento de ferramentas e insumos de 8 m<sup>2</sup> e 18 m<sup>2</sup> com espaço coberto para lavagem e venda das hortaliças, ambos definidos arbitrariamente;
- Guarita: adotou-se uma de área 5,29m<sup>2</sup>.

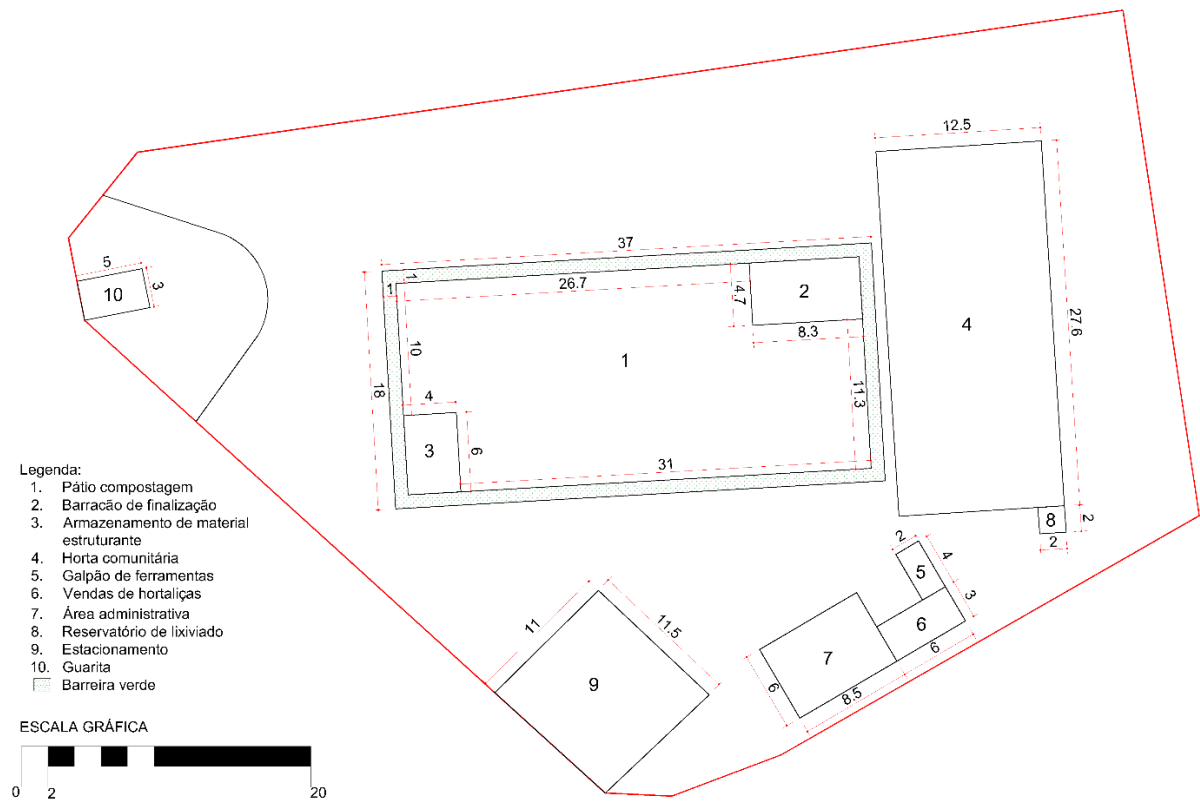
Dessa forma, a somatória de todos os espaços construídos, representados nas Figuras 25 e 26, é de 1.238,00 m<sup>2</sup>. Nessas mesmas figuras, apresenta-se a disposição escolhida para cada uma das estruturas descritas anteriormente.

Figura 25: Layout de ocupação da área



Fonte: Google Earth, elaborado pela autora, 2025.

Figura 26: Croqui de ocupação da área



Fonte: A autora, 2025.

### 5.7 LEVANTAMENTO ORÇAMENTÁRIO PRELIMINAR

A estimativa e as quantidades apresentadas na Tabela 12 estão de acordo com a massa esperada de 15 toneladas processadas por mês, com quatro funcionários, para um pátio de compostagem com leiras estáticas de aeração passiva, seguindo o método UFSC.

Tabela 12: Estimativa de quantidades e custo de ferramentas e equipamentos necessários para operação do pátio, e do sistema de drenagem

Item	Durabilidade	Quantidade necessária	Custo por unidade (R\$)	Unidades necessários para o pátio	Custo final (R\$)
Utensílios para operação do pátio					
Termômetro de solo de haste metálica	12 meses	1 para 3 toneladas processadas por dia	150,00	1	150,00
Peneira rotativa pequena	Varia pelo uso	1 unidade	8000,00	1	8000,00
Carrinho de mão do tipo girica 112 L	12 meses	1 por revirador de leira	600,00	1	600,00
Garfo agrícola	12 meses	1 por revirador de leira	150,00	1	150,00
Pá	12 meses	1 para 2 toneladas processadas por dia	50,00	1	50,00
Enxada	12 meses	1 para 2 toneladas processadas por dia	60,00	1	60,00
Mangueira 50 m (3/4'')	12 meses	1 por revirador de leira	350,00	1	350,00

Fonte: A autora, 2025.



Tabela 12: Estimativa de quantidades e custo de ferramentas e equipamentos necessários para operação do pátio, e do sistema de drenagem (continuação)

Item	Durabilidade	Quantidade necessária	Custo por unidade (R\$)	Unidades necessários para o pátio	Custo final (R\$)
Utensílios para operação do pátio					
Vassoura	2 meses	1 para 2 trabalhadores do pátio	15,00	4	60,00
Vassoura de metal para jardim	6 meses	1 para 2 trabalhadores do pátio	40,00	4	160,00
Balança plataforma	Varia pelo uso	1 por unidade	2500,00	1	2500,00
Sacos para composto de 30 kg	Uso único	1 saco a cada 30 kg de composto produzido	1,04	720/mês	748,80/mês
Sistema de drenagem					
Geomembrana PEAD 1 mm (7 m x 14 m)		1 painel de geomembrana a cada 98 m <sup>2</sup> de leira	2100,00	2 painéis	4200,00

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 12: Estimativa de quantidades e custo de ferramentas e equipamentos necessários para operação do pátio, e do sistema de drenagem (continuação)

Item	Durabilidade	Quantidade necessária	Custo por unidade (R\$)	Unidades necessários para o pátio	Custo final (R\$)
Sistema de drenagem					
Tubos de PVC (para esgoto) 100 mm com 6 m de comprimento		67,2 m (somatória do comprimento das leiras)	80,00	12 unidades	960,00
Areia		3 m³ por leira	190,00	24 m³	4560,00
Brita nº 3		2 m³ por leira	180,00	16 m³	2880,00
Drenos corrugados 100 mm com 40 m de comprimento		1 por leira	320,00	8 unidades	2560,00
Manta geotêxtil Bidim (2 m x 40 m)		1 por leira	392,00	8 unidades	3136,00
Reservatório 2000 L		1 no pátio	1500,00	1	2000,00

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 12: Estimativa de quantidades e custo de ferramentas e equipamentos necessários para operação do pátio, e do sistema de drenagem

Item	Durabilidade	Quantidade necessária	Custo por unidade (R\$)	Unidades necessários para o pátio	Custo final (R\$)
Sistema de drenagem					
Caixas de inspeção		1 por leira	120,00	8	960,00
Mangueira 80 m		1 unidade	250,00	1	250,00
Bomba submersível		1 unidade	150,00	1	150,00
Total:					33.984,8

Fonte: A autora, 2025.

Como explicado na seção 4.5.1 determinados itens do pátio de compostagem não tiveram seus custos estimados nesta fase do projeto, em razão da dependência de decisões que serão tomadas apenas durante ou após a implantação. Para garantir transparência no planejamento, esses elementos foram organizados na Tabela 13, com a devida justificativa da indefinição de custos.

Dessa forma, embora não componham a planilha orçamentária principal, esses itens podem fazer parte de decisões tanto antes da implantação quanto durante a operação do pátio e, devem ser considerados no planejamento global do projeto, e seus custos estimados oportunamente, nas etapas futuras de detalhamento e execução.

Tabela 13: Itens e justificativas para custos não definidos

Item	Etapas	Justificativa da indefinição de custo
Instalação de ponto de água e luz	Implantação	Depende da distância da rede, da demanda final e da planta real do pátio
Instalação dos portões	Implantação	Variável conforme dimensões dos caminhões; a depender dos tamanhos dos veículos que irão adentrar ao pátio, as dimensões podem variar bastante
Instalação da barreira verde	Implantação	Variável conforme a escolha das espécies vegetais, que dependerá de fatores como clima local e disponibilidade de mudas na região
Container da área administrativa e banheiros (2 un.)	Implantação	Depende dos acabamentos, se vão possuir instalações internas e do custo de transporte
Escavações (leiras, tubos, reservatório)	Implantação	Variável de acordo com características geotécnicas do solo e método de escavação adotado (manual ou mecanizado), que dependem da disponibilidade de equipamentos e da qualificação da mão de obra local

Fonte: A autora, 2025

Tabela 13: Itens e justificativas para custos não definidos (continuação)

Item	Etapa	Justificativa da indefinição de custo
Barracões (secagem, venda de hortaliças, ferramentas)	Implantação	Varia conforme estrutura adotado (metal, madeira, alvenaria), tipo de piso e cobertura, necessidades a serem confirmadas conforme escala real de operação
Consumo de água e energia	Implantação e operação	Varia com a quantidade de funcionários e visitantes, com as atividades diárias e sazonalidade
Internet e telefonia	Implantação e operação	Depende da infraestrutura local e das necessidades de uso
Material de copa, cozinha e escritório	Operação	Itens variam conforme política interna e necessidades dos funcionários
Equipamentos de escritório	Operação	Dependem do modelo de controle administrativo adotado
EPI para os funcionários	Operação	Depende das funções exatas, pois cada atividade exige tipos e quantidades específicas de EPI, que ainda não foram determinadas

Fonte: A autora, 2025.

Tabela 13: Itens e justificativas para custos não definidos (continuação)

Item	Etapa	Justificativa da indefinição de custo
Manutenção do prédio e dos equipamentos	Operação	Estimativas dependem do uso efetivo e do tempo de vida útil dos ativos
Seguro	Operação	Valor depende do custo real final da obra e das condições da seguradora
Salário dos funcionários	Implantação e operação	Número de profissionais e tempo de serviço na implantação é indefinido. E, na operação, varia de acordo com o regime de contratação e política salarial, também não estipulados

Fonte: A autora, 2025.

Embora a avaliação sobre a viabilidade econômica dependa da análise do órgão responsável pela implantação, destaca-se que o método UFSC apresenta o menor custo de implementação entre as opções para um pátio de compostagem descentralizado e de pequeno porte (FAPESC, 2017). Isso se deve à sua simplicidade em relação à equipamentos e à possibilidade de operação manual, o que reduz significativamente os investimentos iniciais e os custos operacionais.



## 6. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Embora o trabalho tenha buscado adotar uma abordagem metodológica rigorosa e fundamentada, algumas limitações devem ser reconhecidas, uma vez que podem influenciar a interpretação e a generalização dos resultados obtidos. Entre os principais pontos a serem destacados estão as restrições associadas à AMC, especialmente no que se refere à ausência de uma análise de sensibilidade, e as limitações do levantamento orçamentário, que se baseou em dados estimados e sujeitos a variações, tanto devido a decisão de operação quanto a variações de mercado

Apesar de a AMC ter fornecido uma estrutura útil para a priorização das alternativas, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas. A atribuição dos pesos aos critérios foi realizada exclusivamente com base na avaliação da autora, o que pode introduzir um viés subjetivo nos resultados. Além disso, não foi conduzida uma análise de sensibilidade para verificar como variações nos pesos atribuídos — por exemplo, incrementos ou reduções de  $\pm 10$  pontos percentuais — poderiam impactar o *ranking* final das alternativas. A ausência desse exercício compromete, ainda que parcialmente, a robustez dos resultados obtidos, uma vez que não se avaliou a estabilidade das posições frente a possíveis redistribuições de importância entre os critérios.

Em relação ao levantamento orçamentário preliminar, suas limitações foram discutidas no item 4.5.1, sendo importante destacar que diversos custos não puderam ser definidos nesta etapa em função de incertezas operacionais e estruturais, os quais foram detalhados na Tabela 13. Entre os principais fatores que dificultaram a estimativa estão: a indefinição quanto aos materiais e dimensões das estruturas físicas (como os barracões), a variabilidade no consumo de recursos como água, energia, internet e telefonia, e a ausência de parâmetros consolidados sobre o número de funcionários, regime de contratação e modelo de gestão administrativa. Além disso, itens como equipamentos de escritório, materiais de uso interno, equipamentos de proteção individual (EPI), manutenção predial, seguros e salários também apresentam grande dependência de decisões futuras e da escala real de operação.

## 7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos e nas lacunas identificadas ao longo do desenvolvimento deste estudo, algumas direções podem ser sugeridas para aprofundamentos futuros. Primeiramente, recomenda-se a realização de uma análise de sensibilidade na AMC, com o objetivo de avaliar a estabilidade do *ranking* das alternativas frente a variações nos pesos atribuídos aos critérios. Ainda no âmbito da AMC, identificou-se a possibilidade de ampliação da categoria Ambiental, com a inclusão de critérios adicionais, especialmente em contextos que envolvam tecnologias com maior demanda energética, como sistemas de aeração forçada, o que, em determinados cenários, pode impactar a nota global das alternativas avaliadas.

Além disso, sugere-se a ampliação do levantamento orçamentário, com a inclusão de itens que não puderam ser estimados nesta etapa, como estruturas complementares, consumo de recursos, materiais operacionais e custos com pessoal, conforme detalhado na Tabela 13, a fim de aprimorar a precisão e a completude da estimativa de custos do projeto.

Por fim, considerando que a produção estimada de composto excede significativamente a demanda da horta comunitária, recomenda-se a investigação de estratégias para o escoamento desse excedente, como a comercialização, a doação à comunidade local ou a aplicação em áreas verdes públicas.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica, operacional e legal da implantação de um pátio de compostagem de pequeno porte, utilizando o método UFSC, no bairro Santa Angelina, em São Carlos (SP). Os resultados demonstraram que o projeto é tecnicamente viável e operacionalmente exequível, considerando as condições locais e os parâmetros definidos. O método adotado é de fácil implementação, exige poucos recursos tecnológicos e pode ser operado manualmente, o que favorece sua aplicação em contextos urbanos. Ademais, a proposta está em conformidade com a legislação ambiental vigente e pode contribuir para o cumprimento das metas do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), fortalecendo políticas públicas de compostagem descentralizada.

Em relação ao primeiro objetivo específico — estimar a geração da FORSU —, foi considerado um raio de 400 metros ao redor do terreno, abrangendo aproximadamente 5.246 habitantes. Projetou-se a adesão de 10% da população, além da participação de grandes geradores institucionais, como escolas e unidades públicas. Com base nesses dados, a geração média diária de resíduos orgânicos foi estimada em 415,89 kg, servindo como parâmetro para o dimensionamento da unidade.

O segundo objetivo específico consistiu na definição do sistema de compostagem e no pré-dimensionamento técnico do pátio. O método selecionado foi o de leiras estáticas com aeração passiva (método UFSC), considerado mais adequado segundo a análise multicritério. O pátio foi projetado com oito leiras, ocupando 545 m<sup>2</sup> de área útil e 672 m<sup>2</sup> de área total. A produção diária estimada de composto foi de 388,8 kg. Contudo, a horta comunitária planejada para o local, com 345 m<sup>2</sup>, não se mostrou capaz de absorver a produção, mesmo em sua capacidade máxima. Esse dado evidencia a necessidade de estratégias adicionais de destinação para o composto excedente. Ressalta-se, contudo, que essas estimativas foram baseadas na literatura e em casos bem-sucedidos anteriormente, e que variações podem ocorrer dentro desses dados.

O terceiro objetivo específico abordou o levantamento orçamentário preliminar do projeto. O custo de implantação foi estimado em R\$ 33.984,80, considerando operação manual e aquisição de equipamentos básicos. O número de funcionários foi definido como quatro operadores, com base em experiências semelhantes analisadas, mas o custo de mão de obra não

foi incluído no orçamento. Essa limitação decorre da necessidade de definições técnicas que só poderão ser tomadas durante a implantação, bem como da variabilidade de consumo e demanda, que dependerá do funcionamento real da unidade. Além disso, alguns itens do projeto ainda não puderam ter seus custos estimados nesta etapa.

Entretanto, a compostagem em leiras estáticas com aeração passiva como alternativa de tratamento trata-se de uma solução simples, eficiente e de custo compatível com estruturas de pequeno porte. Além de proporcionar a destinação final adequada aos resíduos orgânicos sem impactos ambientais severos, também pode ser caminho para a participação ativa da comunidade em boas práticas ambientais.

Conclui-se, portanto, que a implantação do pátio de compostagem no bairro Santa Angelina é viável sob os aspectos técnicos, operacionais e legais. O projeto apresenta potencial para promover práticas sustentáveis de gestão de resíduos sólidos urbanos e integrar ações de agricultura urbana, educação ambiental e valorização da fração orgânica, alinhando-se às diretrizes da política municipal de resíduos.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9050:2020 — *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: [https://www.acessibilidade.unb.br/images/PDF/NORMA\\_NBR-9050.pdf](https://www.acessibilidade.unb.br/images/PDF/NORMA_NBR-9050.pdf). Acesso em 29 de maio de 2025.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004:2024 — *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2025.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2020*. 2020. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/download/96475/?tmstv=1733786378>>. Acesso em 01 de junho de 2025.

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2024*. 2024. Disponível em: <<https://www.abrema.org.br/download/96475/?tmstv=1733786378>>. Acesso em 01 de junho de 2025.

ANDREOLI, Cleverson Vitório et al. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/CLeverson.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

ANJOS, Jéssica. *Qual o valor médio de uma conta de luz?*. E-Investidor – Estadão, 31 out. 2024. Disponível em: <<https://einvestidor.estadao.com.br/radar-einvestidor/conta-luz-valor-medio/>>. Acesso em 31 de maio de 2025.

BAGATIM, Lucas. *Tamanho de vaga de garagem: conheça os tipos e medidas ideais*. MySide, 2023. Atualizado em 2025. Disponível em: <<https://myside.com.br/guia-imoveis/tamanho-de-vaga-de-garagem>>. Acesso em 29 de maio de 2025.

BORGES, Ana Lúcia (Ed.). *Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

Disponível

em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134518/1/livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>>. Acesso em 22 de maio de 2025.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017a. *Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências*. Brasília, DF. 2017a. Disponível em: <<https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-481-17.pdf>>. Acesso em 18 de maio de 2025.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. *Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura*. Brasília, DF. 2004. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm)>. Acesso em 01 de junho de 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP. *Censo Escolar: resultados*. Brasília: INEP, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar>>. Acesso em 06 de junho de 2025.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF. 2010a. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 30 de maio de 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984, de 17 de julho de 2000, nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, nº 11.107, de 6 de abril de 2005, nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, e nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017*. Brasília, DF. 2020a. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em 1 de junho de 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020. *Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura*. Brasília, DF. 2020b. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf> >. Acesso em 23 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; CEPAGRO; Serviço Social do Comércio de Santa Catarina. *Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017b. Disponível em: <<https://cepagro.org.br/wp-content/uploads/2023/10/manual-de-orientacao-para-compostagem-domestica-comunitaria-e-institucional-de-residuos-organicos.pdf>>. Acesso em 24 de maio de 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Manual para implementação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos*. Brasília, DF: MMA, 2010b. Disponível em: <[http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/312\\_ext\\_arquivo.pdf](http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/312_ext_arquivo.pdf)>. Acesso em 30 de maio de 2025.

BRASIL. Projeto de Lei nº 1.323, de 17 de abril de 2024. *Prorroga o prazo estabelecido pela Lei nº 14.026/2020 para encerramento dos lixões em municípios com menos de 50 mil habitantes e estabelece medidas alternativas para a gestão de resíduos sólidos*. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2428094>. Acesso em 18 de maio de 2025.

CASTELLANI, Pietro *et al.* *Anaerobic digestion or composting? Small-scale plants design and holistic evaluations in a Sub-Saharan African context*. Environmental Development, v. 51, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464524000460>>. Acesso em 29 de maio de 2025.

CEPAGRO. *Revolução dos Baldinhos: A tecnologia social da gestão comunitária de resíduos orgânicos e agricultura urbana*. 2016. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/slideshow/cartilha-revolucao-dos-baldinhos-a-tecnologia-social->

da-gestao-comunitaria-de-residuos-organicos-e-agricultura-urbana/61747360>. Acesso em 24 de maio de 2025.

CETESB. *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo – 2023*. São Paulo: CETESB, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2024/05/Inventario-Estadual-de-Residuos-Solidos-Urbanos-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf>. Acesso em 18 de maio de 2025.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. CPFL Energia. *Orientação Técnica GED 22 – Ocupação de Faixa de Linha de Transmissão*. Campinas: CPFL, 2020. Disponível em: <[https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2021-12/GED-22%20-%20Ocupa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Faixa%20de%20Linha%20de%20Transmiss%C3%A3o\\_0.pdf](https://www.cpfl.com.br/sites/cpfl/files/2021-12/GED-22%20-%20Ocupa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Faixa%20de%20Linha%20de%20Transmiss%C3%A3o_0.pdf)>. Acesso em 7 de junho de 2025.

DANIELS, Rhonda; MULLEY, Corinne. *Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply*. Journal of Transport and Land Use, 2013. Disponível em: <<https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/308>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

EMBRAPA. *Compostagem Orgânica*. Amapá, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189621/1/CPAF-AP-2018-FDR-Compostagem.pdf>>. Acesso em 25 de maio de 2025.

EPSTEIN, Eliot. *The science of composting*. Lancaster: TechnOmic Publishing, 1997. 493 p.

FECCHIO, Lucas Stivanin; CAMARA, Priscila. *Iniciativas de compostagem no município de São Carlos-SP: panorama entre o presente e o futuro*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2020. Disponível em: <[https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/fb4b6b5d-8d1f-4e9e-bb79-267f4e083019/Fecchio\\_LucasStivanin\\_tcc.pdf](https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/fb4b6b5d-8d1f-4e9e-bb79-267f4e083019/Fecchio_LucasStivanin_tcc.pdf)>. Acesso em 04 de maio de 2025.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcio Cesário Pereira da. *Manual prático para compostagem de biossólidos*. Universidade Estadual de Londrina. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro\\_Compostagem.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2025.

FIGUEIREDO, Carolina Pia Barros Dias de. *Gestão de resíduos e crises humanitárias: o caso dos lixões em Fortaleza, Brasil*. Dissertação (Mestrado) - Instituto Universitário de Lisboa. Lisboa, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.iscte->



iul.pt/bitstream/10071/29471/1/Master\_carolina\_dias\_figueiredo.pdf>. Acesso em 04 de maio de 2025.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. *Critérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte*. Florianópolis: FAPESC, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/z004z8ns/Downloads/IN%2075\_Boletim%20T%C3%A9cnico%20Compostagem%20(1).pdf>. Acesso em 04 de maio de 2025.

GALVÃO, Rafael Golin. *Compostagem urbana: estudo de caso para o município de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/2050/2/Rafael%20Golin%20Galv%C3%A3o.pdf>>. Acesso em 31 de maio de 2025.

GARCIA-GARCIA, Guillermo. *Using Multi-Criteria Decision-Making to optimise solid waste management*. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, v. 37. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100650>>. Acesso em 1 de junho de 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico, 2010*. Grade Estatística. Mapas Interativos. Disponível em: <<https://mapasinterativos.ibge.gov.br/grade/default.html>>. Acesso em 21 de maio de 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Panorama do Censo 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em 18 de maio de 2025.

IFSP - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (Campus São Carlos). *A importância da reciclagem*. 2023. Disponível em: <<https://portais.ifsp.edu.br/scl/index.php/ultimas-noticias/2107-a-importancia-da-reciclagem.html>>. Acesso em 23 de maio de 2025.

INÁCIO, Caio; MILLER, Paul. *Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663578>>. Acesso em 01 de junho de 2025.

JACOBI, Pedro. *Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade*. 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cp/a/kJbkFbyJtmCrFTmfHxktgnt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

KIEHL, Edmar José. *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba, 1998. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001004271>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

KIM, Viviane Jim Hee. *Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP)*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002945271>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

LEITÃO, Vicente de Paulo Miranda. *Utilização de um Método Híbrido de Aeração Focada na Compostagem em Leiras*. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), UFC. Ceará, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17050/1/2008\\_tese\\_vpmleit%c3%a3o.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17050/1/2008_tese_vpmleit%c3%a3o.pdf)>. Acesso em 04 de maio de 2025.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. *Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares*. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-18112008-084858/pt-br.php>>. Acesso em 25 de junho de 2025.

NOBREGA, Cláudio Coutinho. *Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFPB. Campina Grande, 1991. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/2915/CLAUDIA%20COUTINHO%20N%c3%93BREGA%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGECA%201991.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>. Acesso em 04 de maio de 2024.

PAES *et al.* *Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis*. Journal of Cleaner Production, Volume 239, 2019. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619329567>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

PAI, Shantanu; AI, Ning; ZHENG, Junjun. *Decentralized community composting feasibility analysis for residential food waste: A Chicago case study*. Sustainable Cities and Society, v. 50, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719305281>>. Acesso em 21 de maio de 2025.

PEREIRA, Vanessa Rodrigues; FIORE, Fabiana Alves. *Fatores influenciadores da segregação de resíduos orgânicos na fonte geradora para a viabilização de sistemas de compostagem*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/TcyMZMhnB839Nws3PwBJ8nS/?lang=pt>>. Acesso em 1 de junho de 2025.

PREFEITURA DE SÃO CARLOS. *A cidade de São Carlos*. São Carlos, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115268-a-cidade-de-sao-carlos.html>>. Acesso em 18 de maio de 2025.

RYNK, Robert et al. *On-Farm Composting Handbook*. Ithaca, NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 1992. Disponível em: <<https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20FarmCompost%20manual%201992.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

SANTOS, Laís; VIEIRA, Victor. *Novos modelos de compostagem nas cidades*. Livro eletrônico: Instituto Pólis, 2023. Disponível em: <[https://polis.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Estudo\\_Novos-modelos-de-compostagem-nas-cidades\\_-integrando-reciclagem-agricultura-e-moradia.pdf](https://polis.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Estudo_Novos-modelos-de-compostagem-nas-cidades_-integrando-reciclagem-agricultura-e-moradia.pdf)>. Acesso em 27 de maio de 2025.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 19.926, de 17 de novembro de 2020. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. São Carlos, SP. 2020. Disponível em: <<http://servico.saocarlos.sp.gov.br/legislacao/leis/1993/lei19926-digital.pdf>>. Acesso em 01 de junho de 2025.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 14.795, de 28 de novembro de 2008. *Institui a Política Municipal de Educação Ambiental, e dá outras providências*. São Carlos, SP. 2008. Disponível em: <

[http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/CGEA/LEGISLACAO/Lei%2014795\\_PMEA%20Sao%20Carlos%20SP\\_2008.pdf](http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/CGEA/LEGISLACAO/Lei%2014795_PMEA%20Sao%20Carlos%20SP_2008.pdf) >. Acesso em 01 de junho de 2025.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 21.054, de 17 de outubro de 2022. *Cria o “Programa Municipal de Hortas Urbanas Comunitárias” em terrenos públicos ou privados, e dá outras providências.* São Carlos, SP. 2022. Disponível em: <[https://cache.gtp.net.br/index.php/?/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI\\_66079.pdf](https://cache.gtp.net.br/index.php/?/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI_66079.pdf)> Acesso em 01 de junho de 2025.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 21.354, de 13 de março de 2023. *Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no Município de São Carlos.* São Carlos, SP. 2023. Disponível em: <[https://cache.gtp.net.br/index.php/?/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI\\_66447.pdf](https://cache.gtp.net.br/index.php/?/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI_66447.pdf)> Acesso em 23 de maio de 2025.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 14.480, de 27 de maio de 2008. *Dispõe sobre a Política Municipal de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos e dá outras providências.* São Carlos, SP. 2008. Disponível em: <[https://file.camarasaocarlos.sp.gov.br/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI\\_17043.pdf](https://file.camarasaocarlos.sp.gov.br/70792/lei/arquivo/CODIGOLEI_17043.pdf)> Acesso em 25 de maio de 2025.

SÃO CARLOS. *Prefeitura garante destinação ecológica de resíduos de poda e corte de árvores no município.* 2012. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/2012/161228-prefeitura-garante-destinacao-ecologica-de-residuos-de-poda-e-corte-de-arvores-no-municipio.html>. Acesso em 25 de maio de 2025.

SÃO PAULO (Estado). CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Decisão de Diretoria nº 073/2020/P, de 06 de agosto de 2020a. *Estabelece o “Procedimento para licenciamento das unidades de armazenamento, transferência, triagem, reciclagem, preparo e utilização de combustível derivado de resíduos, tratamento e disposição final de resíduos sólidos”, em atendimento à Resolução SIMA nº 47/2020.* Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2020/08/DD-073-2020-P-Procedimento-para-licenciamento-de-unidades-de-Gest%C3%A3o-de-combust%C3%ADveis-derivados-de-Res%C3%ADuos-S%C3%B3lidos-ATUALIZADO-EM-14-08-2020-.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SIMA nº 69 de 08 de setembro de 2020. *Dispõe sobre a dispensa de licenciamento ambiental das atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis de baixo impacto ambiental, sob condições determinadas*. São Paulo, SP. 2020b. Disponível em: <[https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/sites/262/2022/07/2020resolucao\\_sima\\_069\\_2020.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/sites/262/2022/07/2020resolucao_sima_069_2020.pdf)>. Acesso em 01 de junho de 2025.

SILVA, Ricardo Ferreira da. *A Análise Multicritério De Tecnologias Utilizadas Na Gestão De Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CRUZ\\_24fba3117f006d1b559b03213ff0e6c6](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CRUZ_24fba3117f006d1b559b03213ff0e6c6)>. Acesso em 04 de maio de 2025.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Painel de Indicadores de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília, DF, SNIS, 2025a. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDU1ZmM4ZjYtNTU0YS00YjFkLWE5NzYtMjNkZThjYjg3YzVmIiwidCI6IjFmMWJlODAwLWViZGYtNDJmNC1iZGExLTdmMjIhYmU2ZDQ3YSJ9&pageName=344bbd2d217999c8e747>>. Acesso em 24 de maio de 2025.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Série histórica*. Brasília, DF, SNIS, 2025b. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em 24 de maio de 2025.

TAHERDOOST, Hamed. *Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a Multi-Attribute Decision-Making Technique: A Step-by-Step Guide*. Journal of Management Science & Engineering Research, 2023.

TOPOGRAPHIC MAP. *São Carlos*. Topographic Map, [s.d.]. Disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/map-hms5gt/S%C3%A3o-Carlos/?center=-21.99329%2C-47.92433&zoom=16>. Acesso em: 8 jun. 2025.

UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. *Horta residencial é uma alternativa para quem quer economizar*. Passo Fundo: UPF, 2020. Disponível em: <<https://www.upf.br/noticia/horta-residencial-e-uma-alternativa-para-quem-quer-economizar>>. Acesso em 22 de maio de 2025.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). *Programa Unificado de Bolsas de Estudo para Estudantes de Graduação: edital 2023-2024*. São Paulo: USP, 2023.

VAVERKOVÁ, Magdalena Daria. *Landfill impacts on the environment – Review*. Geosciences, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

VAZ, Renato. *Análise do processo de implantação de uma Unidade Descentralizada de Compostagem no Campus II da USP de São Carlos*. Orientador: Valdir Schalch. 2013. 91 f. TCC (Graduação) - Curso Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <[https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4d643c15-e59a-44c1-9404-b8e6a9468fc2/Oliveira\\_Renato\\_Arruda\\_Va...](https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4d643c15-e59a-44c1-9404-b8e6a9468fc2/Oliveira_Renato_Arruda_Va...)>. Acesso em 01 de junho de 2025.

VESILIND, P. Aarne; WORRELL, William. *Solid Waste Engineering*. CL Engineering, 2011. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Solid-Waste-Engineering-William-Worrell/dp/1439062153>>. Acesso em 04 de maio de 2025.

YEDLA, Sudhakar. *Replication of urban innovations – prioritization of strategies for the replication of Dhaka’s community-based decentralized composting model*. 2012. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X10380116>>. Acesso em 04 de maio de 2025.