

Pátio de compostagem de resíduos sólidos orgânicos em escala piloto: Um estudo da viabilidade técnica e econômica

Vanderson Urbaiti Gimenez

Universidade de Sorocaba – São Paulo

Jacira Lima da Graça

Universidade de Sorocaba – São Paulo

Maria Aparecida Lopes da Costa

Universidade de Sorocaba – São Paulo

Dawilson Menna Junior

Universidade de Sorocaba – São Paulo

José Martins de Oliveira Júnior

Universidade de Sorocaba – São Paulo

Valquíria Miwa Hanai-Yoshida

Universidade de Sorocaba – São Paulo

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos no Brasil é orientada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (IBAMA, 2022). A PNRS prevê a extinção de lixões e a disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros sanitários apenas quando não há potencial de reutilização, incluindo reciclagem e logística reversa (BONJARDIM; PEREIRA; GUARDABASSIO, 2018, p. 315). Os resíduos sólidos (RS) orgânicos podem ser transformados em fertilizantes (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020), e o descarte inadequado pode causar problemas sanitários e ambientais (HECK et al., 2013). Os RSU são classificados pela Lei Nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) em resíduos domiciliares (RDO) e resíduos públicos (RPU). Neste estudo, os RS foram classificados como resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e RPU, de acordo com a SNIS (2022). A compostagem, um processo natural de degradação da matéria orgânica, é atualmente usada para gerenciar RS orgânicos, utilizando técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos de interesse social (CRIVELARO; MOREIRA; DA SILVA, 2018, p. 91). Este estudo hipotetizou que a implementação de um pátio de compostagem na Universidade de Sorocaba é viável, tanto tecnicamente quanto economicamente, para gerenciar parte dos RS gerados no Câmpus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi. O objetivo foi desenvolver um projeto-piloto operacional de pátio de compostagem de RS orgânicos para a universidade, identificando fontes de RS orgânicos (RSDU e RPU), adaptando uma

metodologia para compostagem, determinando indicadores de desempenho e realizando uma análise de custo do projeto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a coleta do RSDU, foram utilizados dois contêineres de 200 L, e definido a coleta de apenas 100 L diariamente das segundas as sextas-feiras para facilitar o transporte e deposição dos resíduos nas leiras de compostagem. Três tipos de leiras de compostagem (n=3) foram construídas para a produção de amostras, seguindo os parâmetros estabelecidos pela equipe de pesquisa e mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das leiras de compostagem para o ensaio

Desenho do experimento									
Parâmetros	Leira de compostagem								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dimensão (m ²)	2			2			2		
Impermeabilização do solo	Não			Lona plástica			Estrutura em alvenaria com drenagem por gravidade		
Coleta de biofertilizante líquido (chorume)	Não			Não			Sim		
Cobertura	Não			Lona plástica			Lona plástica		
Disposição	Diretamente no solo			Sobre a lona plástica			Sobre a estrutura		

Fonte: Elaboração própria

Um berço com gravetos com 0,3 m de altura foi feito para a disposição dos resíduos orgânicos (RSDU e RPU) nas leiras, para facilitar a entrada de O₂ no material a passar pelo processo de compostagem. Após a criação deste berço foram dispostos uma cama de RPU com 0,3 m de altura por toda a leira, totalizando 1,2 m³ (1200 L) de material, e inserido 0,2 m³ de RSDU. Este processo foi realizado até as leiras atingirem 1,5 m de altura, com exceção do berço de gravetos que foi realizado apenas no início do trabalho para facilitar a oxigenação das leiras. O teor de umidade (%) (n=3) foi calculada utilizando-se a Equação 1 como o auxílio de uma balança de precisão analítica (SHIMADZU, ATX224).

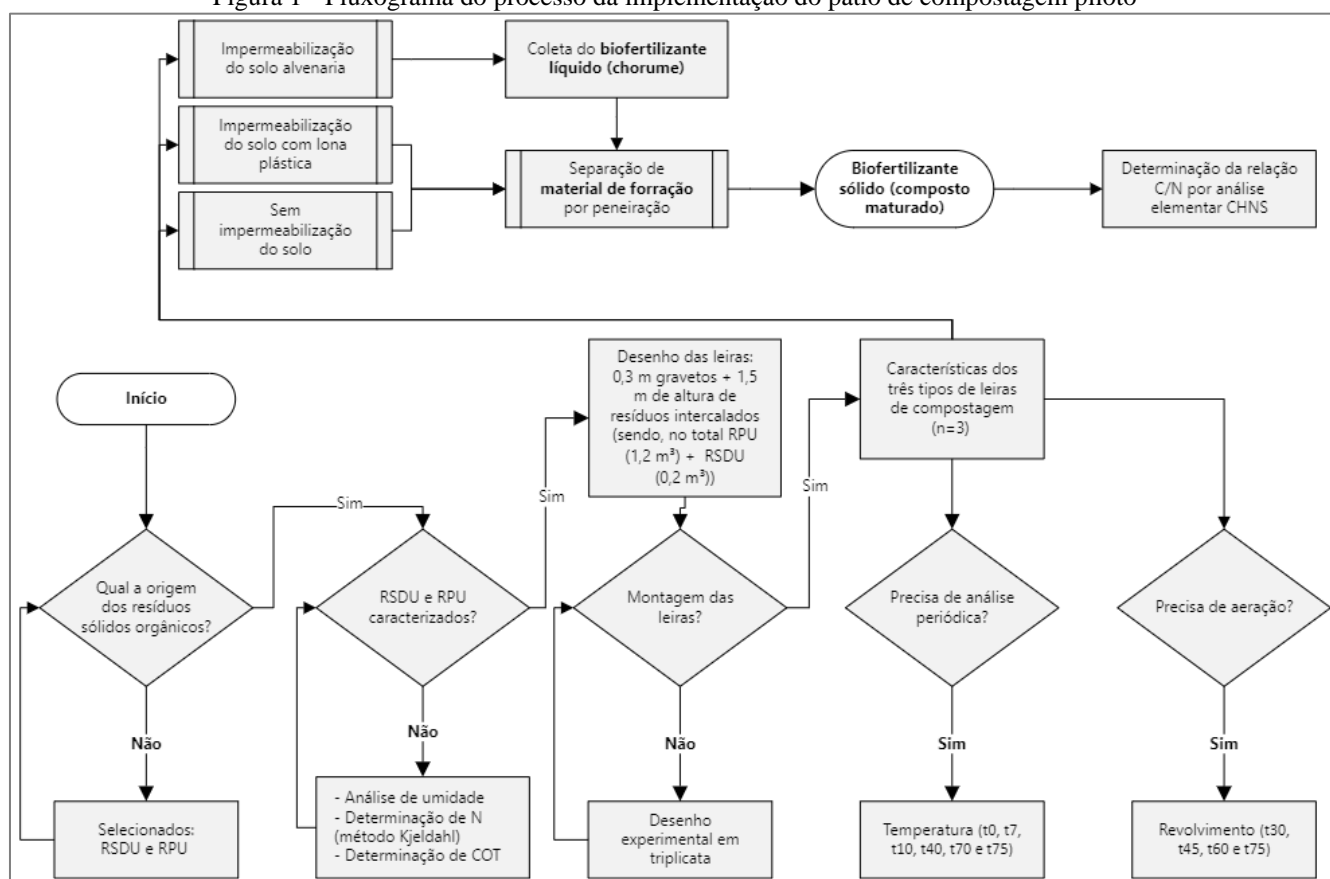
$$Umidade = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde, m_i representa a massa inicial e m_f a massa final.

Para a determinação do teor de nitrogênio utilizou-se a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). E, para a determinação do teor de carbono orgânico total (COT), os materiais foram secos a 105 °C em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, MAO35/S, Brasil), colocados em cadinho previamente pesados em balança analítica (Tecnal, M214A, Brasil), e levados à mufla (QUIMIS, D21,

Brasil), devidamente pesados e mantidos a uma temperatura de 580 °C durante um período de 2 h. Após resfriamento em dessecadores, o material foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se por diferença o conteúdo de COT, conforme metodologia de Cunha-Queda et al. (2003). A análise elementar CHNS foi feita no analisador ThermoScientific® (FlashSmart, EUA), disponível na CAQI-IQSC-USP. A determinação da temperatura foi realizada em intervalos de tempo iguais para os três tipos de leiras produzidas. A temperatura foi observada no centro de cada leira. As análises foram realizadas utilizando um termômetro de mercúrio em t_0 , t_7 , t_{10} , t_{40} , t_{70} e t_{75} , onde t representa tempo e o numeral os dias após o início da construção de cada leira. Na Figura 1 é mostrado o fluxograma do processo da implementação do pátio de compostagem piloto para visualização da metodologia aplicada ao processo de compostagem.

Figura 1 - Fluxograma do processo da implementação do pátio de compostagem piloto



Legenda: resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU). Fonte: Elaboração própria

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma pesquisa documental na Universidade de Sorocaba (Uniso) identificou que resíduos sólidos domiciliares úmidos (RSDU) são gerados em aulas práticas e no Restaurante Universitário Famille, enquanto resíduos públicos (RPU) provêm de poda e jardinagem do campus. Atualmente, a Uniso contrata um serviço terceirizado para coleta e transporte de RSDU e RPU para aterros sanitários.



Os valores de umidade para RPU e RSDU brutos foram de $48 \pm 3\%$ e $89 \pm 3\%$, respectivamente. A proporção de RPU:RSDU usada foi de 1,2:0,2 m³, resultando em um teor de umidade de 54% no início do experimento. Isso justifica a ausência de moscas e roedores, pois valores de umidade acima de 60% tornariam o meio anaeróbio, atraindo vetores indesejáveis (PEREIRA NETO, 2007). No presente trabalho, não foram realizadas correções de umidade e o composto maturado foi obtido em cerca de 80 dias (CRIVELARO; MOREIRA; DA SILVA, 2018). A Diretriz Técnica N° 007/2021 - Dirtec (FEPAM, 2021) recomenda que o teor de umidade seja mantido entre 40 e 60%, idealmente 55%.

A concentração de nitrogênio, determinada pelo método de Kjeldahl, foi de $1,01 \pm 0,05\%$ para RSDU e $0,93 \pm 0,04\%$ para RPU. O carbono orgânico total (COT) das amostras RSDU e RPU foi de $52,8 \pm 0,5\%$ e $45,3 \pm 4,7\%$, respectivamente. Esses valores são próximos aos obtidos por Carmo e Silva (2012, p. 1218) e Ismael et al. (2013) para amostras de origem vegetal.

Os ensaios realizados nos biofertilizantes sólidos (compostos maturados) resultaram em relações C/N de 11,4/1, 12,4/1 e 12,7/1 para as leiras de 1 a 3, 4 a 6 e 7 a 9, respectivamente, corroborando com os achados de Gorgati e Lucas Júnior (2001) e ficando abaixo dos valores obtidos por Melo (2016). Os biofertilizantes sólidos das leiras 7, 8 e 9 apresentaram maiores valores de N do que os das leiras 1-3 e 4-6, provavelmente devido à contaminação do composto com material das lonas plásticas e perda de biofertilizante líquido (chorume) (PEDROSA et al., 2013).

As leiras construídas de alvenaria, além de proporcionar melhores rendimentos, atendem à Portaria N° 52/2021 (BRASIL, 2021), que estabelece critérios para evitar a poluição das águas e do solo e a proliferação de pragas e vetores de doenças.

A validação do biofertilizante sólido (composto) é feita de acordo com a Instrução Normativa (IN) n° 25/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2009), que define regras para os fertilizantes orgânicos de diferentes tipos voltados para a agricultura.

Pode ser observado que os dados de temperaturas obtidos foram semelhantes para as leiras de 1 a 9 nos diferentes tempos (t₀, t₇, t₁₀, t₄₀, t₇₀ e t₇₅), considerando-se os valores médios e seus respectivos desvios-padrão. Ainda, variaram regularmente em todas as leiras nos diferentes tempos de amostragem, corroborando com os valores da literatura ((BRASIL. MMA, 2018, p. 26).

Nesta pesquisa, a compostagem de RSDU e RPU em leiras estáticas aeradas impermeabilizadas por alvenaria foi monitorada. A temperatura inicial média foi de $29,7 \pm 0,9$ °C, aumentando para $50,9 \pm 2,3$ °C após 40 dias e diminuindo para $29,1 \pm 0,2$ °C após 75 dias. A fase mesófila, caracterizada por temperaturas de até 40 °C (SOUZA et al., 2020), foi atingida antes do t₁₀. A fase ativa de degradação, com temperaturas entre 45 e 65 °C (AZEVEDO; VILELA, 2019), foi observada em torno do t₄₀, divergindo dos dados do MPE-PR (2011, p. 2). A fase de humificação ocorreu próximo ao t₇₀, com o composto apresentando aspecto semelhante ao da terra vegetal e presença de minhocas (Brasil. MMA, 2018), embora mais cedo do que o



descrito na literatura (BRASIL. MMA, 2018, p. 28). A diferença pode estar relacionada à frequência de revolvimentos das leiras. As temperaturas observadas nas leiras de 1 a 9 no 40º dia variaram de 51°C a 53,1°C, finalizando a fase termófila. Esses resultados divergem do trabalho de Oliveira (2015), que relatou temperaturas mais altas e um período de fase termófila mais longo com aeração e rega regulares. No presente trabalho, o primeiro revolvimento das leiras ocorreu 30 dias após o início do processo de compostagem, sem adição de rega com água e controle da umidade. Acredita-se que o O₂ existente nas leiras era suficiente para a microbiota, que liberou energia em forma de calor, resultando na liberação de água dos resíduos. O composto foi obtido em aproximadamente 80 dias.

Elias e Oziel (2014) estudaram leiras estáticas aeradas, onde a mescla de resíduos é depositada sobre uma rede de tubos perfurados que força a entrada de ar. A técnica de aeração forçada pode promover a retirada excessiva da umidade, diminuindo a temperatura das leiras e aumentando o tempo para obtenção de composto (6 a 7 meses). Nesta pesquisa, a utilização de uma cama de gravetos para melhor aeração das leiras acelerou a obtenção de produtos de compostagem (cerca de 80 dias de processo).

O custo com insumos para a construção de três composteiras de alvenaria, com capacidade para 1,2 m³ de resíduos sólidos orgânicos, foi de R\$ 1565,00. O custo para execução da compostagem para uma leira, do início até o final da produção do biofertilizante sólido, para três meses no Pátio Piloto da Uniso, foi de R\$ 1292,87, com valores cotados em 01/12/2023. Considerando os insumos utilizados para produção das leiras, mão de obra, equipamentos de proteção individual, gastos com transporte dos resíduos e depreciação dos ativos, o pátio piloto de compostagem se mostrou viável. Após o início deste trabalho, não foram adquiridos adubos químicos anteriormente utilizados para a adubação dos plantios e jardins da Universidade de Sorocaba - Câmpus Professor Aldo Vannucchi. Além disso, houve diminuição do número de caçambas e transporte para os resíduos gerados no local, com 64,8 m³ de resíduos destinados ao processo de compostagem em três meses, equivalente a 54 caçambas de 1,2 m³ cada.

Este trabalho aponta para a economia visada, a redução de gastos e um pequeno passo para a resolução dos problemas ambientais, como poluição do solo, água e diminuição da vida útil dos aterros sanitários devido aos descartes inadequados de resíduos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um pátio de compostagem piloto foi implementado na Universidade de Sorocaba, demonstrando a viabilidade técnica e econômica de gerenciar parte dos resíduos sólidos do campus. Três tipos de leiras foram testados, com as de alvenaria se mostrando superiores na captação de biofertilizante líquido. A compostagem gerou três produtos: biofertilizante sólido, líquido e material para forração. A relação nitrogênio/carbono (N/C) dos resíduos é crucial para o processo, com uma relação inicial ideal de 30/1 e final de 10/1. Após o estabelecimento do processo de compostagem, o monitoramento não é necessário,



pois a microbiota regula o ambiente. A aeração regular das leiras é importante para o processo, e a alta temperatura do processo libera a água dos resíduos, eliminando a necessidade de rega. O estudo indica que a compostagem pode ser uma solução econômica e ambientalmente amigável para o gerenciamento de resíduos.

Palavras-chave: Compostagem, Resíduos sólidos, Política nacional do meio ambiente.



REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. C. DE O.; CERQUEIRA, G. S.; CARNEIRO, C. E. A. Prospecção tecnológica para processos de compostagem de resíduos orgânicos. *Cadernos de Prospecção*, v. 13, n. 4, p. 1177–1187, 12 jul. 2020.

AZEVEDO, M. A.; VILELA, N. M. S. Avaliação da eficiência dos processos de compostagem por reviramento e aeração forçada no tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental e 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...Natal: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

BONJARDIM, E. C.; PEREIRA, R. D. S.; GUARDABASSIO, E. V. Análise bibliométrica das publicações em quatro eventos científicos sobre gestão de resíduos sólidos urbanos a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 46, 31 ago. 2018.

BRASIL. Brasil. D.O.U. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2009.

BRASIL. Brasil. Diário Oficial da União (DOU), 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 23 jun. 2022

BRASIL. Brasil. D.O.U. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 15 mar. 2021.

BRASIL. MMA. Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2018.

CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1211–1220, ago. 2012.

CRIVELARO, A. L. R.; MOREIRA, M. A. C.; SILVA, J. A. F. Gestão de resíduos sólidos e compostagem orgânica: Estudo de caso para escolha de tecnologia de processo em Macaé, Brasil. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 12, n. 1, p. 89–110, 20 jul. 2018.

ELIAS, M.; OZIEL, V. Transferência tecnológica do projeto de coleta seletiva e compostagem de resíduos orgânicos da UFSC para a UFGD. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 7 jul. 2014.

FEPAM. Diretriz Técnica N° 007/2021 - Dirtec - Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - RS (Fepam), 2021. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/17.asp>>. Acesso em: 22 set. 2022

GORGATI, C. Q.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem da fração orgânica de lixo urbano do município de São Lourenço da Serra- SP: rendimento da produção de composto durante a estação de inverno. *Energia na Agricultura*, v. 16, n. 2, p. 63–69, 2001.

HECK, K. et al. Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, p. 54–59, 2013.

IBAMA. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/residuos/control-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>>. Acesso em: 20 set. 2022.



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

ISMAEL, L. L. et al. Evaluation of composting bins for small-scale recycling of organic wastes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 4, p. 28–39, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MELO, S. L. Análise do uso de compostagem doméstica em conjuntos habitacionais de interesse social na cidade de São Domingos – Bahia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 4, n. 2, p. 169–180, 14 dez. 2016.

MPE-PR. Nota técnica: Compostagem de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

OLIVEIRA, P. D. C. Compostagem de resíduos agroindustriais em leiras com diferentes fontes de carbono. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 12 fev. 2015.

PEDROSA, T. D. et al. Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos na Compostagem de Resíduos Agroindustriais. *Nativa*, v. 1, n. 1, p. 44–48, 30 nov. 2013.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de Compostagem. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. v. 1
SNIS. Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Infraestrutura. SET/2022 ed. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional - Secretaria Nacional de Saneamento, 2022. v. 1

SOUZA, L. A. et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 3, p. 194–212, 2020.