



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MAICON ZAMPIRON SASSO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE**

ERECHIM - RS

2022

MAICON ZAMPIRON SASSO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Funghetto Fuzinato

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf

ERECHIM - RS

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Sasso, Maicon Zampiron

Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de compostagem de resíduos sólidos urbanos em um município de médio porte / Maicon Zampiron Sasso. -- 2022.
61 f.:il.

Orientadora: Dra. Cristiane Funghetto Fuzinatto

Co-orientador: Dr. Eduardo Pavan Korf

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Erechim,RS, 2022.

1. Análise de viabilidade econômica. 2. Tratamento de
resíduos orgânicos. 3. Valorização de resíduos. 4.
Ferramenta OrganEcs. I. Fuzinatto, Cristiane Funghetto,
orient. II. Korf, Eduardo Pavan, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

MAICON ZAMPIRON SASSO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Funghetto Fuzinatto

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 24/08/2022.

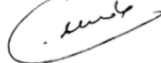
BANCA EXAMINADORA



Assinado de forma digital por
Cristiane Funghetto Fuzinatto
Dados: 2022.08.30 18:26:35
-03'00'

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Funghetto Fuzinatto

Orientadora



EDUARDO PAVAN KORF
CPF nº 00341745081

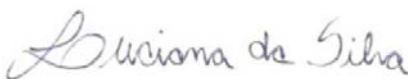
Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf

Coorientador



Prof^ª. Dr^ª. Helen Treichel

UFFS



Doutoranda Luciana da Silva

UPF

gov.br

Documento assinado digitalmente

LUCIANA DA SILVA

Data: 26/08/2022 14:23:48-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus orientadores, professora Cristiane Fuzinato e professor Eduardo Korf, pela confiança, pela paciência, pelos conselhos e atenção durante toda a realização deste trabalho. A colaboração de vocês foi fundamental!

Às professoras das disciplinas TCC I e TCC II, Clarissa Dalla Rosa e Helen Treichel, por estarem sempre dispostas a ajudar e esclarecer as diversas dúvidas que surgiram.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Erechim, em especial à Ariane Pasuch, por terem sido atenciosos, pela cooperação e compartilhamento de informações.

À Luciana da Silva, por ter aceitado o convite de participação da banca, pelas considerações e correções sugeridas.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, por ter oportunizado um intenso período de aprendizagem.

À minha família e amigos, por todo o apoio durante a minha jornada de estudos.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM
MUNICÍPIO DE MÉDIO PORTE**

**FEASIBILITY STUDY OF IMPLEMENTING AN URBAN SOLID WASTE COMPOSING
PLANT IN A MEDIUM-SIZED MUNICIPALITY**

Maicon Zampiron Sasso¹, Cristiane Funghetto Fuzinato¹, Eduardo Pavan Korf¹

¹Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Federal da Fronteira Sul, ERS
135-Km 72, n° 200, CEP: 99700-970, Cx. Postal 764 – Erechim, RS, Brasil.

E-mail: maiconsasso@hotmail.com

Resumo

Neste trabalho, foi apresentado uma possibilidade de alteração da destinação dos resíduos orgânicos do município de Erechim – RS através da implantação de uma usina de compostagem. Para isso, utilizou-se a ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que forneceu como resultados o valor de investimento inicial, as despesas operacionais, o fluxo de resíduos e o fluxo de caixa operacional para um sistema de compostagem utilizando aeração forçada. A partir disso, concluiu-se que a instalação é viável do ponto de vista econômico, tendo a possibilidade de venda do composto gerado e o direcionamento de gastos de envio dos resíduos orgânico ao aterro sanitário para a construção e operação de uma usina de compostagem no município, além de ganhos ambientais e sociais e de servir como incentivo para outros municípios a adotarem medidas secundárias para a gestão de seus resíduos gerados.

Palavras-Chave: Análise de viabilidade econômica; Tratamento de resíduos orgânicos; Valorização de resíduos; Ferramenta OrganEcs.

Abstract

In this work, a possibility was presented to change the destination of organic waste in the municipality of Erechim – RS through the implementation of a composting plant. For this, the tool OrganEcs-Compost V3.1 of the United States Environmental Protection Agency was used, which provided the results of the initial investment value, operating expenses, waste flow and operating cash flow for a composting system using forced aeration. From this, it was concluded that the installation is viable from an economic point of view, with the possibility of selling the generated compost and directing the expenses of sending organic waste to the landfill for the construction and operation of the composting plant in the municipality, in addition to environmental and social gains and to serve as an incentive for other municipalities to adopt secondary measures for the waste generated.

Keywords: Economic feasibility analysis; Treatment of organic waste; Waste recovery; OrganEcs Tool.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	25
Figura 2 – Guias da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 categorizadas por diferentes cores	26
Figura 3 – Mapa de localização do município de Erechim – RS	33
Figura 4 – Representação da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Erechim – RS	38
Figura 5 – Fluxo de caixa operacional do Cenário I desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	46
Figura 6 – Fluxo de caixa operacional do Cenário II desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	47
Figura 7 – Fluxo de caixa operacional do Cenário III desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados da instalação	26
Tabela 2 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados dos resíduos	27
Tabela 3 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados financeiros	28
Tabela 4 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação à instalação	39
Tabela 5 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos resíduos, e os valores de saída	41
Tabela 6 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados econômicos da instalação	42
Tabela 7 – Valores padrão referentes às operações na instalação estabelecidos na ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 e utilizados no presente trabalho	43
Tabela 8 – Custo de capital do projeto obtido a partir das respostas geradas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	44
Tabela 9 – Características da instalação de compostagem obtidas a partir das respostas geradas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1	44
Tabela 10 – Diferença entre os custos totais da atual disposição final dos resíduos orgânicos e os custos totais de operação e construção da usina de compostagem ao longo de 20 anos para o município de Erechim – RS	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	13
3.1.1 Classificação dos resíduos sólidos	14
3.2 COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.2.1 Coleta seletiva	16
3.3 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
3.3.1 Compostagem	18
3.3.1.1 Fatores que influenciam na compostagem.....	19
3.3.1.1.1 <i>Temperatura</i>	19
3.3.1.1.2 <i>Umidade</i>	20
3.3.1.1.3 <i>Aeração</i>	20
3.3.1.1.4 <i>Relação carbono/nitrogênio (C/N)</i>	20
3.3.1.1.5 <i>Tamanho das partículas</i>	21
3.3.1.1.6 <i>pH</i>	21
3.3.1.2 Métodos de compostagem	22
3.3.1.2.1 <i>Método de leiras revolvidas</i>	22
3.3.1.2.2 <i>Método de leiras aeradas</i>	22
3.3.1.2.3 <i>Método fechado ou acelerado</i>	23
3.3.2 Usina de compostagem	23
3.4 FERRAMENTA DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA GESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS SEPARADOS NA FONTE.....	24
3.4.1 Inserção dos dados	25

3.4.1.1 Dados de entrada para a instalação (<i>Facility Inputs</i>).....	26
3.4.1.2 Dados de entrada dos resíduos (<i>Waste Inputs</i>)	27
3.4.1.3 Dados de entrada de economia (<i>Economic Inputs</i>)	28
3.4.1.4 Valores padrão (<i>Default Values</i>)	30
3.4.1.5 Dados de saída (<i>Outputs</i>).....	30
3.4.1.6 Tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos	32
4 METODOLOGIA	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	33
4.3 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS	34
4.3.1 Obtenção dos dados para aplicação na ferramenta OrganEcs	34
4.3.2 Análise da viabilidade econômica	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS	38
5.1.1 Gastos com a atual disposição final dos RSU do município	39
5.2 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA USINA DE COMPOSTAGEM PARA O MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS	39
5.2.1 Parâmetros utilizados como entradas na ferramenta OrganEcs para obtenção do custo de implantação da usina de compostagem	39
5.2.2 Dados de saída da ferramenta OrganEcs sobre o custo de implantação da usina de compostagem	43
5.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DA INSTALAÇÃO PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS	45
5.3.1 Análise quanto a diferença entre os gastos de diferentes gestões para os RSU do município	48
6 CONCLUSÃO	50
6.1 CONCLUSÃO DO TRABALHO	50
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51

REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE A – Planilha de dados de despesas operacionais gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenários I, II e III	56
APÊNDICE B – Planilha de dados de fluxo de resíduos gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário I	57
APÊNDICE C – Planilha de dados de fluxo de resíduos gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenários II e III.....	58
APÊNDICE D – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário I.....	59
APÊNDICE E – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário II	60
APÊNDICE F – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário III	61

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é inerente ao ser humano e o volume gerado nos centros urbanos é sempre crescente. O desenvolvimento populacional, a produção industrial, o consumo desenfreado, bem como fatores econômicos e sociais, são responsáveis por esse aumento na geração de resíduos (IBRAHIN, 2015; SNSA, 2007).

Somente nas últimas décadas que a humanidade vem se conscientizando da dimensão do problema sobre o aumento da geração e do descarte inadequado dos resíduos, através da busca de técnicas mais eficientes e seguras para dispô-los no meio ambiente, associadas ao interesse de se alcançar um desenvolvimento sustentável (BARROS, 2012; TELLES, 2022).

A gestão adequada dos resíduos sólidos implica na necessidade de realizar um diagnóstico e levantamento da quantificação de material descartado (IBRAHIN, 2015). Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021), são gerados anualmente no Brasil um total de 82.5 milhões de toneladas de resíduos ou 225.965 toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro gera, em média, 1,07 kg de resíduo por dia.

A disposição irregular desses resíduos impacta negativamente tanto no âmbito ambiental quanto no âmbito social e econômico. Pode-se citar como consequência: odor desagradável, geração e proliferação de vetores transmissores de doenças (mosquitos, baratas, ratos e outros parasitas), obstrução nas infraestruturas de drenagem urbana e contaminação ambiental (SNIS, 2021).

A dificuldade de encontrar locais ambientalmente adequados e economicamente viáveis para a disposição dos resíduos sólidos urbanos demanda dos municípios a adoção de estratégias que prolonguem a vida útil dos aterros sanitários (MASSUKADO, 2008). A maior parte desses resíduos é enviada para os aterros, sendo que o único material que deveria ser destinado para esses locais são os rejeitos (BRASIL, 2010), desperdiçando diariamente uma enorme quantidade de nutrientes e materiais que poderiam ser reaproveitados.

Grande parte dos resíduos sólidos urbanos pode ser recuperada desde que coletada e manejada de forma a favorecer sua reciclagem nos ciclos produtivos (SNIS, 2021). Levando em conta as formas já existentes, a reciclagem e a compostagem são técnicas de tratamento eficientes (quando se há uma correta segregação dos materiais na fonte geradora), sustentáveis e que não demandam altos custos de investimento (FRITSCH, 2000; TELLES 2022).

A matéria orgânica é encontrada em frações significativas, representando a maior parcela (45,3%¹) considerando à composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e desse modo, ocupa elevado espaço. Quando destinada aos aterros sanitários reduz a vida útil desses locais e gera gases e chorume durante sua degradação, acarretando na necessidade de monitoramento e tratamento desses efluentes (ABRELPE, 2020; BARROS, 2012).

Desse modo, a compostagem constitui-se como uma alternativa de gestão de resíduos orgânicos, gerando ganhos econômicos e ambientais aos municípios através da redução de custos de envio e deposição desses resíduos em aterro sanitários (CAOPMA, 2013). Além de evitar tais problemas, permite a obtenção de um composto orgânico passível de venda e aplicável no ajardinamento, arborização de logradouros públicos, ou ainda, utilizado no horto municipal, desde que esteja de acordo com as especificações referentes a fertilizantes orgânicos. (BARROS, 2012; DAL BOSCO, 2017).

Com foco nessa técnica de tratamento de resíduos orgânicos, este trabalho busca encontrar uma alternativa mais viável sustentavelmente, para aproveitar de forma adequada e agregar valor à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provindos de um município de médio porte.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade da implantação de uma usina de compostagem de resíduos sólidos urbanos para o município de Erechim – RS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar a geração de resíduo sólidos urbanos no município de Erechim – RS;
- Estimar o custo de implantação de uma usina de compostagem para o município de Erechim – RS;
- Analisar a viabilidade econômica para implantação dessa instalação no município de Erechim – RS.

¹ Estimativa realizada pela ABRELPE (2020), a partir da composição gravimétrica de 186 municípios brasileiros.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é estabelecida pela Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Essa lei traz um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações com o objetivo de realizar a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Em seu artigo 3º, inciso XVI, define que resíduo sólido é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade (BRASIL, 2010).

Para o âmbito deste estudo, o conceito a ser considerado é o de resíduos sólidos urbanos (RSU). De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010, art. 14, inciso I), os RSU englobam os resíduos sólidos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas (restos de comida, embalagens, vidros, entre outros), e os resíduos de limpeza pública, originários de atividades públicas, como varrição, podas, capina e limpeza de bocas-de-lobo.

Segundo Ibrahim (2015), o gerenciamento dos RSU consiste no conjunto de ações, diretas ou indiretas, que envolve as etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente correta. A autora explica que um correto gerenciamento representa melhoria da qualidade de vida da população e da preservação do meio ambiente. A busca por soluções deve passar pelo esforço integrado dos órgãos públicos, instituições privadas e comunidade.

A Lei do Saneamento Básico Nacional, estabelecida pela Lei nº 11.445/2007 e atualizada pela Lei nº 14.026/2020, determina as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Em seu artigo 3º, inciso I, letra 'c', determina que a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos RSU (BRASIL, 2007, 2020).

O Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a PNRS, determina uma escala de prioridades para as ações que envolvem o gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2022a; DAL BOSCO, 2017):

- 1º- Não geração: evitar a geração de resíduos de qualquer natureza;
- 2º- Redução: geração em menor quantidade;
- 3º- Reutilização: reaproveitamento dos resíduos para outras utilidades;
- 4º- Reciclagem: reprocessamento dos resíduos;

- 5°- Tratamento: aplicação de procedimentos adequados de modo a reduzir o impacto dos resíduos ao meio ambiente;
- 6°- Disposição final ambientalmente adequada: apenas os resíduos que configuram como rejeitos, não existindo nenhuma tecnologia que torne viável seu tratamento, devem ser adequadamente dispostos em aterros sanitários.

Os resíduos orgânicos são a parcela de resíduos constituída por matéria orgânica putrescível, isto é, são resíduos facilmente degradáveis pela ação de microrganismos (SNSA, 2007). Devem ser aplicados a tratamentos adequados (5° patamar na escala de prioridades), uma vez que sua geração é inevitável, por se constituir basicamente de restos de comida, e seu reprocessamento ainda é não é possível diante das tecnologias disponíveis atualmente e da forma como os municípios realizam a coleta dos resíduos (DAL BOSCO, 2017).

Dentre os tratamentos possíveis para os resíduos orgânicos com maior valor agregado estão a compostagem, a digestão anaeróbica e o tratamento mecânico biológico (ABRELPE, 2018).

3.1.1 Classificação dos resíduos sólidos

Os principais critérios para a classificação dos resíduos sólidos são quanto a sua origem e periculosidade. A análise envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, seus constituintes e características e comparar as concentrações desses constituintes com limites estabelecidos, visando o beneficiamento dos resíduos detectados e a redução de impactos à saúde e ao meio ambiente (MATOS, 2014; BARBOSA, 2014).

De acordo com Ibrahim (2015), a classificação dos resíduos quanto ao grau de periculosidade se justifica principalmente para permitir a correta avaliação dos riscos potenciais desses materiais, em várias fases e etapas de seu gerenciamento, realizadas com base nas suas características e interação com outros tipos de resíduos ou isoladamente.

A norma técnica NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) disciplina a classificação dos resíduos sólidos perigosos. Nela é feita a divisão dos resíduos para avaliação de suas características de periculosidade, considerando-se os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, nas seguintes classes:

- a) Resíduos classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam alguma periculosidade como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos: não apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, podendo ser do tipo:
 - b.1- Resíduos classe II-A – Não inertes: podem apresentar propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - b.2- Resíduos classe II-B – Inertes: Não possui constituintes que são solubilizados em concentrações superiores às que constam no Anexo G da norma.

Os resíduos orgânicos podem ser dispostos na classe II-A, uma vez que não são perigosos e nem inertes, pois fornecem matéria orgânica e, ou, nutrientes para o solo, de forma a se ter benefícios com sua disposição nesse meio. Além disso, pode-se citar exemplos de materiais inertes (resíduos classe II-B) como: rochas, tijolos, vidros, além de certos plásticos e borrachas que não são decompostos rapidamente (MATOS, 2014).

3.2 COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A coleta e o transporte dos resíduos sólidos têm sido o principal foco de gestão, especialmente nas áreas urbanas, tendo em vista o grande volume gerado e as dificuldades em gerenciar esses resíduos (IPEA, 2012; MATOS, 2014).

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), a coleta de resíduos sólidos consiste em recolher os resíduos acondicionados por quem os produz para encaminhá-los, por meio de transporte adequado, a uma possível estação de transferência e a um eventual tratamento e à disposição final.

Normalmente quem executa a coleta e o transporte dos RSU é o órgão municipal encarregado pela limpeza urbana. Esses serviços podem ser realizados pela própria prefeitura, através de empresas sob contrato de terceirização, ou por associações/cooperativas de catadores ou entidades em parceria com a prefeitura (IBAM, 2001; SNIS, 2021).

A regularidade da coleta é um dos mais importantes atributos do serviço. Através de dias e horários definidos, de pleno conhecimento da população, evita-se a exposição dos resíduos e o acondicionamento em lugares impróprios, promovendo dessa maneira, a higiene ambiental, a saúde pública e o bom aspecto dos logradouros públicos (IBAM, 2001). A coleta

regular deve ser realizada com frequência mínima de uma vez por semana e pode ser feita de forma direta (porta a porta) ou indireta (pontos de entrega voluntária) (SNIS, 2021).

De acordo com o diagnóstico realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), a coleta regular direta abrange 94,6% das áreas urbanas brasileiras. Nessa ocasião, a coleta é realizada em dias específicos da semana, com equipamentos adequados, executado pelo órgão responsável que trafega pelas vias da cidade coletando os materiais disponibilizados em calçadas, em frente aos domicílios ou em pontos de coleta (lixeiras) (ABRELPE, 2015).

O transporte dos RSU varia em relação às regionalidades do Brasil. A maior parte da frota é formada por caminhões basculantes, carroceria ou baú e compactadores (“caminhões prensas”) (IBAM,2001; SNIS, 2021).

A coleta regular pode ser do tipo diferenciada (seletiva) ou indiferenciada (convencional). Na coleta convencional os diferentes tipos de resíduos são coletados todos juntos tornando-se rejeitos e dessa forma, impossibilitando possíveis tratamentos e sendo encaminhados diretamente para sua disposição final.

3.2.1 Coleta seletiva

A coleta seletiva ocorre mediante a segregação prévia dos resíduos sólidos pelos geradores, conforme sua constituição ou composição. O sistema de coleta seletiva deve estabelecer, no mínimo, a separação de resíduos recicláveis secos e a dos resíduos orgânicos, segregados dos rejeitos (BRASIL, 2022a).

Quando separados na fonte geradora, os resíduos possuem qualidade superior e geram melhores resultados em termos de produtos finais como por exemplo, o composto gerado na compostagem (ABRELPE, 2018). A seletividade dos resíduos na fonte também auxilia no processo de separação nas centrais de triagem e na redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários (IPEA, 2012). E ainda, reduz os riscos de disseminação de doenças e evita que materiais não degradáveis contaminem o meio ambiente (IBRAHIN, 2015).

Conforme dados da ABRELPE (2021), 74,4% dos municípios brasileiros apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva. A região Sul é a que apresenta os maiores percentuais (91,2%).

3.3 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a PNRS, a destinação final ambientalmente adequada consiste em tratar e recuperar os resíduos sólidos através de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, previamente à sua disposição final. A Lei nº 12.305/10 inclui como processos disponíveis a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (ABRELPE, 2015; BRASIL, 2010).

Afirmam Dourado, Saiani e Toneto Júnior (2014) que a escolha do processo mais adequado de tratamento depende fundamentalmente das características do resíduo a ser tratado. Um dos pontos fundamentais é se esse resíduo é de origem orgânica ou não, devido à alta carga de carbono e hidrogênio em sua composição.

Embora existam outros tipos de tecnologias disponíveis para destinação final de RSU, alguns processos têm recebido maior atenção, seja por adequação à legislação, pelo domínio tecnológico ou mesmo por já serem culturalmente aceitos. Entre esses processos, podem ser destacados: compostagem, digestão anaeróbia, incineração por combustão e gaseificação e pirólise. (ABRELPE, 2018; DOURADO; SAIANI; TONETO JÚNIOR, 2014).

Para os resíduos sólidos sem possibilidade de tratamento ou recuperação (rejeitos), a PNRS considera os aterros sanitários como a solução mais adequada de disposição final. Neles, os rejeitos são confinados em menor área possível e dispostos de forma ambientalmente adequada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar possíveis impactos ambientais (BRASIL, 2010; SNIS, 2021).

No entanto, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos do Brasil são encaminhados diretamente para a disposição final, sem um eventual tratamento e recuperação (ABRELPE, 2021). Segundo uma estimativa realizada pelo SNIS (2021), do total dos RSU coletados atualmente, apenas 1,6% dos resíduos secos são recuperados através de um processo de reciclagem e somente 0,40% dos resíduos orgânicos são recuperados através de um processo de compostagem. São dados preocupantes, pois mostram que tecnologias simples, baratas e eficazes, como a reciclagem e a compostagem, ainda são executadas em proporções muito baixas no Brasil.

Mesmo sabendo que a disposição final adequada dos RSU são os aterros sanitários, no Brasil ainda se operam unidades inadequadas como aterros controlados e lixões (SNIS, 2021). A diferença entre os dois tipos de aterros, é que no aterro sanitário ocorre o controle na coleta e tratamento dos subprodutos da decomposição, tais como líquidos (chorume) e gases, enquanto no aterro controlado esses procedimentos não são realizados (CAOPMA, 2013; IBAM, 2001).

Já no lixão, também chamado de vazadouro, não ocorre nenhuma proteção do solo e do ar, pois os resíduos ficam dispostos a céu aberto. É considerado a pior situação e atualmente seu funcionamento é proibido no Brasil, conforme a Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010; IBRAHIN, 2015).

De acordo com dados da ABRELPE (2021), no Brasil 60,2% dos RSU são dispostos adequadamente em aterros sanitários, enquanto 39,8% são dispostos inadequadamente em aterros controlados ou lixões. A região Sul destina adequadamente 70,8% de seus RSU.

3.3.1 Compostagem

Além de ser considerada uma destinação ambientalmente adequada, a compostagem é uma das alternativas de tratamento disponíveis para a fração orgânica dos RSU e se destaca pela sua simplicidade e praticidade, pois pode reduzir em mais de 60% o seu volume, produzindo ao final do processo, um material estável, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem, podendo ser utilizado como condicionador de solo ou atuar como um fertilizante. Dessa maneira, este processo permite a reciclagem dos resíduos orgânicos, possibilitando seu reaproveitamento (CAOPMA, 2013; DAL BOSCO, 2017; MASSUKADO, 2008).

Quando realizada em âmbito municipal, prolonga a vida útil do aterro sanitário, uma vez que a parcela orgânica é a maior fração dos RSU, deixando assim, de ser destinada às células do aterro. Quando aplicada em escalas maiores, ocorre uma redução do potencial poluidor dos Gases de Efeito Estufa (GEE's), sendo o gás metano emitido no interior dos aterros, resultante de processos anaeróbios de decomposição (DAL BOSCO, 2017).

A compostagem é definida pela NBR 13591 (ABNT, 1996) como sendo o processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, realizado em condições aeróbias e demais parâmetros, mediante da ação de um conjunto diversificado de organismos.

O processo de biodegradação ocorre através da decomposição por microrganismos, acompanhado da mineralização de seus constituintes orgânicos. Os produtos do processo da decomposição são: composto orgânico, gás carbônico (CO₂), calor e água (CAOPMA, 2013).

O composto orgânico gerado é um material rico em húmus e nutrientes minerais, com potencial fertilizante, que pode ser aplicável em canteiros de áreas verdes e eventualmente na agricultura, em função da adequabilidade de suas características a parâmetros de proteção à saúde e ao meio ambiente (BARROS, 2012). O húmus é uma matéria orgânica homogênea,

totalmente bioestabilizada, de cor escura e rica em partículas coloidais que, quando aplicada ao solo, melhora suas características físicas (IBAM, 2001).

A duração total do processo da compostagem pode levar cerca de 120 dias, podendo ser acelerado por meio do uso de diferentes métodos, materiais e tecnologias (BARROS, 2012).

3.3.1.1 Fatores que influenciam na compostagem

Os principais fatores que influenciam a compostagem estão relacionados à atividade microbiológica do processo, destacando-se: temperatura, umidade, aeração, concentração de nutrientes (relação C/N), tamanho das partículas e pH.

3.3.1.1.1 Temperatura

A temperatura é considerada o principal parâmetro indicativo do processo de compostagem (CAOPMA, 2013). É um fator significativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo (FERNANDES; SILVA, 1999).

Por se tratar de um processo onde ocorre, principalmente, reações exotérmicas, o calor gerado no processo da compostagem fica parcialmente retido, elevando a temperatura no interior de seu volume (CAOPMA, 2013). Para que isto ocorra, a leira deve possuir um volume mínimo de 1 m³, sendo que a aeração também influencia no meio de controle da temperatura (FERNANDES; SILVA, 1999).

Os intervalos de temperatura definem as fases da compostagem. O processo tem início à temperatura ambiente, mas à medida que a ação dos microrganismos se intensifica, a temperatura se eleva até atingir valores entre 45 e 65 °C. Essa fase, denominada termófila, é importante para a eliminação de microrganismos patogênicos e sementes de ervas daninhas presentes no material. Temperaturas acima de 70 °C tornam o processo menos eficiente, pois há um decréscimo da atividade microbiológica. Segue-se uma fase de abaixamento da temperatura, até faixas de 35 a 50 °C, onde se dá a bioestabilização da matéria orgânica, seguida pela fase mesófila atingindo valores entre 20 e 40 °C. Por fim, na maturação onde o composto se encontra altamente humificado, a temperatura tende a baixar até se aproximar à do ambiente (CEMPRE, 2018; MASSUKADO, 2008).

3.3.1.1.2 Umidade

O teor de umidade nas leiras de compostagem depende de sua configuração geométrica, porosidade e grau de compactação (CAOPMA, 2013; CEMPRE, 2018).

De acordo com Massukado (2008), o teor de umidade considerado ótimo encontra-se na faixa entre 45 a 55%. Baixos teores de umidade (<40%) restringem a atividade microbológica, enquanto teores elevados (>65%) causam anaerobiose e, portanto, liberação de maus odores. A autora ainda aponta que a fração orgânica dos RSU apresenta, geralmente, umidade de 55%, razão pela qual a compostagem representa uma interessante alternativa para o seu tratamento.

3.3.1.1.3 Aeração

A aeração é uma atividade importante durante o processo de compostagem e tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbológica e atuar como agente de controle de temperatura e de umidade excessiva (MASSUKADO, 2008). Em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem a presença de odores ruins (CEMPRE, 2018). Pode ser executada através dos seguintes processos: manual (reviramento/revolvimento), mecânico ou injeção de ar (CAOPMA, 2013).

Para Fernandes e Silva (1999), durante a compostagem, a leira deve ser revolvida no mínimo três vezes por semana para atender aos seguintes objetivos: aumentar a porosidade do meio, homogeneizar e expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, diminuir o teor de umidade e controlar a temperatura do processo.

3.3.1.1.4 Relação carbono/nitrogênio (C/N)

Os principais nutrientes utilizados pela população microbológica que decompõem a massa de compostagem são:

- Carbono (C): fonte básica de energia para os microrganismos;
- Nitrogênio (N): elemento essencial para a síntese de proteínas.

Ao preparar os resíduos para compostar, deve-se levar em consideração a relação entre os materiais ricos em carbono (C) e os materiais ricos em nitrogênio (N), denominada de relação C/N. Essa relação deve ser atendida para que a compostagem seja desenvolvida de forma

adequada, pois os microrganismos degradam a matéria orgânica somente se houver nitrogênio suficiente para o seu crescimento (MASSUKADO, 2008). Basicamente, resíduos de poda, capina e serragem são materiais ricos em carbono e degradam mais lentamente do que a fração orgânica dos RSU, que são ricos em nitrogênio (CAOPMA, 2013).

Para realizar a compostagem os microrganismos necessitam de uma mistura de matéria abundante em carbono e de pouco nitrogênio, fator crítico que irá caracterizar o equilíbrio dos substratos (FERNANDES; SILVA, 1999). Contudo, há um limite para o excesso de nutrientes: quando se tem uma quantidade muito grande de carbono, a mistura levará mais tempo para se decompor, por outro lado, no excesso de nitrogênio haverá uma liberação de gás amônia, provocando mau cheiro. Nesses casos, se faz o ajuste adicionando o tipo de material faltante, a fim de elevar ou reduzir a relação para níveis satisfatórios (CAOPMA, 2013).

De acordo com as bibliografias consultadas, em geral, a taxa ótima para a relação C/N é de 25 a 40/1, o que influenciará na boa atividade microbológica e na rápida e eficiente degradação da matéria orgânica, e assim, diminuindo o período de compostagem (CAOPMA, 2013; MASSUKADO, 2008; SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

3.3.1.1.5 Tamanho das partículas

Quando a granulometria do material a ser compostado é fina, a área exposta à atividade microbológica é maior, promovendo o aumento das reações bioquímicas, visto que se há uma ampliação na área superficial em contato com o oxigênio (FERNANDES; SILVA, 1999).

De modo geral, o tamanho das partículas deve situar-se entre 2,5 a 7,5 cm, favorecendo a homogeneização da massa de compostagem, a melhoria da porosidade, a redução na compactação e o aumento da capacidade de aeração (CAOPMA, 2013; FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008). Se as partículas forem finas demais, pode ocorrer a compactação do material e se faz necessário utilizar sistemas de ar forçado, ao contrário, se as partículas forem muito grossas, deve-se tritura-las antes da montagem das leiras (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

3.3.1.1.6 pH

O processo de compostagem pode ser desenvolvido sob uma ampla faixa de pH, entre 4,5 e 9,5, caso ocorra valores extremos, os próprios microrganismos ativos farão a autorregulação do sistema (CAOPMA, 2013). Entretanto, deve-se evitar valores de pH muito

baixos ou elevados demais, pois pode ocorrer uma redução ou até uma inibição da atividade microbiológica (FERNANDES; SILVA, 1999).

Fernandes e Silva (1999) afirmam que se a relação C/N da mistura for apropriada, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem.

3.3.1.2 Métodos de compostagem

A compostagem pode ser realizada seguindo diferentes técnicas, como o método de leiras revolvidas, leiras aeradas e sistema fechado ou acelerado. A seleção do método mais adequado irá depender das condições locais, recursos financeiros disponíveis, necessidade de equipamentos e mão de obra, e o nível de segregação dos resíduos coletados (CAOPMA, 2013; FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008).

3.3.1.2.1 Método de leiras revolvidas

No método de leiras revolvidas, ou sistema *windrow*, a mistura de resíduos é disposta em pilhas (forma cônica) ou em leiras (forma prismática) remontadas sobre o solo compactado ou impermeabilizado. A aeração é realizada por meio de revolvimento, manual ou mecânico, e tem como objetivo aumentar a porosidade e melhorar a homogeneidade dos resíduos na leira (CAOPMA, 2013; FERNANDES; SILVA, 1999).

Há uma demanda maior por mão de obra, devido à necessidade de realizar o revolvimento com mais frequência no início do processo, entretanto, sua operação e os equipamentos utilizados são mais simples que nas outras técnicas. Apesar de requerer menor investimento inicial e manutenção, demanda áreas maiores para operação e é dependente de fatores climáticos (MASSUKADO, 2008).

3.3.1.2.2 Método de leiras aeradas

No método de leiras estáticas aeradas, ou *static piles*, as leiras são dispostas sobre uma tubulação perfurada acoplada a um soprador ou exaustor, que injeta ou aspira ar na massa a ser compostada, necessitando de nenhum tipo de revolvimento (MASSUKADO, 2008).

Esse sistema, comparado à técnica anterior, tem um melhor controle de odores, melhor aproveitamento da área disponível, maior eficácia na eliminação de organismos patogênicos e menor tempo para a estabilização do composto. Por outro lado, necessita de um bom

dimensionamento e controle dos aeradores durante a compostagem, além de requerer que o material de entrada seja o mais homogêneo possível (MASSUKADO, 2008).

3.3.1.2.3 Método fechado ou acelerado

O método fechado ou acelerado, também conhecido como *in-vessel*, utiliza dispositivos tecnológicos tais como digestores e bioestabilizadores, oferecendo a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo de compostagem (FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008).

Devido a homogeneidade do meio e controle à temperatura, é tido como o método mais eficiente para a retenção de microrganismos patogênicos. Outra característica dessa alternativa é a maior facilidade para o controle de odores, pois o sistema é fechado e a aeração controlada, além de não depender de fatores climáticos e reduzir o tempo de compostagem (FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008).

É dependente de equipamentos mecânicos, o qual, demanda pouca mão de obra e menor área para sua execução e é empregado geralmente para grandes capacidades de processamento. Para isso, necessita de um maior investimento inicial e caso o sistema for mal dimensionado, os erros são difíceis de serem revertidos (FERNANDES; SILVA, 1999; MASSUKADO, 2008).

3.3.2 Usina de compostagem

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018), as instalações de uma usina, ou central, de compostagem são estruturadas pelos seguintes setores:

- Recepção e expedição: compreende as instalações e os equipamentos de controle de fluxo de entrada (resíduos) e saída (compostos, recicláveis e rejeitos);
- Triagem: é o local onde se faz a separação das diversas frações de resíduo;
- Pátio de compostagem: é a área onde a fração orgânica dos resíduos sofre decomposição microbiológica, transformando-se em composto;
- Beneficiamento e armazenagem: o beneficiamento consiste em peneirar, retirar materiais indesejáveis e reduzir a granulometria do composto curado, tornando-o manuseável para quem for utilizá-lo, seguida de sua armazenagem;
- Aterro de rejeitos;

- Sistema de tratamento de efluentes: trata as águas residuárias da lavagem dos equipamentos da usina e dos veículos, e os líquidos oriundos do pátio de compostagem e do aterro.

As instalações podem variar de acordo com a quantidade de resíduos a ser processada, método utilizado, disponibilidade de recursos humanos e financeiros (MASSUKADO, 2008).

A usina de compostagem só deve processar o resíduo orgânico domiciliar e comercial (restaurantes, lojas e centros comerciais). Pode-se utilizar podas e capinas de canteiros verdes, desde que devidamente triturados. Resíduos da varrição não devem ser utilizados pois são considerados rejeitos (CEMPRE, 2018).

A justificativa em construir usinas de compostagem consiste nas vantagens diretas de saneamento como na redução de aterramento de resíduos e conseqüentemente na menor produção de chorume e GEE's, na recuperação de áreas degradadas e na preservação e conservação dos recursos naturais, bem como os benefícios indiretos, tais como a geração de trabalho e de renda com a produção de um composto de valor agregado (CEMPRE, 2018; IBAM, 2001).

3.4 FERRAMENTA DE ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA GESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS SEPARADOS NA FONTE

A ferramenta de estimativa de custos para gestão de resíduos orgânicos separados na fonte (*Cost Estimating Tool for Managing Source-Separated Organic Waste*, OrganEcs; em inglês) foi desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency*, USEPA; em inglês) sob apoio da Iniciativa Global para o Metano (*Global Methane Initiative*, GMI; em inglês) com o intuito de estimar os custos, receitas e rentabilidade potencial associados a um projeto de gestão de resíduos orgânicos. Ela possui duas edições, sendo uma para estimativa de custos de um projeto hipotético de digestão anaeróbica e a outra para um projeto hipotético de compostagem. Ambas as edições estão disponíveis como uma planilha do Microsoft Excel no *Website* da GMI (USEPA, 2022).

De acordo com o manual da ferramenta da USEPA (2022), a plataforma fornece assistência em nível de planejamento para governos locais, profissionais que atuam na área de gestão de resíduos, operadores de instalações e desenvolvedores de projetos, com o intuito de auxiliá-los a tomar decisões financeiras sobre seus possíveis projetos de gerenciamento de resíduos orgânicos.

Especificamente, a ferramenta auxilia os usuários na determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR), dado as entradas do usuário para um projeto hipotético. As saídas do modelo devem ser vistas como resultados preliminares que podem ser usados para fins de planejamento. Essas estimativas devem ser verificadas por meio de estudos detalhados de viabilidade antes do desenvolvimento do projeto ou por meio da solicitação de licitações de empresas qualificadas (USEPA, 2022).

Para o presente trabalho, utilizou-se o modelo OrganEcs-Compost, versão 3.1, de janeiro de 2022, sendo a interface apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Interface da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1



Fonte: Adaptado de USEPA (2022).

3.4.1 Inserção dos dados

A ferramenta possui abas categorizadas em 6 seções, conforme mostra a Figura 2. As primeiras 4 guias marrons fornecem instruções. Nas 3 guias azuis seguintes se insere os dados. A guia amarela contém valores padrão, os quais se pode alterá-los caso for necessário. A guia preta resume e apresenta os dados de saída da ferramenta. As duas guias cinzas mostraram os resultados e o balanço anual estimado do projeto hipotético, que é usado para determinar a TIR. Por fim, as duas guias verdes contêm suposições e referências.

Figura 2 – Guias da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 categorizadas por diferentes cores

1	Title
2	Contents
3	Background
4	Instructions
5	Facility Inputs
6	Waste Inputs
7	Economic Inputs
8	Default Values
9	Outputs
10	Composting Without Forced Aeration-Low
11	Composting Without Forced Aeration-High
12	Tool Assumptions
13	Sources

Fonte: Adaptado de USEPA (2022).

Para a inserção dos dados, tem-se 3 tipos de cores de células: azuis, amarelas e cinzas. Nas células azuis, se insere os dados de entrada. Nas células amarelas tem-se valores padrão fornecidos automaticamente, podendo alterá-los caso se tenha dados locais disponíveis. E nas células cinzas, contém valores calculados que não podem ser editados.

Algumas células têm uma verificação automática dos dados fornecidos. Caso o valor for incorreto ou houver alguma seleção inválida, a célula ficará vermelha e uma mensagem de erro aparecerá, devendo ser corrigido antes de continuar (USEPA, 2022).

Os dados necessários para a execução da ferramenta OrganEcs-Compost, versão 3.1, serão descritos a seguir.

3.4.1.1 Dados de entrada para a instalação (*Facility Inputs*)

A guia 5 – *Facility Inputs* (vide Figura 2) coleta informações sobre os parâmetros de projeto, construção e operação da instalação (USEPA, 2022). Os dados e as seleções relacionados a essa aba estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados da instalação

INSTALAÇÃO		
	Parâmetro	Opção de entrada
SELEÇÃO DE TECNOLOGIA	Compostagem sem aeração forçada	Selecionar
	Compostagem com aeração forçada	Sim ou Não

OPERAÇÃO	Ano de investimento	Inserir dados em ano(s)
	Período de construção	
	Distância média de ida e volta do centro gerador de resíduos para o aterro sanitário	Inserir dados em km
	Distância média de ida e volta do centro gerador de resíduos para a instalação de gerenciamento dos resíduos orgânicos	
Distância de ida e volta da instalação de gerenciamento dos resíduos orgânicos para o aterro sanitário		
PROJETO	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 1	Inserir dados em %
	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 2	
	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 3 a 20	

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (USEPA, 2022).

De acordo com o manual da ferramenta, as tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos disponíveis na ferramenta podem ser selecionadas separadamente ou conjuntas para comparações de resultados.

Para a operação da instalação, o usuário deve inserir o ano em que começará a construção da instalação, o período de tempo estimado da obra e as distâncias médias de ida e volta da instalação proposta até os geradores de resíduos e do aterro sanitário (USEPA, 2022).

Para o projeto da instalação, o OrganEcs fornece valores padrão que o usuário pode optar por usar ou alterar com base nas porcentagens de composto que se pretender vender a cada ano (USEPA, 2022).

3.4.1.2 Dados de entrada dos resíduos (*Waste Inputs*)

A guia 6 – *Waste Inputs* coleta informações sobre a disponibilidade e as características da matéria-prima de resíduos que se pretende enviar para a instalação (USEPA, 2022). Os dados relacionados a essa aba estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados dos resíduos

GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS		
	Parâmetro	Opção de entrada
MATÉRIA-PRIMA	Resíduos de poda e roçada (gramas, folhas, galhos, etc.)	Inserir dados em t/ano
	Resíduos de alimentos (restos de comidas)	
	Adubo (fezes de animais)	

	Lodo de esgoto	
	Papel misto (jornais, revistas, envelopes, etc.)	
	Papelão ondulado	
	Agente de volume comprado (serragem, lascas de madeira, etc.)	
	Taxa de crescimento dos resíduos	Inserir dado em %

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (USEPA, 2022).

O usuário deve inserir a quantidade, em toneladas (t), de resíduos que serão enviados para a instalação por ano para cada tipo de matéria-prima. Com base nos valores inseridos para cada categoria de resíduos, a ferramenta calcula a razão C/N, bem como a porcentagem de umidade e de sólidos voláteis. Também deve-se inserir a taxa de crescimento dos resíduos ao longo dos anos (USEPA, 2022).

3.4.1.3 Dados de entrada de economia (*Economic Inputs*)

A guia 7 – *Economic Inputs* coleta informações sobre os custos e receitas do projeto. Os preços devem ser inseridos no ano atual e em Dólar dos Estados Unidos (\$), não em moeda local (USEPA, 2022). Os dados e as seleções relacionados a essa aba estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Entradas requeridas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados financeiros

FINANCEIRO		
Custos do projeto	Parâmetro	Opção de entrada
MÃO DE OBRA	Gerente/Engenheiro	Inserir dados em \$/pessoa/ano
	Operador	
	Número total de gerentes/engenheiros	Inserir dados em n° de funcionários em tempo integral
	Número total de operadores	
	Valor da água para processo	Inserir dados em \$/m ³
	Custo de tratamento de efluentes	
	Custo do agente de volume comprado	Inserir dado em \$/t
AQUISIÇÃO DE ENERGIA	Tarifa energia elétrica	Inserir dado em \$/kWh
	Tarifa diesel	Inserir dado em \$/litro
ÁREA DO TERRENO	Compra ou arrendamento de terreno	Escolher uma das opções
	Preço de compra	Inserir dado em \$/ha

	Preço de arrendamento	Inserir dado em \$/ha/ano
CAPITAL ESTIMADO E CUSTO COM EQUIPAMENTOS	Custo da infraestrutura do local	Inserir dados em \$
	Custos de equipamentos	
	Valor residual dos equipamentos (após total depreciação)	
Receitas do projeto	Parâmetro	Opção de entrada
OPERAÇÕES DA INSTALAÇÃO	<i>Gate fee</i> – Resíduos de poda e roçada	Inserir dados em \$/t
	<i>Gate fee</i> – Resíduos de alimentos	
	<i>Gate fee</i> – Adubo/Lodo	
	<i>Gate fee</i> – Papel/Papelão	
	Taxa de descarte de aterro evitado	
	Taxa de descarte de resíduos	
	Taxa de transporte	Inserir dado em \$/t/km
PRODUTO FINAL	Preço de mercado do composto	Inserir dado em \$/t
INFLAÇÃO E IMPOSTOS	Taxa de inflação – Geral	Inserir dados em %
	Taxa de inflação – Taxa de descarte e <i>Gate fee</i>	
	Taxa de inflação – Eletricidade e combustível	
	Taxa de inflação – Composto, digestão e agente de volume	
	Imposto pago sobre lucros brutos	
	Imposto sobre valor agregado (IVA)	
FINANCIAMENTO	Subsídio de financiamento	Inserir dado em \$
	Retorno de capital	Inserir dado em anos
	Dívida percentual (% do projeto financiado por dívida)	Inserir dados em %
	Percentual de patrimônio (% do projeto financiado por meio de patrimônio)	
	Taxa de juros anual – Dívida de curto prazo	
	Taxa de juros anual – Dívida de longo prazo	
	Prazo (tempo restante para pagar o empréstimo) – Dívida de curto prazo	Inserir dados em anos
	Prazo (tempo restante para pagar o empréstimo) – Dívida de longo prazo	
	Usar dívida/patrimônio para financiar compra de novos equipamentos de compostagem no fim da vida útil?	Selecionar Sim ou Não
		Método de depreciação

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (USEPA, 2022).

Conforme indicado no manual da ferramenta, o custo de mão de obra deve incluir o salário base e quaisquer benefícios fornecidos (USEPA, 2022).

As receitas do projeto são provenientes das operações da instalação e produtos finais vendáveis, valores específicos do local para inflação e impostos e informações sobre o financiamento do projeto. Na seção Operações da Instalação, o termo *gate fee* representa a taxa por tonelada que a instalação cobrará para receber cada componente de resíduo orgânico. (USEPA, 2022).

A taxa de inflação – geral se aplica a mão de obra, água, manutenção, custo de locação e como taxa de valorização para terrenos adquiridos (USEPA, 2022).

3.4.1.4 Valores padrão (*Default Values*)

A guia 8 – *Default Values* exibe os dados utilizados para cálculos na ferramenta OrganEcs consultados a partir de diferentes fontes (USEPA, 2022). A plataforma indica mantê-los como valores padrão ou inserir dados de instalações locais quando disponíveis.

Nessa aba incluem-se informações sobre o número de dias de operação por ano, o requerimento de terra e a demanda de eletricidade e combustível para a instalação proposta. Também contém informações específicas sobre o processo de digestão anaeróbica, incluindo resíduos primários e finais e a produção de composto como porcentagem da matéria-prima recebida. E ainda, informações específicas sobre os custos de operação e manutenção da instalação (USEPA, 2022).

3.4.1.5 Dados de saída (*Outputs*)

A guia 9 – *Outputs* apresenta informações básicas sobre o projeto com base nos valores inseridos nas guias anteriores. Nela é gerado tabelas e gráficos contendo receitas, despesas e o lucro bruto projetados ao longo do tempo para cada tipo de tecnologia selecionada.

A ferramenta traz em seu manual de usuário algumas definições para alguns termos financeiros que são gerados nos dados de saída, apresentados a seguir.

O programa considera a Taxa Interna de Retorno (TIR) como a taxa anual de crescimento que se espera que um investimento gere. A TIR é utilizada para estimar a rentabilidade de potenciais investimentos. A TIR pode ser calculada definindo o valor presente líquido (VPL) igual a zero, conforme a equação 1 (USEPA, 2022).

$$0 = VPL = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t} - C_0 \quad (1)$$

Sendo:

C_t = Entrada líquida de caixa durante o período t ;

C_0 = Custos totais de investimento inicial;

TIR = Taxa interna de retorno;

t = número de períodos.

Uma TIR alvo típica para um projeto de infraestrutura pode variar entre 9% e 15%. Se a TIR para o projeto de compostagem estiver fora dessa faixa, deve-se certificar de que a relação despesas/receitas seja razoável para retornar uma TIR mais aceitável (USEPA, 2022).

A depreciação é um método contábil de alocação do custo de um ativo tangível ou físico ao longo de sua vida útil ou expectativa de vida. A depreciação representa quanto do valor de um ativo foi usado (USEPA, 2022).

O lucro antes de juros e impostos (*Earnings Before Interest and Taxes*, EBIT; em inglês), também conhecido como lucro operacional, é usado para analisar o desempenho das operações principais de uma empresa sem que os custos da estrutura de capital e as despesas tributárias afetem o lucro, calculado a partir da equação 2 (USEPA, 2022).

$$EBIT = Receita - Custos das mercadorias vendidas - Despesas operacionais \quad (2)$$

O lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (*Earnings Before Interest, Taxes, and Depreciation, and Amortization*, EBITDA; em inglês) é uma métrica de lucratividade corporativa que exclui as despesas associadas à dívida, adicionando despesas de juros e impostos aos lucros, conforme a equação 3. O EBITDA mostra o lucro antes da influência das deduções contábeis e financeiras (USEPA, 2022).

$$EBITDA = Lucro operacional + Despesa de depreciação + Despesa de amortização \quad (3)$$

Já o lucro antes de juros após impostos (*Earnings Before Interest After Taxes*, EBIAT; em inglês) mede a capacidade de uma empresa de gerar receita de suas operações para o período examinado considerando os impostos e assim fornecendo uma visão precisa das finanças de uma empresa. O EBIAT revela quanto dinheiro uma empresa tem disponível para pagar suas dívidas, calculado a partir da equação 4 (USEPA, 2022).

$$EBIAT = EBIT \times (1 - Taxas de impostos) \quad (4)$$

3.4.1.6 Tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos

Existem duas abas cinzas (guias 10 e 11): uma para projetos que operam a compostagem sem aeração forçada e outra para projeto que operam a compostagem com aeração forçada. Em ambas, as planilhas demonstram resultados e o balanço anual estimados do projeto hipotético, que de acordo com o manual, é usado para determinar a TIR, taxa em que os fluxos de caixa do projeto se equilibram com o investimento inicial.

É gerado também planilhas contendo os custos e receitas estimados do projeto, cronogramas de dívidas, juros, depreciação e outras informações importantes. Essas guias calculam várias medidas de fluxo de caixa, lucro, pagamentos de dívidas e despesas, seguindo metodologias e padrões contábeis geralmente aceitos (USEPA, 2022).

As guias cinzas mostram também ao usuário os lucros e perdas consolidados estimados do projeto, depreciação, fluxo de caixa operacional e pagamentos de empréstimos ao longo da vida útil do projeto (USEPA, 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Erechim está localizado no estado do Rio Grande do Sul na região do Alto Uruguai e possui uma área territorial de 429,164 km² (IBGE, 2021). Na Figura 3 pode-se observar a localização geográfica do município de Erechim – RS.

Figura 3 – Mapa de localização do município de Erechim – RS



Fonte: Rodrigues (2006).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a população estimada da cidade de Erechim para o ano de 2021 era de 107.368 habitantes, podendo ser classificado como um município de médio porte (RIO GRANDE DO SUL, 2014). A população do município encontra-se altamente concentrada na área urbana, correspondendo a 94,24% dos habitantes (IBGE, 2021).

4.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Considerando os objetivos deste trabalho, o presente estudo consiste em uma pesquisa aplicada de caráter descritivo, pois envolve o levantamento e análise de dados primários e secundários sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Erechim – RS, seguida do tratamento desses dados com a finalidade de analisar a viabilidade para obter o custo de implantação da usina de compostagem (GIL, 2022).

Esses elementos foram analisados por meio de uma abordagem quantitativa, a qual busca traduzir as informações em números para que seja possível classificá-los e avaliá-los (SORDI, 2017). Ou seja, caracterizar numericamente a coleta e registro das informações para posterior análise da alternativa operacional para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

4.3 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica visando à compreensão dos assuntos envolvidos no tema escolhido, permitindo maior embasamento teórico e a obtenção de subsídios para posteriores proposições. Essa pesquisa foi feita por meio de consulta a livros, artigos científicos, teses, normas e legislações.

Como ponto de partida, a metodologia de pesquisa consistiu pela busca de informações a partir das seguintes palavras-chave: “gestão de resíduos sólidos urbanos”, “tratamento de resíduos orgânicos”, “compostagem”, “usina de compostagem” e “central de triagem e compostagem”. Para isso, utilizou-se duas bases de dados: Google Acadêmico e SciELO, no período de 15 anos até a data de junho de 2022. Em relação a ferramenta utilizada no presente trabalho, não foi encontrado referências relacionadas a palavra-chave “OrganEcs”.

Este trabalho tem como foco o município de Erechim – RS e foi efetuado uma investigação e coleta de dados sobre a situação em que o município se encontra quanto à geração, acondicionamento, coleta e destinação final aos seus RSU. Para isso, inicialmente foi utilizado o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) – Modalidade Resíduos Sólidos Urbanos do município (ERECHIM, 2012) e posteriormente foram solicitadas informações à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Erechim visando uma análise mais detalhada da atual gestão e geração dos RSU da cidade.

Após as etapas descritas, para obter os custos de implantação da usina de compostagem utilizou-se a ferramenta OrganEcs-Compost, versão 3.1 (USEPA, 2022), que forneceu uma estimativa de custos e despesas operacionais quanto a instalação da usina de compostagem, com base nos dados coletados sobre as condições sanitárias e custos locais.

4.3.1 Obtenção dos dados para aplicação na ferramenta OrganEcs

Primeiramente analisou-se as duas tecnologias disponíveis na ferramenta OrganEcs-Compost, versão 3.1: compostagem com aeração forçada e compostagem sem aeração forçada, a fim de compará-las economicamente.

Em relação a operação da instalação (*facility inputs*), o período de construção da instalação considerado foi de 1 ano, valor mínimo exigido pela ferramenta.

As distâncias médias de ida e volta foram medidas utilizando o *software* Google Maps, desde o centro da cidade até o aterro sanitário de Erechim, localizado no Povoado de São Luiz, na zona rural do município. Conforme consta no PMSB (ERECHIM, 2012), o local possui uma

área destinada para implantação de uma Unidade de Compostagem, a qual foi considerada para o presente trabalho.

No que se refere a disponibilidade e as características da matéria-prima que se pretende enviar para a instalação (*waste inputs*), utilizou-se informações referentes a quantidade de resíduos orgânicos coletados pelo município através de dados fornecidos pela SMMA de Erechim, os quais serão descritos no item 5.1 dos resultados e discussão. Considerou-se também a obtenção do agente de volume comprado (serragem) através de doação de serrarias.

Em relação aos valores de adubo, lodo de esgoto, papéis e papelão, considerou-se 0. Uma vez que o adubo já é utilizado pelos próprios produtores rurais, o município não possui uma estação de tratamento de esgoto para obter-se o lodo e sobre resíduos de papéis e papelão, os mesmos já são utilizados nas associações de reciclagem.

A taxa de crescimento dos resíduos foi determinada considerando a taxa de crescimento populacional do município. Para isso utilizou-se a equação 5, referente a taxa de crescimento médio (r) para um intervalo de tempo de n anos, que leva em conta a população inicial (P_0) e a população no ano n (P_n). Utilizou-se dados do IBGE (2021), levando em conta a população estimada para o ano de 2021 (107.368 habitantes) e a população no último censo de 2010 (96.087 habitantes).

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \quad (5)$$

Sendo:

P_n = População no ano n ;

P_0 = População inicial;

r = taxa de crescimento populacional médio;

n = intervalo de tempo analisado.

Para aplicar os dados econômicos – custos, receitas e financiamento (*economic inputs*) utilizou-se o conversor de moedas do Banco Central do Brasil (BCB, 2022) para fazer as conversões de Real (BRL) para Dólar dos Estados Unidos (USD) a fim de aplicá-los na ferramenta, uma vez que as entradas devem estar em Dólar.

Em relação aos dados de custos do projeto, sobre o valor para empregar engenheiros e operadores utilizou-se os editais de processo seletivo para concurso disponíveis no site da prefeitura do município (ERECHIM, 2022). Utilizou-se esses valores como base para a estimativa de custos com mão de obra, além disso acrescentou-se 80% do valor como encargos trabalhistas e considerou-se 220 dias de trabalho para o custo anual.

Estabeleceu-se para o número de funcionários: 1 engenheiro e 5 operadores, sendo 2 motoristas e 3 auxiliares de operação da usina de compostagem.

A respeito do valor da água, utilizou-se o sistema tarifário disponível no site da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN, 2022), considerando a tarifa empresarial pública. Em relação ao tratamento das águas residuárias, empregou-se o custo como 0, pois o local conta com um sistema de tratamento do chorume gerado pelo aterro sanitário e poderia ser utilizado em conjunto para tratar os resíduos gerados pela compostagem.

Os custos para obtenção da serragem, uma vez obtidos por doação, levariam em conta somente o custo para transportá-lo até o local. Para isso, considerou-se a carga de um caminhão caçamba basculante com capacidade de 8 toneladas, com uma média de consumo de diesel de 3 km/l e percorrendo uma distância de ida e volta de 20 km.

No que se refere às despesas com energia, o preço da energia elétrica foi consultado no site da concessionária Rio Grande Energia (RGE, 2022) e utilizou-se a tarifa referente a serviço público de irrigação. Já o preço do diesel foi consultado no site da Petrobras (2022).

Os custos de compra e arrendamento de terreno não foram considerados, uma vez que o local apontado para a implantação do projeto é da própria prefeitura do município.

Quanto aos custos da infraestrutura do local, considerou-se a impermeabilização da base através da construção de um piso de concreto magro. O valor para cada m² de concreto magro foi obtido através da tabela do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI, 2022). A área considerada para a central de compostagem foi de 4,5 ha (45.000 m²), valor obtido através de um dos resultados fornecidos pela ferramenta.

Também foi considerado para a infraestrutura do local a construção de um pavilhão pré-moldado de concreto coberto, a fim de acondicionar os equipamentos, o composto gerado e a execução da triagem dos resíduos recebidos.

Em relação aos custos de equipamentos, considerou-se a aquisição de 2 caminhões caçamba basculante, 2 aeradores e 1 triturador, os valores de compra foram estimativos. O valor residual foi indicado como 0, considerando 100% de depreciação após a vida útil dos equipamentos.

Quanto às taxas de inflação, buscou-se esses valores no site do IBGE (2022) considerando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

O método de depreciação considerado foi o Linear, o qual é feita a divisão do custo dos bens pela vida útil da instalação (USEPA, 2022).

A aba de financiamento da ferramenta não foi utilizada, o valor obtido sobre o custo de implantação da usina de compostagem foi admitido como um investimento por parte da administração da prefeitura do município para a elaboração e execução do empreendimento.

4.3.2 Análise da viabilidade econômica

Para a realização da análise da viabilidade econômica quanto a implantação da usina de compostagem no município de Erechim – RS, elaborou-se primeiramente três cenários em relação a receita do projeto.

O cenário I não considera a venda do composto gerado através da operação da usina de compostagem, sendo o mesmo totalmente doado ou utilizado no ajardinamento, arborização de logradouros públicos, ou ainda utilizado no horto municipal, desde que esteja de acordo com as especificações referentes a fertilizantes orgânicos.

O cenário II e III consideram a venda de 80% do total gerado de composto através da operação da usina de compostagem e a doação ou aplicação dos outros 20%, porém em distintas formas de venda para cada cenário. Os cenários consideram o percentual de composto vendido no ano 1 operacional correspondente a 20% da produção total, no ano 2 a 60% e nos anos 3 a 20 a 80%.

Em relação ao tipo de venda em cada cenário, o segundo cenário (II) considera a venda a granel, por tonelada, do composto gerado, enquanto o terceiro cenário (III) considera a venda por varejo, podendo ser embalagens de 2 kg, 15 kg, 50 kg ou conforme a demanda do mercado. Os preços de venda do composto foram obtidos através do site da empresa MF Rural – Mercado Físico Rural (MFRURAL, 2022a, 2022b).

A segunda investigação feita para a análise de viabilidade econômica, foi comparar os custos quanto a construção e operação da usina de compostagem de ambos os cenários com os custos da atual disposição final dos resíduos orgânicos do município de Erechim – RS, ao longo dos anos.

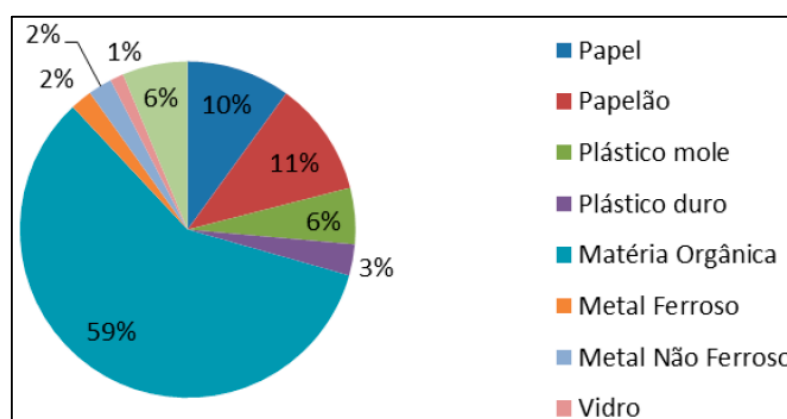
Para isso, utilizou-se os dados fornecidos pela SMMA do município e aplicou-se o valor da taxa de crescimento obtida a partir da equação 5 para considerar o aumento anual de gastos. Os custos de construção e operação da usina de compostagem foram obtidos a partir das saídas geradas pela ferramenta OrganEcs.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS

O município de Erechim – RS conta com um estudo elaborado sobre a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares realizados na zona urbana do município no ano de 2001 presente no PMSB (ERECHIM, 2012), demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Representação da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de Erechim – RS



Fonte: Adaptado de Erechim (2012).

De acordo com os dados apresentados na Figura 4, tem-se que 59% dos resíduos domiciliares são compostos de material orgânico, passíveis de compostagem. Já os materiais recicláveis secos representam aproximadamente 35% (ERECHIM, 2012).

Através de dados fornecidos pela SMMA do município, no ano de 2021 foi coletado cerca de 24.400 toneladas de resíduos domiciliares, baseado nas pesagens dos caminhões da empresa privada que realiza a coleta na cidade e considerando 26 dias de coleta por mês. Contando com uma estimativa que as associações de recicladores recuperam cerca de 35% da coleta seletiva conforme consta no PMSB, tem-se cerca de 8.540 toneladas de resíduos secos e 15.860 toneladas de resíduos orgânicos coletados anualmente.

Com isso, cerca de 78 toneladas de resíduos domiciliares são coletadas diariamente no município, e dessa quantidade, aproximadamente 51 toneladas são de resíduos orgânicos, passíveis de compostagem.

Ainda de acordo com a SMMA, não se tem dados referentes a resíduos de poda, capina e roçada, uma vez que o município não realiza a pesagem dos mesmos.

5.1.1 Gastos com a atual disposição final dos RSU do município

Através dos dados fornecidos pela SMMA do município, obteve-se o gasto quanto a disposição final dos resíduos orgânicos e de rejeitos coletados na cidade, onde atualmente os mesmos são enviados ao aterro sanitário do município de Ipumirim – SC.

Conforme a SMMA, o gasto no primeiro semestre de 2022 foi de R\$ 655.472,93 com transporte e de R\$ 1.134.348,76 com a disposição final do aterro.

A partir dessas informações, pode-se estimar que anualmente é gasto cerca de R\$ 3.579.643,38 quanto ao envio e acondicionamento dos RSU no aterro sanitário.

5.2 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA USINA DE COMPOSTAGEM PARA O MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS

5.2.1 Parâmetros utilizados como entradas na ferramenta OrganEcs para obtenção do custo de implantação da usina de compostagem

A tecnologia de compostagem sem aeração forçada forneceu dados irregulares por exigir maior quantidade de resíduos de poda e roçada do que resíduos de alimentos, o qual não condiz com os resíduos gerados pelo município em análise. Portanto, considerou-se para o presente trabalho somente a tecnologia de compostagem com aeração forçada.

A distância média de ida e volta obtida do centro da cidade até o aterro sanitário e da possível área de implantação do projeto foi de 20 km, além disso, estipulou-se a distância média entre os dois locais de 200 m por estarem situados no mesmo terreno.

Um resumo dos parâmetros utilizados como entradas na ferramenta OrganEcs referentes à instalação, bem como as fontes consultadas para a obtenção dos dados, então dispostas a seguir na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação à instalação

INSTALAÇÃO			
	Parâmetro	Valor de entrada	Fonte
OPERAÇÃO	Distância média de ida e volta do centro gerador de resíduos para o aterro sanitário	20,0 km	Erechim (2012); Google Maps (2022)
	Distância média de ida e volta do centro gerador de resíduos para a	20,0 km	

	instalação de gerenciamento dos resíduos orgânicos		
	Distância de ida e volta da instalação de gerenciamento dos resíduos orgânicos para o aterro sanitário	0,2 km	
	Período de construção	1 ano	-
PROJETO	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 1	20%	
	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 2	60%	-
	Percentual de composto que a instalação pretende vender a cada ano – Ano 3 a 20	80%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme discutido anteriormente no item 5.1, a quantidade de resíduos orgânicos gerados pelo município anualmente é de 15.860 toneladas, os quais foram considerados como resíduos de alimentos para aplicá-los na ferramenta.

Com base nos valores inseridos para cada categoria de resíduos, o programa calculou automaticamente a relação C/N e a porcentagem de umidade. Para que a compostagem na instalação seja desenvolvida de forma adequada, a ferramenta requer valores dentro dos intervalos de 25 a 35% para relação C/N e de 50 a 65% para a porcentagem de umidade.

Por haver somente dados de resíduos de alimentos, que são ricos em nitrogênio, estipulou-se valores para resíduos de poda e roçada e de agente de volume comprado (serragem), que são ricos em carbono, no valor de 3000 toneladas para cada. Os resíduos de poda e roçada podem ser adquiridos através dos serviços realizados pela própria prefeitura e a serragem pode ser adquirida através de doações de serrarias.

Com esses valores, a ferramenta deu como resposta de 25,51% para relação C/N e 62% de umidade, números considerados aceitáveis ao verificar-se com as referências examinadas nos itens 3.3.1.1.2 e 3.3.1.1.4 da revisão bibliográfica.

A taxa de crescimento populacional calculada resultante foi de 1,01%, a qual foi considerada proporcionalmente à taxa de crescimento dos resíduos gerados ao longo dos anos, para a aplicação na ferramenta.

Um resumo dos parâmetros utilizados como entradas na ferramenta OrganEcs referentes às características dos resíduos, bem como as fontes consultadas para a obtenção dos dados, estão dispostas a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos resíduos, e os valores de saída

GRAVIMETRIA DOS RESÍDUOS			
	Parâmetro	Valor de entrada	Fonte
MATÉRIA-PRIMA	Resíduos de poda e roçada	3.000 t/ano	Estipulado
	Resíduos de alimentos	15.860 t/ano	SMMA de Erechim (2022)
	Agente de volume comprado (serragem)	3.000 t/ano	Estipulado
	Taxa de crescimento dos resíduos	1,01%	IBGE (2021)
		Parâmetro	Valor de saída
	Relação C/N	25,51%	
	Umidade	62,00%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo de operação obtido para um engenheiro/gerente foi de R\$ 7.063,38 e para um operador foi de R\$ 2.087,57, ambos para uma jornada de 40 horas semanais. Com a adição de 80% de encargos sociais, o custo anual resultante considerado para empregar um engenheiro/gerente foi de R\$ 152.569,00 e para cada operador foi de R\$ 45.091,51.

O custo resultante para obtenção da serragem foi de aproximadamente R\$ 49,71 para transportar 8 toneladas de serragem até o local, sendo assim, custaria R\$ 6,21 para transportar cada tonelada da matéria prima.

As tarifas de energia obtidas foram de R\$ 402,54/MWh para energia elétrica (referência de 22 de junho de 2022) e de R\$ 7,42 para o diesel, na data de 24 de julho de 2022 para o estado do RS. O custo de água obtido foi de R\$ 7,15/m³.

Em relação a infraestrutura do local, obteve-se o valor de R\$ 82,14 para cada m² de concreto magro com uma espessura de 15 cm, resultando em um valor total de R\$ 3.696.300,00 para impermeabilizar 4,5 ha do local da compostagem. O pavilhão pré-moldado coberto foi estimado em um valor de R\$ 500.000,00.

O conjunto de equipamentos necessários para a instalação foi estimado em um valor de R\$ 1.030.000,00, considerando 2 caminhões caçamba basculante (R\$ 450.000,00 cada), 2 aeradores (R\$ 50.000,00 cada) e 1 triturador (R\$ 30.000,00).

O preço de mercado do composto considerado no Cenário I foi de R\$ 0,00. Para o Cenário II, foi obtido através da fonte consultada o valor de R\$ 170,00/t e para o Cenário III foi obtido o valor de R\$ 1,00/kg.

A taxa de inflação geral considerada foi de 0,67% e a taxa de inflação para eletricidade e combustível considerada foi de 5,77%. Para a taxa de inflação referente a composto, digestão

e agente de volume (serragem), considerou-se a taxa para madeira e taco de 0,0139%. Ambas as taxas referentes a data de junho de 2022, conforme a fonte consultada.

Determinou-se o valor de 30% de impostos pagos sobre os lucros brutos do projeto, considerando o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o Programa de Integração Social e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (PIS/COFINS) e o IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados).

Um resumo dos parâmetros utilizados como entradas na ferramenta OrganEcs referentes aos dados financeiros, bem como as fontes consultadas para a obtenção dos dados, estão dispostas a seguir na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados utilizados como entrada para execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 com relação aos dados econômicos da instalação

FINANCEIRO			
Custos do projeto	Parâmetro	Valor de entrada	Fonte
MÃO DE OBRA	Gerente/Engenheiro	R\$ 152.569,00	Erechim (2022)
	Operador	R\$ 45.091,51	
	Número total de gerentes/engenheiros	1	Estipulado
	Número total de operadores	5	
	Valor da água para processo	R\$ 7,15/m ³	Corsan (2022)
	Custo do agente de volume comprado	R\$ 6,21/t	Petrobras (2022)
AQUISIÇÃO DE ENERGIA	Tarifa energia elétrica	R\$ 0,402/kWh	RGE (2022)
	Tarifa diesel	R\$ 7,42/l	Petrobras (2022)
CAPITAL ESTIMADO E CUSTO COM EQUIPAMENTOS	Custo da infraestrutura do local	R\$ 4.196.300,00	SINAPI (2022)
	Custos de equipamentos	R\$ 1.030.000,00	Estipulado
Receitas do projeto	Parâmetro	Valor de entrada	Fonte
PRODUTO FINAL	Preço de mercado do composto	R\$ 0,00/t – Cenário I	MFRural (2022a, 2022b)
		R\$ 170,00/t – Cenário II	
		R\$ 1000,00/t – Cenário III	
INFLAÇÃO E IMPOSTOS	Taxa de inflação – Geral	0,67%	IBGE (2022)
	Taxa de inflação – Eletricidade e combustível	5,77%	
	Taxa de inflação – Composto, digestão e agente de volume	0,0139%	

	Imposto pago sobre lucros brutos	30,00%	Brasil (2022b); Junior (2019); Souza (2018)
DEPRECIACÃO	Método de depreciação	Linear	USEPA (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A ferramenta também dispõe de dados padrões (*default values*) referentes às operações na instalação, os quais foram mantidos para o presente trabalho, dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores padrão referentes às operações na instalação estabelecidos na ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 e utilizados no presente trabalho

VALORES PADRÃO		
	Parâmetro	Valor
OPERAÇÃO DA INSTALAÇÃO	Dias de funcionamento por ano	310 dias/ano
	Requerimento de terra	0,0002 ha/t
	Demanda de energia elétrica	4,0 kWh/t
	Demanda de combustível	7,5 l/t
	Resíduos de triagem primária (% da matéria-prima recebida)	10,0%
	Produção de composto (% da matéria-prima recebida)	30,0%
	Resíduos de triagem final (% da matéria-prima recebida)	10,0%
CAPEX DA INSTALAÇÃO	Contingência do custo de capital (% do Capex)	10,0%
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M) DA INSTALAÇÃO	Custo de manutenção (% do Capex)	2,0%
	Seguros (% do Capex)	1,0%
	Serviços e suprimentos externos (% da O&M antes da contingência)	2,0%
	Contingência do custo de O&M (% da O&M)	10,0%

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (USEPA, 2022).

5.2.2 Dados de saída da ferramenta OrganEcs sobre o custo de implantação da usina de compostagem

A partir dos dados de entrada aplicados, a ferramenta forneceu como saída o valor do investimento estimado para o projeto, apresentado na Tabela 8. Esse valor considera os custos com a infraestrutura e os equipamentos, além de uma contingência para cobrir certas incertezas e riscos dessa estimativa de custo.

Tabela 8 – Custo de capital do projeto obtido a partir das respostas geradas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1

CUSTO DE CAPITAL DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
Parâmetro	Valor (R\$)
Custo da infraestrutura do local	4.196.300,00
Custos de equipamentos	1.030.000,00
Contingência	522.000,65
Investimento inicial	R\$ 5.748.300,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, verifica-se que o custo do investimento inicial para a implantação da usina de compostagem utilizando aeração forçada para a cidade de Erechim-RS é de um valor estimado de R\$ 5.748.300,65.

Através desse valor, o município pode fazer uma análise e verificar se há necessidade ou não de realizar um financiamento, podendo, por exemplo, enquadrar-se em um programa de financiamento para setores públicos do governo federal, como o Programa Saneamento para Todos da Caixa Econômica Federal (CEF, 2022).

Além do custo necessário de investimento inicial, a ferramenta forneceu outras informações referentes à instalação da usina de compostagem, apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características da instalação de compostagem obtidas a partir das respostas geradas pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1

CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
Parâmetro	Valor
Total de resíduos recebidos no Ano 1 de operação	21.860 t/ano = 71 t/dia
Capacidade de projeto	26.726 t/ano = 86 t/dia
Área total requerida	4,5 ha = 45.000 m ²
Vida útil	20 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O total de resíduos recebidos no Ano 1 de operação são referentes aos dados de entradas do total de resíduos considerados, sendo a vida útil da instalação avaliado pela ferramenta de 20 anos. A partir do dado de entrada sobre o crescimento dos resíduos ao longo dos anos, a ferramenta forneceu a capacidade de projeto da instalação em receber esses resíduos, além da área necessária para executar a compostagem dessa quantidade, ao longo do período de tempo útil da instalação.

No Apêndice A, apresenta-se a planilha completa das despesas operacionais para implantação do sistema de compostagem com aeração forçada de resíduos sólidos urbanos com 20 anos de vida útil. Nela são apresentados os dados gerados pela ferramenta OrganEcs em relação às despesas totais para cada ano operacional, considerando-se os custos de energia elétrica, diesel, mão de obra, transporte de serragem, manutenção, seguro, serviços externos e suprimentos e a contingência. Essas despesas são as mesmas para os três cenários em análise.

Nos Apêndices B e C, apresenta-se as planilhas completas do fluxo de resíduos do sistema de compostagem com aeração forçada de resíduos sólidos urbanos com 20 anos de vida útil. Nela são apresentados os dados gerados pela ferramenta OrganEcs em relação às entradas de resíduos na instalação crescendo a uma taxa constante ao longo dos anos (vide valor na Tabela 5). O programa considera que parte desses resíduos passarão por uma triagem primária e a outra parte será processada e transformada em composto, sendo que durante esse processo de compostagem também será gerado outros resíduos que passarão em uma triagem final. A soma dos resíduos de triagem primária e final é considerada como resíduos (rejeitos) que serão enviados para o aterro sanitário, os resíduos que foram processados e transformados no composto final são considerados como resíduos desviados do aterro. A ferramenta também apresenta a quantidade de composto vendido e de composto doado, sendo que para o cenário I (Apêndice B) todo o composto produzido é considerado como doação. Para os cenários II e III (Apêndice C) uma parte do composto produzido é vendido e outra parte é doada conforme as porcentagens que foram consideradas na Tabela 7.

5.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DA INSTALAÇÃO PROPOSTA PARA O MUNICÍPIO DE ERECHIM – RS

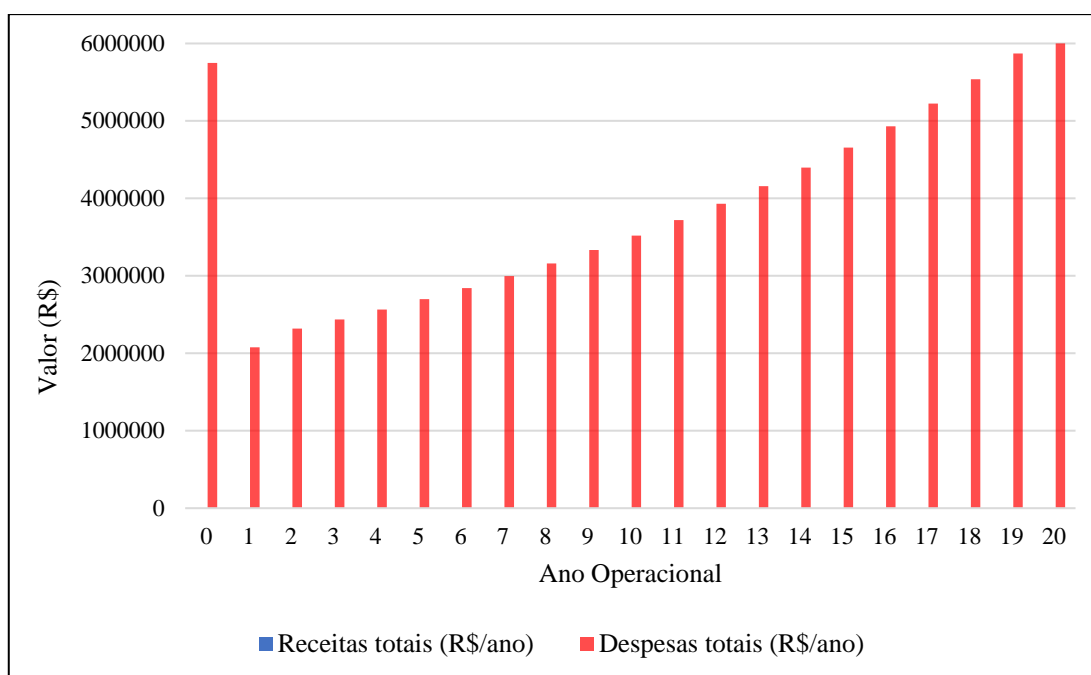
A partir do preço de venda considerado para cada cenário, a ferramenta OrganEcs gerou como resposta o fluxo de caixa operacional e a taxa interna de retorno (TIR) do empreendimento.

Nos Apêndices D, E e F apresenta-se as planilhas completas do fluxo de caixa operacional do sistema de compostagem com aeração forçada de resíduos sólidos urbanos com 20 anos de vida útil. Nela são apresentados os dados gerados pela ferramenta OrganEcs sobre as receitas, as despesas, os lucros, a depreciação, as taxas de impostos e o fluxo de caixa em cada ano operacional. Nas despesas totais, é considerado a soma de todos os custos conforme apresentado no Apêndice A. A ferramenta calcula o custo dos produtos vendidos (CPV) considerando a soma de todos os custos, como nas despesas totais, pela diferença da

contingência e nele é somado também a depreciação. O lucro bruto é gerado a partir da diferença entre a receita total e o CPV, enquanto o EBITDA é gerado pela diferença entre a receita total e as despesas totais. O EBIT é a diferença entre o EBITDA e a depreciação, enquanto o EBIAT é a soma do EBIT com as taxas de impostos. E com isso, é gerado o fluxo de caixa operacional, que na planilha é considerado como a soma do EBIAT com a depreciação.

No cenário I foi considerado a doação de todo o composto gerado pela instalação, tendo nenhuma venda de produto (Receita = 0). Com isso, a ferramenta OrganEcs gerou um fluxo de caixa operacional somente com as despesas do empreendimento, podendo ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxo de caixa operacional do Cenário I desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1

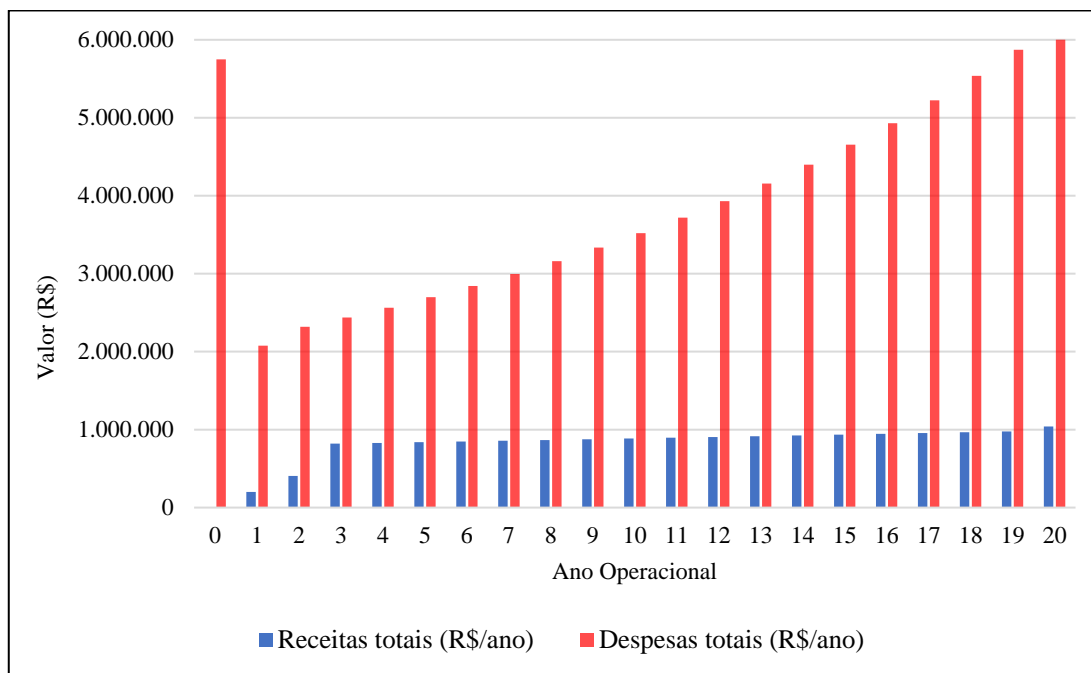


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme demonstra a Figura 5, o ano 0 é o valor do investimento inicial da instalação e os anos 1 a 20 são as despesas totais anuais. Desse modo, a ferramenta não gerou uma TIR e, portanto, para o cenário I o empreendimento não é viável economicamente. O detalhamento do fluxo de caixa desse cenário está demonstrado no Apêndice D.

No cenário II foi considerado a venda da maior parte do composto gerado pela instalação, sendo a comercialização do produto na forma a granel no valor de R\$ 170,00/t. Com isso, a ferramenta OrganEcs gerou um fluxo de caixa operacional com as receitas e despesas do empreendimento, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Fluxo de caixa operacional do Cenário II desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1

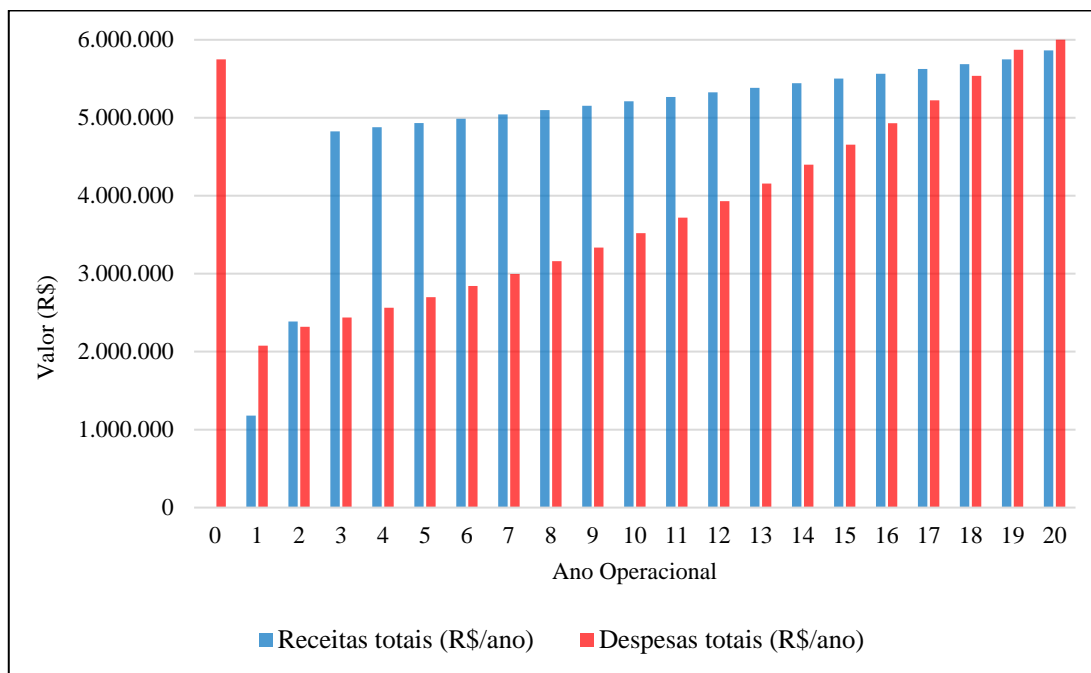


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar o gráfico, percebe-se que as despesas são superiores às receitas do empreendimento e conseqüentemente, a ferramenta não gerou uma TIR. Portanto, para o cenário II o empreendimento também não é viável economicamente. O detalhamento do fluxo de caixa desse cenário está demonstrado no Apêndice E.

Por fim, no cenário III também foi considerado a venda da maior parte do composto gerado pela instalação, porém a comercialização do produto foi estabelecida na forma de varejo no valor de R\$ 1,00/kg. Com isso, a ferramenta OrganEcs gerou um fluxo de caixa operacional com as receitas e despesas do empreendimento, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Fluxo de caixa operacional do Cenário III desenvolvido a partir dos dados de saída da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para esse último cenário em análise, a ferramenta gerou uma TIR de 13%. Isso significa que o empreendimento poderá gerar um retorno financeiro de 13% ao longo dos 20 anos considerados como vida útil da instalação. A faixa considerada típica para um projeto de infraestrutura de compostagem pela ferramenta OrganEcs (USEPA, 2022) é de 9% a 15%, portanto o valor obtido é apropriado economicamente. O detalhamento do fluxo de caixa desse cenário está demonstrado no Apêndice F.

Comparando os três cenários do presente estudo, é possível verificar que o Cenário III é o único que apresenta retorno financeiro para a instalação de compostagem através da proposta de venda do composto gerado. As despesas totais foram as mesmas para ambos os cenários, uma vez que foi alterada entre cada situação somente a receita gerada.

5.3.1 Análise quanto a diferença entre os gastos de diferentes gestões para os RSU do município

Na Tabela 10 é apresentado a comparação entre os custos totais da atual disposição final dos resíduos orgânicos e rejeitos do município de Erechim – RS, gerados a partir dos dados fornecidos pela SMMA e ajustados a uma taxa de crescimento ao longo dos anos, com os custos totais de operação e construção (investimento inicial) de uma usina de compostagem obtidos a

partir da ferramenta OrganEcs, conforme analisado anteriormente nos três cenários. Em um horizonte de 20 anos para ambos os casos.

Tabela 10 – Comparação entre os custos totais da atual disposição final dos resíduos orgânicos com os custos totais de construção e operação de uma usina de compostagem, ao longo de 20 anos, para o município de Erechim – RS

Ano	Custos totais da atual disposição final dos resíduos orgânicos (R\$)	Custos totais de operação e construção de uma usina de compostagem (R\$)
0	3.579.643,38	5.748.300,65
1	3.615.797,78	2.077.505,23
2	3.652.317,34	2.318.607,63
3	3.689.205,74	2.437.302,08
4	3.726.466,72	2.563.840,60
5	3.764.104,03	2.698.757,70
6	3.802.121,48	2.842.624,45
7	3.840.522,91	2.996.050,92
8	3.879.312,19	3.159.688,92
9	3.918.493,24	3.334.234,78
10	3.958.070,03	3.520.432,47
11	3.998.046,53	3.719.076,81
12	4.038.426,80	3.931.016,94
13	4.079.214,91	4.157.160,07
14	4.120.414,99	4.398.475,44
15	4.162.031,18	4.655.998,53
16	4.204.067,69	4.930.835,64
17	4.246.528,78	5.224.168,70
18	4.289.418,72	5.537.260,44
19	4.332.741,84	5.871.459,93
20	4.376.502,54	6.228.208,48
Total (R\$)	83.273.448,82	82.351.006,41

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da Tabela 10 verifica-se que a implantação de uma usina de compostagem no município de Erechim – RS acarretaria aproximadamente os mesmos gastos que a atual gestão dos resíduos orgânicos, com uma diferença de R\$ 922.442,41, ou seja, 1,11% de custos totais a menos ao longo de 20 anos.

À vista disso, os mesmos gastos que atualmente são aplicados para enviar os resíduos orgânicos e rejeitos até o aterro sanitário de Ipumirim – SC, poderiam ser aplicados para construir e operar uma usina de compostagem na cidade de Erechim – RS. Além disso, conforme analisado anteriormente, haveria também a possibilidade de venda do composto gerado, o qual geraria lucro para o município.

6 CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÃO DO TRABALHO

O estudo realizado visou propor uma nova destinação aos resíduos orgânicos do município de Erechim – RS através da análise de viabilidade de implantação de uma usina de compostagem em seu território, utilizando a ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

Com relação ao primeiro objetivo específico, o diagnóstico realizado no município de Erechim – RS contou com a sistematização e análise de informações disponíveis sobre o município, bem como as informações fornecidas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Assim, foi possível quantificar a geração de RSU no município e verificar a quantidade de resíduos orgânicos que são passíveis de compostagem, além dos custos envolvidos com a atual destinação final que vem sendo empregada a esses resíduos.

Com relação ao segundo objetivo específico, foi possível estimar o custo de implantação da usina de compostagem através das entradas fornecidas na ferramenta OrganEcs, a qual forneceu resultados como o valor de investimento inicial e das despesas operacionais, além da geração de planilhas referentes ao fluxo de resíduos e o fluxo de caixa operacional do sistema de compostagem utilizando aeração forçada.

Com os mesmos dados de entrada aplicados na ferramenta OrganEcs, foi possível obter os resultados com relação ao terceiro objetivo específico, o qual foi feita a análise de viabilidade econômica da implantação da usina de compostagem. Foram feitas duas análises: a primeira através da criação de três cenários em relação a receita do projeto e a segunda comparando os custos quanto a construção e operação de uma usina de compostagem, de ambos os cenários, com os custos da atual disposição final dos resíduos orgânicos que é realizado no município. Verificou-se que além da possível renda através da venda do composto gerado, o município poderia direcionar os gastos de envio dos resíduos orgânicos para o aterro sanitário localizado em outro estado, conforme vem sendo realizado, para a construção e operação de uma usina de compostagem em seu território.

Tomando os objetivos que nortearam este trabalho, conclui-se que a instalação é viável do ponto de vista econômico, considerando a venda do composto gerado na forma de varejo, conforme demonstrado no Cenário III. Tendo assim, a possibilidade de ganho financeiro e o direcionamento de gastos de uma atividade de gestão para outra. E acima disso, do ponto de vista ambiental e social é extremamente vantajosa, uma vez que se evita que toneladas de

resíduos aproveitáveis sejam destinadas à aterro sanitário sem necessidade, saturando-o e desperdiçando recursos que possuem valor comercial, além de servir como incentivo para outros municípios a adotarem medidas de gestão secundárias para seus resíduos gerados.

A execução da ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 mostrou-se satisfatória, entretanto, houve um pouco de dificuldade para a leitura de alguns resultados como no fluxo de caixa, uma vez que a ferramenta utiliza parâmetros financeiros do mercado dos Estados Unidos. Ademais, indica-se aplicá-la para a análise de outros municípios brasileiros para que a tecnologia de compostagem seja cada vez mais utilizada.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se:

- Realizar a análise de implantação de um sistema de digestão anaeróbica utilizando a ferramenta OrganEcs-Anaerobic Digestion V3.1 (USEPA, 2022) para o município de Erechim – RS;
- Realizar a análise de implantação de uma usina de compostagem ou de um sistema de digestão anaeróbica utilizando as diferentes edições da ferramenta OrganEcs para outros municípios brasileiros, com o intuito de desenvolver e aplicar novas tecnologias para o tratamento dos resíduos orgânicos no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591**: compostagem: terminologia. Rio de Janeiro. 1996.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/estimativa-dos-custos-para-viabilizar-a-universalizacao-da-destinacao-adequada-de-residuos-solidos-no-brasil/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 2 mar. 2022.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Roteiro para aproveitamento dos resíduos orgânicos**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/roteiro-para-aproveitamento-dos-residuos-organicos/>>. Acesso em: 2 mar. 2022.

BARBOSA, R. P. **Resíduos sólidos**: impactos, manejos e gestão ambiental. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos**: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.

BCB. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Conversor de moedas**. 2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/conversao>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jan. 2022a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jan. 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445compilado.htm>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 5 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 11 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Economia. **IPI – Imposto sobre produtos industrializados**. BRASIL. Brasília, DF: Ministério da Economia, 01 jul 2022b. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/orientacao-tributaria/tributos/ipi>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CAOPMA. CENTRO DE APOIO OPERACIONAL ÀS PROMOTORIAS DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE. **Unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos**: apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. 2. ed. Curitiba: MPPR, 2013. Disponível em: <https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2022.

CEF. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Saneamento para todos**. 2022. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/infraestrutura-saneamento-mobilidade/meio-ambiente-saneamento/saneamento-para-todos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4. ed. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2022.

CORSAN. COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Sistema tarifário**. 2022. Disponível em: <<https://www.corsan.com.br/sistematarifario>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

DAL BOSCO, T. C. (Org.). **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos**: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

DOURADO, J.; SAIANI, C. C. S.; TONETO JÚNIOR, R. (Org.). **Resíduos sólidos no Brasil**: oportunidades e desafios da lei federal nº 12.305. Barueri, SP: Minha Editora, 2014.

ERECHIM. **Concursos**: processo seletivo. 2022. Disponível em: <<https://www.pmerechim.rs.gov.br/concursos/86/processo-seletivo-2022>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

ERECHIM. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Modalidade Resíduos Sólidos Urbanos. Erechim, RS: AMPLA, 2012. Disponível em:

<<https://www.pmerechim.rs.gov.br/pagina/319/plano-municipal-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 12 jul. 2022.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de bio sólidos**. [Londrina]: PROSAB, [1999]. Disponível em: <http://finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2022.

FRITSCH, I. E. **Os resíduos sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudenciais**. Porto Alegre: SMC, 2000.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. Barueri, SP: Atlas, 2022.

IBAM. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Erechim. **Portal Cidades**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/erechim/panorama>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Inflação**. 2022. Disponível em: <<https://ibge.gov.br/explica/inflacao.php>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

IBRAHIN, F. I. D. **Análise ambiental: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa**. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.

JUNIOR, R. **Impostos e alíquotas do lucro real: Entenda como funciona**. R7. 2019. Disponível em: <<https://www.jornalcontabil.com.br/impostos-e-aliquotas-do-lucro-real-entenda-como-funciona/>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/282657929>>. Acesso em: 30 maio 2022.

MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: UFV, 2014.

MFRURAL. **Adubo orgânico**. 2022a. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/610233/adubo-organico>>. Acesso em: 05 ago 2022.

MFRURAL. **Compostagem orgânica**. 2022b. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/331198/compostagem-organica>>. Acesso em: 05 ago 2022.

PETROBRAS. **Preço dos combustíveis**. 2022. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/web/precos-dos-combustiveis/w/diesel/rs>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

RGE. RIO GRANDE ENERGIA. **Taxas e tarifas**. 2022. Disponível em: <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Secretária Estadual de Meio Ambiente. **Plano estadual de resíduos sólidos do Rio Grande do Sul: 2015-2034**. Porto Alegre, RS. 2014. Disponível em: <<http://www.pers.rs.gov.br/documentos.html>>. Acesso em: 26 jul. 2022.

RODRIGUES, C. H. Map locator of Rio Grande do Sul's Erechim city. *In*: WIKIMEDIA COMMONS. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Locator_map_of_Erechim_in_Rio_Grande_do_Sul.svg>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SCHALCH, V.; MASSUKADO, L. M.; BIANCO, C. I. Compostagem. *In*: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. de O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. 1. ed. São Carlos: Cubo, 2015. p. 633 – 659. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/291830917>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SINAPI. SISTEMA NACIONAL DE PREÇOS E ÍNDICES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL. **Referências de preços e custos**. 2022. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico temático: manejo de resíduos sólidos urbanos: visão geral**. Brasília: SNS, 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VI_SAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2022.

SNSA. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (Org.). **Resíduos sólidos: processamento de resíduos sólidos orgânicos: guia do profissional em treinamento**. Belo Horizonte: ReCESA, 2007.

SORDI, J. O. de. **Desenvolvimento de projeto de pesquisa**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

SOUZA, T. **Pis e Cofins: saiba tudo sobre essas contribuições**. Dootax. 2018. Disponível em: <<https://blog.dootax.com.br/pis-e-cofins>>. Acesso em 08 ago 2022.

TELLES, D. D. **Resíduos sólidos: gestão responsável e sustentável**. São Paulo: Blucher, 2022.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **OrganEcs user manual: Version 3.1**. 2022. Disponível em: <<https://www.globalmethane.org/resources/details.aspx?resourceid=5175>>. Acesso em 28 jun 2022.

APÊNDICE A – Planilha de dados de despesas operacionais gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenários I, II e III

DESPESAS DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS										
	Parâmetro (R\$/ano)									
Ano operacional	Custo de energia elétrica	Custo de diesel	Custo de mão de obra	Custo de serragem	Custo de manutenção	Custo de seguro	Serviços externos e suprimento	Contingência do custo operacional	Despesas totais	Despesas totais/tonelada de resíduos processados
1	37.436,19	1.356.429,70	380.211,70	19.710,31	0,00	57.821,62	37.032,18	188.864,11	2.077.505,23	95,04
2	39.996,19	1.449.186,12	382.759,12	19.927,90	116.418,06	58.209,03	41.329,90	210.782,51	2.318.607,63	105,01
3	42.731,24	1.548.285,48	385.323,61	20.147,90	117.198,06	58.599,03	43.445,67	221.572,92	2.437.302,08	109,28
4	45.653,32	1.654.161,53	387.905,27	20.370,32	117.983,29	58.991,64	45.701,26	233.076,42	2.563.840,60	113,80
5	48.775,22	1.767.277,67	390.504,24	20.595,19	118.773,77	59.386,89	48.106,20	245.341,61	2.698.757,70	118,59
6	52.110,60	1.888.129,02	393.120,62	20.822,55	119.569,56	59.784,78	50.670,67	258.420,40	2.842.624,45	123,67
7	55.674,07	2.017.244,51	395.754,53	21.052,42	120.370,67	60.185,34	53.405,54	272.368,27	2.996.050,92	129,04
8	59.481,21	2.155.189,28	398.406,08	21.284,82	121.177,16	60.588,58	56.322,44	287.244,45	3.159.688,92	134,72
9	63.548,70	2.302.567,09	401.075,40	21.519,80	121.989,04	60.994,52	59.433,78	303.112,25	3.334.234,78	140,74
10	67.894,34	2.460.023,00	403.762,61	21.757,36	122.806,37	61.403,19	62.752,81	320.039,32	3.520.432,47	147,12
11	72.537,14	2.628.246,19	406.467,82	21.997,55	123.629,17	61.814,59	66.293,70	338.097,89	3.719.076,81	153,87
12	77.497,44	2.807.972,95	409.191,15	22.240,39	124.457,49	62.228,74	70.071,60	357.365,18	3.931.016,94	161,01
13	82.796,92	2.999.989,91	411.932,73	22.485,91	125.291,35	62.645,68	74.102,68	377.923,64	4.157.160,07	168,57
14	88.458,81	3.205.137,53	414.692,68	22.734,14	126.130,81	63.065,40	78.404,20	399.861,40	4.398.475,44	176,57
15	94.507,87	3.424.313,72	417.471,12	22.985,11	126.975,88	63.487,94	82.994,63	423.272,59	4.655.998,53	185,04
16	100.970,58	3.658.477,78	420.268,18	23.238,85	127.826,62	63.913,31	87.893,68	448.257,79	4.930.835,64	194,00
17	107.875,22	3.908.654,62	423.083,98	23.495,40	128.683,06	64.341,53	93.122,44	474.924,43	5.224.168,70	203,49
18	115.252,03	4.175.939,25	425.918,64	23.754,77	129.545,24	64.772,62	98.703,39	503.387,31	5.537.260,44	213,53
19	123.133,28	4.461.501,54	428.772,29	24.017,01	130.413,19	65.206,59	104.660,60	533.769,08	5.871.459,93	224,15
20	131.553,48	4.766.591,38	431.645,07	24.282,14	131.286,96	65.643,48	111.019,76	566.200,77	6.228.208,48	235,39
Investimento inicial (Ano 0) = R\$ 5.748.300,65										

APÊNDICE B – Planilha de dados de fluxo de resíduos gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário I

FLUXO DE RESÍDUOS DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS											
	Parâmetro (t/ano)										
Ano operacional	Resíduos de poda e roçada	Resíduos de alimentos	Agente de volume comprado	Total de resíduos disponíveis para compostagem	Resíduos de triagem primária	Composto produzido	Composto vendido	Composto doado	Resíduos de triagem final	Resíduos enviados para o aterro	Resíduos desviados do aterro
1	3.000	15.860	3.000	21.860	2.186	5.902	0	5.902	1.967	4.153	19.674
2	3.030	16.020	3.030	22.081	2.208	5.962	0	5.962	1.987	4.195	19.873
3	3.061	16.182	3.061	22.304	2.230	6.022	0	6.022	2.007	4.238	20.073
4	3.092	16.345	3.092	22.529	2.253	6.083	0	6.083	2.028	4.281	20.276
5	3.123	16.511	3.123	22.757	2.276	6.144	0	6.144	2.048	4.324	20.481
6	3.155	16.677	3.155	22.986	2.299	6.206	0	6.206	2.069	4.367	20.688
7	3.186	16.846	3.186	23.219	2.322	6.269	0	6.269	2.090	4.412	20.897
8	3.219	17.016	3.219	23.453	2.345	6.332	0	6.332	2.111	4.456	21.108
9	3.251	17.188	3.251	23.690	2.369	6.396	0	6.396	2.132	4.501	21.321
10	3.284	17.361	3.284	23.929	2.393	6.461	0	6.461	2.154	4.547	21.536
11	3.317	17.537	3.317	24.171	2.417	6.526	0	6.526	2.175	4.592	21.754
12	3.351	17.714	3.351	24.415	2.442	6.592	0	6.592	2.197	4.639	21.974
13	3.384	17.893	3.384	24.662	2.466	6.659	0	6.659	2.220	4.686	22.196
14	3.419	18.073	3.419	24.911	2.491	6.726	0	6.726	2.242	4.733	22.420
15	3.453	18.256	3.453	25.162	2.516	6.794	0	6.794	2.265	4.781	22.646
16	3.488	18.440	3.488	25.416	2.542	6.862	0	6.862	2.287	4.829	22.875
17	3.523	18.627	3.523	25.673	2.567	6.932	0	6.932	2.311	4.878	23.106
18	3.559	18.815	3.559	25.933	2.593	7.002	0	7.002	2.334	4.927	23.339
19	3.595	19.005	3.595	26.194	2.619	7.072	0	7.072	2.357	4.977	23.575
20	3.631	19.197	3.631	26.459	2.646	7.144	0	7.144	2.381	5.027	23.813

APÊNDICE C – Planilha de dados de fluxo de resíduos gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenários II e III

FLUXO DE RESÍDUOS DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS											
	Parâmetro (t/ano)										
Ano operacional	Resíduos de poda e roçada	Resíduos de alimentos	Agente de volume comprado	Total de resíduos disponíveis para compostagem	Resíduos de triagem primária	Composto produzido	Composto vendido	Composto doado	Resíduos de triagem final	Resíduos enviados para o aterro	Resíduos desviados do aterro
1	3.000	15.860	3.000	21.860	2.186	5.902	1.180,44	4.721,76	1.967	4.153	19.674
2	3.030	16.020	3.030	22.081	2.208	5.962	2.384,72	3.577,09	1.987	4.195	19.873
3	3.061	16.182	3.061	22.304	2.230	6.022	4.817,62	1.204,41	2.007	4.238	20.073
4	3.092	16.345	3.092	22.529	2.253	6.083	4.866,28	1.216,57	2.028	4.281	20.276
5	3.123	16.511	3.123	22.757	2.276	6.144	4.915,43	1.228,86	2.048	4.324	20.481
6	3.155	16.677	3.155	22.986	2.299	6.206	4.965,07	1.241,27	2.069	4.367	20.688
7	3.186	16.846	3.186	23.219	2.322	6.269	5.015,22	1.253,81	2.090	4.412	20.897
8	3.219	17.016	3.219	23.453	2.345	6.332	5.065,88	1.266,47	2.111	4.456	21.108
9	3.251	17.188	3.251	23.690	2.369	6.396	5.117,04	1.279,26	2.132	4.501	21.321
10	3.284	17.361	3.284	23.929	2.393	6.461	5.168,72	1.292,18	2.154	4.547	21.536
11	3.317	17.537	3.317	24.171	2.417	6.526	5.220,93	1.305,23	2.175	4.592	21.754
12	3.351	17.714	3.351	24.415	2.442	6.592	5.273,66	1.318,41	2.197	4.639	21.974
13	3.384	17.893	3.384	24.662	2.466	6.659	5.326,92	1.331,73	2.220	4.686	22.196
14	3.419	18.073	3.419	24.911	2.491	6.726	5.380,72	1.345,18	2.242	4.733	22.420
15	3.453	18.256	3.453	25.162	2.516	6.794	5.435,07	1.358,77	2.265	4.781	22.646
16	3.488	18.440	3.488	25.416	2.542	6.862	5.489,96	1.372,49	2.287	4.829	22.875
17	3.523	18.627	3.523	25.673	2.567	6.932	5.545,41	1.386,35	2.311	4.878	23.106
18	3.559	18.815	3.559	25.933	2.593	7.002	5.601,42	1.400,36	2.334	4.927	23.339
19	3.595	19.005	3.595	26.194	2.619	7.072	5.658,00	1.414,50	2.357	4.977	23.575
20	3.631	19.197	3.631	26.459	2.646	7.144	5.715,14	1.428,79	2.381	5.027	23.813

APÊNDICE D – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário I

FLUXO DE CAIXA DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS										
	Parâmetro (R\$/ano)									
Ano operacional	Receita total	Despesas totais	CPV total	Lucro bruto	EBITDA	Depreciação	EBIT	Taxas de impostos	EBIAT	Fluxo de caixa operacional
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.748.300,65
1	0,00	2.077.505,23	1.940.094,09	-1.940.094,09	-2.077.505,23	261.076,35	-2.128.958,20	0,00	-2.128.958,20	-2.077.505,23
2	0,00	2.318.607,63	2.368.901,47	-2.368.901,47	-2.318.607,63	261.076,35	-2.579.683,99	0,00	-2.579.683,99	-2.318.607,63
3	0,00	2.437.302,08	2.476.805,51	-2.476.805,51	-2.437.302,08	261.076,35	-2.698.378,43	0,00	-2.698.378,43	-2.437.302,08
4	0,00	2.563.840,60	2.591.840,53	-2.591.840,53	-2.563.840,60	261.076,35	-2.824.916,95	0,00	-2.824.916,95	-2.563.840,60
5	0,00	2.698.757,70	2.714.492,45	-2.714.492,45	-2.698.757,70	261.076,35	-2.959.834,06	0,00	-2.959.834,06	-2.698.757,70
6	0,00	2.842.624,45	2.845.280,40	-2.845.280,40	-2.842.624,45	261.076,35	-3.103.700,80	0,00	-3.103.700,80	-2.842.624,45
7	0,00	2.996.050,92	2.984.759,01	-2.984.759,01	-2.996.050,92	261.076,35	-3.257.127,28	0,00	-3.257.127,28	-2.996.050,92
8	0,00	3.159.688,92	3.133.520,82	-3.133.520,82	-3.159.688,92	261.076,35	-3.420.765,27	0,00	-3.420.765,27	-3.159.688,92
9	0,00	3.334.234,78	3.292.198,88	-3.292.198,88	-3.334.234,78	261.076,35	-3.595.311,14	0,00	-3.595.311,14	-3.334.234,78
10	0,00	3.520.432,47	3.461.469,51	-3.461.469,51	-3.520.432,47	261.076,35	-3.781.508,83	0,00	-3.781.508,83	-3.520.432,47
11	0,00	3.719.076,81	3.642.055,27	-3.642.055,27	-3.719.076,81	261.076,35	-3.980.153,16	0,00	-3.980.153,16	-3.719.076,81
12	0,00	3.931.016,94	3.834.728,11	-3.834.728,11	-3.931.016,94	261.076,35	-4.192.093,29	0,00	-4.192.093,29	-3.931.016,94
13	0,00	4.157.160,07	4.040.312,78	-4.040.312,78	-4.157.160,07	261.076,35	-4.418.236,42	0,00	-4.418.236,42	-4.157.160,07
14	0,00	4.398.475,44	4.259.690,39	-4.259.690,39	-4.398.475,44	261.076,35	-4.659.551,79	0,00	-4.659.551,79	-4.398.475,44
15	0,00	4.655.998,53	4.493.802,29	-4.493.802,29	-4.655.998,53	261.076,35	-4.917.074,88	0,00	-4.917.074,88	-4.655.998,53
16	0,00	4.930.835,64	4.743.654,21	-4.743.654,21	-4.930.835,64	261.076,35	-5.191.911,99	0,00	-5.191.911,99	-4.930.835,64
17	0,00	5.224.168,70	5.010.320,62	-5.010.320,62	-5.224.168,70	261.076,35	-5.485.245,05	0,00	-5.485.245,05	-5.224.168,70
18	0,00	5.537.260,44	5.294.949,48	-5.294.949,48	-5.537.260,44	261.076,35	-5.798.336,79	0,00	-5.798.336,79	-5.537.260,44
19	0,00	5.871.459,93	5.598.767,20	-5.598.767,20	-5.871.459,93	261.076,35	-6.132.536,28	0,00	-6.132.536,28	-5.871.459,93
20	0,00	6.228.208,48	5.923.084,06	-5.923.084,06	-6.228.208,48	261.076,35	-6.437.831,86	0,00	-6.437.831,86	-6.228.208,48
Doação do composto						TIR do empreendimento = Inviável economicamente				

APÊNDICE E – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário II

FLUXO DE CAIXA DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS										
	Parâmetro (R\$/ano)									
Ano operacional	Receita total	Despesas totais	CPV total	Lucro bruto	EBITDA	Depreciação	EBIT	Taxas de impostos	EBIAT	Fluxo de caixa operacional
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.748.300,65
1	200.670,50	2.077.505,23	1.940.094,09	-1.739.423,58	-1.876.834,73	261.076,35	-1.928.287,69	0,00	-1.928.287,69	-1.876.834,73
2	405.759,40	2.318.607,63	2.368.901,47	-1.963.142,07	-1.912.848,23	261.076,35	-2.173.924,58	0,00	-2.173.924,58	-1.912.848,23
3	820.452,89	2.437.302,08	2.476.805,51	-1.656.352,62	-1.616.849,19	261.076,35	-1.877.925,54	0,00	-1.877.925,54	-1.616.849,19
4	829.485,33	2.563.840,60	2.591.840,53	-1.762.355,20	-1.734.355,26	261.076,35	-1.995.431,62	0,00	-1.995.431,62	-1.734.355,26
5	838.617,21	2.698.757,70	2.714.492,45	-1.875.875,24	-1.860.140,49	261.076,35	-2.121.216,85	0,00	-2.121.216,85	-1.860.140,49
6	847.849,62	2.842.624,45	2.845.280,40	-1.997.430,78	-1.994.774,83	261.076,35	-2.255.851,18	0,00	-2.255.851,18	-1.994.774,83
7	857.183,67	2.996.050,92	2.984.759,01	-2.127.575,34	-2.138.867,25	261.076,35	-2.399.943,60	0,00	-2.399.943,60	-2.138.867,25
8	866.620,49	3.159.688,92	3.133.520,82	-2.266.900,34	-2.293.068,43	261.076,35	-2.554.144,78	0,00	-2.554.144,78	-2.293.068,43
9	876.161,19	3.334.234,78	3.292.198,88	-2.416.037,69	-2.458.073,59	261.076,35	-2.719.149,95	0,00	-2.719.149,95	-2.458.073,59
10	885.806,93	3.520.432,47	3.461.469,51	-2.575.662,58	-2.634.625,55	261.076,35	-2.895.701,90	0,00	-2.895.701,90	-2.634.625,55
11	895.558,86	3.719.076,81	3.642.055,27	-2.746.496,41	-2.823.517,95	261.076,35	-3.084.594,31	0,00	-3.084.594,31	-2.823.517,95
12	905.418,14	3.931.016,94	3.834.728,11	-2.929.309,97	-3.025.598,79	261.076,35	-3.286.675,15	0,00	-3.286.675,15	-3.025.598,79
13	915.385,97	4.157.160,07	4.040.312,78	-3.124.926,81	-3.241.774,10	261.076,35	-3.502.850,45	0,00	-3.502.850,45	-3.241.774,10
14	925.463,54	4.398.475,44	4.259.690,39	-3.334.226,85	-3.473.011,90	261.076,35	-3.734.088,25	0,00	-3.734.088,25	-3.473.011,90
15	935.652,05	4.655.998,53	4.493.802,29	-3.558.150,24	-3.720.346,48	261.076,35	-3.981.422,83	0,00	-3.981.422,83	-3.720.346,48
16	945.952,73	4.930.835,64	4.743.654,21	-3.797.701,48	-3.984.882,91	261.076,35	-4.245.959,27	0,00	-4.245.959,27	-3.984.882,91
17	956.366,81	5.224.168,70	5.010.320,62	-4.053.953,82	-4.267.801,89	261.076,35	-4.528.878,24	0,00	-4.528.878,24	-4.267.801,89
18	966.895,54	5.537.260,44	5.294.949,48	-4.328.053,94	-4.570.364,90	261.076,35	-4.831.441,25	0,00	-4.831.441,25	-4.570.364,90
19	977.540,18	5.871.459,93	5.598.767,20	-4.621.227,02	-4.893.919,75	261.076,35	-5.154.996,10	0,00	-5.154.996,10	-4.893.919,75
20	1.039.754,97	6.228.208,48	5.923.084,06	-4.934.782,06	-5.188.453,51	261.076,35	-5.449.529,86	0,00	-5.449.529,86	-5.188.453,51

Preço de venda do composto = R\$ 170,00/t (a granel)

TIR do empreendimento = Inviável economicamente

APÊNDICE F – Planilha de dados de fluxo de caixa gerados pela ferramenta OrganEcs-Compost V3.1 – Cenário III

FLUXO DE CAIXA DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM COM AERAÇÃO FORÇADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS										
	Parâmetro (R\$/ano)									
Ano operacional	Receita total	Despesas totais	CPV total	Lucro bruto	EBITDA	Depreciação	EBIT	Taxas de impostos	EBIAT	Fluxo de caixa operacional
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-5.748.300,65
1	1.180.369,10	2.077.505,23	1.940.094,09	-759.724,99	-897.136,13	261.076,35	-948.589,10	0,00	-948.589,10	-897.136,13
2	2.386.727,78	2.318.607,63	2.368.901,47	17.826,30	68.120,14	261.076,35	-192.956,21	-5.347,89	-198.304,10	62.772,25
3	4.826.006,96	2.437.302,08	2.476.805,51	2.349.201,44	2.388.704,88	261.076,35	2.127.628,53	-704.760,43	1.422.868,09	1.683.944,45
4	4.879.136,90	2.563.840,60	2.591.840,53	2.287.296,37	2.315.296,31	261.076,35	2.054.219,95	-686.188,91	1.368.031,04	1.629.107,39
5	4.932.851,76	2.698.757,70	2.714.492,45	2.218.359,31	2.234.094,05	261.076,35	1.973.017,70	-665.507,79	1.307.509,91	1.568.586,26
6	4.987.157,97	2.842.624,45	2.845.280,40	2.141.877,57	2.144.533,52	261.076,35	1.883.457,16	-642.563,27	1.240.893,89	1.501.970,25
7	5.042.062,04	2.996.050,92	2.984.759,01	2.057.303,03	2.046.011,11	261.076,35	1.784.934,76	-617.190,91	1.167.743,85	1.428.820,21
8	5.097.570,55	3.159.688,92	3.133.520,82	1.964.049,73	1.937.881,64	261.076,35	1.676.805,28	-589.214,92	1.087.590,36	1.348.666,72
9	5.153.690,17	3.334.234,78	3.292.198,88	1.861.491,28	1.819.455,38	261.076,35	1.558.379,03	-558.447,39	999.931,65	1.261.008,00
10	5.210.427,60	3.520.432,47	3.461.469,51	1.748.958,09	1.689.995,13	261.076,35	1.428.918,78	-524.687,43	904.231,35	1.165.307,70
11	5.267.789,67	3.719.076,81	3.642.055,27	1.625.734,40	1.548.712,86	261.076,35	1.287.636,51	-487.720,32	799.916,19	1.060.992,54
12	5.325.783,24	3.931.016,94	3.834.728,11	1.491.055,13	1.394.766,30	261.076,35	1.133.689,95	-447.316,54	686.373,41	947.449,77
13	5.384.415,27	4.157.160,07	4.040.312,78	1.344.102,49	1.227.255,20	261.076,35	966.178,85	-403.230,75	562.948,10	824.024,45
14	5.443.692,78	4.398.475,44	4.259.690,39	1.184.002,40	1.045.217,34	261.076,35	784.140,99	-355.200,72	428.940,27	690.016,63
15	5.503.622,88	4.655.998,53	4.493.802,29	1.009.820,60	847.624,35	261.076,35	586.548,00	-302.946,18	283.601,82	544.678,18
16	5.564.212,76	4.930.835,64	4.743.654,21	820.558,56	633.377,12	261.076,35	372.300,77	-246.167,57	126.133,20	387.209,56
17	5.625.469,68	5.224.168,70	5.010.320,62	615.149,06	401.300,98	261.076,35	140.224,63	-184.544,72	-44.320,09	216.756,27
18	5.687.400,99	5.537.260,44	5.294.949,48	392.451,51	150.140,55	261.076,35	-110.935,80	-117.735,45	-228.671,26	32.405,10
19	5.750.014,09	5.871.459,93	5.598.767,20	151.246,90	-121.445,83	261.076,35	-382.522,19	-45.374,07	-427.896,25	-166.819,90
20	5.864.769,48	6.228.208,48	5.923.084,06	-109.767,54	-363.438,99	261.076,35	-624.515,35	0,00	-624.515,35	-363.438,99
Preço de venda do composto = R\$ 1,00/kg (varejo)							TIR do empreendimento = 13%			