

Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PÁTIO DE COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS POR ATIVIDADE PORTUÁRIA

Composting yard as a sustainable alternative for the treatment of organic waste generated by port activities

Patio de compostaje como alternativa sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos generados por las actividades portuarias

Anaís França de Matos Oliveira ¹, Laiê Rodrigues Porto Ferreira ², Gabriel Afonso Martins ^{3*},
Luciara Bilhalva Corrêa ⁴, & Érico Kunde Corrêa ⁵

^{1 2 3 4 5} Universidade Federal de Pelotas

¹ anaís.franca@outlook.com ² laierodrigues01@gmail.com ^{3*} gabrimartins1@hotmail.com ⁴ luciarabc@gmail.com

⁵ ericokundecorrea@yahoo.com.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 26.05.2025

Aprovado: 30.06.2025

Disponibilizado: 02.08.2025

PALAVRAS-CHAVE: Porto; Sustentabilidade; Soja.

KEYWORDS: Port; Sustainability; Soy.

PALABRAS CLAVE: Puerto; Sostenibilidad; Soja.

*Autor Correspondente: Martins, G. A.

RESUMO

Os portos marítimos são importantes para a economia brasileira por sua capacidade de transportar grandes volumes de carga. O porto de Santarém, localizado no estado do Pará, movimenta milhões de toneladas de mercadorias anualmente, sendo a soja um dos principais produtos da região. Os portos geram resíduos orgânicos que representam riscos à saúde dos trabalhadores e da população local. A compostagem é um processo controlado de decomposição microbológica que resulta em um composto orgânico, o qual pode ser utilizado como fertilizante. O presente trabalho visa propor a implantação de um pátio de compostagem para tratar resíduos orgânicos provenientes das atividades portuárias. Foi realizado o dimensionamento das leiras de compostagem, atendendo aos critérios técnicos exigidos para a instalação de uma Usina de Triagem e Compostagem, conforme estabelecido na norma NBR 13896/97. Como resultado, este estudo apresentou a área necessária para o pátio e a quantidade de leiras recomendada, visando atender à demanda de resíduos orgânicos gerados pelas operações portuárias nos próximos anos. O projeto apresentou, ao final, previsão de funcionalidade por até 20 anos, levando em consideração o aumento da geração de resíduos e a redução de custos com sua destinação.

ABSTRACT

Seaports are important to the Brazilian economy due to their capacity to transport large volumes of cargo. The port of Santarém, located in the state of Pará, handles millions of tons of goods annually, with soybeans being one of the region's main products. Ports generate organic waste,

which poses health risks to workers and the local population. Composting is a controlled microbiological decomposition process that results in an organic compound, which can be used as fertilizer. This study proposes the implementation of a composting yard to treat organic waste from port activities. The composting windrows were sized to meet the technical criteria required for the installation of a Sorting and Composting Plant, as established in standard NBR 13896/97. As a result, this study demonstrated the required yard area and the recommended number of windrows to meet the demand for organic waste generated by port operations in the coming years. The project presented, in the end, a predicted functionality for up to 20 years, considering the increase in waste generation and reduction in costs for its disposal.

RESUMEN

Los puertos marítimos son importantes para la economía brasileña debido a su capacidad para transportar grandes volúmenes de carga. El puerto de Santarém, ubicado en el estado de Pará, maneja millones de toneladas de mercancías anualmente, siendo la soja uno de los principales productos de la región. Los puertos generan residuos orgánicos, lo que representa riesgos para la salud de los trabajadores y la población local. El compostaje es un proceso de descomposición microbológica controlada que produce un compuesto orgánico que puede utilizarse como fertilizante. Este estudio propone la implementación de una plataforma de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos de las actividades portuarias. Las pilas de compostaje se dimensionaron para cumplir con los criterios técnicos requeridos para la instalación de una Planta de Clasificación y Compostaje, según lo establecido en la norma NBR 13896/97. Como resultado, este estudio demostró el área de plataforma requerida y el número recomendado de pilas para satisfacer la demanda de residuos orgánicos generados por las operaciones portuarias en los próximos años. El proyecto presentó, finalmente, una previsión de funcionalidad de hasta 20 años, considerando el aumento en la generación de residuos y la reducción en los costos de su eliminación.

INTRODUÇÃO

Os portos brasileiros exercem um papel fundamental na economia nacional, funcionando como pilares do comércio exterior ao viabilizarem o transporte eficiente de grandes volumes de carga a custos reduzidos, especialmente em longas distâncias. O transporte marítimo, por sua capacidade de oferecer economia de escala, destaca-se frente a outros modais como o aéreo e o terrestre, permitindo a movimentação de grandes quantidades de produtos com maior eficiência (Pereira, 2020). Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2025), em 2023 os portos do Brasil movimentaram mais de 1.186 milhões de toneladas de produtos, um crescimento de 6,36% em relação ao ano anterior. Desse total, 68,2% correspondem a produtos embarcados e 31,8% a desembarcados.

Entre os principais portos do Brasil está o Porto de Santarém, no estado do Pará, de grande relevância para a região Norte, que registrou cerca de 15 milhões de toneladas movimentadas em 2023, sendo 53,6% de cargas embarcadas e 46,4% desembarcadas. O porto se destaca pela movimentação de grãos sólidos de origem vegetal, fertilizantes, grãos líquidos derivados de petróleo (como combustíveis e GLP), cargas gerais e passageiros, tanto fluviais quanto marítimos (Neto & Nogueira, 2021). O estado do Pará ocupa atualmente a 13ª posição no ranking nacional de produção de soja, com mais de 2,5 milhões de toneladas, o que corresponde a aproximadamente 1,75% da produção brasileira (Agência Pará, 2024).

O principal município produtor de soja do Estado do Pará é Paragominas, que concentra 234 unidades produtivas em uma área plantada superior a 600 mil hectares, responsável por cerca de 600 mil toneladas, representando quase 24% da produção estadual (Cardoso, 2024). Com a crescente produção de grãos, especialmente de soja, a expansão do escoamento por meio da região do Arco Norte, e em particular pelo porto arrendado em Santarém, tem se mostrado estratégica. No entanto, essa expansão também traz desafios, como o aumento na geração de resíduos sólidos orgânicos, dificuldades logísticas e o alto custo para a disposição adequada desses resíduos (Braga, 2020).

Atualmente, a destinação dos resíduos sólidos orgânicos do porto em questão é feita por uma empresa terceirizada localizada no município de Itaituba – PA. Em 2022 foram realizadas um total de 45 viagens para transportar os resíduos do Porto, 6 para os resíduos de poda de árvore, 9 para os resíduos de cinzas e 30 viagens para transportar resíduos de pó e varredura. Esses procedimentos totalizaram um custo de R\$ 219.000,00 para garantir a disposição final adequada dos resíduos gerados pela atividade portuária.

A atividade portuária está associada à geração de diferentes tipos de resíduos, como os provenientes da carga e descarga, embarcações, passageiros, entre outros, os quais representam sérios desafios, incluindo impactos ambientais, riscos à saúde pública e elevados custos com limpeza e gerenciamento (Puig et al., 2022). Entre as diversas soluções viáveis para o correto destino dos resíduos orgânicos, a compostagem se sobressai como uma das principais. Esse método consiste na degradação controlada de materiais orgânicos, como resíduos alimentares, agrícolas, vegetais e restos de podas, promovendo sua transformação em composto (Chen et al., 2023).

A ação dos micro-organismos é essencial no processo de compostagem, pois eles transformam os resíduos orgânicos em um composto rico em nutrientes. Esse material obtido ao final pode ser aplicado como fertilizante natural, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e o desenvolvimento vigoroso das plantas (Ji et al., 2023).

A implantação de um pátio de compostagem é indispensável para o processamento de grandes quantidades de resíduos orgânicos (Siles-Castellano et al., 2020). Antes de projetar essa estrutura, um aspecto crucial é a correta estimativa da geração futura de resíduos. Oliveri et al. (2023) destacam que alterações na infraestrutura de tratamento demandam tempo considerável, e, por isso, uma previsão inadequada pode resultar tanto em instalações com capacidade insuficiente quanto em sistemas superdimensionados.

Um pátio de compostagem é um projeto de engenharia que envolve um estudo do resíduo gerado e a área necessária para que esse resíduo seja adequadamente disposto em leiras com dimensões que permitam o manejo para que o processo de degradação ocorra de forma controlada e eficiente (Aziz, 2018). É fundamental definir o local da obra para que operadores e maquinário tenham fácil acesso sem comprometer as atividades do Porto.

Atualmente, é fundamental considerar os esforços globais voltados para o cumprimento das metas da Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas (ONU), que contempla os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre eles, destaca-se o ODS 9, cuja meta 9.4 propõe a modernização das indústrias com foco na sustentabilidade, promovendo o uso mais eficiente dos recursos e incentivando a adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados, respeitando as capacidades individuais de cada país (United Nations, 2025).

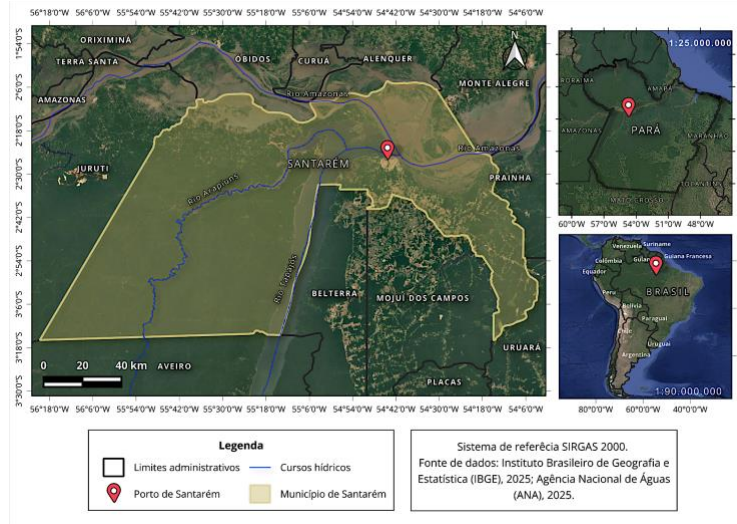
Diante do exposto, este estudo tem como finalidade elaborar uma proposta de projeto para um pátio de compostagem com capacidade para tratar os resíduos orgânicos provenientes das atividades do porto de Santarém, PA.

METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em um porto localizado na cidade de Santarém, no estado do Pará. Com relação à classificação climática de Köppen, Santarém (PA) é classificado como AM, que corresponde a um clima tropical chuvoso com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm. O porto está situado na rodovia Cuiabá, lote 04, sendo sua área arrendada pela Companhia das Docas do Pará (CDP) (Figura 1).

Figura 1. Mapa da Localização do Porto



Fonte: Autores.

Com uma área aproximada de 76 mil m², foi avaliada a implementação de um pátio de compostagem aplicado aos resíduos sólidos orgânicos gerados em atividades portuárias. As operações predominantes no porto envolvem o recebimento, o transbordo, a armazenagem e o embarque de grãos, principalmente soja e milho, que são embarcados conforme o período de colheita. A chegada desses grãos ao porto ocorre por dois modais distintos: transporte rodoviário, por caminhões, e transporte fluvial, através de barcas.

O porto de Santarém possui Licença de Operação (LO) nº 12193/2020, obtida junto a Diretoria de Controle da Qualidade Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará (SEMAS/PA). Esta licença ambiental abrange as instalações e a movimentação de cargas em geral.

Os grãos transportados por caminhões provêm das safras locais de municípios vizinhos a Santarém, como Belterra, Mojuí dos Campos e outras cidades da região. Já no modal fluvial, os grãos procedem do estado do Mato Grosso, sendo inicialmente levados por caminhões até portos de transbordo localizados em Rondônia, Miritituba e Porto Velho, no Pará. Nesses pontos, são organizados em comboios de barcas que seguem até o porto de Santarém.

A operação do porto é organizada com base nos volumes diários referentes à descarga de caminhões e barcas, bem como aos embarques realizados em navios. Em média, são descarregados cerca de 100 caminhões por dia, totalizando aproximadamente 5 mil toneladas. As barcas apresentam uma média de descarga superior, alcançando 22 mil toneladas. Já o embarque de navios gira em torno de 20 mil toneladas, permitindo ao porto concluir a operação completa de um navio em até dois dias úteis.

A estrutura do porto de Santarém é composta por um conjunto robusto de equipamentos e instalações que sustentam sua operação. Entre os principais elementos estão 11 elevadores de canecas e 21 correias transportadoras. Conta ainda com um armazém com capacidade para armazenar até 60 mil toneladas, além de três silos, cada um com capacidade individual de 18 mil toneladas. A infraestrutura inclui também dois secadores de grãos, dois tombadores para caminhões, um grab Mobile Harbour Crane (MHC) com capacidade de 14 toneladas para descarregar barcas, além de uma rosca transportadora helicoidal com vazão de 1.500 toneladas por hora e três carregadores do tipo shiploader.

A proposta de dimensionamento do pátio de compostagem foi direcionada ao posto de triagem Autoposto Tapajós II, onde a empresa aluga um espaço para realizar o estacionamento e a triagem preliminar dos caminhões que transportam grãos da safra local. Este posto está localizado a aproximadamente 20 km do porto arrendado e ocupa uma área de cerca de 78 mil m² (Figura 2).

Figura 2. Área proposta para implementação da UTC



Fonte: Google Earth.

GERAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DO PORTO ARRENDADO

Durante o ano de 2022, foi realizado um levantamento dos resíduos orgânicos gerados pelas atividades operacionais do porto, com base na Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) nº 10.004 (ABNT, 2004). As informações, fornecidas pela empresa responsável pelas operações portuárias, abrangem o volume de resíduos produzidos, além dos custos relacionados ao transporte e à destinação final. Também foram avaliadas as condições de armazenamento desses resíduos, registradas por meio de fotografias que documentam a forma como estavam dispostos os resíduos, conforme apresentado nas imagens a seguir (Figuras 3 a 7).

Figura 3. Resíduo de Corte e Poda do terminal portuário



Fonte: Autores.

Figura 4. Resíduo de Corte e Poda do terminal portuário

Fonte: Autores.

Figura 5. Resíduo de Pó e Varredura do processo operacional

Fonte: Autores.

Figura 6. Resíduo de Pó e Varredura do processo operacional

Fonte: Autores.

Figura 7. Resíduo de Cinzas resultantes das queimas das fornalhas dos secadores de grãos

Fonte: Autores.

REQUISITOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM E UM GALPÃO DE TRIAGEM

A escolha do local para a implantação de um pátio de compostagem e de um galpão de triagem deve considerar, prioritariamente, as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor Municipal vigente. Além disso, é essencial avaliar fatores ambientais, como a distância de corpos d'água e de áreas de vegetação nativa, a fim de minimizar possíveis impactos ecológicos da instalação. Questões sociais também devem ser analisadas, especialmente a proximidade com zonas residenciais, garantindo que o empreendimento não cause transtornos à comunidade local.

Garantir que a instalação esteja situada de forma a reduzir ao máximo os impactos negativos nas comunidades ao redor, como ruídos, odores e aumento no tráfego, é de extrema importância. A acessibilidade também desempenha um papel fundamental nesse processo. O terreno ideal deve estar localizado em uma área com infraestrutura viária compatível, viabilizando o trânsito seguro e eficiente de veículos pesados, sem comprometer a mobilidade urbana.

Uma infraestrutura viária adequada é indispensável para assegurar a movimentação eficiente de materiais que entram e saem tanto do pátio de compostagem quanto do galpão de triagem. A definição da área de implantação deve, ainda, observar critérios ambientais e espaciais conforme estabelecido pela NBR nº 13.896 (ABNT, 1997), que especifica os requisitos mínimos para o planejamento e instalação de áreas destinadas à disposição de resíduos não perigosos, tais como:

- Topografia: A área ideal deve apresentar declividade entre 1% e 30%, favorecendo o escoamento sem comprometer a estabilidade do terreno;
- Recursos Hídricos: É necessário manter uma distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d'água, além de analisar possíveis impactos sobre a qualidade e o uso das águas superficiais e subterrâneas da região;
- Dimensões do terreno e vida útil: Apesar da NBR recomendar o dimensionamento para um período de 10 anos, para o presente estudo foi adotado o período de 4 anos, por se tratar de uma proposta alternativa de valorização dos resíduos orgânicos. A

implantação do pátio deve considerar uma área suficiente para garantir, no mínimo, 10 anos de operação eficiente.

- Proximidade de áreas habitadas: Recomenda-se que o local esteja a mais de 500 metros de núcleos residenciais, minimizando possíveis incômodos à população;
- Acessibilidade: A área deve estar próxima a vias de acesso adequadas, permitindo o transporte seguro de equipamentos e maquinário.

DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

As massas específicas correspondentes a cada classe de resíduo gerado pelo porto foram determinadas com base nas metodologias adotadas neste estudo. Também foi realizada a compilação da quantidade diária de resíduos orgânicos sólidos produzidos, de acordo com a caracterização de cada tipo de resíduo.

Para o cálculo da Unidade de Triagem e Compostagem (UTC), foram considerados os critérios definidos no Guia de Compostagem (WWF Brasil, 2015). O processo de dimensionamento teve início com a quantificação dos resíduos atualmente gerados — dado já obtido a partir das informações consolidadas e fornecidas pela empresa responsável. Com a massa da fração orgânica em mãos, o volume diário de geração pôde ser estimado, utilizando-se a massa específica dos resíduos orgânicos conforme demonstrado na Equação 1.

$$VMO = \frac{MO}{MO_{esp}} \quad (1)$$

Em que:

VMO = Volume de matéria orgânica gerada (m³/dia);

MO = Matéria orgânica gerada (kg/dia);

MO_{esp} = Massa específica da matéria orgânica (kg/m³).

Diante da elevada geração diária de resíduos orgânicos, torna-se essencial considerar a adição de material vegetal seco, como folhas, galhos e restos de podas, à mistura. Esse componente, conhecido como estruturante, deve ser incorporado na proporção de 1 parte para cada 3 partes de matéria orgânica, conforme recomendado por Guidoni (2018). Para esse fim, foi avaliada a relação entre o volume de podas necessário e o volume total de matéria orgânica gerada, utilizando a equação 2 como base de cálculo.

$$VP = VMO * 0,33 \quad (2)$$

Em que:

VP = Volume de poda (m³/dia);

VMO = Volume de matéria orgânica gerada (m³/dia);

0,33 = Proporção de poda PP.

Com isso, o volume total da mistura foi obtido por meio da soma entre o volume de matéria orgânica (VMO) e o volume de podas (VP). A partir desse valor, passou-se à etapa seguinte: o dimensionamento das leiras de compostagem, optou-se pelo uso de leiras com geometria prismática. Para esse dimensionamento, considerou-se a área da seção transversal da leira, adotando-se um formato triangular (Equação 3):

$$Atl = (b * h)/2 \quad (3)$$

Em que:

Atl = Área transversal da leira (m²);

b = Base da leira (m);

h = Altura da leira (m).

Geralmente, as leiras de compostagem possuem altura (h) entre 1,5 e 2 metros, e base (b) variando de 2 a 3 metros, sendo que o comprimento pode ser ajustado conforme a demanda. Durante o processo de dimensionamento, foi igualmente necessário calcular a capacidade volumétrica de cada leira. Esse volume é determinado por meio da Equação 4.

$$VL = CL * Atl \quad (4)$$

Em que:

VL = Volume da leira (m³);

CL = Comprimento da leira (m);

Atl = Área transversal da leira (m²).

Com o volume individual de cada leira já definido, a etapa seguinte consistiu em calcular o número de leiras necessárias para comportar a quantidade diária de resíduos orgânicos gerados pelas atividades do porto arrendado. Esse dimensionamento está representado na equação 5. Para esse cálculo, considerou-se o período estimado para a finalização do processo de compostagem, que varia entre 90 e 120 dias, conforme orientações do Guia de Compostagem (WWF Brasil, 2015) (Equação 5).

$$QL = \left(\frac{VT}{VL} \right) * TC \quad (5)$$

Em que:

QL = Quantidade de leiras;

VT = Volume total da mistura (m³/dia);

VL = Volume da leira (m³);

TC = Tempo da compostagem (dia).

Com base nessas informações, realizou-se o cálculo da área total necessária para o pátio de compostagem. Esse cálculo considerou não apenas a área ocupada pelas leiras, mas também o espaço adicional destinado à circulação de máquinas e ao espaçamento entre as estruturas. Essa etapa precedeu o dimensionamento da área útil do pátio e representada na Equação 6.

$$AU = 2 * (QL * b * CL) \quad (6)$$

Em que:

AU = Área útil do pátio de compostagem (m²);

QL = Quantidade de leiras;

b = Base da leira (m);

CL = Comprimento da leira (m).

Além disso, foi incorporado um fator de segurança (FS) ao cálculo da área total do pátio de compostagem, acrescentando-se 15% sobre o valor previamente obtido. Esse ajuste visa garantir margem para eventuais variações operacionais e representado na Equação 7.

$$APC = AU * FS \quad (7)$$

Em que:

APC = Área total do pátio de compostagem (m²);

AU = Área útil do pátio de compostagem (m²);

FS = Fator de segurança (%).

Dessa forma, a partir dos cálculos realizados, foi possível obter uma estimativa precisa do volume de resíduos orgânicos sólidos, da área ocupada por cada leira, da quantidade e volume de material necessário, além do número de leiras requeridas. Também foram definidas tanto a área útil quanto a área total necessária para a implantação do pátio de compostagem.

DIMENSIONAMENTO DO GALPÃO DE TRIAGEM

O projeto do galpão de triagem e das estruturas complementares, como o prédio administrativo, refeitório, banheiros e vestiários, seguiu as diretrizes estabelecidas pelo Ministério Público do Estado do Paraná (Paraná, 2015) e pelo Guia de Compostagem (WWF Brasil, 2015). Da mesma forma, o dimensionamento da área destinada ao armazenamento e ao peneiramento do composto maturado foi realizado com base nessas referências.

A partir do volume diário da mistura recebida, foi possível estimar o volume final do composto maturado (Equação 8). Considerando um tempo de armazenagem (TA) de até 15 dia e uma redução de 70% no volume durante o processo de compostagem, foi calculado o volume total de composto gerado nas operações do porto arrendado (WWF Brasil, 2015).

$$VCM = VT * Ta * 0,3 \quad (8)$$

Em que:

VCM = Volume de composto maturado (m³);

VT = Volume total da mistura (m³/dia);

Ta = Tempo de armazenagem (dia).

A partir do volume de composto destinado ao armazenamento, foi possível calcular a área necessária para o armazenamento do composto maturado, conforme indicado na equação 9. Esse dimensionamento considerou uma altura média de armazenamento de aproximadamente 2 metros, além da inclusão de uma área extra, equivalente ao dobro da área ocupada, para permitir a circulação de pessoas e o tráfego de máquinas, conforme orientações do Guia de Compostagem (WWF Brasil, 2015).

$$Aa = \left(\frac{VCM}{ha}\right) * 2 \quad (9)$$

Em que:

Aa = Área para armazenagem e peneiramento (m²);

VCM = Volume de composto maturado (m³);

ha = Altura para armazenagem (m).

Por fim, a realização dos cálculos permitiu definir com precisão as dimensões do galpão de triagem, bem como das estruturas auxiliares que compõem o conjunto de apoio operacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

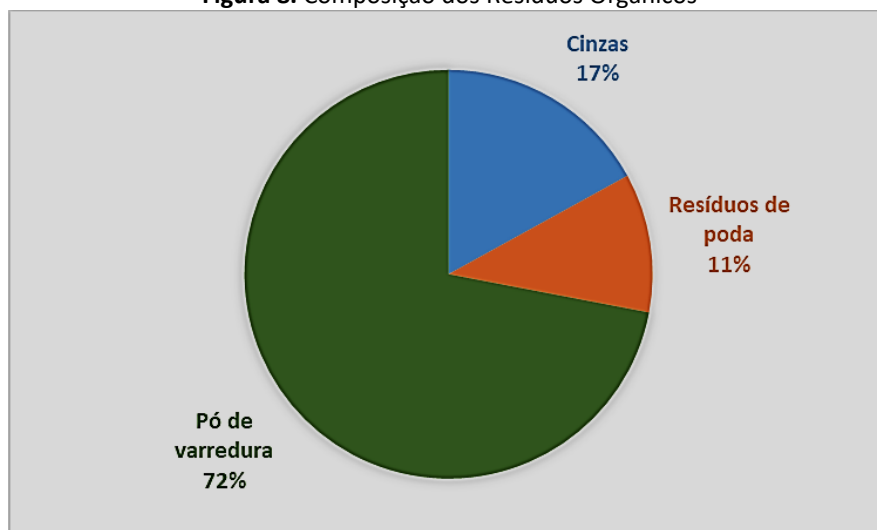
CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO ORGÂNICO DO PORTO ARRENDADO

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Para dimensionar corretamente o pátio de compostagem de resíduos orgânicos, o primeiro passo é a realização de um estudo gravimétrico dos resíduos gerados nas operações portuárias. O levantamento foi baseado em informações fornecidas pela empresa responsável pela gestão do porto arrendado.

Na Figura 8, é apresentada a composição dos resíduos orgânicos, com destaque para os três principais tipos:

1. Cinzas resultantes da alimentação das fornalhas dos secadores de grãos;
2. Pó e resíduos de varrição provenientes da movimentação e transbordo de grãos;
3. Restos de poda oriundos da manutenção das áreas verdes do porto arrendado.

Figura 8. Composição dos Resíduos Orgânicos

Fonte: Autores.

Em 2022, o porto arrendado gerou aproximadamente 400 toneladas de resíduos orgânicos, o que corresponde a uma média diária de 1.092,2 kg, considerando um ano completo de operação. A análise gravimétrica dos resíduos permitiu identificar a proporção de cada tipo em relação ao volume total, com base em seu peso. Resultados organizados na Tabela 1 abaixo, que apresenta a composição gravimétrica de cada resíduo identificado.

Tabela 1. Densidade dos resíduos do porto arrendado

Tipos de Resíduos	Densidade (Kg/m³)	Metodologia
Cinzas	590,0	Peixoto, 2022
Pó de varredura	520,0	Araújo, 2017
Resíduos de poda	600,0	Vale et al., 2005

Fonte: Autores.

Com base nas informações contidas na Tabela 1, foi adotada uma massa específica de 540,76 kg/m³, calculada a partir da média ponderada entre os diferentes tipos de resíduos. Essa média reflete a proporção de cada resíduo em relação ao volume total de resíduos orgânicos gerados pelas operações portuárias.

PROJEÇÃO PARA A GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

O volume anual de resíduos está diretamente relacionado à quantidade de grãos movimentada durante o ciclo logístico do porto, exceto no caso dos resíduos de poda, cujo aumento é relativamente menor em comparação aos resíduos diretamente vinculados à atividade operacional (Pinela, 2018). Assim, a projeção da geração de resíduos orgânicos para os próximos anos acompanhará o crescimento do volume de grãos movimentados. Com base nos dados fornecidos pela empresa para os próximos três anos de operação, foi possível estimar a quantidade de resíduos gerados anualmente (Tabela 2).

Tabela 2. Projeção para a geração de Resíduos Orgânicos

Ano	Carga movimentada (Milhões Ton/Ano)	Percentual Crescimento/Ano	Geração (Ton/Ano)
2023	6,6	47%	518,24
2024	7,3	62%	840,71
2025	8,0	78%	1494,60

Fonte: Autores.

DIMENSIONAMENTO DA USINA DE COMPOSTAGEM

De acordo com os dados fornecidos pela empresa responsável pelo porto arrendado, a geração média de matéria orgânica projetada para os próximos três anos varia entre 1.420 kg/dia e 4.095 kg/dia. Para 2025, estima-se um aumento de 78% na geração de resíduos orgânicos, refletindo o crescimento do volume movimentado.

Diante dessa projeção, o dimensionamento do pátio de compostagem considerou a produção prevista para 2025, ano em que se observa um aumento significativo na geração de resíduos. Caso fosse instalada atualmente uma unidade de triagem para absorver os resíduos gerados, seu dimensionamento já deveria atender à demanda estimada para 2025. Para este cenário, a unidade de triagem e compostagem precisará ser capaz de processar aproximadamente 8,54 m³/dia de matéria orgânica.

No processo de compostagem, é recomendado que a mistura contenha uma maior proporção de fontes de carbono seco em relação às fontes de nitrogênio, visando atingir uma relação adequada de carbono/nitrogênio (C/N) ao longo da decomposição (Shen, et al. 2024), Dores-Silva et. al (2020) em seu trabalho sobre compostagem de resíduos de quintal utilizaram uma relação C/N de 20:1 e foi relatado que o processo de decomposição e transformação ocorreu sem excessos ou deficiências. A prática técnica sugere a adição de material de poda em um terço da quantidade total da mistura de resíduos orgânicos destinada às leiras. Considerando essa proporção, o volume total projetado para o ano de 2025 é de 24,33 m³/dia.

Tabela 3. Dimensionamento do volume total da mistura para o pátio de compostagem

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2022	2023	2024	2025
Matéria Orgânica	Kg/dia	MO	1092,30	1602,00	2598,80	4620,10
Massa Específica de MO	Kg/m ³	MOesp	540,76	540,76	540,76	540,76
Volume de MO	m ³ /dia	VMO	2,02	2,96	4,81	8,54
Proporção de poda		PP	0,33	0,33	0,33	0,33
Volume de poda	m ³ /dia	VP	0,67	0,98	1,59	2,82
Volume total da mistura	m ³ /dia	VT	2,69	3,94	6,40	11,36

Fonte: Autores.

As leiras de compostagem, com base de 3 metros e altura de 2 metros, apresentam uma área de seção transversal de 3,00 m² e comprimento de 40 metros, configurando uma estrutura prismática que consegue aproveitar a área disponível e facilita o revolvimento, Rahman et al. (2013), por exemplo, utilizaram em sua pesquisa leiras de 6 m x 3 m considerando uma geração de mais de 16 toneladas de resíduos orgânicos em um período de 7 meses. Já neste projeto, cada leira é capaz de armazenar um volume de 120 m³, ocupando uma área total de 240 m² (WWF Brasil, 2015). O material orgânico submetido ao processo de compostagem passa, geralmente, por um período de maturação que varia entre 90 (Silva Vilela et al., 2022) e 120 dias (Martins et al., 2022). Inicialmente, ocorre a fase de biodegradação, com duração estimada entre 30 e 90 dias, seguida pela etapa de maturação, na qual o composto se estabiliza em um intervalo de 15 a 50 dias.

Para definir a quantidade de leiras necessárias para acomodar o volume de matéria orgânica gerada, foi adotado um período total de 90 dias como referência (WWF Brasil, 2015). Assim, o número total de leiras necessárias para acomodar o volume de resíduos orgânicos gerado pelo porto durante 90 dias de compostagem seria de aproximadamente três leiras para atender à produção de resíduos sólidos orgânicos de 2022.

Para 2025, considerando o aumento de 78% na geração de resíduos em relação ao cenário atual, seriam necessárias cerca de 12 leiras (Tabela 4).

Tabela 4. Dimensionamento das leiras para o pátio de compostagem

Parâmetro	Unidade	Símbolo	2022	2023	2024	2025
Base da leira	m	b	3	3	3	3
Altura da leira	m	h	1,5	1,5	1,5	1,5
Área transversal da leira	m ²	Atl	2,25	2,25	2,25	2,25
Comprimento da leira	m	CL	40	40	40	40
Volume por leira	m ³	VL	90	90	90	90
Tempo de compostagem	Dias	TC	90	90	90	90
Quantidade de leiras	unidade	QL	3	4	7	12

Fonte: Autores.

Com base no número de leiras estimado pelo dimensionamento, foi definida a área útil necessária para a implantação e operação do pátio de compostagem. Considerando os cálculos realizados, a área útil inicial seria de 180 m². No entanto, optou-se por dobrar o espaço destinado às leiras, a fim de acomodar todo o volume da mistura e garantir áreas suficientes para a movimentação de máquinas e o trânsito de pessoas.

A decisão representa uma medida de segurança para otimizar o processo de compostagem e assegurar condições de trabalho mais seguras e eficientes. Ademais, incorporou-se um acréscimo de 15% na área total, como margem de segurança, visando flexibilidade para ajustes operacionais, variações na geração de resíduos ou futuras expansões, conforme projeções de volume movimentado já apresentadas. A abordagem contribui para prevenir eventuais problemas, aumenta a eficiência do processo e proporciona uma gestão mais segura das leiras de compostagem. Assim, a área útil projetada para o pátio de compostagem, considerando demanda prevista para 2025, é de 2.734,0 m² e projeção detalhada da área necessária para instalação e operação da Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) segue na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Dimensionamento da área do pátio de compostagem

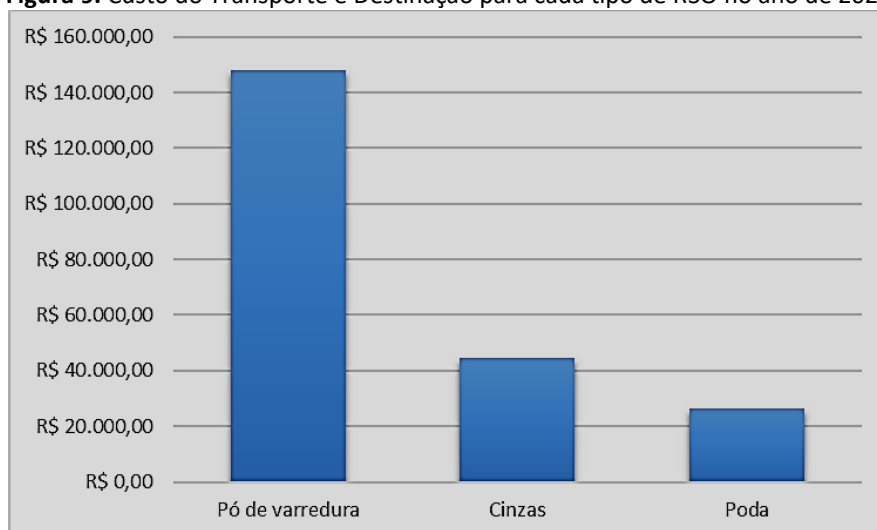
Parâmetro	Unidade	Símbolo	2022	2023	2024	2025
Área útil	m ²	AU	646,4	948,0	1537,9	2734,0
Fator de segurança	%	FS	15%	15%	15%	15%
Área total do pátio	m ²	APC	743,3	1090,2	1768,5	3144,1

Fonte: Autores.

Vantagem Econômica no Transporte e Destinação do RSO

Atualmente, os resíduos sólidos orgânicos gerados no porto são destinados a uma empresa terceirizada de compostagem localizada em Itaituba, no estado do Pará (cerca de 370 km de Santarém). A partir de pesquisa interna realizada pela empresa gestora do porto, foram levantados e analisados os custos relacionados ao transporte e destinação desses resíduos. O valor do transporte e destinação por viagem varia entre R\$ 4.500,00 e R\$ 5.400,00, utilizando o modal rodoviário com caminhões equipados com caçambas. Em 2022, foram registradas 9 viagens para o transporte de cinzas, 6 viagens para resíduos de poda de árvores e 30 viagens para resíduos de pó e varrição.

Visando evitar a contaminação cruzada entre os diferentes tipos de resíduos, foi analisado o custo individual de transporte e destinação para cada categoria no ano de 2022 (Figura 9). O custo total apurado para o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos orgânicos provenientes das operações portuárias foi de R\$ 219.000,00.

Figura 9. Custo do Transporte e Destinação para cada tipo de RSO no ano de 2022

Fonte: Autores.

Considerando que o valor total de R\$ 219.000,00 corresponde à destinação de aproximadamente 400 toneladas de resíduos em 2022, estima-se que, em 2025, os custos com a destinação adequada alcancem cerca de R\$ 398.820,00, acompanhando o aumento previsto na geração de resíduos. Entretanto, a implantação de um pátio de compostagem permite uma redução significativa dessas despesas, proporcionando benefícios econômicos sustentáveis ao longo do tempo (Nanlin et al., 2023).

Em um trabalho realizado por Silva (2020), foi projetado um pátio de compostagem para atender a uma cidade cuja geração de resíduos orgânicos seria de aproximadamente 90 toneladas por mês. Para isso foi calculada uma área de 2091 m². Esse empreendimento produziria mensalmente cerca de 2250 sacos de 20 quilos de composto que seriam vendidos a um preço médio de R\$ 25,00. A estimativa é de que, em 10 anos, a atividade passe a gerar um lucro anual de R\$ 438.179,82. Considerando que o Porto de Santarém poderá chegar a uma geração de resíduos de aproximadamente 1.686 toneladas por ano, o faturamento anual neste caso pode ser de mais de R\$ 600.000,00.

O local previsto para a instalação da Unidade de Triagem e Compostagem já é alugado pelo porto, eliminando custos adicionais com locação para essa finalidade. Além disso, os principais ativos necessários para a operação, como a balança rodoviária, a pá carregadeira e os caminhões de transporte, já pertencem à empresa, o que reduz ainda mais os custos operacionais. O transporte interno desses equipamentos é consideravelmente mais econômico do que o transporte atualmente realizado até Itaituba, onde os resíduos sólidos orgânicos são atualmente destinados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico dos resíduos sólidos orgânicos do porto arrendado identificou três principais tipos: pó e varredura, originados de escapes nos equipamentos de transporte e da deficiência em manutenção preventiva; cinzas, provenientes da secagem de grãos com umidade excessiva, processo que, embora atípico em portos de transbordo, agrega valor logístico à região; e resíduos de poda, atualmente destinados a alto custo devido à ausência de empresas locais de compostagem.

Em 2022, o porto gerou aproximadamente 400 toneladas de resíduos orgânicos. A tendência é de crescimento, impulsionada pela expansão da fronteira agrícola do Arco Norte e pelo fortalecimento de Santarém (PA) como polo logístico de escoamento de milho e soja, captando produção do Mato Grosso e de regiões próximas.

Considerando essa expansão, o dimensionamento do pátio de compostagem foi baseado na projeção para 2025, quando se espera uma geração de 4.620,1 kg/dia de resíduos, representando um aumento de 78% em relação a 2022. O local escolhido para o pátio atende às exigências da NBR 13896/97, incluindo declividade adequada (1% a 30%), distanciamento de corpos hídricos e núcleos populacionais, e área disponível suficiente.

Para absorver o volume projetado, será necessária uma mistura de 24,33 m³/dia de resíduos, considerando a adição de poda como material estruturante. Estima-se a necessidade de 12 leiras de compostagem para o período de 90 dias de maturação, ocupando inicialmente 180 m², enquanto a área total do projeto, considerando circulação de máquinas e pessoas, é de 2.734,0 m², inserida em um terreno de 78 mil m² já alugado.

Vale ressaltar que, para garantir a eficiência do processo de compostagem, é necessário monitorar as leiras com relação à temperatura e umidade e que seja estabelecida uma frequência padrão de revolvimento das leiras que pode ser feita uma vez a cada 3 ou 4 dias dependendo das condições da leira.

A implantação do pátio de compostagem apresenta vantagens operacionais e financeiras: não gera custo adicional de locação, utiliza maquinário e mão de obra já existentes, e evitará gastos de aproximadamente R\$ 398.829,00 até 2025, atualmente destinados ao transporte e tratamento externo dos resíduos e, além disso, o composto gerado poderá ser vendido para ajudar a custear os gastos com a manutenção do pátio ao mesmo tempo em que reduz a poluição dentro do porto, contribuindo para um ambiente de trabalho mais saudável.

Por fim, o projeto prevê capacidade de expansão a longo prazo, podendo atender o crescimento da geração de resíduos nos próximos 10 a 20 anos, além de fortalecer o compromisso da empresa com práticas sustentáveis e a conscientização ambiental entre seus colaboradores.

REFERÊNCIAS

- ABNT. (1997). *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios de projeto, implantação e operação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (2004). *NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. (2025). *Movimentação Portuária 2025 (Jan–Mar)*. Recuperado de <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/movport.html#pt>
- Agência Pará. (2024). *Prazo para semear soja no Pará é prorrogado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária*. Recuperado de <https://agenciapara.com.br/noticia/50467/prazo-para-semear-soja-no-para-e-prorrogado-pelo-ministerio-da-agricultura-e-pecuaria>
- Araújo, P. H. de M. (2017) *Utilização de resíduos de milho e sorgo como aglutinantes na produção de briquetes de resíduos de coco* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de Brasília, DF, Brasil. Recuperado de bdm.unb.br/bitstream/10483/18205/1/2017_PedroHerissondeMeloAraujo.pdf
- Aziz, S. Q., Omar, I. A., & Mustafa, J. S. (2018). *Design and study for composting process site*. *International Journal of Engineering Inventions*, 7(9), 9–18. e-ISSN 2278-7461.
- Braga, R. C. M. S. (2020). *Gestão ambiental em portos brasileiros: contributos para melhoria considerando boas práticas em portos europeus* [Tese de doutorado, Universidade do Porto].
- Cardoso, R. (2024). *Adepará alerta para período de cadastro anual de plantio de soja no Pará*. Recuperado de <https://www.agenciapara.com.br/noticia/50584/ade-para-alerta-para-periodo-de-cadastro-anual-de-plantio-de-soja-no-para>
- Chen, C., Wang, L., & Zhang, Y. (2023). Do short-lived companies need to consider a social license to operate? *Sustainable Production and Consumption*, 36, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.026>

- Conselho Federal de Administração – CFA. (2015). *Apostila para a gestão de resíduos sólidos urbanos*. Recuperado de <https://cfa.org.br/apostila-para-a-gestao-de-municipal-de-residuos-solidos-urbanos/>
- Dores-Silva, P. R., Landgraf, M. D., & Rezende, M. O. de O. (2013). Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. *Química Nova*, 36(5), 640–645. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500005>
- Guidoni, L. L. C., Marques, R. V., Moncks, R. B., et al. (2018). Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. *Journal of Environmental Management*, 207, 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.031>
- ijeijournal.com+9biosaline.org+9journals.sagepub.com+9frontiersin.org+7pubmed.ncbi.nlm.nih.gov+7scribd.com+7
- Ji, Z., Zhang, L., Liu, Y., Li, X., & Li, Z. (2023). Evaluation of composting parameters, technologies and maturity indexes for aerobic manure composting: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 886, 163929. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163929>
- Martins, G. A., et al. (2022). Toxicity and physicochemical parameters of composts including distinct residues. *Waste Management*, 138, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.032>
- Nanlin, L., et al. (2023). Environmental and economic assessment of a decentralized composting facility. *Science of the Total Environment*, 884, 163724. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163724>
- Neto, T. O., & Nogueira, R. J. B. (2021). 50 anos das rodovias Transamazônica e Santarém-Cuiabá. *Boletim Paulista de Geografia*, 1(105), 147-171. <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1997>
- Oliveri, C., et al. (2023). Demand forecast impact on infrastructure dimensioning. *Waste Management*. (in press).
- Peixoto, G. T., Segatelli, A. B. de M., Pimenta, A. F., Mazzarin, L. F. V., Silva, M. C. da, Meneses, R. M. de A. O., & Michels, R. N., Bosco, T. C. D. (2022). Diferentes relações C/N inicial para tratamento de lodo de curtume via compostagem. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 10(3), 80-99. Recuperado de <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1104/343>
- Pereira, R. dos S. (2020). *O setor portuário de Sergipe e Alagoas* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Sergipe].
- Pinela, S. R. da S. (2018). *Transbordo de granéis sólidos nos portos marítimos do sul do Brasil* [Tese de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná].
- Puig, M., et al. (2022). Environmental management system of the European port sector. *Science of the Total Environment*, 806, 150550. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150550>
- Rahman, M. H. A., et al. (2020). Inventory and composting of yard waste in Malaysia. *Heliyon*, 7(e04486). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04486>
- Secretaria de Meio Ambiente – PA. (2020). *Licença de Operação nº 12193/2020*. Recuperado de <https://cdp.com.br/wp-content/uploads/2021/07/LICENCA-DE-OPERACAO-PORTO-DE-SANTAREM.pdf>
- Shen, B., et al. (2024). Carbon to nitrogen ratios in composting of agricultural residues. *Bioresource Technology*, 413, 131416. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131416>
- Siles-Castellano, A. B., et al. (2020). Compost quality in different composting facilities. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119820>
- Silva, M. da, et al. (2020). Estudo e projeto de uma usina de compostagem. *Brazilian Journal of Technology*, 3(4), 169–189. <https://doi.org/10.38152/bitv3n4-005>
- Silva Vilela, R. N. da, et al. (2022). Aeration and season on composting of slaughterhouse waste. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102505. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102505>
- Vale, A. T. D., Sarmiento, T. R., & Almeida, A. N. (2005). Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. *Ciência Florestal*, 15(4), 411-420. <https://doi.org/10.5902/198050981878>
- United Nations. (2025). *Goal 9: Industry, innovation and infrastructure*. Recuperado de <https://sdgs.un.org/goals/goal9>
- WWF Brasil. (2015). *Guia para a compostagem*. Recuperado de <https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/compostagem.pdf>