



---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

---

**RODRIGO SANCHOTENE QUINTELA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE  
ECONÔMICO-FINANCEIRA DE DIFERENTES CENÁRIOS DE  
DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Porto Alegre

Maio 2021

**RODRIGO SANCHOTENE QUINTELA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE ECONÔMICO -  
FINANCEIRA DE DIFERENTES CENÁRIOS DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO  
AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO  
AMBIENTAL.

Orientador: Fernando Mainardi Fan

Porto Alegre

Maio 2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Sanchotene Quintela, Rodrigo  
DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE  
ECONÔMICO-FINANCEIRA DE DIFERENTES CENÁRIOS DE  
DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS / Rodrigo Sanchotene  
Quintela. -- 2021.  
87 f.  
Orientador: Fernando Mainardi Fan.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia  
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Tratamento de  
Resíduos Orgânicos. 3. Biodigestão. 4. Compostagem. 5.  
Compostagem Doméstica. I. Mainardi Fan, Fernando,  
orient. II. Título.

RODRIGO SANCHOTENE QUINTELA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE  
DIFERENTES CENÁRIOS DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **20/05/2021** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....  
Ma. Natalia Pietzsch  
PPGEP - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Me. Ian Almeida  
PPGRHSA - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....  
Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan  
DOH, IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Conceito:.....

Dedico este trabalho à minha família, aos que caminharam ao meu lado durante essa jornada e a todos e todas que possibilitam a existência de universidades públicas, gratuitas e de qualidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Paulo e Ana, pelo esforço em me proporcionar uma educação de qualidade, pelo apoio em todos os momentos.

Agradeço ao meu irmão, e também Eng. Ambiental, Léo, pela amizade, parceria e que contribuiu com valiosas ideias para esse trabalho sair do papel.

Agradeço a minha avó, Eva, minha dinda Laura, e minha “segunda mãe”, Ada. Tiveram papel fundamental na minha formação em variados momentos.

Agradeço à minha namorada Lari, pela companhia em todas as horas. Um agradecimento à UFRGS por ter cruzado nossos caminhos.

Agradeço a todos meus amigos e amigas pela parceria durante todos esses anos. Tornaram, e tornam, a jornada muito mais leve e divertida.

Agradeço ao professor Fernando Fan, por todos os ensinamentos ao longo de 2 anos de orientação quando bolsista e agora no trabalho de conclusão. Quem dera todos os professores tivessem tamanha vocação para o ensino.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma maneira fizeram parte desse caminho dentro da UFRGS mesmo que indiretamente. Funcionárias e Funcionários do IPH, do RU, tias e tios da trufa que fazem as engrenagens funcionar muitas vezes sem o devido reconhecimento.

Por fim, mas não menos importante, a todas e todos que fazem da Universidade pública, gratuita e de qualidade uma realidade ainda possível. Que de alguma forma consiga retornar para a sociedade o investimento em mim feito.

“Caminhante, são tuas pegadas  
o caminho e nada mais;  
caminhante, não há caminho,  
se faz caminho ao andar”  
Antônio Machado

“Se eu vi mais longe, foi por estar  
sobre o ombro de gigantes”  
Isaac Newton

## RESUMO

A parcela orgânica representa aproximadamente 50% da composição total dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. A grande maioria da parcela orgânica é destinada para aterros sanitários ou lixões, mesmo que a Política Nacional de Resíduos Sólidos preveja que seja submetida a outros tipos de tratamento. Dentre as alternativas, está o tratamento com biodigestores, compostagem termofílica e compostagem doméstica, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Considerando essa conjuntura, foi desenvolvida uma ferramenta para simular financeiramente diferentes cenários de destinação de resíduos orgânicos e rejeitos compostos por quatro formas de tratamento e destinação final: Aterro Sanitário, Biodigestão, Compostagem Termofílica e Compostagem Doméstica. A partir de dados de entrada do município em questão, a ferramenta calcula o melhor cenário para as informações fornecidas. A ferramenta também permite ao operador compor cenários mistos entre os tratamentos e escolher se os resíduos são separados na fonte. Como resultado, a ferramenta apresenta dados de investimento inicial, custos operacionais, receitas, custos com os contratos de coleta, transbordo e destinação e valores gastos com combustível. Para validar a ferramenta, foram realizadas simulações para seis diferentes cenários para a cidade de Porto Alegre/RS. As simulações apontaram que a ferramenta possui algumas limitações em sua metodologia. A principal delas é a extrapolação de dados retirados de estudos que foram realizados para a realidade de outros municípios ou para outro volume de recebimento de resíduos. Assim, até ser melhor desenvolvida, recomenda-se que a ferramenta seja utilizada para avaliações financeiras preliminares das alternativas de destinação de resíduos orgânicos.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos urbanos, resíduos orgânicos, biodigestão, compostagem.

## ABSTRACT

Organic fraction represents about 50% of all waste generated in Brazil. The huge majority is destined for landfills or garbage dumps, even though the National Solid Waste Policy rules that It should be allocated to another treatments. In alternative, there are treatments with biodegestores, composting and wormcomposting, each one with their vantages and disadvantages. Considering this conjuncture, a tool was developed to make financial simulations of different scenarios of organic waste destination including four kind of treatments: Landfill, Biodigestors, Composting and Wormcomposting. The tool uses input data from the city studied to calculate the best scenario for the given information. It is also possible to compose mixed scenarios with more than one treatment and choose if the organic fraction is separated by the dwellers in theirs homes or not. As output, the tool shows initial investment required, operational costs and revenue generated. To validate the tool, simulations were realized for six different scenarios for the city of Porto Alegre/RS. The simulations showed that the tool has some improvements to be done. The main one is the extrapolation of data taken of studies which were carried out considering the reality of another cities or different capacity of waste receipt. Thus, until It is better developed, It is recommended that the tool be used for preliminary financial assessments of alternatives for the disposal of organic waste.

**Keywords:** urban solid waste, organic waste, biodigesion, composting.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de resíduos per capita por região. (ABRELPE, 2020) .....	19
Figura 2. Classificação gravimétrica dos RSU no Brasil. (ABRELPE 2020) .....	20
Figura 3. Índice de cobertura de coleta de RSU nas regiões brasileiras. (ABRELPE, 2020) .....	22
Figura 4. Composteiras Domésticas. (Acervo pessoal).....	33
Figura 5. Comparação entre investimento inicial dos cenários estudados. ....	77
Figura 6. Custos e receitas para cada cenário estudado.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índice de Cobertura de Coleta Seletiva nas regiões do Brasil. ....	22
Tabela 2. Metas para tratamento biológico de resíduos recicláveis úmidos.....	25
Tabela 3. Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. ....	28
Tabela 4. Dados de Entrada relacionados ao município requeridos pela ferramenta.....	37
Tabela 5. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas aos custos atuais do município.....	40
Tabela 6. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à Usina de Biogás, .....	42
Tabela 7. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à Usina de Compostagem.....	45
Tabela 8. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à distribuição de composteiras .....	48
Tabela 9. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à destinação em aterro sanitário .....	50
Tabela 10. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à aproximações do estudo .....	51
Tabela 11. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas aos custos e receitas finais .....	52
Tabela 12. Dados de entrada utilizados para simulação no município de Porto Alegre.....	55
Tabela 13. Dados de entrada utilizados para usina de biogás no município de Porto Alegre. ....	57
Tabela 14. Dados de entrada utilizados para usina de compostagem no município de Porto Alegre. ....	58
Tabela 15. Dados de entrada utilizados para distribuição de composteiras domésticas município de Porto Alegre. ....	58
Tabela 16. Dados de entrada para aproximações do estudo. ....	59
Tabela 17. Custos atuais calculados para município de Porto Alegre.....	59
Tabela 18. Valores calculados para cenário considerando 100% do resíduo destinado ao Aterro Sanitário ...	61
Tabela 19. Valores das variáveis para cenário 1 .....	62
Tabela 20. Valores das variáveis para cenário 2 .....	63
Tabela 21. Valores das variáveis para cenário 3 .....	63
Tabela 22. Valores das variáveis para cenário 4 .....	64
Tabela 23. Valores das variáveis para cenário 5 .....	64
Tabela 24. Valores das variáveis para cenário 6 .....	65
Tabela 25. Compilação de cenários e variáveis.....	65
Tabela 26. Resultados simulados para bloco “Dados de Entrada o Município.....	67
Tabela 27. Resultados simulados para bloco “Custos Atuais do Município” .....	69
Tabela 28. Resultados simulados para o Cenário 1 .....	71
Tabela 29. Resultados para o Cenário 2 .....	72
Tabela 30. Resultados para o Cenário 3 .....	73
Tabela 31. Resultados para o cenário 4.....	74
Tabela 32. Resultados para o cenário 5.....	75
Tabela 33. Resultados para o cenário 6.....	76
Tabela 34. Comparação entre cenários estudados.....	77

## **LISTA DE SIGLAS**

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

Anda - Associação Nacional para Difusão de Adubos

MMA - Ministério do Meio Ambiente

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

COOTRAVIPA - Cooperativa de Trabalhadores Autônomos das Vilas de Porto Alegre

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2. OBJETIVO</b>	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	17
3.1.1. Classificação	17
3.1.2. Geração de RSU	19
3.1.3. Composição Gravimétrica dos RSU	20
3.2. GERENCIAMENTO DOS RSU	21
3.2.1. Segregação e Coleta dos RSU	21
3.2.2. Destinação Final	23
3.3. VALORIZAÇÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA	25
3.3.1. Biomassa	25
3.3.2. Fertilizantes Orgânicos	26
3.4. PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DA PARCELA ORGÂNICA	29
3.4.1. Biodigestão	30
3.4.2. Compostagem	31
3.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
<b>4. METODOLOGIA</b>	36
4.1. DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA	36
4.2. ORGANIZAÇÃO DA FERRAMENTA	36
4.2.1. Dados de Entrada do Município	37
4.2.2. Custos Atuais do Município	40
4.2.3. Dados da Usina de Biogás	41
4.2.4. Dados da Usina de Compostagem Termofílica	44
4.2.5. Dados da Distribuição de Composteiras Domésticas	48
4.2.6. Dados do Aterro Sanitário	49
4.2.7. Aproximações do Estudo	51
4.2.8. Custos e Receitas Simulados	52
4.3. ONDE ENCONTRAR E DEMONSTRAÇÃO DE USO	54
<b>5. ESTUDO DE CASO</b>	54
5.1. ÁREA DE ESTUDO	54
5.2. DADOS DE ENTRADA	55

5.2.1.	Dados de Entrada do Município .....	55
5.2.2.	Dados de Entrada da Usina de Biogás.....	57
5.2.3.	Dados de Entrada para Usina de Compostagem.....	57
5.2.4.	Dados de Entrada para Distribuição de Composteiras Domésticas.....	58
5.2.5.	Dados de Entrada Aproximações do Estudo .....	59
5.3.	<b>CENÁRIOS ESTUDADOS</b> .....	59
5.3.1.	Cenário 1 .....	62
5.3.2.	Cenário 2 .....	63
5.3.3.	Cenário 3 .....	63
5.3.4.	Cenário 4 .....	64
5.3.5.	Cenário 5 .....	64
5.3.6.	Cenário 6 .....	65
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	67
6.1.	RESULTADOS PARA DADOS DE ENTRADA DO MUNICÍPIO .....	67
6.2.	RESULTADOS PARA CUSTOS ATUAIS DO MUNICÍPIO.....	69
6.3.	RESULTADOS DO CENÁRIO 1 .....	71
6.4.	RESULTADOS DO CENÁRIO 2 .....	72
6.5.	RESULTADOS DO CENÁRIO 3 .....	73
6.6.	RESULTADOS DO CENÁRIO 4 .....	74
6.7.	RESULTADOS DO CENÁRIO 5 .....	75
6.8.	RESULTADOS DO CENÁRIO 6 .....	76
6.9.	COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS .....	77
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	80
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	82

# 1. INTRODUÇÃO

A produção de resíduos e rejeitos orgânicos é inerente à existência animal, seja ela proveniente de sobras da nossa alimentação ou do metabolismo de nossos corpos. É, portanto, algo natural. Embora nossos antepassados nômades já queimassem lixo para evitar o mau cheiro (MACIEL, 2009), quando a comida começava a ficar escassa, eles se mudavam para outra região e ali deixavam seu “lixo”. Dessa forma, não precisavam ter maiores preocupações com o tema.

Foi a partir do assentamento humano, da criação de aldeias e desenvolvimento de novos hábitos que olhares mais cuidadosos passaram a ser destinados à questão do gerenciamento dos resíduos orgânicos. Aqui, é interessante ressaltar que o desenvolvimento da agricultura, fator preponderante para o início do processo civilizatório, se deu também pela observação da fertilidade nos locais onde se defecava (MACIEL, 2009).

Com isso, é possível perceber que há muito tempo a sociedade lida de uma maneira ambígua com seus resíduos orgânicos: por um lado a rejeição e o afastamento provenientes do medo da propagação de doenças e por outro a aceitação de sua utilidade como fertilizante (BORGES, 2011) ou, mais atualmente, gerador de energia. Um exemplo para ilustrar tal relação pode ser visto na mitologia grega, onde as fezes acumuladas nos estábulos do rei Augias são um problema a ser resolvido na sexta tarefa de Hércules. Como solução, o herói grego desvia os rios Alfeu e Pneu para dentro dos estábulos, removendo o estrume para os campos que são, assim, fertilizados para a agricultura. A partir de então, Hércules tornou-se o patrono da limpeza urbana na Grécia antiga.

A partir do século XVIII, com o início da revolução industrial e o consequente aumento populacional nas grandes cidades, a problemática da geração e descarte de lixo teve um grande impulso. Esse fato, porém, ainda não causava maiores preocupações, pois em nome do desenvolvimento podia-se tudo. A situação começou a mudar a partir do fim da segunda guerra mundial, quando as cidades destruídas pela guerra tiveram que reconstruir seus sistemas de limpeza urbana. Aliado a isso, os primeiros sinais do movimento ambientalista começavam a surgir na Europa no mesmo período. Assim, o gerenciamento dos resíduos passou a ser tratado não só como uma questão de saúde pública, mas também de meio ambiente (MACIEL, 2009)..

No Brasil, o assunto começou a ganhar notoriedade a partir de 1971 através de José Lutzenberger, um dos pioneiros do movimento ambientalista no país. Foi apenas em 2010, entretanto,

que, com a homologação da Política Nacional e Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), se criaram diretrizes e orientações oficiais sobre o tratamento dos resíduos.

O documento que norteia e reúne as normas e metas de tratamento é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos lançado em 2012. Dentre essas orientações, está a redução de Resíduos Sólidos Urbanos Úmidos (resíduos orgânicos) dispostos em aterros sanitários a partir do incentivo à programas de compostagem e biodigestão.

Passados quase 10 anos da homologação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, pouco ou quase nada foi feito para retirar esses resíduos orgânicos da rota dos aterros sanitários. Por isso, é importante que se desenvolvam cada vez mais estudos que avaliem os benefícios de tal medida, sejam eles econômicos, sociais ou ambientais, para embasar e auxiliar as decisões dos gestores públicos.

Nesse cenário, o presente trabalho visou desenvolver e avaliar, a partir do ponto de vista financeiro, uma ferramenta que simule diferentes cenários de destinação de resíduos orgânicos e rejeitos compostos por quatro formas de tratamento e destinação final: Aterro Sanitário, Biodigestão, Compostagem Termofílica e Compostagem Doméstica. Assim, espera-se que contribua para auxiliar a tomada de decisão de gestores municipais no que diz respeito à gestão dos resíduos orgânicos urbanos.

## **2. OBJETIVO**

Desenvolver e testar uma ferramenta que avalie financeiramente diferentes cenários de destinação de resíduos orgânicos e rejeitos compostos por quatro formas de tratamento e destinação final: Aterro Sanitário, Biodigestão, Compostagem Termofílica e Compostagem Doméstica.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Essa seção trará dados básicos relacionados à produção, classificação e composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) define os resíduos sólidos urbanos (RSU) como resíduos domiciliares e de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana).

##### 3.1.1. Classificação

Os Resíduos Sólidos, de maneira geral, podem ser classificados basicamente de duas maneiras, segundo sua origem e segundo sua periculosidade. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos faz uma distinção baseada na origem, conforme lista apresentada abaixo:

- ***Resíduos Sólidos Urbanos:*** correspondem aos resíduos domiciliares e de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana);
- ***Resíduos Industriais:*** aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- ***Resíduos de serviços de saúde:*** abrangem os RS de hospitais, clínicas médicas e veterinárias, centros de saúde, consultórios odontológicos e farmácias;
- ***Resíduos da Construção Civil:*** são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- ***Resíduos Agrossilvopastoris:*** são os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- ***Resíduos de Mineração:*** são os resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
- ***Resíduos Públicos de Saneamento Básico:*** Resíduos provenientes do processo de tratamento dos efluentes desse setor.

Já segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos também podem ser classificados segundo sua periculosidade seguindo a Norma Brasileira (NBR) 10004 (2004). A norma estabelece a seguinte distinção:

- **Resíduos Classe I – Perigosos:** São aqueles que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou apresentar riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.
- **Resíduos Classe II A – Não Inertes:** São aqueles que não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I ou de Resíduos Classe II B e podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- **Resíduos Classe II B – Inertes:** Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Já para os RSU, foco deste trabalho, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabelece uma distinção conforme sua destinação final:

- **Recicláveis Secos:** São os materiais que, devolvidos para a indústria, podem ser processados mais uma vez e transformados em novos produtos. Plástico, papel, vidro e metal são os mais comuns.
- **Recicláveis Orgânicos:** São constituídos basicamente por restos de alimentos e vegetais descartados. Devem ser encaminhados para compostagem ou tratamento anaeróbio.
- **Rejeitos:** resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

### 3.1.2. Geração de RSU

Segundo a ABRELPE (2020), foram gerados 79 milhões de toneladas de RSU no ano de 2019, o equivalente a 379 Kg/hab.ano. Isso representa um incremento de 8% na produção per capita se comparado ao ano de 2010, quando foi lançada a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A região sudeste é a que mais gera, seguida por Nordeste, Sul, Norte e Centro-Oeste. A Figura 1 apresenta a geração total e os valores per capita por região.

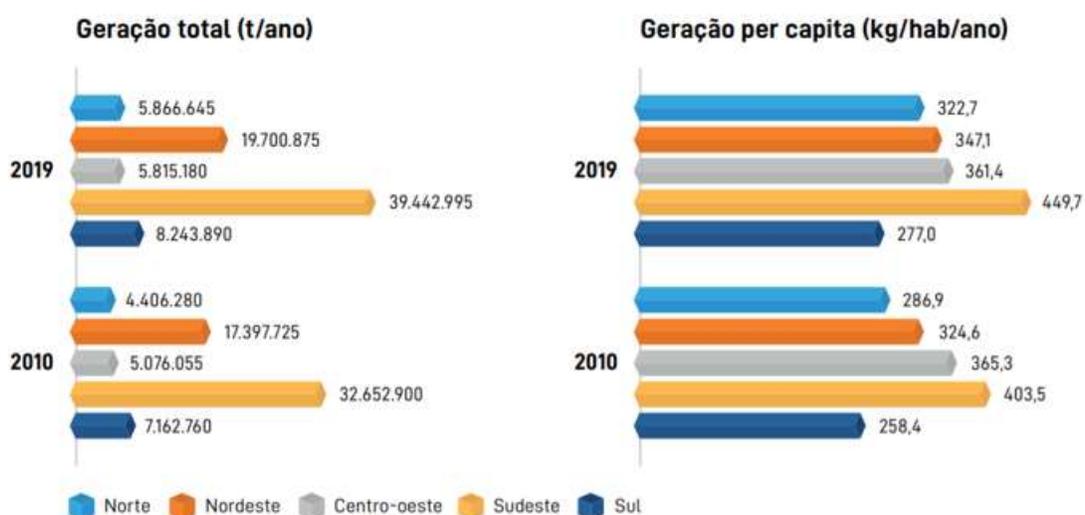


Figura 1. Produção de resíduos per capita por região. (ABRELPE, 2020)

Segundo Dias et al. (2012), o desenvolvimento econômico, a urbanização, o aumento dos padrões de consumo e a integração de pequenas comunidades aos mercados causaram um aumento na geração de RSU em todo o mundo. No caso do Brasil, o autor também cita o fato de que a população sofreu mudanças socioeconômicas relevantes desde começo do século XXI, devido aos programas de distribuição de renda que aumentaram o poder de compra dos consumidores mais pobres. Campos (2012) afirma que, se considerarmos que há uma grande parcela da população ainda sem condições de renda para consumir o mínimo necessário, a tendência é de aumento na geração de resíduos sólidos. Aqui, cabe ressaltar que a geração dos resíduos e, conseqüentemente, seu tratamento e disposição final estão relacionados não apenas à população ou PIB de uma região, estado ou município, mas também à gestão e ao gerenciamento dos resíduos pelo poder municipal, que é capaz de implementar ações que incentivem a redução de resíduos ou o aproveitamento dos resíduos (FADE/UPFE, 2013).

### 3.1.3. Composição Gravimétrica dos RSU

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos refere-se à categorização detalhada dos tipos de materiais descartados pela população. Segundo a ABRELPE (2020), o conhecimento da composição dos resíduos sólidos permite o adequado planejamento do setor por meio de estratégias, políticas públicas e processos específicos que assegurem a destinação ambientalmente adequada preconizada pela PNRS, levando-se em consideração as melhores alternativas disponíveis e aplicáveis, de acordo com os tipos e quantidades de resíduos existentes. A Figura 2 apresenta a classificação gravimétrica dos RSU no Brasil.

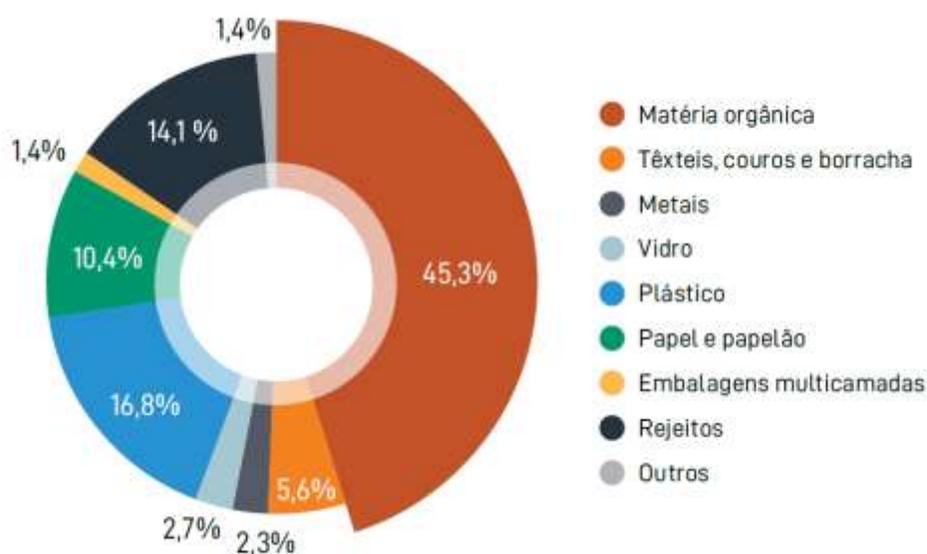


Figura 2. Classificação gravimétrica dos RSU no Brasil. (ABRELPE 2020)

A partir do gráfico, nota-se a importância de destinar adequadamente a fração orgânica, pois representa 45,3% dos RSU gerados. Além disso, apenas 14,1% deveriam ser encaminhado para aterro sanitário, o equivalente a fração dos rejeitos.

De acordo com Reichert (2013), a gravimetria dos RSU varia em função das características da cidade e com as mudanças climáticas e sazonais. Varia também com as alterações que ocorrem com a população que os produz, ou seja, diferem em razão dos diferentes hábitos e padrões de vida da comunidade. Mudanças na política econômica de um país, e no nível de renda da sua população, também são causas para a variação na composição dos resíduos de uma determinada comunidade.

Ainda segundo o autor, é possível verificar que países industrializados apresentam mais frações de matéria orgânica putrescível e de papel/papelão, enquanto plásticos, metais e vidros estão presentes em menor quantidade. Já países em desenvolvimento, como Índia e Brasil, têm normalmente frações maiores de resíduos orgânicos putrescíveis do que países do hemisfério norte onde o consumo de produtos processados é alto, com porcentagem de papel/papelão apresentando tendência contrária.

## 3.2. GERENCIAMENTO DOS RSU

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos define o gerenciamento de resíduos sólidos como o conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com os planos estabelecidos. Ou seja, é o termo utilizado para se tratar da logística do manejo dos RSU.

Ainda segundo o plano, os municípios devem buscar uma gestão integrada de RSU, definida como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os RSU, de forma a considerar as dimensões política, econômica, cultural e social, com controle social e sob a premissa do gerenciamento sustentável.

### 3.2.1. Segregação e Coleta dos RSU

A maneira como os resíduos são coletados e segregados determina quais as opções de tratamento podem ser utilizadas na sequência, e, de modo particular, se métodos como reciclagem de materiais, tratamento biológico ou tratamento térmico são econômica e ambientalmente viáveis (REICHERT, 2013).

A segregação é a primeira etapa do gerenciamento dos RSU e deve ser realizada na fonte, pelos geradores. Mesmo que essa etapa não seja de responsabilidade municipal, é importante que o poder público instrua a população sobre como realizá-la corretamente, viabilizando a adoção de tecnologias de disposição alternativas aos aterros sanitários (QUINTELA, 2014).

Em relação a coleta, o Decreto nº 7.404, 2010 prevê que os resíduos devam ser separados em, no mínimo, duas frações: secos e úmidos. Progressivamente, a separação deve ser estendida,

segregando os resíduos secos em suas parcelas específicas. O ideal, visando atender as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, é que uma terceira coleta fosse instaurada, separando os rejeitos dos recicláveis úmidos, porém essa é uma realidade ainda distante dos municípios brasileiros. A Figura 3 apresenta a comparação do índice de cobertura de coleta de RSU nas regiões brasileiras para os anos de 2010 (início do Plano Nacional de Resíduos Sólidos) e 2019.

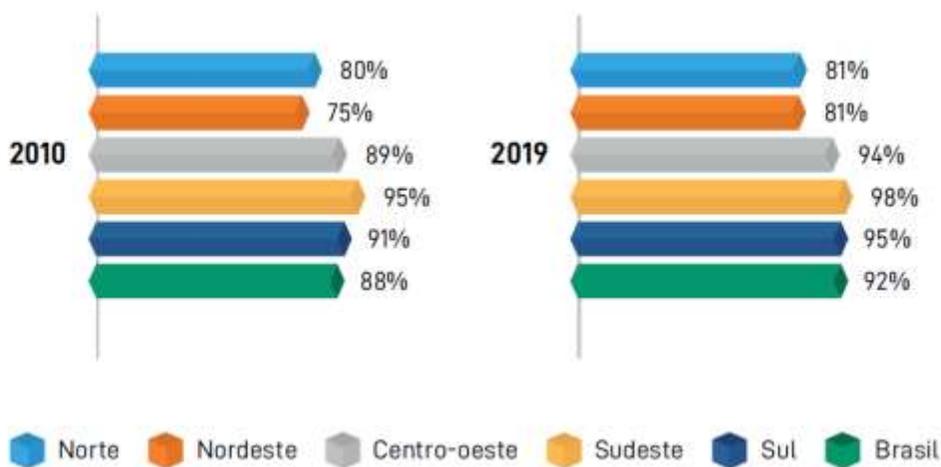


Figura 3. Índice de cobertura de coleta de RSU nas regiões brasileiras. (ABRELPE, 2020)

Também segundo a ABRELPE (2020), 73,1% das cidades brasileiras apresentam iniciativas de coleta seletiva, porém esse número também engloba municípios que coletam em apenas parte da cidade. A Tabela 1 apresenta os índices de cobertura de coleta seletiva para os anos de 2010 e 2019 nas regiões brasileiras.

Tabela 1. Índice de Cobertura de Coleta Seletiva nas regiões do Brasil.

Região	2010	2019
Norte	44,1%	63,6%
Nordeste	34,2%	54,5%

Centro-Oeste	26,1%	48,6%
Sudeste	78,7%	89,7%
Sul	76,2%	90,9%
Brasil	56,6%	73,1%

Fonte: ABRELPE (2020).

### 3.2.2. Destinação Final

Praticamente a totalidade dos municípios brasileiros destinam seus resíduos para aterros sanitários, aterros controlados ou lixões. Aqui, cabe ressaltar que os dois últimos não podem mais ser implementados e, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, deveriam ter tido suas atividades encerradas em 2014.

A partir da aprovação do Novo Marco do Saneamento Básico (Lei nº14026/2020), porém, os prazos para o encerramento foram prorrogados. Em agosto de 2021, termina o prazo para que todas as capitais e cidades das regiões metropolitanas resolvam a questão. Depois delas, a data limite para os municípios com mais de 100 mil habitantes será em agosto do ano seguinte. Em 2023, para os municípios com população entre 50 mil e 100 mil e em 2024, para aqueles com menos de 50 mil habitantes.

Além disso, o próprio aterro sanitário já é considerado uma tecnologia ultrapassada, pois não têm por objetivo principal o tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no RSU. Outra questão problemática é que a instalação de aterros sanitários depende da disponibilidade de grandes áreas com características específicas de solo, infraestrutura rodoviária, distância de corpos d'água, proximidade dos centros geradores, entre outras, e estes espaços estão cada vez mais escassos (DMITRIJEVAS, 2010). Por fim, os aterros também estão suscetíveis à problemas de infiltração e vazamento de chorume que contaminam o solo e as águas subterrâneas.

Dentro desse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê que os materiais passíveis de reaproveitamento, reciclagem ou tratamento por tecnologias economicamente viáveis (como resíduos recicláveis ou orgânicos) não podem mais ser encaminhados para a disposição final.

Com isso, espera-se aumentar a vida útil dos aterros e diminuir o impacto ambiental causado pela disposição final em aterro.

Portanto, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, foram estabelecidas diretrizes, estratégias e metas visando à redução de RSU úmidos dispostos em aterros sanitários. A seguir são apresentadas as estratégias que abordaram as questões de segregação dos resíduos e práticas de aproveitamento:

“[...] Estratégia 1. Implementar melhorias na segregação dos RSU domiciliares e comerciais, principalmente no que se refere à parcela úmida de forma a propiciar a obtenção de um composto orgânico de alta qualidade, otimizando o seu aproveitamento quer seja para utilização de composto para fins agrícolas e de jardinagem ou para fins de geração de energia.

Estratégia 9: Desenvolvimento Tecnológico visando a otimização e o aumento da eficiência dos processos de compostagem e do aproveitamento energético dos resíduos orgânicos, considerando-se as especificidades regionais.

Estratégia 11. Fomento ao uso de compostos orgânicos como nutrientes para a agricultura, desenvolvendo logísticas que viabilizem tal utilização. [...]”

Além das estratégias, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos apresenta metas relacionadas a diversas etapas de gerenciamento dos resíduos. A meta número 7 da revisão do Plano estabelece percentuais de tratamento biológico para resíduos orgânicos, que aumentam gradativamente a cada quatro anos, conforme apresentado na Tabela 2. É interessante ressaltar que no plano original, a meta inicial era que 28% dos resíduos orgânicos estivesse passando por tratamento biológico já no ano de 2019.

Tabela 2. Metas para tratamento biológico de resíduos recicláveis úmidos.

Região	2020	2024	2028	2032	2036	2040
Norte	0%	1,5%	3%	4,5%	6%	7,5%
Nordeste	0%	1,5%	3%	4,5%	6%	7,5%
Centro-Oeste	0%	1,9%	3,0%	5,8%	7,7%	9,6%
Sudeste	0%	3,6%	7,2%	10,8%	14,4%	18,1%
Sul	0%	3,6%	7,2%	10,8%	14,4%	18,1%
Brasil	0%	2,7%	5,4%	8,1%	10,8%	13,5%

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020).

### 3.3. VALORIZAÇÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA

Como citado anteriormente, a destinação final se baseia quase que exclusivamente em aterros sanitários, ou seja, inexistem instalações adequadas e em escalas apropriadas para oferecer o tratamento das frações do RSU, promovendo a separação de materiais com valor agregado e passível de aproveitamento, direto ou indireto,

Isso significa que todas as iniciativas voltadas para a valorização do RSU, ajustando a qualidade deste serviço às prerrogativas da PNRS, exigirão investimento em infraestrutura.

#### 3.3.1. Biomassa

Segundo ANEEL (2008), biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Sua origem pode ser florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz, cana-de-açúcar, entre outras) ou de resíduos urbanos e industriais.

Carneiro (2005) afirma que todo resíduo tem um conteúdo energético capaz de ser recuperado com emprego de uma tecnologia apropriada. A fração orgânica dos RSU é uma fonte de energia renovável que pode ser explorada sob condições controladas a fim de se reduzir o impacto ambiental dos resíduos. Sua decomposição anaeróbia produz metano (CH<sub>4</sub>), que, ao ser queimado, pode ser convertido em energia elétrica. Esse gás é comumente chamado de “biogás”. De acordo com Schulz (2015), o aproveitamento energético dos RSU apresenta viabilidade econômica e ambiental, estando presente em 194 aterros sanitários no mundo.

Em estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (PROBIOGÁS, 2017), se estimou o potencial de geração de biogás a partir de RSU em 100Nm<sup>3</sup>/t, com uma quantidade aproximada de 55% de metano. Esse valor, porém, pode variar com diversos fatores, como composição dos resíduos e tecnologia empregada.

É importante ressaltar que o uso da tecnologia para obtenção de biogás está diretamente relacionado ao custo e a disponibilidade de energia. Em países com baixo custo de produção de energia elétrica, geralmente o processo de aproveitamento do biogás é mais caro que alternativas como compostagem.

No Brasil, a recuperação energética dos RSU é regulamentada e regida pela Portaria Interministerial nº 274, de 30 de abril de 2019.

### 3.3.2. Fertilizantes Orgânicos

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de nutrientes. A produção nacional não atende de forma suficiente a demanda por esse tipo de produto e o país importou em 2018 mais de 70% dos fertilizantes empregados na agricultura. Desse modo, o aumento nacional da produção de insumos agrícolas depende não apenas de uma isonomia tributária entre o produto nacional e o importado, mas também da busca por fontes alternativas de nutrientes que complementem a oferta desse tipo de produto, como, por exemplo, resíduos orgânicos (FADE/UFPE, 2013).

Os resíduos orgânicos sofrem transformações metabólicas desde que fornecidas as condições de umidade, aeração e microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas, insetos etc., que têm na matéria orgânica in natura sua fonte de matéria e energia.

Como resultado da digestão da matéria orgânica por esses organismos, ocorre a liberação de nutrientes como N, P, K, Ca e Mg se transformando em nutrientes minerais. Ou seja, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização (EMBRAPA, 2005). O processo de compostagem, por exemplo, produz essas transformações metabólicas, sendo o húmus e o biofertilizante gerados dois excelentes insumos para a agricultura;

A Instrução Normativa 25/2009 da Secretaria de Defesa Agropecuária, classifica os fertilizantes orgânicos de acordo com as matérias primas utilizadas na sua produção e determina os parâmetros para comercialização:

- ***I - Classe “A”***: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- ***II - Classe “B”***: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- ***III - Classe “C”***: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura;
- ***IV - Classe “D”***: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

A Tabela 3 apresenta as especificações dos fertilizantes que são necessárias para que seja permitida a comercialização.

Tabela 3. Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	
N total (mín.)	0,5				
Carbono orgânico (mín)	15				10
CTC	Conforme declarado				
pH (mín.)	6	6	6,5	6	6
Relação C/N (máx.)	20				14
Relação CTC/C	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

Fonte: BRASIL (2009).

Borges (2011) relata que dentre os benefícios e vantagens da utilização do composto orgânico, os seguintes merecem destaque:

- melhora da estrutura do solo, tornando-o poroso e agregando suas partículas que se transformam em grânulos;
- incremento de 20 a 70 % da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo;
- aumento da capacidade de absorção e armazenamento de água no solo;
- redução radical da erosão, evitando o deslocamento violento de água e amortecimento do impacto das gotas de chuva na superfície dos solos;
- aumento da estabilidade do pH do solo;
- aumento da retenção dos macronutrientes, impedindo seu arraste pela chuva;
- fornecimento de nutrientes às plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio;
- aumento da aeração do solo, necessária à oxigenação das raízes;
- melhora da drenagem de água no solo;
- aumento da retenção do nitrogênio no solo;
- estímulo à vida microbiana, aumentando a homeostase do solo, reduzindo o risco de pragas e doenças.

### 3.4. PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DA PARCELA ORGÂNICA

De acordo com a PNRS, a destinação de resíduos consiste na reutilização, compostagem, reciclagem, recuperação, aproveitamento energético e outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do Suasa. Já a disposição final consiste em distribuir ordenadamente os rejeitos em aterros, observando as normas operacionais específicas que evitem danos ou riscos à saúde e à segurança pública, minimizando os impactos ambientais adversos. Ou seja, existem diversas formas de destinação, porém apenas uma de disposição final, que deve ser usada apenas para rejeitos. Já o tratamento dos resíduos é definido pela PNRS como a utilização de tecnologias apropriadas para neutralizar a periculosidade dos resíduos, possibilitando muitas vezes a reutilização e reciclagem

Existe uma ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, estipulada pela PNRS, que é:

**1ª - Não Geração** - o conceito está ligado à eficiência em toda a cadeia produtiva e de serviços com o uso de tecnologias modernas e inovadoras.

**2º - Redução** - após esgotar todos os métodos para não gerar resíduos, a organização deve desenvolver técnicas para reduzir a quantidade gerada em seus processos. Seja através da inovação tecnológica (modificações no processo, substituição de matérias-primas, maquinários mais eficientes, etc.). Ou seja, através da criação de novos serviços e produtos com tarefas semelhantes, porém com maior eficiência.

**3ª - Reutilização** – a reutilização procura prolongar a vida útil de um produto no mercado. Todo produto dessa categoria deve possuir uma indicação de quantos ciclos de produção poderá atravessar sem afetar suas características principais.

**4ª - Reciclagem** - tem como finalidade reintroduzir um resíduo após sofrerem transformações em suas propriedades á uma determinada cadeia produtiva e servir de matéria prima para a fabricação de outros produtos.

**5º - Tratamento** - utiliza tecnologias apropriadas para neutralizar a periculosidade do resíduo, possibilitando muitas vezes a reutilização e reciclagem.

**6ª - Disposição** - deve ser empregada somente se o resíduo não for capaz de passar por tratamento algum.

A seguir, são apresentadas as duas formas de tratamento que estão presentes na ferramenta, biodigestão e compostagem.

### 3.4.1. Biodigestão

Cassini et al. (2003) define a digestão anaeróbia como um processo de estabilização biológica complexo no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio, promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico. De acordo com Carneiro (2005), se gera também um resíduo final (biossólido) com uma pequena concentração de sólidos voláteis ou orgânicos que pode ser usado como material de mistura para biofertilizantes. Teoricamente, todos os compostos orgânicos podem se degradados anaerobicamente, sendo que o processo se mostra mais eficiente e econômico quando os resíduos são facilmente biodegradados (CHERNICHARO, 1997).

Em geral, resíduos orgânicos de cozinha, com maior umidade, são mais propícios à degradação anaeróbia. Conforme Bouallagu et al. (2005), resíduos de frutas e vegetais apresentam em média 75% de matéria com fácil biodegradação (açúcares e hemicelulose) e apenas 14% de celulose lignina, matérias mais complexas e de difícil degradação por bactérias anaeróbias.

A produção de metano não ocorre em ambientes com a presença de oxigênio, nitratos e sulfatos, pois estes funcionam como aceptores finais de elétrons. De acordo com Silva (2009), no processo da biodigestão são utilizados como aceptores finais de elétrons íons do tipo  $\text{NO}_3^-$ , resultando na redução de nitrato a nitrogênio molecular,  $\text{SO}_4^{2-}$  na redução de sulfato a gás sulfídrico e  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CO}_2$  reduzindo-se a metano.

Assim, a biodigestão apresenta-se como uma alternativa para diminuir o envio de resíduos orgânicos aos aterros sanitários, gerando como produto biogás e fertilizantes orgânicos

### 3.4.2. Compostagem

Segundo a NBR 13.591:1996, define-se como compostagem o “processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.”

A aeração é fundamental para o processo, pois os microrganismos utilizam o oxigênio para oxidar a matéria orgânica. Para fornecer oxigênio ao sistema é necessário a existência de espaços vazios na massa de resíduos, portanto não se recomenda a utilização de resíduos com granulometria muito fina. Em caso de adensamento da massa e preenchimento dos espaços vazios, o meio se tornará anaeróbio, podendo gerar odores desagradáveis.

Como qualquer processo biológico, a eficiência da compostagem está associada a condições especiais de temperatura, umidade, pH, aeração e relação C:N. Durante a degradação da matéria orgânica, há elevação da temperatura na massa de resíduos e em cada faixa específica de temperatura agem diferentes microrganismos (REIS, 2005).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2010), os RSU apresentam características que viabilizam a sua compostagem. Conforme citado anteriormente, a eficiência do processo depende de condições favoráveis, que podem ser obtidas pela utilização de uma parte de resíduos como frutas, legumes e verduras para três partes de resíduos de poda e jardinagem. Entretanto como se trata de um processo em que há interferência de muitas variáveis, outras proporções entre estes materiais podem ser utilizadas.

#### 3.4.2.1. Compostagem termofílica em leiras

Segundo o MMA (2017), a compostagem termofílica é o processo de decomposição microbiológica da matéria orgânica dependente de oxigênio e com geração de calor se desenvolvendo em temperaturas acima de 45°C (atingindo picos de até 70°C).

O método da compostagem em leiras consiste em acumular os resíduos em pilhas para que atinjam valores altos de temperatura no seu centro. É preciso, porém, permitir a entrada de oxigênio na parte interior, o que pode ser feito tanto manualmente (aeração manual) quanto mecanicamente com insufladores (aeração forçada). A compostagem com aeração forçada ocorre mais rapidamente, porém tem um custo mais elevado de instalação.

A compostagem em leiras termofílica possui 4 etapas:

- **Fase Inicial:** Pode durar de 15 a 72 horas e se caracteriza pela liberação de calor e elevação rápida da temperatura até atingir 45°C. Isto acontece pela expansão das colônias de microrganismos mesófilos e intensificação da ação de decomposição.
- **Fase Termofílica:** Se inicia quando a temperatura se eleva acima de 45°C, predominando a faixa de 50 a 65°C, quando se dá a plena ação de microrganismos termófilos, com intensa decomposição de material e liberação de calor e de vapor d'água. A aeração se intensifica, pois, o ar quente (mais leve) se eleva, favorecendo a entrada de ar mais frio por baixo da leira (processo de convecção).
- **Fase Mesofílica:** Acontece a diminuição da temperatura pela redução da atividade dos microrganismos, degradação de substâncias orgânicas mais resistentes e perda de umidade. Enquanto a fase termofílica é dominada por bactérias, desta fase em diante os fungos actinomicetos têm papel igualmente relevante.
- **Fase de Maturação:** Nesta fase, de fato, ocorre a formação de húmus, quando a atividade dos microrganismos diminui e o composto perde a capacidade de auto aquecimento. A partir desta fase, a decomposição se processa muito lentamente e prosseguirá até a aplicação do composto no solo, liberando nutrientes.

#### 3.4.2.2. Vermicompostagem

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam as minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação, melhorando a aeração e a drenagem do material em etapa de maturação (REIS, 2005).

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a função das minhocas é mais mecânica do que bioquímica, embora, após a ingestão do material elas excretem os coprólitos, que são produtos da biotransformação realizada pelos microorganismos naturalmente existentes nos intestinos das minhocas.

Embora as características do processo sejam semelhantes à compostagem tradicional, alguns parâmetros devem ser adaptados às condições de sobrevivência das minhocas. Segundo Embrapa (2011), o ambiente deve ser mantido a uma temperatura entre 20 e 25°C, umidade entre 70 e 85 % e

pH neutro. Além disso, é importante que o meio não seja muito compactado e nem encharcado, para proporcionar a aeração necessária.

Uma das maneiras de realizar vermicompostagem é através de composteiras domésticas ou “minhocários”. Segundo Leite (2011), a compostagem doméstica permite realizar o tratamento de resíduos orgânicos no local de origem, evitando os gastos e os impactos ambientais associados à coleta, transporte e destinação final dos resíduos orgânicos domiciliares, por exemplo. Consiste em um sistema simples, de fácil operação e perfeitamente adaptável a casas e apartamentos. Na Figura 4 são apresentados modelos de composteiras domésticas.



Figura 4. Composteiras Domésticas. (Acervo pessoal)

O sistema é composto, no mínimo, por 3 caixas. A degradação dos resíduos ocorre nas duas caixas superiores, também chamadas de caixas digestoras. A caixa inferior tem como função a coleta do líquido gerado, que também é um biofertilizante. A alimentação do sistema (adição de resíduos) inicia pela gaveta superior, onde são adicionadas as minhocas, e permanece sendo realizada nessa caixa até que o volume desta seja preenchido. No momento em que essa caixa for preenchida totalmente, realiza-se a inversão desta com a caixa do meio, de modo que a caixa cheia permanece maturando no andar do meio para finalizar a produção do vermicomposto. Nesse momento inicia-se a alimentação da caixa vazia, agora localizada na parte superior. Quando o vermicomposto estiver pronto na caixa do meio, as minhocas migrarão através dos furos para o andar de cima em busca de alimento. Em média, após 60 dias, as duas caixas estarão cheias e o composto estará pronto para ser aplicado no solo.

No momento da inserção dos resíduos, estes devem ser cobertos com matéria vegetal seca (serragem, folhas, grama...) a fim de equilibrar a relação C/N e impedir a geração de mau odor.

### 3.5. ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Normalmente, o estudo de viabilidade de um equipamento, processo ou serviço é composto pelas análises econômica e financeira (CAMPOS, 2016). A análise da viabilidade econômica é uma avaliação qualitativa, pois serve para comparar se a rentabilidade do objeto de estudo é mais atrativa do que outra alternativa de investimento oferecida pelo mercado. Já a apreciação da viabilidade financeira, sendo um exame quantitativo, leva em consideração a disponibilidade de capital necessária para realizar, no caso, a construção do aterro (ASSUMPCÃO, 2004).

Já segundo Rocha Lima Jr. (1998), quando se analisa a qualidade de um investimento, o objetivo é definir indicadores que possam transmitir ao responsável pela execução o reconhecimento de que a alternativa que se apresenta está, ou não, dentro do orçamento planejado, na maioria das vezes, inclusive, sendo hierarquizada, contra alternativas disponíveis no mercado para absorver este investimento.

A função da análise da qualidade é dar suporte ao investidor, para que este possa decidir, levando em conta que se trata de um empreendimento ou equipamento urbano “aceitável” - do ponto de vista econômico, “sustentável” – do ponto de vista financeiro e que compreende um lastro válido para os recursos imobilizados. Logo, para que o estudo de viabilidade se aproxime da realidade, deve-se partir de um bom cenário; dispor de um bom modelo para simulação; conhecer os indicadores da qualidade fornecidos pelo modelo de cálculo; saber interpretar os indicadores; e estabelecer critérios particulares de decisão (CAMPOS, 2016).

Durante a revisão bibliográfica, foram encontrados trabalhos que analisaram econômica-financeiramente usinas de biogás como Gehm (2016), Campos (2016). Jucá (2009) e para usinas de compostagem como Garré (2016), Pires (2011) e Bergi (2018). O único trabalho encontrado que analisa as duas alternativas em conjunto é o relatório “Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de RSU com Produção de Biogás” publicado em 2017 pelo programa do Governo Federal PROBIOGÁS.

Observa-se que neste trabalho, seguindo o definido por Assumpção, (2004), o estudo foi econômico-financeiro, por ter considerado tanto elementos qualitativos quanto quantitativos.

### 3.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por ser uma questão relativamente recente na pauta do poder público, da sociedade de maneira geral e ser um tema que envolve paradigmas e preconceitos a serem desmistificados, a gestão dos resíduos sólidos urbanos ainda é pouco discutida de maneira aprofundada.

Por outro lado, são inegáveis os avanços obtidos a partir da formulação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e do consequente Plano Nacional de Resíduos Sólidos. A ausência de um documento norteador que padronizasse as decisões referentes ao tema era uma lacuna que dificultava ainda mais o desenvolvimento do tema. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos não resolve, porém, as disparidades econômicas entre as diferentes regiões, e às vezes dentro de uma mesma região, que impossibilitam um avanço uniforme nas políticas públicas. Além disso, a dificuldade de relacionamento entre municípios vizinhos e a frequente mudança de prioridades que ocorre quando se trocam os gestores também são fatores limitantes no processo, seja para a formação de consórcios ou programas públicos dentro do próprio município.

Em relação à parcela orgânica dos resíduos, já existem estudos que avaliam diferentes alternativas para dispor e tratar essa fração, porém geralmente priorizam avaliar aspectos técnicos e não financeiros. É nessa lacuna que buscou-se desenvolver esse trabalho, pois, normalmente, aos gestores importam mais os custos e receitas envolvidas. Aqui, cabe ressaltar que essa é uma visão equivocada, pois com a crescente conscientização coletiva para assuntos ambientais, projetos vinculados ao tema são cada vez mais valorizados pela população.

Assim, ao propor desenvolver uma ferramenta que avalie financeiramente diferentes cenários de destinação de resíduos, busca-se fornecer mais subsídios para que administradores municipais embasem duas decisões para mudar os rumos da destinação dos resíduos orgânicos nos seus municípios.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A metodologia utiliza o Microsoft Excel 2013 para calcular a rentabilidade de possíveis cenários de destinação de resíduos orgânicos e rejeitos. As alternativas de tratamento e destinação final incluem: Aterro Sanitário, Biodigestão, Compostagem Termofílica e Compostagem Doméstica.

O operador pode compor cenários com mais de um tipo de tratamento, destinando uma parcela dos resíduos para biodigestão, outra parcela para compostagem termofílica e outra para compostagem doméstica, por exemplo. A partir dos tipos de tratamento escolhidos, dos dados demográficos e de dados da gestão de resíduos municipal, a ferramenta apresenta os custos e receitas aproximados envolvidos no processo.

### 4.2. ORGANIZAÇÃO DA FERRAMENTA

A planilha é dividida em 8 blocos que foram denominados da seguinte forma:

- Dados de Entrada do Município
- Custos atuais do Município
- Dados da Usina de Biogás
- Dados da Usina de Compostagem Termofílica
- Dados da Distribuição de Composteira Domésticas
- Dados do Aterro Sanitário
- Aproximações do Estudo
- Custos e Receitas Simulados

A seguir, cada bloco é apresentado individualmente com a explicação de cada uma de suas variáveis. As células pintadas em verde são calculadas automaticamente pelo modelo a partir dos dados de entrada, que devem ser colocados nas células brancas. Ao lado de cada item foi colocado um código identificador (ID) para auxiliar na visualização das fórmulas que compõe determinados itens. Além disso, quando alguma fórmula utilizava um numeral, esse foi colocado na cor azul e em negrito para

não confundir com os códigos identificadores. Por fim, é importante ressaltar que o termo “coleta domiciliar” foi utilizado para se referir à coleta que abrange orgânicos, rejeitos e recicláveis destinados erroneamente.

#### 4.2.1. Dados de Entrada do Município

Aqui, o operador deve colocar os dados de entrada relacionados à gestão e produção de resíduos no município. Esse bloco serve como base para o cálculo e dimensionamento do aterro, da usina de compostagem, da usina de biogás e para a distribuição de composteiras domésticas. As variáveis são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Dados de Entrada relacionados ao município requeridos pela ferramenta

<b>Dados Iniciais</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Definição</b>	<b>Unidade</b>
001	População	População atendida com coleta domiciliar	Pessoas
002	Produção per capita de RSU	-	Kg/hab.dia
003	Taxa da Coleta Domiciliar	Porcentagem de resíduos coletados na coleta domiciliar em relação ao total coletado (Domiciliar + Seletiva)	%
004	Taxa de Orgânicos na Composição Gravimétrica	-	%
005	Taxa de Rejeito na Composição Gravimétrica	-	%
006	Taxa de Orgânicos + Rejeito na Composição Gravimétrica	-	%
007	Peso Específico dos Resíduos Orgânicos + Rejeitos	-	Kg/m <sup>3</sup>
008	Dias no mês	Fator de conversão de dias para mês	dias/mês
009	Dias de Coleta	Quantidade média de dias que ocorre coleta domiciliar	dias/semana
010	Produção Per Capta Coleta Domiciliar	$002 \times 003$	Kg/hab.dia
011	Produção per capita de fração orgânica	$002 \times 004$	Kg/hab.dia
012	Produção per capita de fração de rejeitos	$002 \times 005$	Kg/hab.dia
013	Valor mensal de coleta domiciliar enviada ao aterro	$\frac{001 \times 008 \times 010}{1000}$	ton/mês

014	Valor mensal de fração orgânica enviada ao aterro	$\frac{001 \times 008 \times 011}{1000}$	ton/mês
015	Valor mensal de fração de rejeito enviada ao aterro	$\frac{001 \times 008 \times 012}{1000}$	ton/mês
<b>Dados Sobre Transporte</b>			
ID	Item	Valor	Unidade
016	Preço do Diesel	-	reais
017	Consumo de Diesel do Caminhão que leva ao aterro	-	Km/L
018	Consumo de Diesel do Caminhão que coleta e leva ao transbordo	-	Km/L
019	Número de Bairros da cidade	-	Bairros
020	Km percorridos pelo caminhão de coleta	-	Km
021	Número de Bairros atendidos 5x na semana com coleta domiciliar	-	Bairros
022	Número de Bairros atendidos 3x na semana com coleta domiciliar	-	Bairros
023	Média da Malha Viária por Bairro	$\frac{020}{019}$	Km/Bairro
024	Distância total percorrida diária coleta domiciliar	$\frac{(023 \times 021 \times 20) + (023 \times 022 \times 12)}{008}$	Km/dia
025	Distância média percorrida entre bairros e a estação de transbordo (ida e volta)	-	Km
026	Viagens diárias realizadas até o transbordo	-	Viagens/dia
027	Distância total percorrida diária até transbordo	$025 \times 026$	Km/dia
028	Distância percorrida até aterro sanitário (ida e volta)	-	Km
029	Viagens diárias realizadas até o aterro	-	Viagens
030	Distância total percorrida diária até aterro	$028 \times 029$	Km/dia
031	Produtividade média dos empregados da coleta (coletores + motoristas)	Quantidade coletada dividida pelo número de coletores + motoristas	Kg/empreg/dia
032	Custo médio de um empregado da coleta em regime CLT (Coletor e motorista)	-	R\$/empregado/mês
033	Número de empregados para atender coleta domiciliar	$\frac{010 \times 001}{031}$	empregados

034	Número de empregados para atender coleta da fração orgânica	$\frac{011 \times 001}{031}$	empregados
035	Número de empregados para atender coleta da fração de rejeito	$\frac{012 \times 001}{031}$	empregados
Dados sobre Destinação			
ID	Item	Valor	Unidade
036	Preço médio da coleta por volume coletado	-	R\$/m <sup>3</sup>
037	Preço médio da coleta por Kg de resíduo coletado	$\frac{036}{007}$	R\$/Kg
038	Preço médio da coleta por t de resíduo coletado	037 x 1000	R\$/ton
039	Preço médio do transbordo por tonelada de resíduo destinado	-	R\$/ton
040	Preço médio do aterro por tonelada de resíduo destinado	-	R\$/ton

Algumas aproximações e arbitrariedades necessárias para esse bloco de variáveis são:

- Dias de Coleta (009) – Como nem todos os bairros são atendidos a mesma quantidade de dias, deve-se fazer uma aproximação baseada no número de bairros atendidos e suas frequências de atendimento.
- Número de Bairros atendidos 5x na Semana (021) e Número de Bairros Atendidos 3x na Semana (022) – Considerou-se esses dois valores de cinco e três vezes por ser o mais comum para cidades de grande/médio porte.
- Média da Malha Viária por Bairro (023) - A malha viária por bairro foi considerada homogênea, como se todos os bairros tivessem a mesma extensão.
- Distância total percorrida diariamente pela coleta domiciliar (024) – Aqui, foram adotados os valores de 20 dias mensais de coleta para os bairros atendidos 5 vezes na semana e 12 dias mensais de coleta para bairros atendidos 3 vezes na semana.
- Preço Médio da Coleta por Volume Coletado (036) – Aqui é utilizado o peso específico do resíduo não compactado, mas como muitas vezes são caminhões compactadores, o ideal é inserir direto o valor de R\$/Kg ou R\$/ton coletada.

## 4.2.2. Custos Atuais do Município

Esse bloco realiza os cálculos dos gastos atuais do município baseado nos valores de entrada inseridos no bloco de dados de entrada sobre o município. Esse bloco foi separado em gastos totais, onde se utilizou o valor pago por unidade de resíduo coletada ou destinada, e o gasto apenas com combustível e mão de obra para realizar os serviços de coleta e destinação. Além disso, se realizou uma separação entre os gastos apenas com a coleta domiciliar, com a fração orgânica e os com a fração de rejeitos para poder avaliar o quanto o município poderia economizar em combustível e mão de obra se separasse essas frações. A Tabela 5 apresenta as variáveis desse bloco.

Tabela 5. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas aos custos atuais do município

Custos Atuais do Município			
Combustível e Mão de Obra			
ID	Item	Valor	Unidade
041	Valor Gasto Com Combustível para coleta domiciliar	$\left(\frac{024 \times 008}{009}\right) \times \left(\frac{016}{018}\right)$	R\$/mês
042	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração orgânica	$\left(\frac{024 \times 008}{009}\right) \times \left(\frac{016}{018}\right)$	R\$/mês
043	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração de rejeito	$\left(\frac{024 \times 008}{009}\right) \times \left(\frac{016}{018}\right)$	R\$/mês
044	Valor Gasto Com Combustível para levar resíduos da coleta domiciliar ao transbordo	$\left(\frac{027 \times 008}{009}\right) \times \left(\frac{016}{018}\right)$	R\$/mês
045	Valor Gasto Com Combustível para levar fração orgânica ao transbordo	$\left(\frac{004 \times 044}{003}\right)$	R\$/mês
046	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao transbordo	$\frac{005 \times 044}{003}$	R\$/mês
047	Valor Gasto Com Combustível para levar coleta domiciliar ao aterro	$\left(\frac{030 \times 008}{009}\right) \times \left(\frac{016}{017}\right)$	R\$/mês
048	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de orgânico ao aterro	$\left(\frac{004 \times 047}{003}\right)$	R\$/mês

049	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao aterro	$\frac{005 \times 047}{003}$	R\$/mês
050	Valor gasto com coletor e motorista para coleta domiciliar	$032 \times 033$	R\$/mês
051	Valor Gasto com coletor e motorista para fração orgânica	$032 \times 034$	R\$/mês
052	Valor Gasto com coletor e motorista para fração de rejeito	$032 \times 035$	R\$/mês
053	Total coleta domiciliar	$041 + 043 + 047 + 050$	R\$/mês
054	Total fração orgânica	$042 + 045 + 048 + 051$	R\$/mês
055	Total fração de rejeitos	$043 + 046 + 049 + 052$	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível e mão de obra)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
056	Gasto com coleta domiciliar	$013 \times 038$	R\$/mês
057	Gasto com coleta da fração orgânica	$014 \times 038$	R\$/mês
058	Gasto com coleta da fração de rejeito	$015 \times 038$	R\$/mês
059	Gasto com transbordo para coleta domiciliar	$013 \times 039$	R\$/mês
060	Gasto com transbordo para fração orgânica	$014 \times 039$	R\$/mês
061	Gasto com transbordo para fração de rejeito	$015 \times 039$	R\$/mês
062	Gasto com aterro para coleta domiciliar	$013 \times 040$	R\$/mês
063	Gasto com aterro para fração orgânica	$014 \times 040$	R\$/mês
064	Gasto com aterro para fração de rejeito	$015 \times 040$	R\$/mês
065	Total coleta domiciliar	$056 + 059 + 062$	R\$/mês
066	Total fração orgânica	$057 + 060 + 063$	R\$/mês
067	Total fração de rejeitos	$058 + 061 + 064$	R\$/mês

#### 4.2.3. Dados da Usina de Biogás

Esse bloco apresenta os custos e receitas envolvidos na construção e operação de uma usina de biogás. Os valores foram retirados do relatório “Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de RSU com Produção de Biogás” publicado em 2017 pelo programa do Governo Federal PROBIOGÁS.

A usina apresentada no estudo foi dimensionada para uma capacidade de recebimento de 12500 t/mês e apresenta, além dos biodigestores, maquinário para triagem de recicláveis e

coprocessáveis, pátio de compostagem e tratamento das frações sólidas e líquidas do rejeito resultante do processo de biodigestão. O estudo também considerou que os resíduos não serão separados na fonte, porém a ferramenta desenvolvida permite que o operador escolha se quer separá-los na fonte ou não.

O biogás gerado no processo de metanização será convertido em energia elétrica para o abastecimento da própria instalação, com geração de calor para manutenção do sistema (cogeração por meio de motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico, denominado CHP – Combined Heat and Power). O excedente elétrico será comercializado. A Tabela 6 apresenta as variáveis desse bloco.

Tabela 6. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à Usina de Biogás,

Dados da Usina de Biogás			
Dados Iniciais			
ID	Item	Valor	Unidade
068	Entrega de Resíduos é Voluntária?	Sim ou Não	
069	Adesão da População	Porcentagem da população que enviará seus resíduos para a usina de biogás	%
070	Material Aportado	Se 068 = “sim”: $069 \times 014$ Se 068 = “não”: $069 \times 013$	ton/mês
071	Rejeito dos Voluntários	Se 068 = “sim”: $\frac{069 \times 001 \times (010-011) \times 008}{1000}$ Se 068 = “não”: <b>0</b>	ton/mês
Dados Sobre Transporte			
ID	Item	Valor	Unidade
072	Distância percorrida na coleta	$\left(\frac{069 \times 024 \times 008}{009}\right)$	Km/mês
073	Custo com combustível para coleta	$\left(\frac{072 \times 016}{018}\right)$	R\$/mês
074	Número de empregados para atender coleta	Se 068 = “sim”: $\left(\frac{070}{008 \times 031}\right) \times 1000 + \left(\frac{071}{008 \times 031}\right) \times 1000$ Se 068 = “ não”: $\left(\frac{070}{008 \times 031}\right) \times 1000$	Empregados
075	Custo com empregados para coleta	$032 \times 074$	R\$/mês
076	Distância média até local da Usina de Biogás	Distância média entre bairros e local da usina	Km
077	Viagens Mensais até local da Usina de Biogás (ida e volta)	$\left(\frac{029 \times 2 \times 008}{009}\right) \times 069$	Viagens
078	Distância percorrida até local da Usina de Biogás	$076 \times 077$	Km/mês

079	Custo com combustível para destinação	$\left(\frac{078 \times 016}{017}\right)$	R\$/mês
<b>Dados sobre Destinação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
080	Usina contará com triagem de recicláveis?	Se 068 = "Sim": Não Se 068 = "Não: Sim	-
081	Valor Investido na etapa de triagem de recicláveis	Se 080 = "Não": 0 Se 080 = "Sim": 188 x 12000000	R\$
082	Eficiência da etapa de triagem de recicláveis	Quanto de recicláveis que é possível recuperar	%
083	Resíduos recicláveis recuperados mensalmente	Se 080 = "Não": 0 Se 080 = "Sim": 070 x 082	ton/mês
084	Usina contará com triagem para coprocessamento?	Se 068 = "Sim": Não Se 068 = "Não: Sim	-
085	Valor Investido na etapa de triagem para coprocessamento	Se 084 = "Não": 0 Se 084 = "Sim": 188 x 4000000	R\$
086	Eficiência da triagem dos materiais coprocessáveis	Quanto de coprocessáveis que é possível recuperar	
087	Resíduos coprocessáveis recuperados mensalmente	Se 084 = "Não": 0 Se 084 = "Sim": 070 x 086	ton/mês
088	Valor Investido na etapa de Metanização + Separação Lodo + Tratamento diferenciado das fases líquida e sólida	Se 068 = "Sim": 188 x 27353000 Se 068 = "Não: (188 x 50000000) - 081 - 085	R\$
089	Aporte na Metanização	Se 068 = "Sim": 070 Se 068 = "Não: 070 - 083 - 087	ton/mês
090	% de massa recuperada nas etapas de Metanização + Separação Lodo + Tratamento diferenciado das fases líquida e sólido	Se 068 = "Sim": 70% Se 068 = "Não: 30 %	%
091	Massas recuperada nas etapas de Metanização + Separação Lodo + Tratamento diferenciado das fases líquida e sólido	090 x 089	ton/mês
092	Rejeito da usina destinado ao Aterro	070 - 083 - 087 - 091	ton/mês
093	Despesa com destinação ao aterro	092 x 040	R\$/mês
094	Custo de Operação da Usina	188 x 732996	R\$/mês
<b>Receitas</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
095	Relação Biogás gerado/RSU aportado	Volume de biogás produzido por ton de RSU aportado	m³/ton RSU
096	Produção de Biogás Mensal	095 x 089	m³/mês
097	Produção de Biogas horária	$\left(\frac{096}{24 \times 008}\right)$	m³/h
098	Teor de Metano no Biogás	-	%
099	Produção de metano mensal	098 x 096	m³/mês
100	Produção de metano horária	098 x 097	m³/h
101	Poder Calorífico do Biogás	-	KWh/m³
102	Energia Mensal gerada	099 x 101	KWh/mês
103	Potência Instalada	100 x 101	KW
104	Eficiência Elétrica da Cogeração	-	%
105	Potência Final Instalada	104 x 103	KW

106	Energia final Gerada	$105 \times 008 \times 24$	Kwh/mês
107	% de energia consumida dentro da própria Usina	Quantidade de energia gerada que é gasta com a manutenção da própria usina	%
108	Energia Mensal Excedente	$(1 - 107) * 106$	KWh/mês
109	Valor do KWh	-	R\$/KWh
110	Renda Mensal Gerada	$109 \times 108$	Reais/mês

Algumas aproximações e adequações necessárias para esse bloco de variáveis são:

- Caso seja realizada com voluntários, eles realizarão a separação na fonte da maneira correta.
- Os valores de combustível e mão de obra para coleta são proporcionais à adesão da população.
- Caso não seja realizada com voluntários, a operação exige necessariamente a construção de um setor para triagem de recicláveis e coprocessáveis.
- Os valores investidos nas instalações de triagem de recicláveis, coprocessamento e na metanização foram retirados do relatório da Probiogás citado anteriormente e corrigido por um fator proporcional à capacidade de recebimento de resíduos da usina. Para a unidade de triagem (ID N°81), por exemplo, o valor de referência para a usina de estudo era de R\$12.000.000,00, por isso esse valor multiplica o fator de correção. O mesmo se aplica para as demais instalações.
- % de massa recuperada nas etapas de Metanização + Separação Lodo + Tratamento diferenciado das fases líquida e sólido (ID 90): O valor apresentado pelo estudo da Probiogás é que 35% do que chega na etapa de metanização é recuperado em forma de biogás, fertilizante ou reaproveitado no processo. Esse valor, porém, se refere a resíduos não separados na fonte, por isso o valor de 70% é utilizado seguindo estudo de Neto (2017).
- O custo de operação da usina segue a mesma lógica apresentada anteriormente. Corrigiu-se o valor do estudo da Probiogás baseado no fator de correção. Os valores inclusos na operação incluem folha de pagamento, luz, água, internet, manutenção de equipamento e outros gastos operacionais gerais.

#### 4.2.4. Dados da Usina de Compostagem Termofílica

Esse bloco apresenta os custos e receitas envolvidos na construção e operação de uma usina de compostagem. Os valores também foram retirados do relatório “Viabilidade Econômica de Projetos

de Valorização Integrada de RSU com Produção de Biogás” do programa PROBIOGÁS. Como o relatório apresenta os custos discretizados por cada unidade de tratamento, optou-se por seguir a mesma fonte de dados para tentar diminuir possíveis subjetividades existentes entre fontes distintas.

A compostagem prevista no relatório será realizada em uma área coberta com o composto disposto em leiras e sendo revirado de 2 a 3 vezes por semana, por meio de um revolvedor de composto para possibilitar uma aeração adequada. O período de decomposição previsto é de até 10 semanas.

O estudo da Probiogás não considerou valores de venda para húmus e biofertilizante gerados no processo da compostagem, porém a ferramenta possibilita simular esses valores. Aqui, é importante ressaltar que, embora ela realize a simulação de venda desses insumos mesmo no caso em que o resíduo não é separado na fonte, dificilmente esses insumos atenderiam os valores exigidos por lei para serem comercializados. A Tabela 7 apresenta as variáveis desse bloco

Tabela 7. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à Usina de Compostagem

<b>Dados da Compostagem Termofílica</b>			
<b>Dados Iniciais</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
111	Entrega de Resíduos é Voluntária?	Sim ou Não	
112	Adesão da População	Porcentagem da população que enviará seus resíduos para a usina de compostagem	%
113	Material Aportado	Se 111 = “sim”: $112 \times 014$ Se 111 = “não”: $112 \times 013$	ton/mês
114	Rejeito dos Voluntários	Se 111 = “sim”: $\frac{112 \times 001 \times (010 - 011) \times 008}{1000}$ Se 111 = “não”: $0$	ton/mês
<b>Dados Sobre Transporte</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
115	Distância percorrida na coleta	$\left(\frac{112 \times 024 \times 008}{009}\right)$	Km/mês
116	Custo com combustível para coleta	$\left(\frac{115 \times 016}{018}\right)$	R\$/mês

117	Número de empregados para atender coleta	$\begin{aligned} \text{Se } 111 = \text{"não"}: & \left(\frac{113}{008 \times 031}\right) \times 1000 \\ & + \left(\frac{114}{008 \times 031}\right) \times 1000 \\ \text{Se } 111 = \text{"não"}: & \left(\frac{113}{008 \times 031}\right) \times 1000 \end{aligned}$	Empregados
118	Custo com empregados para coleta	$032 \times 117$	R\$/mês
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	Distância média entre bairros e local da usina	Km
120	Viagens Mensais até local da Usina de Compostagem (Ida e Volta)	$\left(\frac{029 \times 2 \times 008}{009}\right) \times 112$	Viagens
121	Distância percorrida até local da Usina de Compostagem	$119 \times 120$	Km/mês
122	Custo com combustível para destinação	$\left(\frac{121 \times 016}{017}\right)$	R\$/mês
<b>Dados sobre Destinação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
123	Usina contará com triagem de recicláveis?	Se 111 = "Sim": Não Se 111 = "Não": Sim	-
124	Valor Investido na etapa de triagem de recicláveis	Se 123 = "Não": 0 Se 123 = "Sim": $188 \times 1200000$	R\$
125	Eficiência da etapa de triagem de recicláveis	Quanto de recicláveis que é possível recuperar	\$
126	Resíduos recicláveis recuperados mensalmente	Se 123 = "Não": 0 Se 123 = "Sim": $125 \times 113$	ton/mês
127	Usina contará com triagem para coprocessamento?	Se 111 = "Sim": Não Se 111 = "Não": Sim	-
128	Valor Investido na etapa de triagem para coprocessamento	Se 127 = "Não": 0 Se 127 = "Sim": $188 \times 4000000$	R\$
129	Eficiência da triagem dos materiais coprocessáveis	Quanto de coprocessáveis que é possível recuperar	\$
130	Resíduos coprocessáveis recuperados mensalmente	Se 127 = "Não": 0 Se 127 = "Sim": $129 \times 113$	ton/mês
131	Valor Investido na usina de compostagem	$188 \times 6800000$	R\$

132	Aporte na compostagem	Se 111 = “Sim”: 113 Se 111 = “Não: 112 x 014	ton/mês
133	Área Requerida	132 x 187	m <sup>2</sup>
134	Área Requerida	$\frac{133}{10000}$	ha
135	Rejeito da usina destinado ao Aterro	113 – 130 – 132 – 136	ton/mês
136	Despesa com destinação ao aterro	135 x 040	R\$/mês
137	Custo de Operação da Usina	$\frac{113 \times (342000 + 80000)}{12000}$	R\$/mês
<b>Receitas</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
138	Perdas de Massa por evaporação	70%	%
139	Quantidade de Húmus Produzido	132 x (1 – 138)	ton/mês
140	Valor de Venda do Húmus	-	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	-	%
142	Receita mensal total Húmus	139 x 140 x 141 * x 1000	R\$/mês
143	Quantidade de Biofertilizante Produzido		L
144	Quantidade Biofertilizante Escoada	-	%
145	Valor de Venda do Biofertilizante	-	R\$/L
146	Receita mensal total biofertilizante	145 x 144 x 143	R\$

Algumas aproximações e adequações necessárias para esse bloco de variáveis são:

- Caso seja realizada com voluntários, eles realizarão a separação na fonte da maneira correta.
- Os valores de combustível e mão de obra para coleta são proporcionais à adesão da população.
- Caso não seja realizada com voluntários, a operação exige necessariamente a construção de um setor para triagem de recicláveis e coprocessáveis.
- A área requerida (ID 133) seguiu o valor recomendado pelo MMA (2017), em que para cada 100 t/mensais é requerida uma área de 1500m<sup>2</sup>.
- O custo de operação da usina de compostagem foi obtido a partir de Guse (2012) e do o relatório da Probiogás.

#### 4.2.5. Dados da Distribuição de Composteiras Domésticas

Esse bloco apresenta os custos e receitas envolvidos em um projeto de política pública de distribuição de composteiras domésticas para municípios voluntários. Os valores foram obtidos através de consulta a empresa de compostagem Projeto Raiz, sediada em Porto Alegre.

O município realiza a compra de composteiras e distribui para os municípios, que precisam passar por um breve treinamento e assinar um termo de compromisso para obtenção do material. Considerou-se 3 modelos de composteiras, cada um com uma capacidade de recebimento de resíduos diferente.

Orçou-se, também, o valor mensal para o município fornecer serragem como matéria vegetal seca para cobertura dos resíduos. Além disso, foram contabilizados um valor inicial para divulgação e implementação do projeto, bem como um custo de operação médio (5 funcionários e 10 estagiários). A Tabela 8 apresenta as variáveis desse bloco

Tabela 8. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à distribuição de composteiras

<b>Dados da Distribuição de Composteiras Domésticas</b>			
<b>Dados Iniciais</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
147	Voluntários?	Sim	
148	Adesão da População	-	%
149	Material Aportado	148 x 014	ton/mês
150	Rejeito dos Voluntários	$\frac{148 \times 001 \times (010 - 011) \times 008}{1000}$	ton/mês
<b>Dados Sobre Transporte</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
151	Distância percorrida na coleta dos rejeitos	$\left( \frac{148 \times 024 \times 008}{009} \right)$	R\$/mês
152	Custo com combustível para coleta	$\left( \frac{151 \times 016}{018} \right)$	R\$/mês
153	Número de empregados para atender coleta	$\left( \frac{149}{008 \times 031} \right) \times 1000$	R\$/mês
154	Custo com empregados para coleta	032 x 153	R\$/mês
<b>Custos Operação</b>			
155	Capacidade de uma Composteira Doméstica de 45 L (1-2 Pessoas)	<b>0,015</b>	ton/mês

156	Capacidade de uma Composteira Doméstica de 60 L (2-3 Pessoas)	0,03	ton/mês
157	Capacidade de uma Composteira Doméstica de 116 L (3 ou + pessoas)	0,09	ton/mês
158	Preço de Composteira Doméstica de 45 L (1-2 Pessoas)	-	R\$
159	Preço de Composteira Doméstica de 60 L (2-3 Pessoas)	-	R\$
160	Preço de Composteira Doméstica de 116 L (3 ou + pessoas)	-	R\$
161	Quantidades de Composteiras Domésticas de 45 L (1-2 Pessoas) necessárias	$\left(\frac{0,33 \times 149}{155}\right)$	Unidades
162	Quantidade de Composteiras Domésticas de 60 L (2-3 Pessoas) necessárias	$\left(\frac{0,33 \times 149}{156}\right)$	Unidades
163	Quantidade de Composteira Doméstica de 116 L (3 ou + pessoas) necessárias	$\left(\frac{0,33 \times 149}{157}\right)$	Unidades
164	Gasto com composteira	$(161 \times 158) + * 162 \times 159$ $+ (163 \times 160)$	R\$
165	Preço da Serragem	-	R\$/Kg
166	Quantidade de Serragem Mensal requerida	161 + 162 + 163	Kg
167	Gasto mensal com Serragem	166 x 165	R\$/mês
168	Outros Investimentos (Ed. Ambiental, Site, Divulgação Internet...)	Se 148 > 0: 100000 Se 148 = 0: 0	R\$
169	Operação	Se 148 > 0: 60000 Se 148 = 0: 0	R\$/mês

Algumas aproximações e adequações necessárias para esse bloco de variáveis são:

- A proporção de distribuição de composteiras será uniforme, para cada unidade de 45L retirada, também serão retiradas uma de 60L e uma de 90L;
- Cada composteira terá um gasto de 1Kg/mês de serragem;
- A capacidade de recebimento de resíduo de cada composteira foi fornecida pelo Projeto Raiz;

#### 4.2.6. Dados do Aterro Sanitário

Esse bloco apresenta os custos envolvidos com a destinação de resíduos no modelo tradicional, indo da coleta para o transbordo e de lá para o aterro sanitário. Os valores são calculados com base no bloco “Dados de entrada do município” e a variável “Adesão da população” (ID N°170) é formada pela diferença entre o valor total da população (em porcentagem) e os valores de adesão dos demais métodos de destinação (biogás, compostagem, composteiras). Além disso, a variável “Material aportado” (ID N° 171) considera o rejeito dos voluntários dos demais tratamentos (caso existam) e o

rejeito do processo de tratamento da usina de biogás e de compostagem. A Tabela 9 apresenta as variáveis desse bloco

Tabela 9. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à destinação em aterro sanitário

<b>Dados do Aterro Sanitário</b>			
<b>Dados Iniciais</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
170	Adesão da População	$1 - 069 - 112 - 148$	%
171	Material Aportado	$(170 \times 013) + 92 + 135 + 172$	ton/mês
172	Rejeito dos Voluntários	$71 + 114 + 150$	ton/mês
<b>Dados Sobre Transporte</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
173	Distância percorrida na coleta	$\left(\frac{170 \times 024 \times 008}{009}\right)$	Km/mês
174	Custo com combustível para coleta	$\left(\frac{173 \times 016}{018}\right)$	R\$/mês
175	Número de empregados para atender coleta	Se $170 = 0$ : 0 Se $170 > 0$ : $\frac{(171-92-135)}{(008 \times 031)} \times 1000$	Empregados
176	Custo com empregados para coleta	$175 \times 032$	R\$/mês
177	Viagens Mensais até o Transbordo (Ida e Volta)	$\left(\frac{171}{013}\right) \times \left(\frac{026 \times 008 \times 2}{009}\right)$	Viagens
178	Distância percorrida até transbordo	$\left(\frac{177 \times 025}{2}\right)$	Km/mês
179	Custo com combustível para levar ao transbordo	$\left(\frac{178 \times 016}{018}\right)$	R\$/mês
180	Viagens Mensais até o Aterro	$\left(\frac{171}{013}\right) \times \left(\frac{029 \times 008}{009}\right)$	viagens/mês
181	Distância percorrida até o aterro mensalmente	$028 \times 180$	Km/mês
182	Custo com combustível para destinação até o aterro	$\left(\frac{178 \times 016}{017}\right)$	R\$/mês
<b>Dados sobre Destinação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
183	Massa de resíduo destinada ao aterro	171	ton/mês
184	Custo da destinação ao transbordo	$183 \times 039$	R\$/mês
185	Custo da destinação ao aterro	$183 \times 040$	R\$/mês

Esse bloco exige a seguinte suposição:

- Os valores de combustível e mão de obra para coleta são proporcionais à adesão da população.

#### 4.2.7. Aproximações do Estudo

Esse bloco apresenta os fatores de conversão utilizados para aproximações no estudo. Conforme citado anteriormente, utilizou-se como modelo o estudo “Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de RSU com Produção de Biogás” publicado em 2017 pelo programa do Governo Federal PROBIOGÁS.

Optou-se, porém, por deixar a variável “Capacidade da Usina de Biogás Avaliada no Estudo” (ID Nº 186) aberta para o operador. Assim, é possível avaliar outros trabalhos, modificando sempre as variáveis que dela dependem. Outro cuidado necessário, é que o fator de correção para a usina de compostagem também segue a variável 186, portanto, se for utilizado outro trabalho de usina de biogás como referência, é preciso criar uma variável apenas para usina de compostagem e trocar a referência dessa célula.

Os fatores de correção são calculados dividindo o material aportado nas usinas de biogás e de compostagem pelo valor de referência do trabalho. Assim cria-se uma relação de proporcionalidade entre os volumes recebidos. A Tabela 10 apresenta os dados desse bloco.

Tabela 10. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas à aproximações do estudo

Aproximações do Estudo			
ID	Item	Valor	Unidade
186	Capacidade da Usina de Biogás Avaliada no Estudo	Capacidade de recebimento de resíduos da usina utilizada como referência	ton/mês
187	Relação área/ton para compostagem	Relação entre área requerida para Cada tonelada de resíduo compostado	m <sup>2</sup> /ton
188	Fator de Correção Estudo Avaliada - Biogás	$\frac{70}{186}$	
189	Fator de Correção para Unidade de Compostagem	$\frac{113}{186}$	

#### 4.2.8. Custos e Receitas Simulados

Nesse bloco são encontrados os resultados do modelo, com custos e receitas envolvidos. Para seguir a estrutura dos demais blocos, dividiu-se o bloco em custos com transporte, gastos totais, investimento, receita e operação. A Tabela 11 apresenta as variáveis desse bloco.

Tabela 11. Variáveis calculadas pelo modelo relacionadas aos custos e receitas finais

<b>Custos e Receitas Finais</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	73 + 116 + 152 + 73	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	179	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	79 + 122 + 182	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	75 + 118 + 154 + 176	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	(83 + 87 + 91 + 126 + 130 + 132 + 171) x 038	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	171 x 039	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	171 x 040	R\$/mês
197	Total	194 + 195 + 196	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	81 + 85 + 88 + 128 + 131 + 161 + 163	R\$
199	Operação	197 + 94 + 137 + 169	R\$/mês
200	Receitas	110 + 142 + 146	R\$/mês
201	Total	199 – 200	R\$/mês

Algumas observações relevantes sobre as variáveis desse bloco:

- A variável “Operação” (ID N° 199) inclui os gastos totais com os contratos (coleta, transbordo, aterro) mais os gastos de operação de cada um dos demais tratamentos.

- As receitas de comercialização de recicláveis e coprocessáveis não foram consideradas.
- O valor de investimento inicial não foi considerado na variável “Total” (ID N°201), pois dependeria de cálculos de depreciação mais complexos. Essa variável calcula apenas os custos de operação e receitas envolvidas.

### 4.3. ONDE ENCONTRAR E DEMONSTRAÇÃO DE USO

A ferramenta está disponível no seguinte endereço: <https://bitly.com/XLY2X>. No mesmo endereço é possível encontrar um vídeo de demonstração de uso.

## 5. ESTUDO DE CASO

### 5.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi o município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul. Esse foi o local escolhido pelo fato da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) estar sediada no local bem como o fato do autor do trabalho residir no local, dois facilitadores para a obtenção de dados.

O município de Porto Alegre possui uma população de 1.483.771 habitantes (SNIS 2019) e uma geração de resíduos per capita de 0,98 Kg/hab.dia (SNIS 2019), totalizando aproximadamente 1500 ton/dia de resíduos. A cidade conta com 4 tipos de coleta:

- Seletiva: Coleta resíduos recicláveis como papel, vidro, papelão, etc... Segundo a prefeitura atende 100% da população e ocorre de 2 a 3 vezes na semana, dependendo da região. A concessão da coleta está cedida para a Cooperativa de Trabalhadores Autônomos das Vilas de Porto Alegre (COOTRAVIPA) a um custo de R\$ 12.874.599,60/ano.
- Seletiva Automatizada: Está em fase de testes e atende poucas ruas, tendo apenas 45 contentores distribuídos pela cidade inteira. A concessão da coleta está cedida para a empresa RN Freitas com um custo de R\$ 8.910.295,68/ano, porém aqui está incluso também a coleta domiciliar automatizada, que também é realizada pela RN Freitas.
- Domiciliar: Coleta todos os resíduos que não são recicláveis, sejam rejeitos ou orgânicos. É realizada porta-a-porta e ocorre 3 vezes na semana na maioria dos locais e 6 vezes nas principais vias da cidade. A responsável pelo serviço é a empresa BA Meio Ambiente LTDA a um custo de R\$ 122,49/ton.
- Domiciliar Automatizada: Coleta todos os resíduos que não são recicláveis, sejam rejeitos ou orgânicos. É realizada em apenas alguns bairros e os resíduos são retirados diretamente de um

container pelo próprio caminhão. Ocorre 5 vezes na semana e é realizada por duas empresas RN Freitas e ConeSul, com um custo médio de R\$207,29/ton.

Além disso, a cidade conta com uma unidade de transbordo operada pela empresa JSL S/A com custo de R\$38,44/ton e 16 unidades de triagem operadas por cooperativas e associações que recebem auxílios e incentivos da prefeitura. Uma dessas unidades de triagem, localizada no bairro Lomba do Pinheiro, também possui uma unidade de compostagem, para onde são destinados os resíduos de poda e varrição municipal.

Ao final do processo, os resíduos são levados até o município de Minas do Leão, distante 113Km de Porto Alegre, onde são dispostos em um aterro operado pela empresa CRVR a um custo de R\$74,17/ton.

## 5.2. DADOS DE ENTRADA

Nessa etapa serão apresentados os dados de entrada utilizados e as referências de onde foram obtidos. Para facilitar a visualização, eles serão apresentados no mesmo formato de tabela em que foram mostrados no item da Metodologia.

### 5.2.1. Dados de Entrada do Município

Para os dados de entrada do município, optou-se por utilizar o máximo possível de referências da mesma fonte, para evitar maiores distorções. Por isso, mesmo estando desatualizado, o valor de produção per capita (ID N°002) utilizado foi retirado do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Porto Alegre (2010), pois os únicos valores de gravimetria encontrados para a cidade estão nesse mesmo plano. Assim, optou-se por manter a uniformidade das fontes. Foram solicitados dados para a equipe do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) referentes a todos os dados, mas até o momento da publicação desse trabalho não foi obtido retorno. A Tabela 12 apresenta os dados de entrada do município.

Tabela 12. Dados de entrada utilizados para simulação no município de Porto Alegre.

Dados de Entrada do Município				
Dados Iniciais				
ID	Item	Valor	Unidade	Referência
001	População	1.483.771	Pessoas	SNIS (2019)
002	Produção per capita de RSU	0,78	Kg/hab.dia	PGRS (2010)

003	Taxa da Coleta Domiciliar	92%	%	PGRS (2010)
004	Taxa de Orgânicos na Composição Gravimétrica	57%	%	PGRS (2010)
005	Taxa de Rejeito na Composição Gravimétrica	15%	%	PGRS (2010)
006	Taxa de Orgânicos + Rejeito na Composição Gravimétrica	72%	%	PGRS (2010)
007	Peso Específico dos Resíduos Orgânicos + Rejeitos	530,00	Kg/m <sup>3</sup>	FARIAS (2010)
008	Dias no mês	30,00	dias/mês	-
009	Dias de Coleta	3,50	dias/semana	Estimativa do autor baseada em informações sobre a coleta disponíveis em site da prefeitura
Dados Sobre Transporte				
ID	Item	Valor	Unidade	Referência
016	Preço Diesel	R\$ 3,49	reais	Dado Primário do Autor
017	Consumo de Diesel do Caminhão que leva ao aterro	3	Km/L	GIL (2017)
018	Consumo de Diesel do Caminhão que coleta e leva ao transbordo	2	Km/L	GIL (2017)
019	Número de Bairros da cidade	94	Bairros	Prefeitura Municipal
020	Malha viária da cidade (Km percorridos pelo caminhão de coleta)	2750	Km	Site DMLU
021	Número de Bairros atendidos 5x na semana com coleta domiciliar	17	Bairros	Site DMLU
022	Número de Bairros atendidos 3x na semana com coleta domiciliar	77	Bairros	Site DMLU
025	Distância média percorrida entre bairros e a estação de transbordo (ida e volta)	46	Km	PGRS (2010)
026	Viagens diárias realizadas até o transbordo	100	Viagens/dia	Estimativa do Autor
028	Distância percorrida até aterro sanitário (ida e volta)	226	Km	PGRS (2010)
029	Viagens diárias realizadas até o aterro	65	Viagens	SUL21 (2020)
031	Produtividade média dos empregados da coleta (coletadores + motoristas)	2.488,35	Kg/empreg/dia	SNIS (2019)
032	Custo médio de um empregado da coleta em CLT (Coletor e motorista)	R\$ 3.000,00	R\$/empregado/mês	Estimativa do Autor
Dados sobre Destinação				
ID	Item	Valor	Unidade	Referência
036	Preço médio da coleta por volume coletado	R\$ 159,00	R\$/m <sup>3</sup>	Contrato Municipal
039	Preço médio do transbordo por tonelada de resíduo destinado	R\$ 38,44	R\$/ton	Contrato Municipal
040	Preço médio do aterro por tonelada de resíduo destinado	R\$ 74,17	R\$/ton	Contrato Municipal

### 5.2.2. Dados de Entrada da Usina de Biogás

Para os dados de entrada da usina de biogás, praticamente todos os dados foram retirados do relatório da Probiogás (2017). Algumas variáveis são modificadas de acordo com o cenário avaliado pelo operador, que precisa ter um conhecimento prévio sobre o município estudado. A Tabela 12 apresenta os dados de entrada da usina de biogás.

Tabela 13. Dados de entrada utilizados para usina de biogás no município de Porto Alegre.

<b>Dados da Usina de Biogás</b>				
<b>Dados Iniciais</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
068	Entrega de Resíduos é Voluntária?			Varia de acordo com cenário
069	Adesão da População		%	Varia de acordo com cenário
<b>Dados Sobre Transporte</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
076	Distância média até local da Usina de Biogás		Km	Varia de acordo com cenário
<b>Dados sobre Destinação</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
082	Eficiência da etapa de triagem de recicláveis	10%	%	Probiogás (2017)
086	Eficiência da triagem dos materiais coprocessáveis	8,00%	%	Probiogás (2017)
<b>Receitas</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
095	Relação Biogás gerado/RSU aportado	100	m <sup>3</sup> /ton RSU	Probiogás (2017)
098	Teor de Metano no Biogás	75%	%	Probiogás (2017)
101	Poder Calorífico do Biogás	9,97	KWh/m <sup>3</sup>	Probiogás (2017)
104	Eficiência Elétrica da Cogeração	42%	%	Probiogás (2017)
107	% de energia consumida dentro da própria Usina	50%	%	Probiogás (2017)
109	Valor do KWh	R\$ 0,80	R\$/KWh	CEEE

### 5.2.3. Dados de Entrada para Usina de Compostagem

Para os dados de entrada da usina de compostagem, praticamente todos os dados também foram retirados do relatório da Probiogás (2017). Algumas variáveis são modificadas de acordo com o cenário avaliado pelo operador. Embora a ferramenta preveja o cálculo de produção de biofertilizante e sua posterior venda, não foram encontrados dados em bibliografia existente sobre a relação de volume de biofertilizante produzido por volume ou peso de resíduo aportado. Assim, até o

presente momento o modelo não considera o valor de venda desses insumos. A Tabela 14 apresenta os dados de entrada da usina de compostagem.

Tabela 14. Dados de entrada utilizados para usina de compostagem no município de Porto Alegre.

<b>Dados Iniciais</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
111	Entrega de Resíduos é Voluntária?	-	-	Varia de acordo com cenário
112	Adesão da População	-	%	Varia de acordo com cenário
<b>Dados Sobre Transporte</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	-	Km	Varia de acordo com cenário
<b>Dados sobre Destinação</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
125	Eficiência da etapa de triagem de recicláveis	10%	\$	Probiogás (2017)
129	Eficiência da triagem dos materiais coprocessáveis	8%	\$	Probiogás (2017)
<b>Receitas</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
138	Perdas de Massa por evaporação	70%	%	Probiogás (2017)
140	Valor de Venda do Húmus	-	R\$/Kg	Varia de acordo com cenário
141	Quantidade de Húmus Escooda	-	%	Varia de acordo com cenário
144	Quantidade Biofertilizante Escooda	-	%	Varia de acordo com cenário
145	Valor de Venda do Biofertilizante	-	R\$/L	Varia de acordo com cenário

#### 5.2.4. Dados de Entrada para Distribuição de Composteiras Domésticas

Para a distribuição de composteiras domésticas, os dados foram obtidos em pesquisa de mercado junto a empresas que costumam participar de processos licitatórios para venda de composteiras em grande escala. A Tabela 15 apresenta os dados de entrada para o bloco da distribuição de composteiras domésticas.

Tabela 15. Dados de entrada utilizados para distribuição de composteiras domésticas município de Porto Alegre.

<b>Dados da Distribuição de Composteiras Domésticas</b>				
<b>Dados Iniciais</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
147	Voluntários?			Varia de acordo com cenário
148	Adesão da População		%	Varia de acordo com cenário
<b>Dados Sobre Transporte</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
158	Preço de Composteira Doméstica de 45 L (1-2 Pessoas)	R\$ 70,00	R\$	Pesquisa de Mercado

159	Preço de Composteira Doméstica de 60 L (2-3 Pessoas)	R\$	80,00	R\$	Pesquisa de Mercado
160	Preço de Composteira Doméstica de 116 L (3 ou + pessoas)	R\$	90,00	R\$	Pesquisa de Mercado
165	Preço da Serragem	R\$	0,30	R\$/Kg	Pesquisa de Mercado

### 5.2.5. Dados de Entrada Aproximações do Estudo

Conforme citado anteriormente, os dados de para cálculo dos fatores de correção e da área requerida para compostagem foram obtidos do relatório “Viabilidade Econômica de Projetos de Valorização Integrada de RSU com Produção de Biogás” publicado em 2017 pelo programa do Governo Federal PROBIOGÁS e do documento orientativo “Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos” do MMA (2017). A Tabela 16 apresenta os dados de entrada para as aproximações do estudo.

Tabela 16. Dados de entrada para aproximações do estudo.

Aproximações do Estudo				
ID	Item	Valor	Unidade	Referência
186	Capacidade da Usina de Biogás/Compostagem Avaliada no Estudo	12500	ton/mês	Probiogás (2017)
187	Relação área/ton para compostagem (MMA)	15	m <sup>2</sup> /ton	MMA (2017)

## 5.3. VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA PARA MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

Antes de iniciar a simulação dos cenários, foi realizada a validação através da simulação do cenário atual da destinação de resíduos orgânicos para a cidade de Porto Alegre. Para isso, definiu-se na planilha de cálculos que 100% dos resíduos orgânicos seriam destinados ao aterro sanitário e comparou-se os resultados do bloco custos e receitas simulados com o bloco custos atuais do município. As Tabela 17 e Tabela 18 apresentam os valores desses blocos.

Tabela 17. Custos atuais calculados para município de Porto Alegre

Custos Atuais do Município				
Combustível e Mão de Obra				
ID	Item	Valor	Unidade	
041	Valor Gasto Com Combustível para coleta domiciliar	R\$	18.436,53	R\$/mês

042	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração orgânica	R\$	18.436,53	R\$/mês
043	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração de rejeito	R\$	18.436,53	R\$/mês
044	Valor Gasto Com Combustível para levar resíduos da coleta domiciliar ao transbordo	R\$	68.802,86	R\$/mês
045	Valor Gasto Com Combustível para levar fração orgânica ao transbordo	R\$	42.627,86	R\$/mês
046	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao transbordo	R\$	11.217,86	R\$/mês
047	Valor Gasto Com Combustível para levar coleta domiciliar ao aterro	R\$	146.480,29	R\$/mês
048	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de orgânico ao aterro	R\$	90.754,09	R\$/mês
049	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao aterro	R\$	23.882,66	R\$/mês
050	Valor gasto com coletor e motorista para coleta domiciliar	R\$	1.283.686,86	R\$/mês
051	Valor Gasto com coletor e motorista para fração orgânica	R\$	795.327,73	R\$/mês
052	Valor Gasto com coletor e motorista para fração de rejeito	R\$	209.296,77	R\$/mês
053	Total coleta domiciliar	R\$	1.517.406,54	R\$/mês
054	Total fração orgânica	R\$	947.146,21	R\$/mês
055	Total fração de rejeitos	R\$	262.833,82	R\$/mês
<b>Gstos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível e mão de obra)</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
056	Gasto com coleta domiciliar	R\$	9.582.786,6264	R\$/mês
057	Gasto com coleta da fração orgânica	R\$	5.937.161,2794	R\$/mês
058	Gasto com coleta da fração de rejeito	R\$	1.562.410,8630	R\$/mês
059	Gasto com transbordo para coleta domiciliar	R\$	1.227.874,3931	R\$/mês
060	Gasto com transbordo para fração orgânica	R\$	760.748,2653	R\$/mês
061	Gasto com transbordo para fração de rejeito	R\$	200.196,9119	R\$/mês
062	Gasto com aterro para coleta domiciliar	R\$	2.369.184,2803	R\$/mês
063	Gasto com aterro para fração orgânica	R\$	1.467.864,17	R\$/mês
064	Gasto com aterro para fração de rejeito	R\$	386.280,05	R\$/mês
065	Total coleta domiciliar	R\$	13.179.845,30	R\$/mês
066	Total fração orgânica	R\$	8.165.773,72	R\$/mês
067	Total fração de rejeitos	R\$	2.148.887,82	R\$/mês

Tabela 18. Valores calculados para cenário considerando 100% do resíduo destinado ao Aterro Sanitário

<b>Custos e Receitas Finais</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 68.802,86	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 146.480,29	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 1.283.686,86	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	R\$ 9.582.786,63	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 1.227.874,39	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 2.369.184,28	R\$/mês
197	Total	R\$ 13.179.845,30	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	R\$ -	R\$
199	Operação	R\$ 13.179.845,30	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 0,00	R\$/mês
201	Total	R\$ 13.179.845,30	R\$/mês

Comparando-se a variáveis correspondentes, 197 com 065, 041 com 190, 047 com 091,050 com 193, 056 com 194, 059 com 195 e 063 com 196, é possível perceber que o modelo está bem calibrado para a cidade de Porto Alegre.

#### 5.4. CENÁRIOS ESTUDADOS

Durante o desenvolvimento da ferramenta, foi possível observar que algumas variáveis tinham muita influência no resultado, porém a definição de seus valores era muito subjetiva. A primeira delas é a quantidade máxima de voluntários que gostariam e teriam espaço para receber uma composteira

doméstica, a segunda é a quantidade de húmus que seria viável de ser escoada, a terceira é o preço do húmus vendido em larga escala e a quarta é a distância média entre o local de instalação das usinas de compostagem e biogás e os bairros. Por isso, esses foram os itens escolhidos para serem variados nos diferentes cenários. Outras variáveis, como teor de metano do biogás e relação biogás gerado/RSU aportado, também têm bastante influência no resultado, porém, como já são bastante estudadas e seus valores já são mais consolidados, optou-se por mantê-las fixas.

Após a definição dos valores para cada cenário, utilizou-se a ferramenta Solver, um suplemento do Microsoft Excel para realização de teste de hipóteses, para definir qual seria o valor mínimo para a variável “Total” (ID N°201) de acordo com as restrições de cada cenário. As variáveis que tiveram seus valores modificados pelo Solver foram as referentes à adesão da população para envio de seus resíduos à usina de biogás (ID 069), para a usina de compostagem (ID 112) e para recebimento de composteiras domésticas (ID 148). Em alguns casos, a variável 148 foi restringida para valores máximos menores que 100%, tendo em vista a limitação de espaço nas residências e a disposição da população em receber composteiras.

#### 5.4.1. Cenário 1

No primeiro cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 19. Valores das variáveis para cenário 1

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	56	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Não	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	56	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,50	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	25%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 50%	%

A distância para as usinas foi definida em 56km por ser a metade da distância do local onde os resíduos são destinados atualmente, com isso busca-se analisar os impactos nos valores gastos com transporte. Ambas as entregas foram consideradas não voluntárias por conta da complexidade em se desenvolver uma nova coleta e comunicar a população. O valor aplicado para venda do húmus seguiu o proposto por Garré (2016) e foi definido um valor máximo de 50% da população compostando em suas próprias residências, um cenário bastante otimista.

Nesse cenário espera-se principalmente avaliar a influência da variável 148 e seus impactos no resultado.

#### 5.4.2. Cenário 2

No segundo cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 20. Valores das variáveis para cenário 2

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	90	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Sim	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	90	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,96	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	75%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 2	%

A distância para as usinas foi aumentada um pouco, pois terrenos de grande porte próximos à zona urbana são muito valorizados, então considerou-se interessante simular um cenário com locais mais distantes. A entrega dos resíduos para a usina de compostagem foi considerada voluntária para evitar o comprometimento do húmus. O valor aplicado para venda do húmus foi dobrado em relação ao cenário 1 e foi considerado um valor de 75% de escoamento para o húmus, valor considerado otimista. Para as composteiras, definiu-se um valor máximo de 2% da população compostando em suas próprias residências.

Nesse cenário espera-se avaliar a influência da distância das usinas no valor do transporte e da venda de húmus.

#### 5.4.3. Cenário 3

No terceiro cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 21. Valores das variáveis para cenário 3

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	90	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Sim	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	90	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,96	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	10%	%

148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 2	%
-----	--	------	---

Esse cenário é exatamente igual ao anterior, mas com o valor de escoamento do húmus sendo diminuído para 10%, um valor não tão otimista. Assim, espera-se avaliar o impacto da diminuição do escoamento do húmus.

#### 5.4.4. Cenário 4

No quarto cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 22. Valores das variáveis para cenário 4

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Sim	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	50	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Sim	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	50	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,5	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	5%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 5	%

Nesse cenário, a principal mudança é a colocação de ambas as destinações como voluntária, para poder analisar o impacto no investimento final. As distâncias foram diminuídas novamente para 50km, a quantidade de húmus escoado reduzida para 5% e o valor máximo para as composteiras foi de 5%. Esse é um cenário considerado equilibrado, em que o recebimento de composteiras e as distâncias são otimistas, mas o húmus escoado pessimista.

#### 5.4.5. Cenário 5

No quinto cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 23. Valores das variáveis para cenário 5

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	50	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Não	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	50	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,5	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escoada	5%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 5	%

Aqui, resolveu-se testar o mesmo cenário anterior, considerado equilibrado, mas com as entregas não sendo voluntária.

#### 5.4.6. Cenário 6

No sexto cenário, optou-se pelos seguintes valores para as variáveis citadas:

Tabela 24. Valores das variáveis para cenário 6

ID	Item	Valor	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	90	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Sim	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	90	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,5	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escocada	100%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	Sem limite	%

Nesse cenário, a ideia é comparar os extremos da Usina de Compostagem com a distribuição de composteiras. Assim, definiram-se valores de 100% para o húmus escocado e nenhum limite para a adesão da população no recebimento de composteiras.

A Tabela 25 compila todos os cenários e suas variáveis para facilitar a visualização e comparação dos dados.

Tabela 25. Compilação de cenários e variáveis

ID	Item	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Unidade
68	Entrega de Resíduos para usina de biogás é voluntária?	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	-
76	Distância média até local da Usina de Biogás	56	90	90	50	50	90	Km
111	Entrega de Resíduos para usina de compostagem é voluntária?	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	-
119	Distância média até local da Usina de Compostagem	56	90	90	50	50	90	Km
140	Valor de Venda do Húmus	0,5	0,96	0,96	0,5	0,5	0,5	R\$/Kg
141	Quantidade de Húmus Escocada	25%	75%	10%	5%	5%	100%	%
148	Adesão da População para recebimento de composteiras	<= 50%	<= 2	<= 2	<= 5	<= 5	Sem limite	%



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para análise e apresentação dos resultados, serão mostrados inteiramente os valores dos blocos “Dados de Entrada do Município” e “Custos Atuais do Município”, pois são blocos que não têm suas variáveis alteradas pelas mudanças feitas entre cenários. Além deles, será mostrado também na íntegra o bloco “Custos e Receitas Finais”, por ser de fundamental importância para as análises, e partes específicas dos demais blocos que sejam consideradas relevantes para cada situação avaliada. Também será mostrado o valor em porcentagem e em massa de resíduos aportados em cada um dos tratamentos.

### 6.1. RESULTADOS PARA DADOS DE ENTRADA DO MUNICÍPIO

Tabela 26. Resultados simulados para bloco “Dados de Entrada o Município

<b>Dados de Entrada do Município</b>			
<b>Dados Iniciais</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
001	População	1.483.771	Pessoas
002	Produção per capta de RSU	0,78	Kg/hab.dia
003	Taxa da Coleta Domiciliar	92%	%
004	Taxa de Orgânicos na Composição Gravimétrica	57%	%
005	Taxa de Rejeito na Composição Gravimétrica	15%	%
006	Taxa de Orgânicos + Rejeito na Composição Gravimétrica	72%	%
007	Peso Específico dos Resíduos Orgânicos + Rejeitos	530,00	Kg/m <sup>3</sup>
008	Dias no mês	30,00	dias/mês
009	Dias de Coleta	3,50	dias/semana
010	Produção Per Capta Coleta Domiciliar	0,72	Kg/hab.dia
011	Produção per capta de fração orgânica	0,4446	Kg/hab.dia
012	Produção per capta de fração de rejeitos	0,117	Kg/hab.dia
013	Valor mensal de coleta domiciliar enviada ao aterro	31942,62209	ton/mês

014	Valor mensal de fração orgânica enviada ao aterro	19790,5376	ton/mês
015	Valor mensal de fração de rejeito enviada ao aterro	5208,03621	ton/mês
Dados Sobre Transporte			
ID	Item	Valor	Unidade
016	Preço Diesel	R\$ 3,49	reais
017	Consumo de Diesel do Caminhão que leva ao aterro	3	Km/L
018	Consumo de Diesel do Caminhão que coleta e leva ao transbordo	2	Km/L
019	Número de Bairros da cidade	94	Bairros
020	Malha viária da cidade (Km percorridos pelo caminhão de coleta)	2750	Km
021	Número de Bairros atendidos 5x na semana com coleta domiciliar	17	Bairros
022	Número de Bairros atendidos 3x na semana com coleta domiciliar	77	Bairros
023	Média da Malha Viária por Bairro	29,25531915	Km/Bairro
024	Distância total percorrida diária coleta domiciliar	1232,624113	Km/dia
025	Distância média percorrida entre bairros e a estação de transbordo (ida e volta)	46	Km
026	Viagens diárias realizadas até o transbordo	100	Viagens/dia
027	Distância total percorrida diária até transbordo	4600	Km/dia
028	Distância percorrida até aterro sanitário (ida e volta)	226	Km
029	Viagens diárias realizadas até o aterro	65	Viagens
030	Distância total percorrida diária até aterro	14690	Km/dia
031	Produtividade média dos empregados da coleta (coletadores + motoristas)	2.488,35	Kg/empreg/dia
032	Custo médio de um empregado da coleta em CLT (Coletor e motorista)	R\$ 3.000,00	R\$/empregado/mês
033	Número de empregados para atender coleta domiciliar	427,8956214	empregados
034	Número de empregados para atender coleta da fração orgânica	265,11	empregados
035	Número de empregados para atender coleta da fração de rejeito	69,77	empregados
Dados sobre Destinação			
ID	Item	Valor	Unidade
036	Preço médio da coleta por volume coletado	R\$ 159,00	R\$/m <sup>3</sup>

037	Preço médio da coleta por Kg de resíduo coletado	R\$	0,3000	R\$/Kg
038	Preço médio da coleta por t de resíduo coletado	R\$	300,00	R\$/ton
039	Preço médio do transbordo por tonelada de resíduo destinado	R\$	38,44	R\$/ton
040	Preço médio do aterro por tonelada de resíduo destinado	R\$	74,17	R\$/ton

Aqui, chama a atenção principalmente a distância diária percorrida para levar os resíduos até o aterro sanitário e o número de empregados necessários para realizar a coleta no município. Os dados preliminares para essas variáveis sugerem uma redução de custos que foi corroborada ao final das simulações. No caso dos empregados, ressalta-se a importância da prefeitura em solicitar um plano de realocação dos mesmos em outros setores da empresa ou oferecendo capacitação profissional para outras atividades. Além disso, chama atenção também o custo discrepante da tonelada coletada quando comparada ao transbordo e ao aterro sanitário. A principal hipótese levantada para essa questão é que o valor do contrato está em R\$/m<sup>3</sup> e os caminhões de coleta geralmente são compactadores. O valor de peso específico utilizado para conversão, porém, era para resíduos não compactados, o que provavelmente ocasionou esse alto valor.

## 6.2. RESULTADOS PARA CUSTOS ATUAIS DO MUNICÍPIO

Tabela 27. Resultados simulados para bloco “Custos Atuais do Município”

<b>Custos Atuais do Município</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
041	Valor Gasto Com Combustível para coleta domiciliar	R\$ 18.436,53	R\$/mês
042	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração orgânica	R\$ 18.436,53	R\$/mês
043	Valor Gasto Com Combustível para coleta da fração de rejeito	R\$ 18.436,53	R\$/mês
044	Valor Gasto Com Combustível para levar resíduos da coleta domiciliar ao transbordo	R\$ 68.802,86	R\$/mês
045	Valor Gasto Com Combustível para levar fração orgânica ao transbordo	R\$ 42.627,86	R\$/mês
046	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao transbordo	R\$ 11.217,86	R\$/mês
047	Valor Gasto Com Combustível para levar coleta domiciliar ao aterro	R\$ 146.480,29	R\$/mês

048	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de orgânico ao aterro	R\$	90.754,09	R\$/mês
049	Valor Gasto Com Combustível para levar fração de rejeito ao aterro	R\$	23.882,66	R\$/mês
050	Valor gasto com coletor e motorista para coleta domiciliar	R\$	1.283.686,86	R\$/mês
051	Valor Gasto com coletor e motorista para fração orgânica	R\$	795.327,73	R\$/mês
052	Valor Gasto com coletor e motorista para fração de rejeito	R\$	209.296,77	R\$/mês
053	Total coleta domiciliar	R\$	1.517.406,54	R\$/mês
054	Total fração orgânica	R\$	947.146,21	R\$/mês
055	Total fração de rejeitos	R\$	262.833,82	R\$/mês
<b>Gsatos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível e mão de obra)</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
056	Gasto com coleta domiciliar	R\$	9.582.786,6264	R\$/mês
057	Gasto com coleta da fração orgânica	R\$	5.937.161,2794	R\$/mês
058	Gasto com coleta da fração de rejeito	R\$	1.562.410,8630	R\$/mês
059	Gasto com transbordo para coleta domiciliar	R\$	1.227.874,3931	R\$/mês
060	Gasto com transbordo para fração orgânica	R\$	760.748,2653	R\$/mês
061	Gasto com transbordo para fração de rejeito	R\$	200.196,9119	R\$/mês
062	Gasto com aterro para coleta domiciliar	R\$	2.369.184,2803	R\$/mês
063	Gasto com aterro para fração orgânica	R\$	1.467.864,17	R\$/mês
064	Gasto com aterro para fração de rejeito	R\$	386.280,05	R\$/mês
065	Total coleta domiciliar	R\$	13.179.845,30	R\$/mês
066	Total fração orgânica	R\$	8.165.773,72	R\$/mês
067	Total fração de rejeitos	R\$	2.148.887,82	R\$/mês

Primeiramente, é importante ressaltar que os valores gastos com combustível para as frações foram considerados iguais porque supôs-se que, mesmo com existência de coleta separada para orgânico e rejeito, os caminhões ainda assim teriam que passar em todas as ruas da cidade para coletar, independente da fração. Já para transportar até o transbordo e até o aterro haveria uma diminuição no custo se as frações fossem separadas e houvesse destino diferente para orgânicos e rejeitos. Isso ocorreria, pois menos caminhões seriam necessários para realizar esses trajetos, economizando, assim, custo de combustível. Para os custos com mão-de-obra, optou-se por apresentá-los discretizados pois

a ideia inicial era apresentar os custos de transporte também discretizados, porém esse cálculo acabou se tornando complexo durante o desenvolvimento da ferramenta. O que dificultou o cálculo foi o fato do operador poder escolher se quer considerar entregas voluntárias ou não, pois isso produz uma série de variações nos custos da coleta de cada fração.

Em relação aos custos dos contratos, fica evidente os altos valores gastos de maneira desnecessária com transbordo e aterro sanitário. Para o transbordo são aproximadamente R\$760.000 mensais gastos desnecessariamente por destinar a fração erroneamente e R\$1.500.000 mensais gastos com a mesma fração para destinar os resíduos no aterro sanitário.

### 6.3. RESULTADOS DO CENÁRIO 1

O resultado ideal obtido para o cenário 1 foi o envio de 50% dos resíduos para a usina de biogás e 50% compostado diretamente nas residências.

O custo com combustível e mão de obra para coleta é reduzido em aproximadamente R\$500.000. É interessante notar que o combustível gasto com coleta não sofre alterações pois os caminhões teoricamente devem passar em todas as ruas para coletar as demais frações. Em relação aos gastos totais dos contratos, existe uma redução significativa principalmente no valor gasto com a coleta, economia de R\$3.000.000, e a destinação ao aterro, economia de R\$1.200.000. Esses valores são poupados principalmente pela diminuição da massa coletada, pois 50% da população estará compostando em casa.

Obteve-se um valor de R\$91.000.000 como investimento inicial, dos quais R\$63.000.00 são referentes à construção da usina de biogás e R\$27.000.000 à compra de composteiras. Já para as receitas, a previsão é de R\$1.645.000 gerados a partir do biogás. Por fim, a operação mensal total gira em torno de R\$7.600.000, uma redução de 43% em relação aos R\$13.179.845 gastos atualmente. A Tabela 28 apresenta os resultados desse cenário.

Tabela 28. Resultados simulados para o Cenário 1

<b>Custos e Receitas Finais</b>				
<b>Combustível e Mão de Obra</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>	
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês	
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 31.423,46	R\$/mês	

192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$	121.344,09	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$	886.023,00	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	R\$	6.614.205,99	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$	560.791,59	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$	1.082.047,66	R\$/mês
197	Total	R\$	8.257.045,24	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	R\$	91.197.233,37	R\$
199	Operação	R\$	9.253.597,81	R\$/mês
200	Receitas	R\$	1.645.205,39	R\$/mês
201	Total	R\$	7.608.392,42	R\$/mês

#### 6.4. RESULTADOS DO CENÁRIO 2

Para o cenário 2, a ferramenta calculou que o cenário ideal seria 98% enviando seu resíduo para a usina de compostagem e 2% participando do projeto de compostagem doméstica. O custo total da operação é ainda mais barato que o cenário 1. Isso ocorre pelo aumento de quase R\$3.000.000 nas receitas, já que é considerado um escoamento de 75% do húmus produzido. Os valores com combustível e mão-de-obra são aproximadamente R\$20.000 mais caros nesse cenário do que para a situação atual. Isso ocorre porque a variável “Valor Gasto Com Combustível para destinação final” (ID N° 192) sofreu um aumento, já que os caminhões que levam até a usina de compostagem consomem mais gasolina que os caminhões que levam até o aterro sanitário atualmente. Essa suposição foi feita para eliminar o transbordo, ou seja, os caminhões da própria coleta levariam os resíduos até o destino final, já que ele estaria mais próximo à cidade. O investimento final gira em torno de R\$11.700.00, sendo R\$10.000.000 para a usina de compostagem e R\$1.700.000 na compra das composteiras. Em relação aos contratos, ocorre uma economia de R\$2.300.000 em relação à situação atual. A Tabela 29 apresenta os resultados desse cenário.

Tabela 29. Resultados para o Cenário 2

<b>Custos e Receitas Finais</b>				
<b>Combustível e Mão de Obra</b>				
<b>ID</b>	<b>Item</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$	18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$	26.175,00	R\$/mês

192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 227.224,80	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 1.267.780,31	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	R\$ 9.464.043,40	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 467.126,13	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 901.320,11	R\$/mês
197	Total	R\$ 10.832.489,64	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	R\$ 11.739.210,97	R\$
199	Operação	R\$ 11.574.537,53	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 4.189.261,00	R\$/mês
201	Total	R\$ 7.385.276,53	R\$/mês

## 6.5. RESULTADOS DO CENÁRIO 3

Para o cenário 3, a ferramenta calculou que o ideal seria o envio de 98% dos resíduos para a Usina de Biogás e 2% da população compostando nas próprias residências. Nesse cenário chama atenção o alto custo de investimento inicial, R\$126.000.000, esse alto valor é consequência da magnitude da usina de biogás necessária e pela falta de segregação na fonte, tornando obrigatório a instalação de unidades de triagem e coprocessamento. Assim como no cenário anterior, os valores com combustível e mão de obra ficaram sensivelmente mais caros por conta do consumo de combustível dos caminhões da coleta serem maiores que os caminhões que levam até o aterro sanitário atualmente. O valor de operação da usina também é elevado, cerca de R\$1.800.000, porém ela gera uma receita de mais de R\$3.000.000. A operação total gira em torno de R\$10.000.000, valor ainda abaixo dos R\$13.000.000 gastos atualmente. A Tabela 30 apresenta os resultados para o cenário 3.

Tabela 30. Resultados para o Cenário 3

<b>Custos e Receitas Finais</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 36.461,98	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 249.125,64	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 1.267.780,31	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			

ID	Item	Valor	Unidade
194	Valor gasto com coleta	R\$ 9.464.043,40	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 650.710,43	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 1.255.546,12	R\$/mês
197	Total	R\$ 11.370.299,95	R\$/mês
Investimento, Receita e Operação			
ID	Item	Valor	Unidade
198	Investimento Inicial	R\$ 126.403.558,15	R\$
199	Operação	R\$ 13.265.942,99	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 3.224.602,56	R\$/mês
201	Total	R\$ 10.041.340,42	R\$/mês

## 6.6. RESULTADOS DO CENÁRIO 4

Para o cenário 4, considerado equilibrado, os resultados foram muito semelhantes ao cenário 3, pois a ferramenta destinou 95% dos resíduos para a usina de biogás e 5% para compostagem doméstica. Aqui, fica claro que para a compostagem em leira valer a pena em relação à usina de biogás é preciso ter um valor alto de escoamento do húmus ou de valor de venda. A principal diferença para o cenário 3 é o valor do investimento inicial, aproximadamente 66% menor que o caso anterior, pois foram consideradas entregas de resíduos voluntárias, o que diminui bastante o aporte de resíduos na usina. A Tabela 31 apresenta os resultados para o cenário 4.

Tabela 31. Resultados para o cenário 4.

Custos e Receitas Finais			
Combustível e Mão de Obra			
ID	Item	Valor	Unidade
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 38.323,94	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 173.951,47	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 1.243.920,48	R\$/mês
Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)			
ID	Item	Valor	Unidade
194	Valor gasto com coleta	R\$ 9.285.928,56	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 683.939,38	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 1.319.661,40	R\$/mês
197	Total	R\$ 11.289.529,34	R\$/mês
Investimento, Receita e Operação			
ID	Item	Valor	Unidade
198	Investimento Inicial	R\$ 43.962.322,61	R\$
199	Operação	R\$ 12.452.014,59	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 2.361.820,57	R\$/mês

201	Total	R\$	10.090.194,03	R\$/mês
-----	-------	-----	---------------	---------

## 6.7. RESULTADOS DO CENÁRIO 5

Como poucas mudanças foram realizadas nos parâmetros do cenário 4 para o 5, os resultados também mudaram pouco. Nesse cenário, seguem os mesmos 95% sendo enviados para a usina de biogás e 5% compostando em suas residências. A principal alteração que a falta de separação na fonte acarreta é o alto valor de investimento, que gira em torno de R\$124.000.000 por precisar de unidades de triagem para recicláveis e coprocessamento. Os valores de combustível e mão-de-obra são praticamente os mesmos e os gastos com contrato também. O valor final da operação sofreu uma redução de R\$200.000 em relação ao cenário 4, justamente o mesmo valor incrementado na receita gerada com a venda da energia proveniente do biogás. A Tabela 32 apresenta os resultados para o cenário 5.

Tabela 32. Resultados para o cenário 5.

<b>Custos e Receitas Finais</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 36.147,08	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 169.316,96	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 1.243.920,48	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	R\$ 9.285.928,56	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 645.090,51	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 1.244.702,47	R\$/mês
197	Total	R\$ 11.175.721,53	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	R\$ 124.203.162,85	R\$
199	Operação	R\$ 13.015.171,41	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 3.125.890,24	R\$/mês
201	Total	R\$ 9.889.281,17	R\$/mês

## 6.8. RESULTADOS DO CENÁRIO 6

No cenário extremo de escoamento de húmus com o extremo da distribuição de composteiras, a ferramenta calculou que o ideal seria que 100% da população compostasse seus resíduos em casa. Dentre todos os cenários, esse foi o que apresentou o menor valor de operação mensal, aproximadamente R\$5.000.000. Isso ocorre pois os valores gastos com contrato são reduzidos significativamente, visto que são definidos com base na massa de resíduo coletada ou destinada. Apenas com coleta, há uma economia de aproximadamente R\$3.000.000 mensais, pois os munícipes estariam tratando boa parte dos resíduos dentro de casa. O gasto com combustível para destinação final também sofre uma relevante diminuição. Em relação ao investimento inicial, seriam gastos R\$ 54.000.000 para compra das composteiras. Os gastos com serragem seriam aproximadamente R\$217.000 por mês caso todos os munícipes solicitassem o material à prefeitura. A Tabela 33 apresenta os resultados para o cenário 5.

Tabela 33. Resultados para o cenário 6.

<b>Custos e Receitas Finais</b>			
<b>Combustível e Mão de Obra</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
190	Valor Gasto Com Combustível para Coleta	R\$ 18.436,53	R\$/mês
191	Valor Gasto Com Combustível para Transbordo	R\$ 26.175,00	R\$/mês
192	Valor Gasto Com Combustível para destinação final	R\$ 55.726,20	R\$/mês
193	Valor gasto com coletor e motorista para coleta	R\$ 488.359,13	R\$/mês
<b>Gastos Totais com contratos (Custos totais incluindo combustível)</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
194	Valor gasto com coleta	R\$ 3.645.625,35	R\$/mês
195	Valor gasto com transbordo	R\$ 467.126,13	R\$/mês
196	Valor gasto com destinação ao aterro	R\$ 901.320,11	R\$/mês
197	Total	R\$ 5.014.071,58	R\$/mês
<b>Investimento, Receita e Operação</b>			
<b>ID</b>	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
198	Investimento Inicial	R\$ 54.523.978,39	R\$
199	Operação	R\$ 5.074.071,58	R\$/mês
200	Receitas	R\$ 0,00	R\$/mês
201	Total	R\$ 5.074.071,58	R\$/mês

## 6.9. COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

A Tabela 34 e as Figura 5 e Figura 6 apresentam as comparações entre o investimento inicial, os custos e receitas de cada cenário simulado

Tabela 34. Comparação entre cenários estudados.

Cenário	Investimento Inicial	Custos Operacionais Gerais	Receitas	Custo total
Cenário 1	R\$ 91.197.233,37	R\$ 9.253.597,81	R\$ 1.645.205,39	R\$ 7.608.392,42
Cenário 2	R\$ 11.739.210,97	R\$ 11.574.537,53	R\$ 4.189.261,00	R\$ 7.385.276,53
Cenário 3	R\$ 126.403.558,15	R\$ 13.265.942,99	R\$ 3.224.602,56	R\$ 10.041.340,42
Cenário 4	R\$ 43.962.322,61	R\$ 12.452.014,59	R\$ 3.224.602,56	R\$ 10.090.194,03
Cenário 5	R\$ 124.203.162,85	R\$ 13.015.171,41	R\$ 3.125.890,24	R\$ 9.889.281,17
Cenário 6	R\$ 54.523.978,39	R\$ 5.074.071,58	R\$ -	R\$ 5.074.071,58

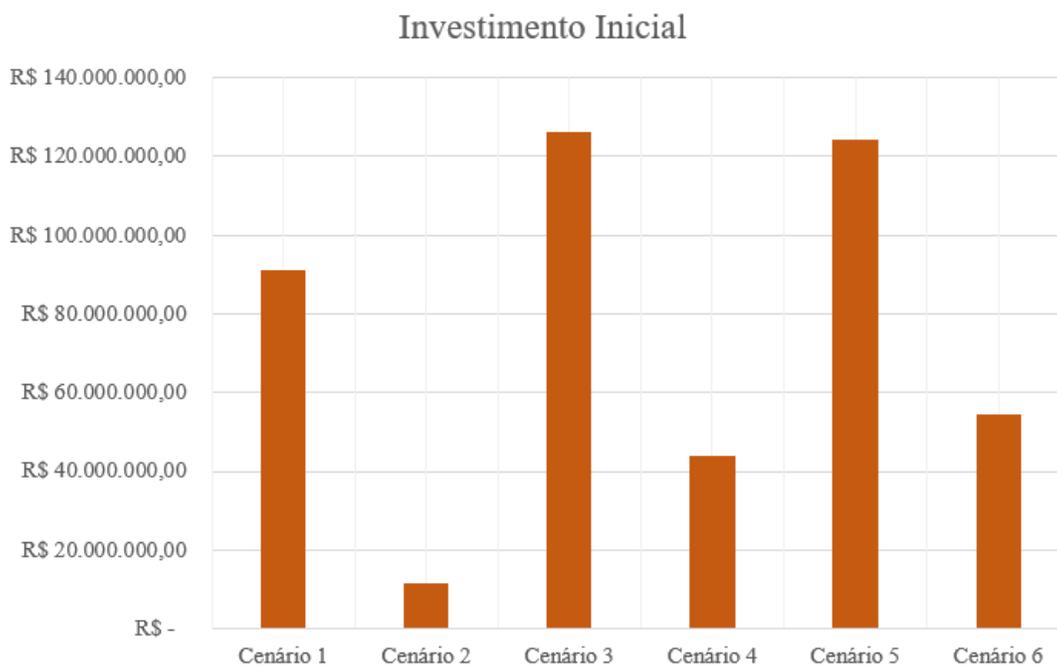


Figura 5. Comparação entre investimento inicial dos cenários estudados.

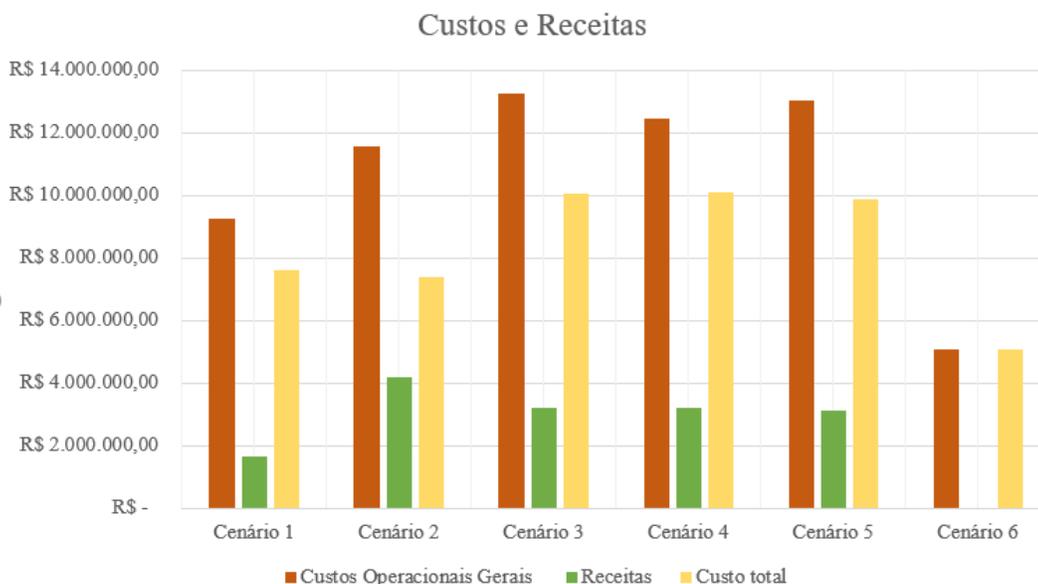


Figura 6. Custos e receitas para cada cenário estudado.

É possível notar que o cenário 6 é o mais barato no que diz respeito ao custo total, porém o cenário 2 apresenta o investimento inicial mais baixo, fator relevante a ser considerado. Como a diferença no custo total entre esses dois cenários é de R\$2.311.204,95/mês e a diferença de investimento é de R\$42.784.767,42, em 18 meses a diferença de investimento inicial seria paga caso o cenário 6 fosse adotado. Esse cenário, porém, considera 100% da população compostando em sua própria casa, realidade praticamente impossível de ser alcançada, devido principalmente ao paradigma que acompanha os resíduos orgânicos e a compostagem, de que produz mau odor e é trabalhosa. Além disso, famílias muito numerosas com pouco espaço em casa podem ter dificuldade em alocar uma composteira.

Ainda em relação ao investimento inicial, nota-se a disparidade entre os cenários 1, 3 e 5 e os cenários 2, 4 e 6 influenciada pela segregação de resíduos na fonte ou não. Aqui é importante comentar sobre uma variável que não foi considerado no estudo que é o gasto do município para implementar um programa para coleta da fração orgânica para voluntários. Essa variável diminuiria a diferença de investimento inicial entre esses cenários. Se para separar em duas frações, recicláveis e orgânicos, já são enfrentados problemas, para 3 frações seria ainda mais complexo e custoso. Outro ponto a ser levado em consideração é que não foram definidas limitações para a adesão de voluntários a essa terceira coleta. O cenário 4, por exemplo, considera que 95% da população irá entregar seus resíduos orgânicos de maneira voluntária, algo que dificilmente será atingido.

Em relação às receitas, à exceção do cenário 1, os resultados são muito similares, sendo o cenário 2 aquele que mais gera recursos, aproximadamente R\$ 4.000.000,00. Esse cenário, porém, considera um escoamento de 75% do húmus produzido, uma suposição que carece de confirmação por pesquisa de mercado. É importante ressaltar que para a compostagem, é preciso garantir que o húmus será passível de comercialização para casos em que os resíduos não são separados na fonte. Com isso, necessita-se de maiores estudos sobre eficiência de separação das triagens e a composição do húmus resultante. Outro ponto importante é que não foram considerados valores de venda para os resíduos recuperados nas unidades de triagem de recicláveis e coprocessamento, que certamente contribuiriam com as receitas.

Para os custos operacionais gerais, é possível perceber que a compostagem doméstica diminui consideravelmente os gastos porque decrescem os gastos com coleta. Com isso, seria interessante criar alternativas de incentivo à adesão da população, como IPTU verde, em que são oferecidos descontos no IPTU para municípios que realizem algum tipo de ação sustentável, como compostar seus resíduos e ter painéis solares. por exemplo. Inclusive seria interessante criar uma metodologia que possibilitasse ao operador simular descontos na taxa de lixo embutida no IPTU para cada morador que aderisse à campanha. Já para as usinas de compostagem e biogás os custos são mais elevados pela quantidade de mão de obra necessária, custos fixos e manutenção com equipamentos.

## 7. CONCLUSÕES

A ferramenta desenvolvida se mostrou útil para realizar avaliações financeiras preliminares das alternativas de destinação de resíduos orgânicos, embora possua limitações na sua metodologia.

A principal delas é a extrapolação de dados retirados de estudos que foram realizados para a realidade de outros municípios ou para outro volume de recebimento de resíduos. Nesse ponto, a ferramenta precisa ser desenvolvida para tornar suas simulações mais precisas. O custo do terreno para implementação é um bom exemplo, pois os valores são muito distintos entre municípios.

Outro ponto importante a ser melhorado é a correção dos valores financeiros dos estudos utilizados como fonte de dados a partir de variáveis que consideram a inflação do período. Ainda na parte financeira, estudos futuros podem implementar valores de venda para os resíduos recuperados nas unidades de triagem de recicláveis e coprocessamento, que certamente contribuiriam para baixar os custos da operação. Outra melhoria interessante seria o desenvolvimento de variáveis que mostrassem aos gestores municipais o payback do investimento inicial.

Para o bloco de distribuição de composteiras domésticas, seria interessante criar uma metodologia que possibilitasse ao operador simular descontos na taxa de lixo embutida no IPTU para cada morador que aderisse à campanha. Com isso, seria possível ter um maior poder de convencimento da população

As variáveis que se mostraram fundamentais na decisão entre usina de compostagem ou usina de biogás foram a quantidade de húmus escoado e seu valor de venda. É importante lembrar, também, que não é possível afirmar se esse insumo estará dentro das normas exigidas pelo Ministério da Agricultura para comercialização caso não exista uma separação na fonte.

Em relação a separação de resíduos na fonte, futuramente seria recomendado detalhar os custos necessários para implementar essa terceira coleta, principalmente no que diz respeito à programas de comunicação da população. Se para separar em duas frações, recicláveis e orgânicos, já são enfrentados problemas, para 3 frações seria ainda mais complexo.

Em relação aos cenários estudados para a cidade de Porto Alegre, os cenários 1 e 6 demonstraram que vale a pena os gestores municipais investirem em programas de distribuição de composteiras domésticas para diminuir custos com coleta. É importante ressaltar que programas como

esse exigem poucos custos operacionais, mas complexos programas de divulgação, informação e conscientização da população.

O cenário 2 demonstrou que, caso seja possível vender os insumos da compostagem, vale a pena os gestores investirem em pesquisas de mercado e acordos com produtores rurais para escoar o húmus, mesmo que a um preço mais barato que o proposto no cenário.

Por fim, os cenários 4 e 5 demonstraram que a usina de biogás exige altos investimentos quando não operada com separação de resíduo na fonte. Além disso, os custos operacionais são altos, por conta de toda estrutura necessária. Ainda assim, vale mais a pena que o modelo atual existente na cidade, pois reduz gastos com contratos, adiciona um valor de receita proveniente do biogás e proporciona uma destinação ambientalmente mais correta.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil – 3. ed.** Brasília: ANEEL, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13591: **Compostagem.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSUMPTÃO, J. **Análise de Viabilidade Econômico e Financeira para o Desenvolvimento de Empreendimentos Imobiliários.** In: II Seminário Tecnológico da Construção Civil, v. 1, 2004, Salvador: SEBRAE.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandir. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos: EESC – USP, 1999.

BORGES, Adriano. **Análise de viabilidade econômica de um sistema de compostagem acelerada para resíduos sólidos urbanos.** 2016.– Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Hamdia, M. (2005). **Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Review.** Process Biochemistry, 40, 989-995.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Estabelece as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes**

**destinados à agricultura.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Poder Executivo, Brasília, DF. 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305/10, Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. Brasília: MMA. 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.026/2020, Novo Marco Legal do Saneamento.** Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. Brasília: MMA. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 2012. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. Brasília: MMA. 2008. (Versão preliminar) 109p.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol.17, nº 2 abr./jun. 2012.

Campos, Livia Reis **Aterro Sanitário Simplificado: Instrumento de Análise de Viabilidade Econômico-Financeira, Considerando Aspectos Ambientais** / Livia Reis Campos. – Salvador, 2008. 148 f. : il. color.

CASSINI, Sérgio Túlio (coordenador). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e aproveitamento do biogás** – Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 210 p., 2005.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento de águas residuárias – Retores anaeróbios.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. UFMG v.5, 246p. Belo Horizonte, MG. 1997.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos; LIBÂNIO, Marcelo. **Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol.17, n 3 jul./set. 2012.

DMITRIJEVAS, Cibele. **Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear –

Materiais). - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010

DMITRIJEVAS, Cibele. **Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Minhocultura ou Vermicompostagem: Criação de minhocas para produzir fertilizante orgânico capaz de melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo**. 2011.

FARIAS, E. **Revolução dos Baldinhos: Um Modelo de gestão Comunitária de resíduos Orgânicos que Promove a Agricultura Urbana**. Florianópolis-SC UFSC, 2010. (Relatório de estágio de conclusão de curso de Graduação em Agronomia)

GIL, M. **Estudo comparativo dos meios de transporte utilizados na coleta seletiva, Periódico Técnico e Científico – Cidades Verdes**, 2017.

Guse, J. **Usina de compostagem: uma opção econômica e sustentável**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - 2012

LEITE, Denise Ferreira de Moura. **Avaliação do uso e operação de composteira caseira que utiliza vermicompostagem**. Monografia (Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2011.

MACIEL, E. **A História do Lixo - a Limpeza Urbana Através dos Tempos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, PROBIOGÁS. **Viabilidade econômica de projetos de valorização integrada de resíduos sólidos urbanos com produção de biogás**. Brasília – DF, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**. Brasília – DF, 2017.

NETO, J. **Balanco de massa no tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes em biorreator**. 2017

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Porto Alegre - Volume 1 – Diagnóstico e Prognóstico**, 2013.

QUINTELA, Leonardo. **Avaliação do processo de vermicompostagem doméstica para tratamento da parcela orgânica dos resíduos sólidos domiciliares.** 2014.– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, São Carlos, 2014.

REICHERT, Geraldo Antônio. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre.** 276p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, Brasil. 2013.

REIS, Mariza Fernanda Power. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

ROCHA LIMA JR., J. **Decidir sobre Investimentos no Setor da Construção Civil.** São Paulo 1998. EPUSP (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP).

SCHULZ, Francine. **Biodigestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.** 2015.– Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO DO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos.** Brasília – DF, 2010.

SILVA, W.R. **Estudo cinético do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Vegetais.** 2009 175f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2009.. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. UFMG v.5, 246p. Belo Horizonte, MG. 1997.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços saneamento básico.** Site institucional, 2019.

SUL 21. Caminhos do Lixo,2020. Disponível em < [85](https://www.sul21.com.br/caminhos-do-lixo/#:~:text=A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20de%20Porto%20Alegre,mil%20toneladas%20de%20res%C3%ADduos%20diariamente.&text=Para%20ajudar%20na%20compreens%C3%A3o%20desse,da%20coleta%20em%20Porto%20Alegre.></a></p></div><div data-bbox=)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão, 2014.**