



RSU

VIABILIDADE ECONÔMICA
DE PROJETOS DE VALORIZAÇÃO
INTEGRADA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS COM
PRODUÇÃO DE BIOGÁS



VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE VALORIZAÇÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Coletânea de publicações do PROBIOGÁS
Série Aproveitamento Energético de Biogás
de Resíduos Sólidos Urbanos

1ª Edição
Ministério das Cidades
Brasília, 2017

República Federativa do Brasil

Presidente da República

Michel Temer

Ministro das Cidades

Bruno Araújo

Secretário Executivo do Ministério das Cidades

Luciano Oliva Patrício

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental

Alceu Segamarchi

Chefe de Gabinete

Gustavo Zarif Frayha

Diretor de Articulação Institucional

Ernani Ciríaco de Miranda

Diretora de Repasses a Projetos de Saneamento

Roberta Sampaio Soares

Diretor de Financiamento de Projetos de Saneamento

Sérgio Wippel

Apoio Técnico

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Diretor Nacional: Wolf Michael Dio

Coordenador do Projeto: Wolfgang Roller

Informações legais

As ideias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério das Cidades, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROBIOGÁS seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério das Cidades e da GIZ.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação [CIP]

Bibliotecário Responsável: Illy Guimarães B. Batista [CRB/DF 2498]

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás.

Viabilidade econômica de projetos de valorização integrada de RSU com produção de biogás / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ] ; autores, Luis Felipe de D. B. Colturato ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

124 p. : il. – [Aproveitamento energético de biogás de resíduos sólidos urbanos; 2]

ISBN 978-85-7958-060-4

1. Tratamento de resíduos sólidos urbanos – aspectos econômicos - Brasil. 2. Biogás – aspectos econômicos - Brasil. 3. Tratamento de resíduos sólidos urbanos – aspectos tecnológicos - Brasil. 4. Biogás – aspectos tecnológicos - Brasil. 5. Biogás - saneamento ambiental - Brasil. 6. Energia – fontes alternativas. I. Ministério das Cidades. II. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]. III. Colturato, Luis Felipe de D. B. IV. Título. V. Série.

CDD 665.776

CDU 662.767.2



Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

www.cidades.gov.br/probiogas

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – é um projeto inovador, fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e o Governo Alemão, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Com o objetivo de contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de gases indutores do efeito estufa, o projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial e tem vigência entre os anos de 2013 e 2017.

Para alcançar tais objetivos, o PROBIOGÁS desenvolve atividades em três linhas: (1) *condições-quadro*, atuando junto a órgãos governamentais em prol da melhoria das condições regulatórias relacionadas à produção de energia a partir do biogás; (2) *cooperação científica*, aproximando instituições de ensino e de pesquisa brasileiras entre si e das alemãs; e, (3) *cadeia de valor*, com o intuito de fomentar a indústria brasileira para produção nacional de tecnologia e de aproximar empresas brasileiras e alemãs para o intercâmbio de conhecimento. Além dessas atividades, o PROBIOGÁS busca capacitar profissionais brasileiros em diversos níveis, contemplando os atores que integram a cadeia de biogás e objetivando fortalecer o mercado de biogás no Brasil.

A realização da parceria Brasil-Alemanha possibilita a transferência do conhecimento e da experiência alemã sobre o aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes e de resíduos, cuja *expertise* é reconhecida mundialmente. Neste contexto, o PROBIOGÁS assume papel relevante, indutor do desenvolvimento de tecnologias nacionais para o aproveitamento do biogás, possibilitando um retorno positivo para o setor de saneamento básico no Brasil, em função do potencial de incremento na viabilidade técnica e econômica das plantas e instalações de tratamento de esgotos e de resíduos sólidos, a partir da geração de energia proveniente dos processos de biodegradação da fração orgânica.

Para melhor inserir o Projeto nas políticas nacionais, foi criado um Comitê Gestor interministerial com a função de assegurar a integração entre as diversas áreas do Governo Federal com atuação no tema. O Comitê é formado pelos seguintes órgãos: Ministério das Cidades, do Meio Ambiente, da Ciência, da Tecnologia e Inovação, das Minas e Energia, da Agricultura, da Pecuária e Abastecimento, do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior, assim como a GIZ.

Ministério das Cidades



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Coordenação do projeto PROBIOGÁS

Ernani Ciríaco de Miranda (Ministério das Cidades) e Wolfgang Roller (GIZ)

Publicado por

Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ)

Contatos

SNSA/MCidades

Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II
CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2108-1000
www.cidades.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 – 15º andar Ed. Brasília Trade Center,
CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2101-2170
www.giz.de/brasil

Expediente

Autores

Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato (Methanum), Felipe Correia de Souza Pereira Gomes (Methanum), Tathiana Almeida Seraval (Methanum), Thiago Dornfeld Braga Colturato (Methanum)

Revisão

Jens Giersdorf (GIZ), Luis Costa Jr. (GIZ), Roberta Knopki (GIZ), Wagner Santos (consultor)

Capa, projeto gráfico e diagramação

Estúdio Marujo

PREFÁCIO

A Lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei 11.445/2007 – estabelece que a prestação dos serviços terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada e, sob os aspectos técnicos, atenderá a requisitos que garantam a qualidade adequada. Por sua vez, a Lei que institui a política nacional de resíduos sólidos – Lei 12.305/2010 – estabelece a obrigatoriedade da coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos devem ser encaminhados a aterros sanitários (regra que ficou conhecida no país como o “fim dos lixões”). Tais elementos reforçam o grande desafio, enfrentado pelo Brasil, de ampliar os níveis de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos.

O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab –, aprovado em dezembro de 2013, com horizonte de 20 anos, destaca que um dos princípios fundamentais da política de saneamento diz respeito à matriz tecnológica que orienta o planejamento e a política setorial. Segundo o Plansab, planejar o saneamento básico no país, com um olhar de longo prazo, necessariamente envolve a prospecção dos rumos tecnológicos que o setor pode e deve trilhar. Cabe à política de saneamento básico identificar tendências, nacionais e internacionais, segundo as quais a matriz tecnológica do saneamento vem se moldando, o que supõe também procurar enxergar novos conceitos, ainda que sejam antigas formulações em novas roupagens, ou novos desafios que pressionam no sentido de mudanças paradigmáticas. Neste sentido, temas como a sustentabilidade, a gestão integrada das águas urbanas, o saneamento ecológico e o combate às mudanças climáticas globais podem ser evocados como exemplos.

Nesse contexto, o PROBIOGÁS é um instrumento de grande importância para a implementação do Plansab. O aproveitamento energético do biogás nos processos de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos, consagrado em diversos países, representa um pequeno esforço de modernização das instalações dos sistemas brasileiros com impactos altamente positivos na sustentabilidade econômico-financeira, na qualidade dos processos de tratamento e na melhoria do meio ambiente, contribuindo de forma efetiva para a redução dos gases de efeito estufa.

Espera-se que os resultados do PROBIOGÁS possibilitem a inserção do aproveitamento energético do biogás na pauta dos governos e dos prestadores de serviços de saneamento básico, de modo a fazer com que esta fonte renovável de energia seja utilizada em toda a sua potencialidade, dentro da realidade brasileira, contribuindo também para a geração distribuída de energia e a maior diversificação da matriz energética nacional.

APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA

A Coletânea de Publicações do PROBIOGÁS é uma relevante contribuição governamental aos profissionais brasileiros que atuam em diferentes setores da infraestrutura, energia renovável, inovação tecnológica e, em especial, no setor de saneamento. Essa coletânea é composta por cadernos técnicos que tratam do biogás como tema central.

A coletânea é dividida em quatro séries, cada uma agrupando um conjunto de publicações que contribuem para uma determinada área do conhecimento e/ou de atuação no tema.

BIOGÁS

A primeira série é intitulada **Desenvolvimento do Mercado de Biogás**, abreviada como **BIOGÁS**, composta por publicações que tratam de aspectos tecnológicos da geração e utilização do biogás, do processo de licenciamento ambiental de plantas e instalações, da comercialização de co-produtos de plantas de biogás, entre outros tópicos pertinentes à estruturação da cadeia produtiva e à consolidação de um mercado nacional.

RSU

A segunda série aborda a utilização energética do biogás gerado a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, questão extremamente atual no contexto técnico e institucional do saneamento ambiental brasileiro. Denominada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos** e abreviada simplesmente como **RSU**, esta série abordará, entre outros tópicos, a metodologia e tecnologia da metanização seca e estudos de viabilidade técnica e econômica.

ETE

A terceira série é chamada **Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto**, simbolizada pela sigla **ETE**, composta por publicações que tratam de aspectos técnicos, desde o projeto à operação, de estudos de viabilidade técnica e econômica, e de orientações para a licitação de sistemas de tratamento que contemplem o biogás.

RA

Finalmente, a quarta série abordará a utilização do biogás oriundo dos resíduos das atividades agrícolas, pecuárias e da agroindústria, que possuem um elevado potencial de aproveitamento no país. Intitulada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Agrosilvopastoris**, abreviada simplesmente como **RA**, as publicações versarão sobre os resíduos da suinocultura, comercialização de biofertilizante, entre outros tópicos.

Por oportuno, informamos que todas as Publicações da Coletânea estão disponíveis para download na página do Projeto PROBIOGÁS, hospedado no site da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades: www.cidades.gov.br/probiogas

SUMÁRIO

11 1 APRESENTAÇÃO

12 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

- 12 2.1 A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil
 - 14 2.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)
 - 16 2.3 Desafios do setor para o atendimento à PNRS
 - 17 2.4 Características técnicas e operacionais das Usinas de Tratamento Mecânico Biológico (TMB) para valorização integrada de RSU
 - 23 2.5 Objetivos deste trabalho
-

25 3 O CENÁRIO REFERENCIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE VALORIZAÇÃO DO RSU

- 25 3.1 Justificativa para a seleção de um cenário referencial
 - 25 3.2 Descrição do cenário referencial para a implantação do projeto e realização do estudo
-

28 4 ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE VALORIZAÇÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

- 29 4.1 Etapa 1 – Unidade de triagem de recicláveis
 - 30 4.2 Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR
 - 31 4.3 Etapa 3 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + compostagem para tratamento da fração orgânica
 - 33 4.4 Etapa 4 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + compostagem direta do lodo digerido
 - 35 4.5 Etapa 5 – Unidade de triagem de recicláveis + metanização para tratamento da fração orgânica + separação de fases do lodo digerido + pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida
-

37 5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

- 37 5.1 Comparação dos custos de investimento para as respectivas etapas de ampliação da infraestrutura de tratamento do RSU
 - 39 5.2 Análise comparativa dos resultados decorrentes das etapas de implantação no aterro sanitário
-

44 6 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

- 45 6.1 Análise de sensibilidade (i) – Flutuação da extração de recicláveis e preços de venda
- 48 6.2 Análise de sensibilidade (ii) – Produção e venda de CDR
- 51 6.3 Análise de sensibilidade (iii) – Flutuação do custo do aterro sanitário para destinação final dos rejeitos

54	6.4 Análise de sensibilidade [iv] – Autoconsumo e/ou venda do biogás
57	6.5 Análise de sensibilidade [v] – Flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo
59	6.6 Análise de sensibilidade [v] – Variação dos custos de investimento

62 7 EXTERNALIDADES E INDICADORES NÃO ECONÔMICOS DE IMPACTO

62	7.1 Alternativa para atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)
63	7.2 Implicações na logística de coleta
63	7.3 Efeitos positivos no aterro sanitário
65	7.4 Controle das emissões de gases efeito estufa [GEE] e possibilidades de receitas
65	7.5 Economia de energia/água
66	7.6 Efeitos sociais [geração de empregos diretos/indiretos]

68 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

70 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

72 Anexos

LISTA DE FIGURAS

17	1: Fluxos de processos e principais subprodutos de uma Usina de Tratamento Mecânico Biológico para RSU
19	2: Fluxograma típico de Usina de Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduo Sólido Urbano [RSU]
20	3: Linha de Pré-tratamento com processos manuais e mecânicos
20	4: Diferenciação das tecnologias de metanização, em relação à temperatura de operação, ao regime de operação, ao teor de sólidos e ao número de estágios de processo
21	5: Reatores de metanização com tecnologia baseada em processo seco contínuo [A] e processo seco descontínuo [B]
22	6: Sistemas de condicionamento do biogás baseados em processos físico-químicos secos, como filtro de óxido de ferro [A] ou biológico [B]
22	7: Instalações de compostagem das Usinas de Tratamento Mecânico Biológico Ecoparc II [A] e Ecoparc La Rioja [B], localizadas na Espanha
29	8: Etapas de implantação consideradas no estudo, bem como os custos e receitas associados

30	9: Visão geral do processo – Etapa 1 – Unidade de triagem de materiais recicláveis
31	10: Visão geral do processo – Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis e CDR
31	11: Visão geral do processo – Etapa 3 – Unidade de triagem materiais recicláveis + compostagem para tratamento da matéria orgânica
32	12: Plano de posicionamento de equipamentos da linha de triagem
32	13: Revolvedor de composto
33	14: Área coberta para a compostagem
34	15: Visão geral do processo – Etapa 4 – Metanização com compostagem direta do lodo digerido
35	16: Visão geral do processo, etapa de ampliação 5 – Metanização com separação de fases e pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida
38	17: Visão geral dos custos de investimento e custos totais de tratamento das etapas
39	18: Visão geral dos custos de investimento e custos totais de tratamento das etapas
40	19: Ilustração da decomposição orgânica e da perda de água dos resíduos aterrados, para os diferentes cenários considerados
41	20: Volume de produção de chorume, liberação de metano e valor de pH dos resíduos aterrados, para as diferentes etapas de implantação analisadas
42	21: Volume e densidade dos materiais a serem dispostos em aterro sanitário, para as diferentes etapas de implantação analisadas
45	22: Efeito das flutuações da extração de recicláveis
46	23: Ponto de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações da extração e preço de venda de recicláveis
48	24: Ponto de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações dos preços de CDR
51	25: Efeito das flutuações do custo de aterro sanitário para destinação final dos rejeitos
52	26: Pontos de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações no custo do aterro sanitário
54	27: Ponto de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações do preço de biogás
57	28: Ponto de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo
59	29: Efeito das flutuações do custo de investimento [Capex] em relação aos custos totais de operação e tratamento do RSU
60	30: Ponto de equilíbrio [<i>Break-Even-Point</i>] para flutuações dos custos de investimentos

LISTA DE TABELAS

28	1: Pacotes tecnológicos previstos para cada etapa de ampliação do estudo
37	2: Principais custos e receitas das etapas de implantação analisadas
43	3: Características do material a ser aterrado nas diferentes etapas de implantação analisadas
44	4: Análises de sensibilidade e etapa(s) de implantação considerada(s)
47	5: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações da extração e preço de venda de recicláveis
50	6: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações dos preços de CDR
53	7: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações no custo do aterro sanitário
56	8: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações do preço de biogás
58	9: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo
61	10: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações dos custos de investimentos
66	11: Estimativa dos benefícios econômicos associados à redução do consumo de insumos
66	12: Estimativa dos custos ambientais associados à redução do consumo de insumos

1

APRESENTAÇÃO

É consenso que o aterramento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um procedimento que acarreta a perda de matéria-prima, energia, áreas urbanas e resulta em inúmeros impactos ambientais, sociais e de saúde pública. Diante disso, percebe-se, notoriamente, a necessidade de fomentar a disseminação de soluções tecnológicas que possibilitem a recuperação da matéria e energia dos resíduos.

Esta demanda já obteve repercussão na esfera política, com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/10, que sugere instrumentos para minimizar os principais impactos negativos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, baseados no aterramento integral dos resíduos municipais, e, muitas vezes, em condições nem sempre adequadas do ponto de vista sanitário.

Por outro lado, o Brasil enfrenta uma carência de tecnologias de manejo, gerenciamento e tratamento adequado de resíduos, e, apesar da discussão de diferentes projetos, principalmente com empresas e fornecedores de tecnologias internacionais, é recorrente a descontinuidade das iniciativas. Isso se dá, particularmente, devido aos riscos e às incertezas relacionadas à sustentabilidade econômica e às condições de rentabilidade desses empreendimentos.

Frente a esta demanda, este estudo visa discutir aspectos relacionados à viabilidade econômica de projetos de biogás gerado a partir de RSU, tendo como objetivo fomentar tais iniciativas como medida de adequação à PNRS, resultando em benefícios diretos e indiretos relacionados à melhoria das condições ambientais e de saúde pública do país.

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do PROBIOGÁS, projeto de fomento ao aproveitamento energético de biogás coordenado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades (MCI-dades), com apoio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, que visa fomentar a disseminação do biogás no Brasil, enquanto fonte de energia renovável promissora que contribui, ainda, com a ampliação da infraestrutura de saneamento no país, agregando benefícios ambientais, sociais e econômicos ao setor.

2

CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

O Brasil é o 5º maior país em extensão territorial do mundo, com uma população total de 205.128.684 habitantes, em 2015, e estimativa de atingir mais de 223 milhões de pessoas no ano de 2030 (IBGE, 2015a). O PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro atingiu R\$ 5,52 trilhões em 2014, posicionando o país no 7º lugar entre as maiores economias do mundo (IBGE, 2015b).

Apesar da recente crise econômica enfrentada pelo país, o Brasil segue a tendência mundial de industrialização e concentração urbana, o que não resulta somente em aumento nas taxas de geração de resíduos sólidos urbanos, como também traz complexidade à sua gestão.

Em 2014, o Brasil produziu 78.583.405 toneladas de RSU, o equivalente a 387,63 kg por habitante por dia, valor que representa um aumento de 2,9% na geração de RSU com relação ao ano anterior. Deste total, 71.260.045 toneladas foram coletadas, resultado de uma cobertura de coleta que atinge em média 90,6% da população (ABRELPE, 2015).

Apesar da efetividade da coleta, 41,6% do total de RSU (29.659.170 t/ano) sofreram destinação inadequada, ou seja, disposição em lixões ou aterros controlados, instalações que não apresentam o conjunto de sistemas e medidas necessárias para o efetivo controle sanitário (como proliferação de vetores, etc.) e redução de riscos ambientais (emissões atmosféricas, contaminação do solo e corpos hídricos) (ABRELPE, 2015). Em termos de abrangência, esta é a situação de cerca de 60% dos municípios brasileiros (ABRELPE, 2015), uma vez que o tratamento é mais deficitário em municípios de pequeno e médio porte.

A parcela dos municípios restantes (40%) destina seus resíduos a aterros sanitários, instalações consideradas ambientalmente adequadas para a **disposição final de rejeitos**, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010). Porém, conforme disposto na PNRS, o aterro sanitário deve ser o destino dos materiais que não possuem **viabilidade técnica e econômica de aproveitamento ou tratamento**, fato que exclui os materiais recicláveis em geral, assim como a fração orgânica, evitando, então, a perda de matéria-prima e energia, fomentando a redução da poluição e dos impactos associados ao aterramento integral do RSU.

Além dos prejuízos ambientais e de saúde pública associados ao aterramento integral do RSU, é importante salientar que os aterros sanitários, enquanto principal solução sanitária adotada no Brasil para o RSU, devem ser objeto de um gerenciamento efetivo, a fim de se evitarem impactos econômicos para os municípios. A redução da disposição de materiais passíveis de aproveitamento tende a ampliar a vida útil destas instalações e, por isto, tende a reduzir a demanda por novas e extensas áreas, freando a contínua oneração deste serviço em função da alocação de aterros em áreas cada vez mais distantes. Somente entre os anos de 2004 e 2008, ocorreu um acréscimo médio de 85% no valor contratual para a destinação de RSU a aterros sanitários. Destaca-se, nesse contexto, que a inflação acumulada no período, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), foi de pouco mais de 20% (IPEA, 2012).

Esta determinação da PNRS reflete uma preocupação coerente, uma vez que, no Brasil, a grande maioria do RSU caracteriza-se como **lixo urbano misturado**, composto de diferentes materiais passíveis de reaproveitamento, entre os quais destaca-se a matéria orgânica, que representa metade de todo o RSU coletado (em média, 51,4%) e desencadeia os processos mais graves de contaminação oriundos da gestão de resíduos (ABRELPE, 2015). Dados recentes apontam que o setor de resíduos emitiu, em 2013, 48,7 Mt de gases de efeito estufa (GEE), dos quais 56,6% (27,6 Mt) são provenientes da emissão de metano (CH₄) gerados em aterros sanitários, aterros controlados e lixões (SEEG, 2015). Segundo as estimativas, de 1970 a 2013, a emissão de GEE, devido à disposição de resíduos, aumentou 230,6% (SEEG, 2015).

Ciente dos impactos associados ao aterramento integral do RSU, a principal regulamentação para o setor de manejo de resíduos sólidos no Brasil – a PNRS – adotou diretrizes em estreita sinergia com diferentes países do mundo, a exemplo dos que compõem a União Europeia, que restringe o aporte de resíduos recicláveis e orgânicos em aterros sanitários desde 1999¹. Nos países da UE, já existem distintas tecnologias consolidadas para recuperação e tratamento das frações encontradas no RSU, inclusive a matéria orgânica, estabilizada, por exemplo, por meio de processo anaeróbio (metanização), com produção de biogás passível de uso energético.

Já na Ásia, em especial na China e na Índia, as iniciativas de valorização do RSU com uso da metanização também são recorrentes, porém em menores escalas e com o uso de tecnologias mais simples, de baixo custo e menor eficiência.

Vale citar, também, que, nos Estados Unidos, mais de 23 estados proíbem o aterramento de RSU sem tratamento ou recuperação dos materiais orgânicos e inorgânicos. O estado de Massachusetts, por exemplo, desde 2014, obriga os geradores comerciais de resíduos orgânicos com taxas acima de 1 tonelada por semana a promoverem a correta destinação destes materiais a instalações de tratamento (estabilização aeróbia ou anaeróbia) antes de sua disposição final, possibilitando, também, seu uso como composto orgânico².

No Brasil, as ações de valorização do RSU têm se limitado ao aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários, e não de sua matéria e energia antes do processo de disposição final. Estas iniciativas resultam em menor rendimento em termos de produção de biogás por volume de resíduo e são caracterizadas por menor previsibilidade da produção de energia ao longo do tempo, mas representam um importante passo para ampliar a sustentabilidade econômica e ambiental de aterros pré-existentes. Além disso, há uma grande parcela de metano emitido pelos aterros sanitários na forma difusa, acarretando uma contribuição significativa deste setor nas emissões de gases de efeito estufa.

Em termos de valorização e tratamento propriamente ditos, os processos mais utilizados no Brasil são a segregação manual na coleta, realizada principalmente pelo setor informal (“catadores” de materiais recicláveis), com revenda para as usinas recicladoras diretamente ou por meio de intermediadores. Ocorre, ainda, a segregação manual em instalações específicas, geralmente coordenadas por associações de catadores ou pela iniciativa

1: Landfill Directive 1999/31/EC, posteriormente substituída pela EU Waste Framework Directive 2008/98/EC.

2: Final Amendments to 310 CMR 19.000 Regulations. Mais informações em: <http://www.mass.gov/eea/agencies/massdep/recycle/solid/massachusetts-waste-disposal-bans.html>

municipal, podendo estar localizadas nas instalações de aterros sanitários, sendo denominadas Unidades de Triagem e Compostagem (UTC). Estas unidades utilizam baixo grau de mecanização (geralmente limitadas a esteiras e prensas) e objetivam, principalmente, a obtenção de recicláveis para geração de renda, com direcionamento dos materiais remanescentes para o aterro sanitário, ou aproveitamento da fração orgânica para compostagem.

No caso de alguns materiais, como o alumínio, o Brasil assume posição de destaque em eficiência no ciclo de reciclagem. Dados mais recentes indicam que, em 2012, o Brasil reciclou 508 mil toneladas de alumínio, correspondente a 35,2% do consumo doméstico registrado no período, sendo que, neste mesmo ano, a média mundial em 2012 foi de 30,4% (ABRELPE, 2015). Com relação a latas de alumínio para envase de bebidas, a reciclagem desse material atingiu, em 2012, o índice de 97,9%, números que correspondem a 260 mil toneladas recicladas, posicionando o país na liderança mundial neste segmento (ABRELPE, 2015). Ainda segundo a Abrelpe, no setor de papéis recuperáveis, a taxa de reciclagem atingiu 45,7% do total de papel produzido, neste mesmo ano.

Por outro lado, apesar do alto percentual de matéria orgânica no RSU, as experiências de compostagem no Brasil ainda são incipientes. Segundo dados do IPEA (2012), do total estimado de resíduos orgânicos coletados em 2012, somente 1,6% (1.519 t/dia) foi encaminhado para tratamento via compostagem (IPEA, 2012). Apesar da efetividade da compostagem para a estabilização da matéria orgânica, sua utilização é dificultada pelas elevadas temperaturas e pelo índice de pluviosidade em algumas regiões do país, que trazem dificuldades operacionais devido à atração de animais e vetores, à proliferação de odores, além da demanda de manejo constante (revolvimento das leiras de compostagem), que, associado a baixos rendimentos, resulta na insustentabilidade econômica e consequente abandono e sucateamento de grande parte destas instalações (BNDES, 2014). A aplicação da compostagem para empreendimentos de maior escala no país demandaria maior nível de tecnologia para a realização do processo de estabilização de maneira controlada e em melhores condições sanitárias.

2.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Lei nº 12.305 sancionada no dia 02 de Agosto de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas pelo Governo Federal, Estados e Municípios, visando à gestão integrada do RSU. Segundo a PNRS, gestão integrada consiste em um “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.” (BRASIL, 2010)

A lei constitui-se na base central para a gestão do RSU no Brasil e coloca o País em patamar de igualdade com relação aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal do setor. A PNRS introduziu conceitos antes não considerados no manejo dos resíduos, como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a inclu-

são social. Além disso, fez uma distinção primordial entre o que se constitui como resíduo, entendido como todo material passível de recuperação ou reaproveitamento, e rejeito, que deve ser destinado à disposição final, de fato, em aterros sanitários. Para tanto, a PNRS institui que, na gestão de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por fim, a disposição final dos rejeitos.

Para efeitos da Lei, a destinação final ambientalmente adequada inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos materiais presentes nos resíduos, bem como a disposição final para os rejeitos, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar os impactos ambientais adversos.

No tocante à competência, cabe aos Municípios realizar os serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos gerados em seus respectivos territórios, em conformidade com a Lei Federal nº 11.445/2007 (Lei Nacional de Saneamento). Entre os instrumentos da PNRS, merecem destaque os planos de resíduos sólidos, a exemplo dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que devem considerar o diagnóstico atual da infraestrutura e serviços relacionados ao manejo de RSU e fazer prognósticos em um horizonte temporal de 20 anos, visando promover o entendimento das demandas futuras pelo serviço de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no município.

Esta visão de planejamento no setor é fundamental para superar a atual situação da maioria dos municípios, que não dispõe de recursos técnicos e financeiros para solucionar os problemas ligados à gestão dos RSU, e erradicar ações sem prévio e adequado planejamento técnico-econômico, sendo esse quadro agravado pela falta de regulação e de controle social no setor.

De acordo com a PNRS, a **elaboração do PMGIRS constitui condição para acesso a recursos do Orçamento Geral da União (OGU)** por meio do Ministério do Meio Ambiente, Ministério das Cidades e Fundação Nacional de Saúde (Funasa), para emprego direto em infraestrutura e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos. A PNRS também garante prioridade de acesso aos recursos aos municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão do RSU, bem como para aqueles que implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, garantindo a inclusão social na cadeia produtiva formal dos resíduos.

Outros geradores de resíduos que, por sua natureza ou volume, não se equiparem aos resíduos domiciliares (p. ex., supermercados, hotéis, etc.) também estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos, o que significa que, para efeito da Lei, deverão realizar um planejamento visando garantir a destinação adequada de seus resíduos, o que implica em oferecer tratamento e/ou valorização às diferentes frações que o componham.

Atualmente, dentre os 5.570 municípios brasileiros, 2.323 (41,7% do total) declararam possuir PMGIRS, nos termos estabelecidos na PNRS, sendo que 17 Estados organizaram arranjos para realizar a gestão de resíduos em seus municípios (ÁVILA, 2015).

Em nível Federal, o **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** foi elaborado e submetido às audiências públicas conforme previsto na Lei, mas ainda não se encontra efetivamente regulamentado. O Plano estabelece **metas de disposição final ambientalmente adequada de rejeitos**, de **redução dos resíduos recicláveis dispostos em aterros** e inclusão de catadores, e metas de **redução dos resíduos orgânicos em aterros, além da recuperação de gases de aterros**. Após sua efetiva regulamentação, tais metas passam a vigorar, representando estímulos concretos aos Estados e Municípios para adotarem sistemas de gestão e valorização integrada do RSU.

2.3 Desafios do setor para o atendimento à PNRS

Apesar dos avanços decorrentes do estabelecimento de um marco legal centralizado e moderno para a gestão do RSU, o setor possui claros desafios para atendimento às diretrizes e metas previstas em Lei, que supõem uma modernização dos sistemas de gestão e tratamento de resíduos no país.

Atualmente, a infraestrutura de saneamento nacional 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 (IPEA, 2012; ABRELPE, 2015). 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**, assim como outro setor qualquer de saneamento (tratamento de água ou esgoto doméstico, por exemplo). Entretanto, como o aterro sanitário é uma alternativa legal, e ainda representa o *status quo* do manejo de RSU em grande parte no mundo, este é o custo que o setor entende como adequado para a oferta do serviço à sociedade. A motivação principal para desenvolvimento de empreendimentos para valorização do RSU está associada a sua visão como negócio, uma vez que, além da minimização dos resíduos aterrados, acarretando em maior longevidade dos aterros sanitários e recuperação de frações dos resíduos, há expectativa de receitas para atingir a viabilidade econômica e ampliar sua atratividade.

Não obstante, por se tratar de um conceito novo no país e demandar soluções tecnológicas que ainda não estão consolidadas no Brasil, além do elevado custo de investimento das instalações e equipamentos, muitas vezes importados, existem riscos associados às receitas previstas, em relação à garantia dos mercados para escoamento dos subprodutos gerados (recicláveis, composto, Combustível Derivado de Resíduo ou CDR³, biogás, etc.), quantitativos destes materiais e preços a serem praticados. Outras incertezas são também de natureza técnica, devido à baixa disponibilidade de mão de obra capacitada para a operação da instalação, bem como de *know-how* local para oferta de serviços de implantação, pós-venda, operação e manutenção em geral.

Todas estas incertezas relacionadas ao projeto, sejam de natureza técnica, sejam financeiras, estão diretamente relacionadas à imaturidade deste mercado no Brasil e tendem a ser superadas com a instalação de usinas de referência em escalas comerciais e replicáveis, que contribuam para dinamizar o setor a partir da criação da demanda por componentes e serviços, fomen-

3: Também denominado de RDF, do inglês Residue Derived Fuel, ou ainda, SRF (Solid Recovered Fuels), traduzidos como combustíveis sólidos recuperáveis em português.

Em uma instalação TMB, os **processos de natureza manual e mecânica** dizem respeito a mecanismos de **separação/triagem e redução de dimensão** que, dispostos de maneira sequencial, possibilitam a separação das frações orgânica e inorgânica (recicláveis, CDR e rejeitos).

Já os **processos biológicos são aqueles destinados a tratar a fração orgânica dos resíduos**, que representam, em média, aproximadamente metade de todo o RSU produzido no país. O principal componente tecnológico biológico de uma Usina TMB é, geralmente, o **reator de metanização**, ou reator anaeróbio, local onde ocorre a degradação da matéria orgânica em ambiente fechado, com captação do biogás gerado no processo. Outra possibilidade menos recorrente em instalações TMB é o emprego da compostagem como principal processo biológico de tratamento da fração orgânica. No entanto, neste caso, a Usina não terá a possibilidade de produção de energia e terá uma demanda energética para operação do sistema em questão (aeração das leiras com revolvimento ou injeção de ar canalizado, consumo de combustível, etc.).

No caso do tratamento biológico ser anaeróbio, o **biogás produzido pode ser destinado à produção de energia elétrica e térmica** por meio de sistemas de cogeração (conjunto moto-gerador), sendo parte consumida pela própria instalação (aproximadamente 50% para abastecer toda a usina TMB) e parte destinada à comercialização. O emprego do processo de purificação visando remover o dióxido de carbono e aumentar a concentração de metano no biogás, equiparando-o ao gás natural, apesar de tecnicamente viável, ainda não possui seu uso regulamentado pela ANP devido, principalmente, à presença de constituintes no RSU (como siloxanos) que podem comprometer a qualidade do gás nos gasodutos. Entretanto, seu uso na frota cativa da companhia de limpeza urbana é uma possibilidade vigente, para determinadas escalas⁵.

O lodo gerado nos reatores, também denominado de material digerido ou digestato, geralmente é direcionado a um sistema de compostagem, visando à estabilização final. Posteriormente, este pode ser submetido a um processo de peneiramento, com a finalidade de remover impróprios de dimensões reduzidas (como fragmentos de plásticos, vidro, etc.) e agregar qualidade ao material. O ar resultante do processo de compostagem é geralmente direcionado a sistemas de desodorização, geralmente por biofiltros, cujos microrganismos inoculados atuam na degradação de compostos voláteis.

Vale ressaltar que uma instalação TBM pode ter sua configuração variada, com adoção de processos e tecnologias conforme as características do material de entrada (RSU com maior índice de metais, requer maior quantidade de esteiras e eletroímãs, etc.); ou, então, em função do resultado esperado para os subprodutos do processo, como tipos de materiais recicláveis desejáveis à venda, separação de materiais com poder calorífico elevado para uso como CDR, a qualidade do composto final que requer peneiramento, etc.

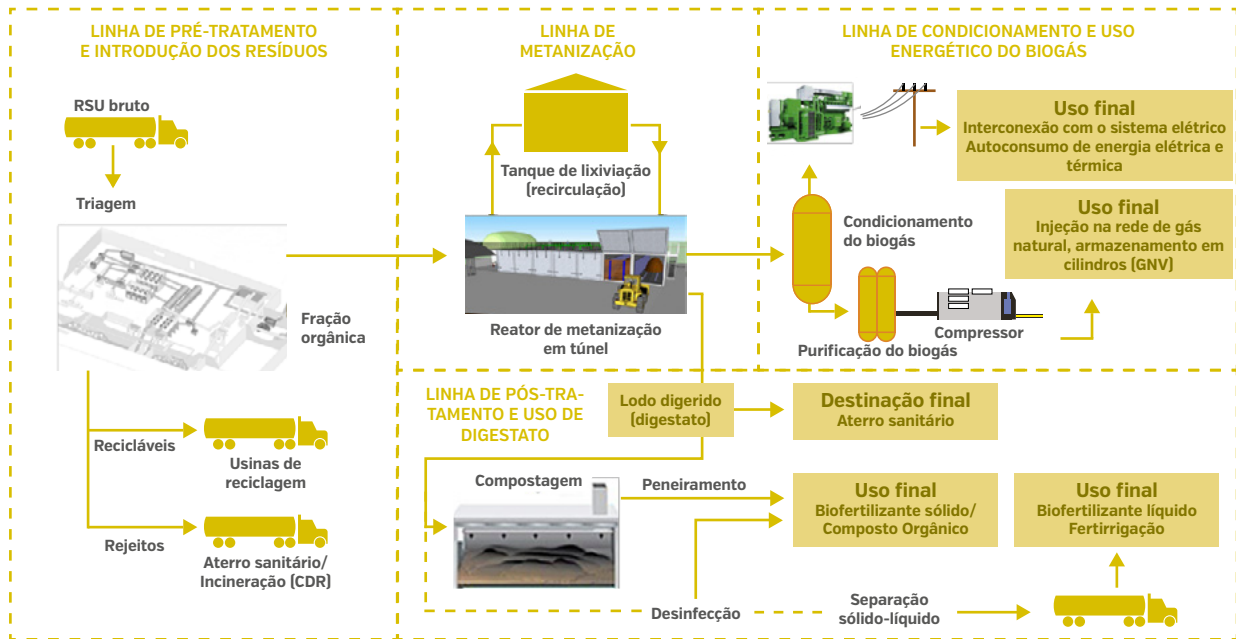
Entretanto, de modo geral, é possível subdividir uma Usina TMB nas seguintes seções principais:

- » Linha de pré-tratamento e introdução dos resíduos;
- » Linha de metanização;
- » Linha de condicionamento e aproveitamento energético do biogás;
- » Linha de pós-tratamento do material digerido.

5: A Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis regulamentou a comercialização do biometano por meio da Resolução ANP nº 8 de 30.1.2015, sendo, porém, exclusiva para biogás oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais. Maiores informações em: [http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=)

Figura 2: Fluxograma típico de Usina de Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduo Sólido Urbano (RSU)

Além destes componentes, a unidade pode contar, ainda, com instalações de correção da contaminação (desodorização, estações de tratamento de efluentes, etc.) e, em todos os casos, com um sistema de segurança e saúde ocupacional. A Figura 2 apresenta o fluxograma típico de Usina de Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduo Sólido Urbano (RSU).



Linha de pré-tratamento e introdução dos resíduos

Nesta área das instalações TMB, ocorre uma classificação do RSU bruto de forma a se obter quatro fluxos principais de materiais:

- >> Os materiais recicláveis, que são classificados em função de sua composição (PET, PEAD, PEBD, plásticos mistos, metais ferrosos e não ferrosos, papel, papelão, etc.) e acondicionados para envio a usinas de reciclagem;
- >> Materiais com elevado poder calorífico, para escoamento, como CDR, caso a instalação conte com equipamentos específicos para esta finalidade;
- >> A fração orgânica, com menor concentração de impurezas e inertes, que passa por um processo de uniformização de tamanho para ser direcionado ao reator de metanização;
- >> Rejeitos da usina, compostos pelos resíduos que não podem ser valorizados ou recuperados e devem ser destinados à disposição final em aterro sanitário.

A classificação dos materiais se realiza tanto de forma manual, em cabines de triagem, quanto de forma automática, por meio de equipamentos específicos, tais como separadores magnéticos, separadores por correntes de Foucault, separadores balísticos, peneiras rotativas, separadores ópticos, aspiradores de plástico, etc., dependendo da instalação em questão. A Figura 3 apresenta uma linha de triagem com associação de processos manuais

e mecânicos tradicionalmente empregados, visando maximizar a eficiência da recuperação de recicláveis e alcançar uma melhor qualidade da fração orgânica a ser direcionada ao tratamento.

Figura 3: Linha de Pré-tratamento com processos manuais e mecânicos

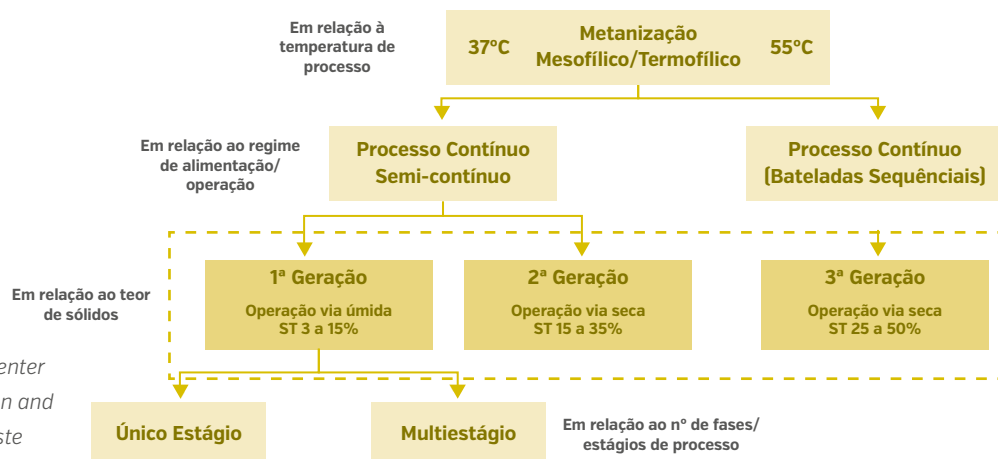


Fonte: Arquivo Methanum.

Linha de metanização

A matéria orgânica separada na linha de pré-tratamento é enviada por esteiras cobertas ao reator de metanização, onde ocorre o processo de tratamento anaeróbio, que consiste na degradação da matéria orgânica em ausência de oxigênio e que resulta na geração de biogás, passível de utilização energética. O processo de metanização pode utilizar distintas tecnologias e adotar configurações variadas, conforme o fornecedor (processo seco ou úmido, estágio simples ou múltiplo, etc.). A Figura 4 apresenta a diferenciação entre as tecnologias de metanização, em relação à temperatura de operação, ao regime de operação, ao teor de sólidos e ao número de estágios de processo.

Figura 4: Diferenciação das tecnologias de metanização, em relação à temperatura de operação, ao regime de operação, ao teor de sólidos e ao número de estágios de processo



Fonte: Adaptado de Center for Research, Education and Demonstration on Waste Management (CREED)

6: Apesar da denominação processo “seco”, o material de entrada no reator deve ter consistência bombeável, portanto é recorrente a mistura da fração orgânica fresca ao lodo digerido extraído do reator, evitando o aporte de água externa e favorecendo a inoculação do material com a microbiota anaeróbia presente no material de extração.

No caso do RSU, existem diferentes tecnologias de metanização com maturidade e disponibilidade no mercado (principalmente europeu), entretanto, aplicam-se, mais usualmente, aquelas baseadas em processos secos⁶, ou seja, sem adição de água externa no reator, operando com teor de sólidos sempre acima de 15%. Esta preferência deve-se ao fato do lodo digerido resultante do processo ter menor teor de água, tendo consistência pastosa no caso de sistemas secos contínuos (2ª geração) ou semissólida no caso de sistemas secos descontínuos, também denominados “garagem” (3ª geração). Importante ressaltar que mesmo os sistemas secos contínuos demandam pós-tratamentos para estabilização final do material (lodo digerido) e se tornam mais complexos e onerosos conforme amplia-se a necessidade de remoção de água. A Figura 5 apresenta os reatores baseados nos processos de metanização seca (contínuo e descontínuo).

Figura 5: Reatores de metanização com tecnologia baseada em processo seco contínuo (A) e processo seco descontínuo (B)



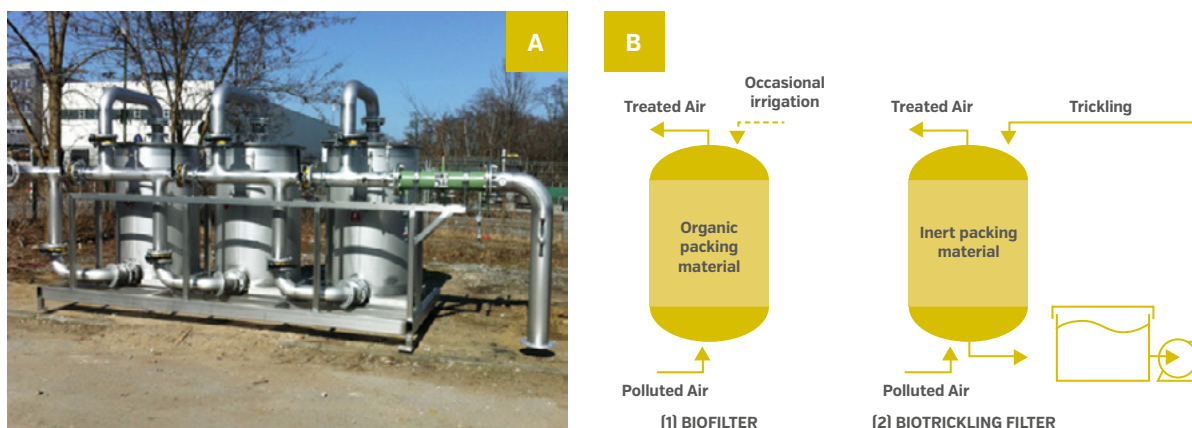
Fonte: Arquivo Methanum.

O biogás gerado no reator é captado por uma tubulação específica e direcionado à linha de condicionamento e à valorização energética. O lodo digerido, por sua vez, é destinado à linha de pós-tratamento.

Linha de condicionamento e aproveitamento energético do biogás

O biogás produzido no reator passa por um sistema de limpeza visando ao condicionamento para posterior uso energético. É imprescindível a remoção de umidade e sulfeto de hidrogênio (H_2S), além de outros compostos indesejáveis que podem prejudicar os componentes mecânicos e metálicos dos sistemas de aproveitamento energético (CHP, caldeira, etc.). Os sistemas de condicionamento mais comuns para Usinas TMB de RSU são baseados em processos físico-químicos secos (ex. filtro de carvão ativado ou óxido de ferro) ou biológicos (biofiltros ou filtros percoladores) (Figura 6). A seleção da tecnologia mais adequada deve ser embasada na composição do biogás de entrada e na composição final demandada, conforme o uso esperado para o gás (energia elétrica em moto-gerador, biometano, etc.).

Figura 6: Sistemas de condicionamento do biogás baseados em processos físico-químicos secos, como filtro de óxido de ferro [A] ou biológico [B]



Fonte: *Re-energise Africa (2015) e Álvarez-Hornos et al (2015).*

Após sua limpeza, o biogás é conduzido aos sistemas de aproveitamento energético, sendo comum o uso de motores de cogeração, produzindo energia elétrica e térmica. Ambas as fontes de energia são, em partes, utilizadas para suprir a demanda elétrica da instalação e de aquecimento para os reatores, enquanto os excedentes energéticos são passíveis de comercialização. Caso o biogás seja utilizado para produção de biometano, é necessário que ocorra também a remoção de CO_2 , podendo ser utilizados sistemas de peneira molecular (PSA), lavadores de gases pressurizados, membranas, etc.

Linha de pós-tratamento do material digerido

Uma vez que a matéria orgânica passou pelo processo de metanização e foi degradada, o material de saída do reator é denominado de lodo ou material digerido. Este material pode ter maior ou menor quantidade de água, conforme a tecnologia de metanização utilizada. Os processos secos contínuos geralmente resultam em um lodo de consistência pastosa, ao passo que o processo seco descontínuo gera um material final seco, empilhável, que pode ser direcionado diretamente à compostagem – processo final de estabilização.

No caso dos processos secos contínuos, é comum a necessidade de um sistema de desaguamento para promover a separação sólido-líquido, geralmente por meio de prensas e centrífugas. Neste caso, a fração sólida é encaminhada à estabilização final aeróbia por meio da compostagem (Figura 7).

Figura 7: Instalações de compostagem das Usinas de Tratamento Mecânico Biológico Ecoparc II [A] e Ecoparc La Rioja [B], localizadas na Espanha



Fonte: *Arquivo Methanum.*

7: O coprocessamento de resíduos no Brasil é normatizado pela Resolução CONAMA n° 264/1999, que trata do licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos. Consultar, também, demais normativas pertinentes, como a Resolução n°316/2002, que dispõe sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, além de normativas estaduais, como é o caso de Minas Gerais [DN COPAM n° 83 e DN COPAM n° 154], Paraná [Resolução SEMA n° 054/2006, Resolução CEMA n°076/2009], São Paulo [Norma Técnica CETESB P4.263], dentre outros.

Uma vez estabilizado, o material está adequado para a destinação final, seja para uso como CDR para coprocessamento⁷ na indústria, seja para envio ao aterro sanitário (sendo geralmente utilizado como material de cobertura), atendendo, desta forma, à PNRS, que exige estabilização da fração orgânica antes de sua disposição. Em caso de uso agrônômico, o material proveniente da compostagem deve passar por um processo de refino e adequação (peneiramento, etc.), visando à remoção de fragmentos remanescentes de inertes (plásticos, vidros, etc.) e possível adição de nutrientes, conforme uso previsto para o produto (composto orgânico, condicionador de solo ou biofertilizante). Neste caso, deve ser observada a regulamentação pertinente a cada produto⁸.

Já a fração líquida decorrente da separação de fases deve ser submetida a tratamento para redução final da carga orgânica. Este tratamento pode ser realizado nas instalações TMB, em uma estação de tratamento de efluentes (ETE), que integra as instalações de correção da contaminação da Usina, ou então pela prestadora de serviços de saneamento da localidade, caso exista a oferta do serviço de coleta e tratamento de efluentes industriais, mediante pagamento de uma taxa para o serviço a ser prestado. Uma terceira opção é o escoamento deste efluente como biofertilizante líquido, porém, como a concentração de água nestes casos é geralmente superior a 95%, muitas vezes esta opção não é economicamente viável em caso de usinas em grandes centros urbanos.

2.5 Objetivos deste trabalho

8: No que tange à produção, à comercialização e à utilização do biofertilizante, devem ser observadas, principalmente, as regulamentações estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA] e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente [IBAMA]. Para maiores informações, consultar as publicações do PROBIOGÁS no site do Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php/saneamento-cidades/probiogas/publicacoes/publicacoes-do-probiogas>

Este estudo parte da premissa de que o atual cenário de gestão do RSU no Brasil, com implicações ambientais, sociais e econômicas aos municípios e à sociedade, somado aos avanços trazidos pela PNRS, com relação à obrigatoriedade de tratamento adequado das frações do RSU, tende a ampliar o interesse e a necessidade de implantação de projetos de gestão integrada dos resíduos, tanto pelo setor público como pelo privado. Diante desta situação, torna-se ímpar esclarecer e discutir os aspectos relacionados à viabilidade econômica de projetos desta natureza.

Portanto, o objetivo deste estudo é analisar a viabilidade econômica da implantação de projetos de valorização integrada de RSU que empreguem sistemas de TMB, em termos de balanço entre custos (de capital e operacional) e receitas provenientes desta tipologia de empreendimento. Vale destacar que a análise é realizada de maneira comparativa, entendendo que este tipo de instalação pode ter maior ou menor complexidade, conforme os tipos de materiais que efetivamente tratam e/ou recuperam. E, conforme varia esta complexidade, alteram-se também os custos, as receitas e a “viabilidade” associada a cada instalação em particular – partindo de uma unidade de triagem de recicláveis até uma Usina de Tratamento Mecânico Biológico completa.

Desta forma, este estudo considera diferentes instalações tecnológicas, com complexidade técnica diferenciada, que são descritas como etapas de implantação de uma Usina TMB, sendo elas:

- » Etapa 1 – Unidade de triagem de recicláveis;
- » Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR;
- » Etapa 3 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + compostagem para tratamento da fração orgânica;
- » Etapa 4 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + compostagem direta do lodo digerido;
- » Etapa 5 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + separação de fases do lodo digerido + pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida.

O intuito é demonstrar que cada uma das etapas exige investimentos e condições específicas de mercado para os subprodutos gerados (recicláveis, CDR, orgânico, biogás), a fim de garantir a viabilidade, a longo prazo, da instalação, motivando sua expansão e/ou replicabilidade.

Importante salientar que as fases de implantação analisadas são gradativas e complementares, em termos tecnológicos, até atingirem complexidade de uma Usina TMB, situação que exemplifica o atual “estado da arte” relacionado à gestão integrada de RSU no mundo e reflete a tipologia de uma instalação capaz de tratar adequadamente todas as frações do RSU, além de agregar valor e receitas adicionais em decorrência da produção de biogás. Para tanto, parte-se de um cenário referencial, ou condição *status quo* para o desenvolvimento do projeto, caracterizada por aspectos socioeconômicos, institucionais e políticos, que refletem uma situação relacionada à gestão do RSU recorrente no Brasil, a partir da qual será analisada a viabilidade de implantação do projeto.

Entretanto, apesar de considerar uma condição padrão para cada etapa, em termos de escopo técnico e econômico analisado, o estudo objetiva demonstrar o impacto que a flutuação de determinados custos e receitas podem ter na atratividade econômica do empreendimento, demonstrando que cada projeto deve ser planejado de maneira minuciosa a uma dada situação (de mercado, logística, operacional, etc.).

Espera-se, com esta análise, contribuir para disseminar informações sobre projetos de valorização de resíduos sólidos urbanos, oferecendo subsídios para o entendimento dos fatores críticos determinantes para a viabilidade técnica e econômica deste tipo de empreendimento.

3

O CENÁRIO REFERENCIAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE VALORIZAÇÃO DO RSU

3.1 Justificativa para a seleção de um cenário referencial

No Brasil, a gestão do RSU ocorre em condições bastante diversas, em termos socioeconômicos, institucionais e políticos, e envolve distintos atores – municípios, prefeituras, concessionários do setor privado, etc. – o que atrela complexidade ao desenvolvimento dos projetos de valorização integrada dos resíduos, por oferecer condições–quadro diferenciadas para a sua execução.

Por este motivo, este estudo parte de um cenário referencial para a elaboração do projeto proposto, tendo como base uma situação real vivenciada no Brasil, que busca o desenvolvimento de um projeto de valorização integrada do RSU, similar à apresentada neste estudo. Cabe ressaltar que o fato de representar um caso verídico diz respeito, exclusivamente, ao contexto socioeconômico, institucional e político do local de implantação do projeto. Refere-se, também, ao interesse em agregar valor às diferentes frações do RSU, por meio da adoção de tecnologias “estado da arte”. No entanto, conforme apresentado na seção 2.4, apesar da existência de um padrão para os grupos de processos que compõem uma instalação TMB, existe uma diversidade de fornecedores de tecnologias, com eficiências e características técnicas específicas, bem como valores de mercado bastante variados.

A partir do cenário referencial adotado, foi solicitada a colaboração de uma empresa internacional que atua em contratos na modalidade EPC (*Engineering, Procurement and Construction*). Nesta modalidade de contrato, a empresa se propõe a executar um projeto completo, sendo esta responsável pelos projetos executivos, pelas aquisições de materiais e equipamentos, pela construção, pela montagem, pelos testes de operação, pelo treinamento de pessoal até a entrega final ao cliente, no modelo *turnkey* ou “chave-na-mão”.

9: <http://www.bn-umwelt.de/>

Neste estudo, a empresa BN UMWELT GmbH⁹ forneceu os custos globais de investimento e operação de todas as fases de ampliação consideradas, devido à *expertise* acumulada na área de desenvolvimento de projetos desta natureza, bem como na análise de viabilidade econômico-financeira destas iniciativas. Ressalta-se que a empresa contou com ampla assessoria prestada por empresas nacionais¹⁰, familiarizadas com o cenário local para o desenvolvimento de projetos de RSU no País.

10: Rotária do Brasil e Methanum Resíduo e Energia.

Esta parceria institucional teve como objetivo proporcionar o intercâmbio e a soma de experiências relacionadas ao planejamento tecnológico, mercadológico, institucional e logístico/operacional de um projeto desta magnitude, o que é de suma importância para trazer este estudo o mais próximo possível da realidade brasileira de mercado.

3.2 Descrição do cenário referencial para a implantação do projeto e realização do estudo

O cenário referencial adotado considera uma população atendida de 135.000 habitantes, representada por um consórcio de municípios, totalizando 50.000 toneladas de RSU por ano, ou o equivalente a 135 t de RSU/dia.

Este resíduo, no cenário *status quo*, vem sendo disposto em aterro sanitário sem qualquer tipo de tratamento ou recuperação de materiais. Vale a pena ressaltar que, atualmente, os custos de coleta, transporte e destinação do RSU ficam a cargo dos municípios.

Como há perspectiva da participação de outros municípios da região, o projeto prevê uma ampliação futura para capacidade de tratamento de 150.000 t/a de RSU, triplicando sua capacidade apenas operando em regime de turnos, de maneira ininterrupta.

A Usina TMB almejada pelo município pretende ser alocada na área de um aterro sanitário, fato que garante a destinação dos rejeitos gerados na instalação TMB, ou seja, resíduos não recicláveis, inertes em geral e material digerido (fração orgânica estabilizada), caso não haja mercado para sua comercialização como biofertilizante. Neste caso, não haverá custos adicionais de transporte, apenas a taxa de disposição dos rejeitos no aterro já existente, conforme modelo operante atualmente. Também não haverá custos relacionados à ampliação ou à melhoria das instalações do aterro.

Com relação aos subprodutos gerados, prevê-se a comercialização dos recicláveis e do rejeito com poder calorífico adequado para uso como CDR. 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. Projeta-se, portanto, uma redução significativa do material a ser depositado no aterro.

A operação da Usina TMB será realizada pela associação que representa legalmente o consórcio de municípios. O serviço de parte de coleta, logística e transporte do RSU dos municípios até a Usina TMB será realizado pelos municípios participantes e as receitas direcionadas, primeiramente, à gestão do empreendimento e, posteriormente, aos municípios.

Todas as definições técnicas, econômicas e comerciais do estudo tiveram como base as características socioeconômicas e político-institucionais acima descritas. A partir de então, o estudo adota a seguinte sequência de análise:

- >> Apresentação da descrição técnica de cada uma das etapas de implantação do projeto (1, 2, 3, 4 e 5), entendidas como etapas sequenciais de expansão tecnológica até atingir o *status* de uma instalação TMB. O objetivo é ilustrar o aparato tecnológico considerado em cada etapa, bem como os subprodutos previstos (capítulo 4);
- >> Posteriormente, apresentação de uma análise de viabilidade econômica do empreendimento, comparando suas diferentes etapas de implantação (capítulo 5). A análise econômica foi realizada com base em valores de mercado para os investimentos a serem realizados, serviços a serem prestados/demandados, bem como para os produtos a serem comercializados em cada etapa de implantação (recicláveis, CDR, energia elétrica, composto).
- >> Descrição dos resultados da análise de sensibilidade realizada para avaliar o impacto da variação de determinados fatores (custos/receitas) na viabilidade do empreendimento (capítulo 6). Os fatores analisados foram: i) Flutuação na extração de recicláveis e preço de venda; ii) Produção e venda de CDR; iii) Flutuação dos custos do aterro sanitário para destinação final dos rejeitos; iv) Autoconsumo e/ou venda do biogás; v) Flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo; vi) Variação nos custos de investi-

mento do empreendimento (Capex). Cada análise de sensibilidade teve como base uma etapa de implantação específica, coerente com o custo/receita avaliado.

- » Por fim, discussão das externalidades e indicadores não-econômicos de impacto decorrentes de projetos de valorização integrada de RSU, que, apesar de não serem mensuráveis, imediatamente, sob o ponto de vista econômico, têm repercussão financeira a médio e longo prazo, e, de forma indireta, tanto para os investidores quanto para o poder público, municípios e sociedade.

Desta forma, pretende-se trazer a experiência de um projeto com aplicabilidade real, demonstrando como variações nas condições de execução do projeto interferem diretamente na sua viabilidade econômica, atentando para a importância de um planejamento técnico, logístico e mercadológico abrangente e adequado às características de cada projeto em particular.

4

ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO DE VALORIZAÇÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O estudo parte do princípio de que há uma sequência cronológica/lógica para a implantação de uma instalação TMB para valorização integrada do RSU, iniciando-se com uma triagem de recicláveis, seguindo para uma ampliação opcional para aproveitamento de CDR, resultando, assim, em uma fração orgânica de melhor qualidade (maior grau de segregação) para tratamento via aeróbia (compostagem) ou anaeróbia (metanização). Posteriormente, pode-se adotar um sistema de pós-tratamento diferenciado – com compostagem direta do lodo digerido ou separação de fases para posterior tratamento e destinação das frações sólida e líquida.

Se considerarmos que estes processos tecnológicos podem atuar de maneira independente a partir de uma lógica de instalação, torna-se possível isolar o impacto dos pacotes tecnológicos, a fim de ilustrar individualmente sua viabilidade. Desta forma, espera-se esclarecer em que medida a adoção de etapas gradativas de tratamento de RSU podem ser atrativas economicamente, assim como o seu tratamento de forma integral.

As etapas de implantação consideradas no estudo foram:

- >> Etapa 1 – Unidade de triagem de recicláveis;
- >> Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR;
- >> Etapa 3 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + compostagem para tratamento da fração orgânica;
- >> Etapa 4 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + compostagem direta do lodo digerido;
- >> Etapa 5 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + separação de fases do lodo digerido + pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida.

Tabela 1: Pacotes tecnológicos previstos para cada etapa de ampliação do estudo

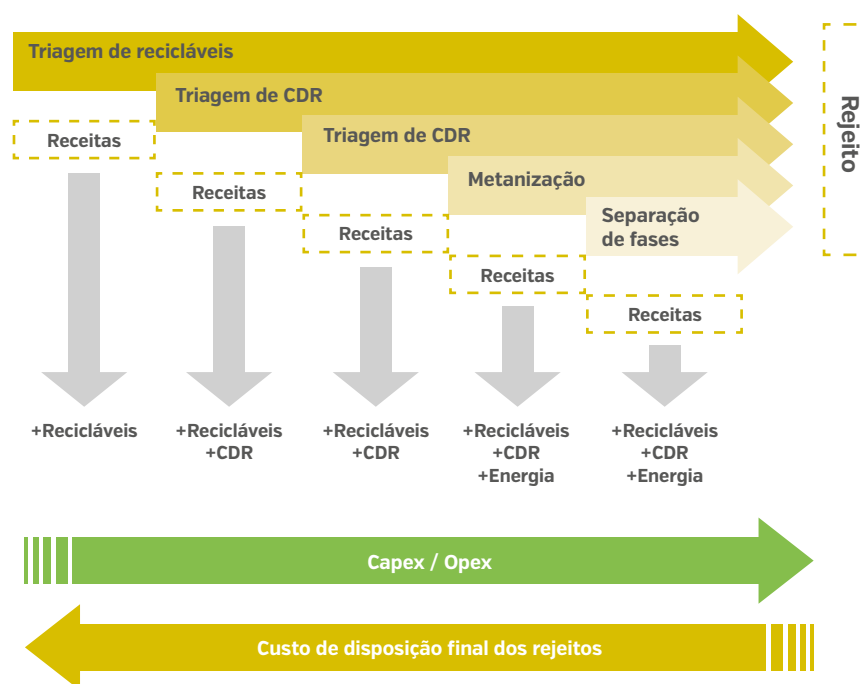
Os pacotes tecnológicos previstos para cada etapa de ampliação são apresentados na Tabela 1.

PROCESSO	ETAPA 01	ETAPA 02	ETAPA 03	ETAPA 04	ETAPA 05
Triagem de recicláveis	■	■	■	■	■
Triagem de CDR		■	■	■	■
Compostagem para tratamento da fração orgânica			■	■	■
Metanização para tratamento da fração orgânica				■	■
Compostagem direta do lodo digerido				■	■
Separação de fases do lodo digerido					■
Pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida (compostagem e leito de mineralização)					■

Após a definição dos componentes tecnológicos, cada etapa foi avaliada quanto aos subprodutos previstos, bem como quanto aos principais custos envolvidos – custo de capital ou *Capex* (da sigla em inglês *Capital Expenditure*) e custo operacional ou *Opex* (da sigla em inglês *Operational Expenditure*), além das receitas provenientes da comercialização dos subprodutos.

As etapas de implantação consideradas no estudo, bem como os custos e receitas associadas a cada uma, são apresentadas na Figura 8.

Figura 8: Etapas de implantação consideradas no estudo, bem como os custos e receitas associados



Na sequência, será descrito o aparato tecnológico e os subprodutos previstos para cada uma das etapas de implantação do projeto acima apresentadas

4.1 Etapa 1 – Unidade de triagem de recicláveis

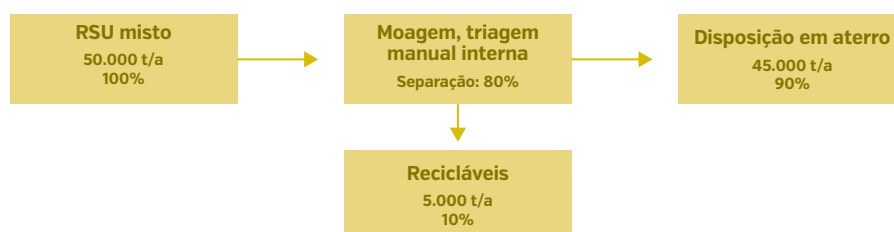
Em todas as etapas previstas, considerou-se que a Planta TMB irá receber RSU bruto (não segregado na fonte), e que a instalação estará localizada no próprio aterro sanitário. Desta forma, não será discutida nem contabilizada a etapa coleta dos resíduos, uma vez que esta não irá sofrer alteração com o projeto proposto. Vale salientar que a instalação pode ser implantada em um local mais próximo do município, minimizando custos de transporte e impactos ambientais negativos.

Nesta etapa, a instalação será composta por um galpão fechado, onde será instalada uma unidade de pré-tratamento (triagem). Esta unidade será composta basicamente por uma cabine de separação de materiais de grandes volumes, rasga-sacos, peneiras rotativas (*trommels*), esteiras transportadoras, equipamentos automáticos de segregação, como separadores de metais ferrosos e não-ferrosos, cabines de seleção manuais, enfardadoras de recicláveis (plásticos, papel, etc.) e triturador. As peneiras rotativas consideradas neste estudo separarão os resíduos em três frações, uma fração de menor granulometria (majoritariamente orgânicos), uma fração de

granulometria média (recicláveis, resíduos) e uma de maior granulometria (majoritariamente recicláveis), de modo a facilitar as etapas de separação mecânicas e manuais subsequentes.

Em termos de balanço de massa e subprodutos do processo, considera-se que o RSU bruto da municipalidade (50.000 t/ano) é submetido a uma etapa de triagem, na qual ocorre a separação/segregação de 20% do total dos recicláveis, que, por sua vez, representam 50% em massa do total do RSU. Este material será enfardado e comercializado para indústrias de reciclagem. Desta forma, são segregados 5.000 t/ano de materiais recicláveis, o que corresponde a 10% da massa de resíduos total. As outras 45.000 t/ano (resíduo de planta) serão destinadas à disposição em aterro sanitário. A Figura 9 resume o balanço de massa desta etapa.

Figura 9: Visão geral do processo – Etapa 1 – Unidade de triagem de materiais recicláveis



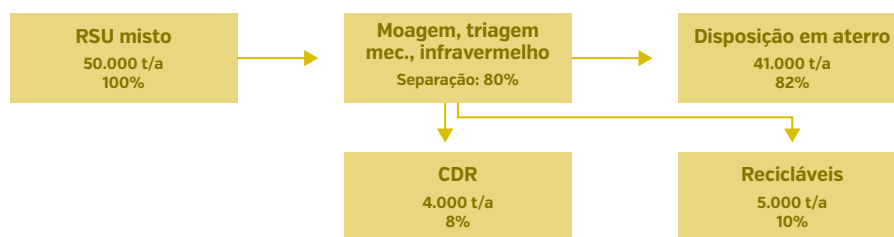
Apesar de o município arcar com os custos da destinação final dos materiais, ele será beneficiado pela redução do volume depositado no aterro sanitário, com redução dos custos finais de disposição devido ao aproveitamento dos recicláveis, além dos benefícios a médio e longo prazo, devido à ampliação da vida útil do aterro, o que posterga novos investimentos neste segmento. Além disso, será possível empregar as cooperativas e catadores no sistema de processamento de resíduos, resultando em ganhos socioeconômicos e ambientais.

4.2 Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR

No caso da existência da possibilidade de venda dos materiais não recicláveis, para a utilização energética como CDR (por exemplo, na indústria de cimento), esta etapa prevê a inserção de equipamentos que serão instalados após a etapa de triagem de recicláveis e que irão separar e beneficiar materiais de alto poder calorífico para que estes possam ser utilizados como combustível. Desta forma, o seu potencial energético é utilizado e, ao mesmo tempo, a disposição desta fração no aterro sanitário é evitada.

Resumidamente, a separação de CDR será realizada por meio de ventiladores, equipamentos de infravermelho, trituradores, separadores de materiais ferrosos e não ferrosos, de forma a separar e cominuir os materiais de alto poder calorífico da massa de RSU. O material resultante da seleção deste fluxo de materiais (CDR) pode ser utilizado no coprocessamento como combustível de substituição. Esta já é uma prática recorrente em outros países e já regulamentada no Brasil. O material restante deste processo (resíduo de planta) será depositado no aterro sanitário. A Figura 10 resume o balanço de massa desta etapa.

Figura 10: Visão geral do processo – Etapa 2 – Unidade de triagem de recicláveis e CDR

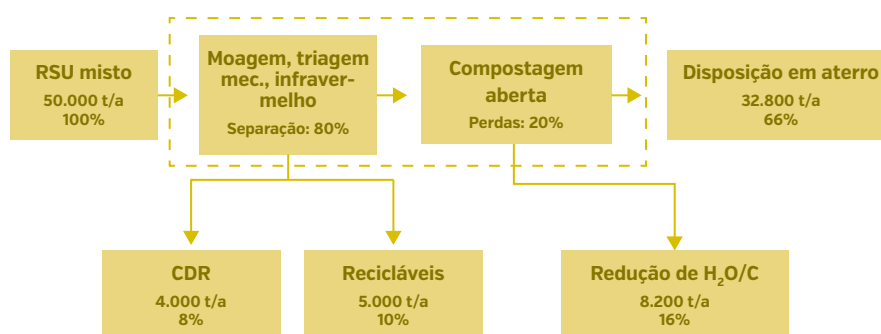


Como pode ser observado, nesta segunda fase sugerida, além da segregação de 20% dos materiais recicláveis (10% do total do RSU), inseriu-se uma etapa de separação/segregação de CDR, que irá recuperar 8% do resíduo bruto, totalizando uma segregação de 18% do RSU, sendo que, das 50.000 t/ano produzidas, 41.000 t/ano serão destinadas a aterros sanitários, diminuindo custos de aterramento e aumentando o tratamento dos resíduos em detrimento para disposição final.

4.3 Etapa 3 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + compostagem para tratamento da fração orgânica

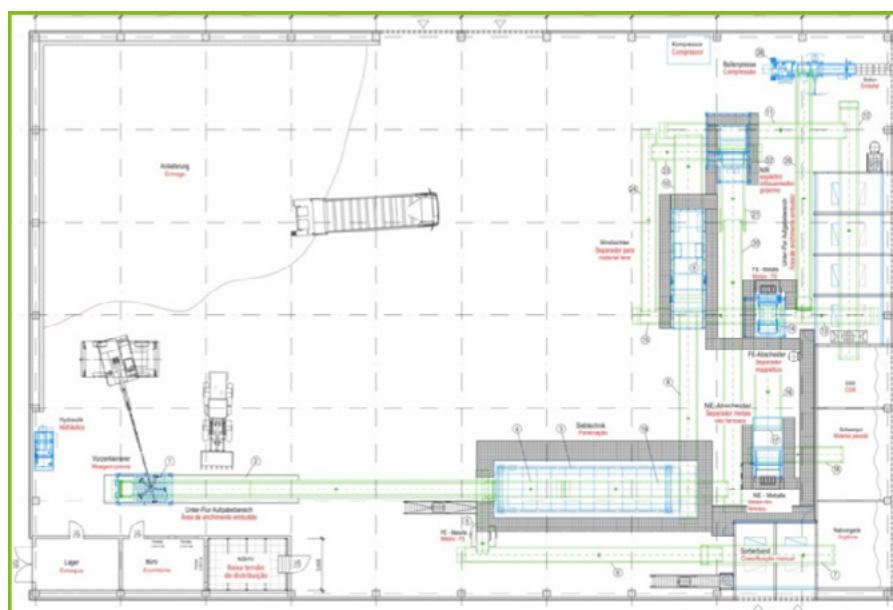
Esta etapa prevê, além das etapas anteriores de segregação de recicláveis e CDR, o tratamento da fração resultante, antes denominado resíduo de planta, utilizando um processo de compostagem/secagem acelerada. Entende-se que o tratamento adicional da fração orgânica contida no lixo residual é imprescindível antes da disposição final do rejeito em aterro sanitário e já é exigido por lei em toda a Europa, diversos estados dos EUA, dentre outros países. Além da redução das emissões de metano e geração de chorume pelos resíduos depositados no aterro sanitário, uma redução do volume pode ser atingida com a decomposição do carbono e a perda de água neste processo. Além disto, o pré-tratamento da fração orgânica possibilitará uma maior compactação da massa resultante do resíduo, otimizando a capacidade do aterro sanitário. A Figura 11 resume o balanço de massa desta etapa.

Figura 11: Visão geral do processo – Etapa 3 – Unidade de triagem materiais recicláveis + compostagem para tratamento da matéria orgânica



Como pode ser observado, nesta etapa, após a segregação de recicláveis e CDR, a massa resultante de resíduos é enviada a uma etapa de compostagem/secagem do material. Nesta etapa, consegue-se uma evaporação/redução da concentração de carbono na ordem de 20% das 41.000 t/ano que antes estavam sendo enviadas ao aterro sanitário. Desta forma, há uma redução de 8.200 t/ano adicionais nesta etapa, sendo que o resíduo de planta a ser enviado ao aterro será 32.800 t/ano, ou 66% da massa integral de RSU. A Figura 12 apresenta uma visão esquemática geral da planta de pré-tratamento projetada para esta etapa.

Figura 12: Plano de posicionamento de equipamentos da linha de triagem



Fonte: Arquivo BN Umwelt GmbH.

A fração de menor granulometria, composta majoritariamente de material orgânico, passará por um extrator de metais e será transportada para a etapa de tratamento biológico por meio de um sistema de compostagem/secagem acelerada. Como material estruturante, será utilizado o resíduo resultante das frações médias e grossa.

Utilizando-se um trator ou uma empilhadeira, a fração orgânica (fração fina) e o material estruturante serão misturados e empilhados em uma área coberta. O composto será revirado de 2 a 3 vezes por semana, por meio de um revolveror de composto para possibilitar uma aeração adequada. O período de decomposição durará até 10 semanas, garantindo que a maior parte do material seja decomposta e que ocorra perda de umidade, resultando em um material estabilizado que poderá ser disposto no aterro sanitário e que tenha um baixo potencial de emissão de gases e geração de chorume. A Figura 13 ilustra um revolveror de composto.

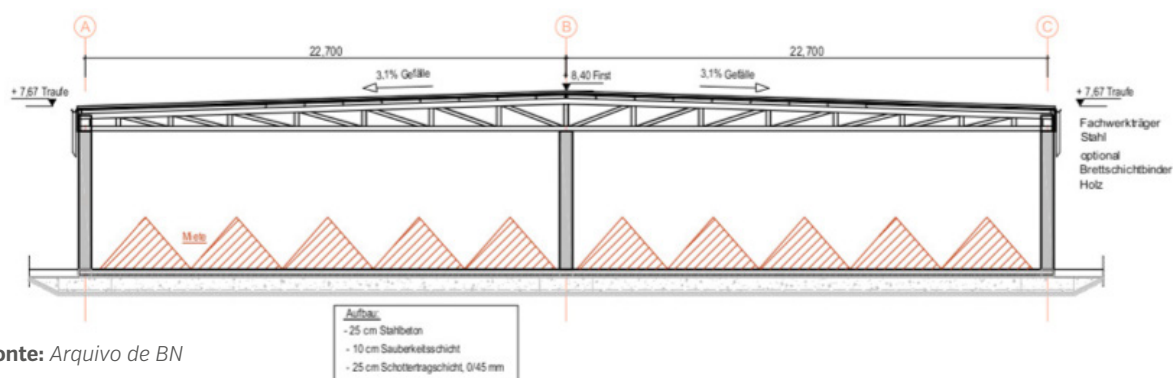
Figura 13: Revolveror de composto



Fonte: Arquivo de Eggersmann Anlagenbau BACKHUS GmbH.

De forma a minimizar geração de odores de planta, foi considerado que esta etapa será realizada dentro de um galpão com sistema de extração forçado do ar atmosférico interno. A Figura 14 ilustra este galpão.

Figura 14: Área coberta para a compostagem

FEITIO A-A
SCHNITT A-AFonte: Arquivo de BN
Umwelt GmbH.

4.4 Etapa 4 – Unidade de triagem de recicláveis + CDR + metanização para tratamento da fração orgânica + compostagem direta do lodo digerido

11: O cálculo da geração de energia do sistema considerou os seguintes valores:
 50.000 t RSU/ano com 50% de orgânico = 25.000 t/ano – perda de aproximadamente 5% [eficiência da segregação] = 24.000 t/ano de fração orgânica. Considerando: $100 \text{ Nm}^3/\text{t} \times 24.000 \text{ t/ano} / 365 \text{ dias} / 24 \text{ horas} = 274 \text{ m}^3/\text{h} \times 55\% \text{ CH}_4 \text{ no biogás} = 150,7 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{h}$. Considerando o poder calorífico do biogás, temos $9,97 \text{ kWh}/\text{m}^3 = 1502 \text{ kw}$, empregando um sistema de cogeração com eficiência elétrica de 42%, temos 630kw.

Esta etapa previu uma ampliação adicional do tratamento de resíduos por meio da integração de um reator anaeróbio para o aproveitamento do potencial energético contido no material orgânico através da produção de biogás. O sistema de metanização utilizado neste estudo é a metanização seca em contínuo.

Neste caso, a fração fina retirada do fluxo de resíduos é transportada para o reator anaeróbio.

Esta fração, majoritariamente orgânica, é umedecida com parte do efluente do reator para atingir um percentual de sólidos ideal ao sistema de metanização proposto. Após um tempo de permanência hidráulica de aproximadamente 21 dias em condições termofílicas de temperatura (aprox. 55 °C), a degradação anaeróbia do substrato e a produção de biogás estão finalizadas. No cenário avaliado, o biogás formado com uma concentração média 55% de metano, após remoção de umidade e sulfeto de hidrogênio, será utilizado em uma central de cogeração (CHP), gerando, assim, energia elétrica e térmica. Vale ressaltar que o biogás pode ser utilizado para suprir outras demandas específicas (gás veicular, industrial, caldeiras, etc.).

Com um fluxo de aproximadamente 50.000 t/a de resíduos domésticos brutos, projetou-se uma massa de aproximadamente 24.000 t/a de matéria orgânica a partir da qual pode ser gerado biogás, em uma quantia de 65,8 t/dia. Considerando-se um potencial de geração de biogás de aproximadamente $100 \text{ Nm}^3/\text{t}$ de matéria original (material orgânico original), serão gerados 6.580 Nm^3 de biogás por dia. Considerando um CHP com rendimento elétrico de 42%, atinge-se uma potência elétrica instalada de aproximadamente $630 \text{ kW}_{\text{el}}$ ¹¹.

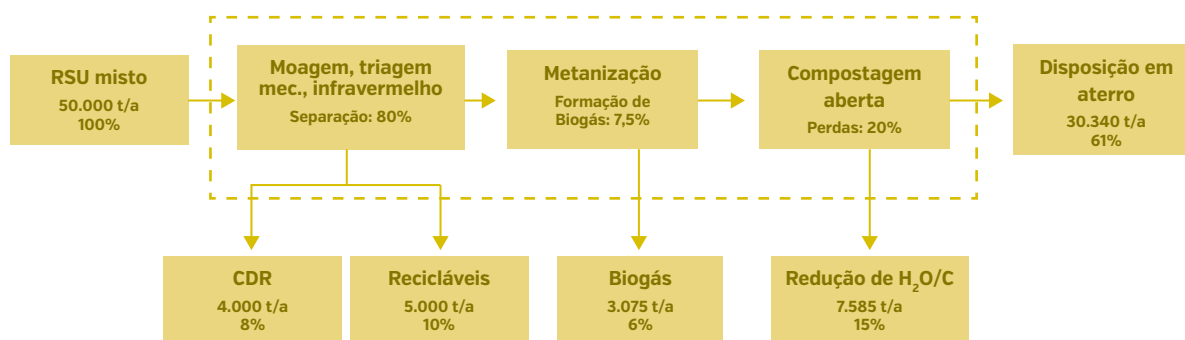
Para que o efluente do reator anaeróbio (digestato) possa ser depositado em aterro sanitário, este necessita passar por uma etapa posterior de maturação/estabilização. Dessa forma, após a metanização, o digestato será misturado com o resíduo de planta (rejeitos da fração média e grossa), provenientes do tratamento mecânico e este material resultante será submetido a uma etapa de compostagem/secagem que durará cerca de 8 semanas e necessita de uma área de 8.400 m^2 . Importante notar que, neste estudo, foi considerado o processo de metanização seca contínua, que, apesar de aplicação

recorrente para valorização da fração orgânica do RSU, resulta em um lodo que demanda desaguamento, para posterior estabilização via compostagem e, então, disposição final, caso seu uso não seja possível (por questões de qualidade, logística, mercado, ou outras). Devido a esta situação, o processo de compostagem é mais lento, o que aumenta a demanda por área e maquinário apropriado para revolvimento e homogeneização do composto.

Figura 15: Visão geral do processo - Etapa 4 - Metanização com compostagem direta do lodo digerido

A principal vantagem do processo proposto é que não é necessário instalar uma tecnologia para drenagem de água, além disso, não é necessário armazenar, monitorar e destinar a fase líquida resultante. Porém, há de se considerar que o volume de resíduo final é maior, aumentando, portanto, os custos de disposição final no aterro.

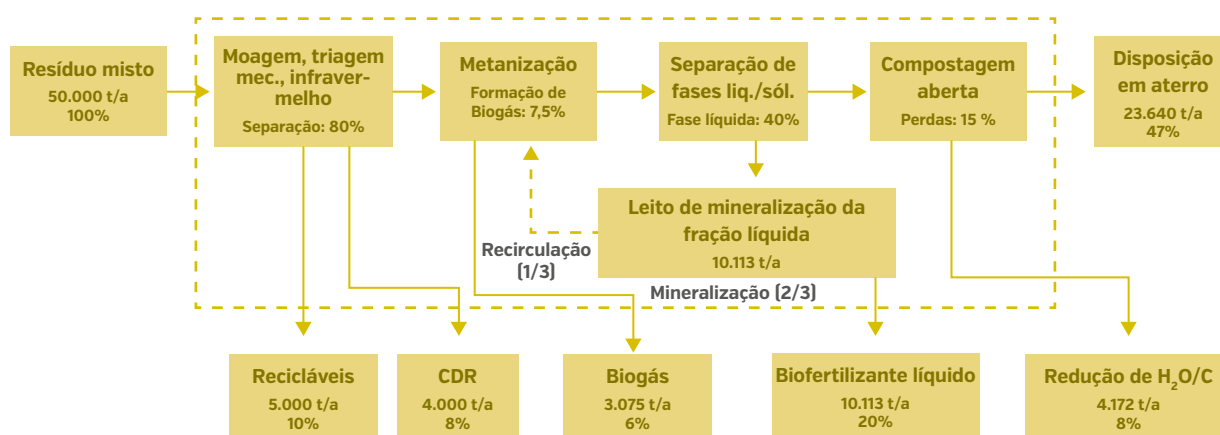
A Figura 15 resume o balanço de massa desta etapa.



Conforme pode ser observado nesta figura, com a implantação do sistema de metanização com a massa de resíduos, após a recuperação de recicláveis e CDR, há uma redução de massa da ordem de 6% que são recuperados na forma de biogás. O digestato do sistema de metanização é submetido a uma etapa de compostagem aberta, na qual há uma redução de 20% da massa, resultado da evaporação de água e das perdas de carbono. Desta forma, do total enviado à metanização (41.000 t/ano), 3.075 t/ano são convertidas em biogás, e 7.585 t/ano transferidas à fase gasosa/vapor no processo de compostagem, sendo que, do total de RSU, 61% serão depositados em aterro sanitário, ou 30.340 t/ano.

4.5 Etapa 5 – Unidade de triagem de recicláveis + metanização para tratamento da fração orgânica + separação de fases do lodo digerido + pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida

Figura 16: Visão geral do processo, etapa de ampliação 5 – Metanização com separação de fases e pós-tratamento diferenciado das fases sólida e líquida



Neste quinto cenário proposto, utilizando um sistema de separação de fases sólido/líquido após o sistema de metanização, consegue-se uma separação de fração líquida da ordem de 40% da massa resultante, sendo que 2/3 deste material é efluente líquido (10.113 t/ano, ou 20% do total em massa do RSU), que será destinado a um sistema de tratamento composto por um lei-

A diferença da etapa 5 em relação a etapa 4 está somente na separação das fases sólido/líquido no digestato do reator anaeróbio e no pós-tratamento dado às frações resultantes.

Geralmente, o desafio de logística dos empreendimentos de TMB é a dificuldade de realizar uma compostagem no digestato de sistemas secos em contínuo. Recomenda-se, então, realizar um investimento adicional em um sistema de pós-tratamento do lodo digerido. No modelo proposto, este pós-tratamento é compreendido pela instalação de um sistema de separação de fases por uma prensa extrusora. Neste caso, a fase sólida será diretamente destinada à compostagem, juntamente com o material estruturante (podas de árvore), em uma área reduzida em relação à etapa 4, principalmente pela menor concentração de água e pelo menor tempo necessário para a estabilização/secagem do material, neste caso reduzido a aproximadamente 4 semanas. Importante destacar que se pode utilizar, também, podas de árvores e jardinagem em geral como material estruturante, evitando, assim, a reintrodução de inertes no material final, caso o objetivo seja o uso agrônomico do composto. Para o cenário proposto, como o material digerido será direcionado ao aterro sanitário, a estratégia de utilizar os inertes como material estruturante é pertinente.

A fração líquida será destinada a um sistema de tratamento composto por um leito de mineralização. Foi projetado que o efluente deste leito poderá ser descarregado no corpo d'água receptor. Caso não atenda aos valores mínimos permitidos, deverá ser destinado ao sistema de tratamento de chorume do aterro. Dependendo da qualidade e da demanda, a fração líquida resultante da separação de fases também pode receber *status* de fertilizante, ou seja, gerar receita por meio de sua venda ou custo evitado de tratamento adicional. Importante salientar que qualquer tipo de tratamento extra da fração líquida resultará em custos adicionais não computados neste estudo, implicando em alterações na análise de viabilidade do projeto.

to de mineralização. O efluente deste leito pode ser descarregado nos cursos hídricos ou, caso não atenda aos valores mínimos permitidos, deverá ser destinado ao sistema de tratamento de chorume do aterro. Dependendo da qualidade e da demanda, a fração líquida resultante da separação de fases também pode receber *status* de fertilizante, ou seja, gerar receita através de sua venda ou custo evitado de tratamento adicional. Importante salientar que qualquer tipo de tratamento dado à fração líquida resultará em custos adicionais não computados neste estudo, implicando em alterações na análise de viabilidade do projeto.

Já com relação à fração sólida da massa resultante final (27.812 t/ano), por meio da compostagem aberta, consegue-se uma redução de 15% em perdas de água e carbono, ou seja, 4.172 t/ano. Desta forma, com o sistema proposto, a massa de resíduos resultante será de 23.640 t/ano, ou 47% da fração original de RSU.

5

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

5.1 Comparação dos custos de investimento para as respectivas etapas de ampliação da infraestrutura de tratamento do RSU

O incremento da qualidade do tratamento dos resíduos está proporcionalmente atrelado ao aumento no investimento nas rotas tecnológicas apropriadas. O investimento para a etapa 5, com o nível máximo de tratamento das frações do RSU, é de R\$ 49.869.000,00, incluindo todos os seus componentes tecnológicos. Como comparativo, quando o grau de sofisticação tecnológico é reduzido apenas à seleção de recicláveis (etapa 1), os custos de investimento são menores que um quarto deste valor.

Uma síntese dos principais custos¹² e receitas associadas a cada etapa de implantação considerados neste estudo é apresentada na Tabela 2. O Anexo 1 apresenta o detalhamento dos valores para cada etapa.

Tabela 2: Principais custos e receitas das etapas de implantação analisadas

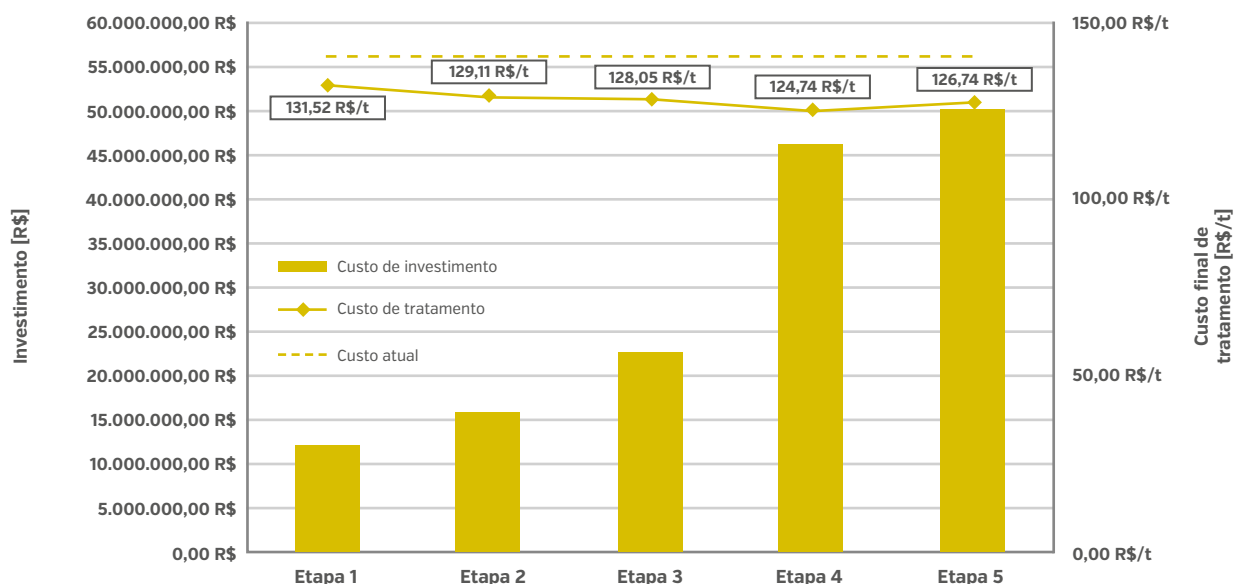
CUSTOS/ RECEITAS (R\$/ANO)	STATUS QUO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
Custos de Investimento	0,00	11.998.000,00	15.717.000,00	22.516.000,00	45.894.000,00	49.869.000,00
Custo de destinação final	7.000.000,00	5.684.210,53	4.854.873,65	3.482.356,35	2.690.258,19	2.323.028,59
Custos operacionais gerais	0,00	3.406.813,11	4.110.699,90	5.430.337,99	8.328.298,79	8.795.958,18
Receitas	0,00	2.510.000,00	2.510.000,00	2.510.000,00	4.781.741,31	4.781.741,31
Despesas	7.000.000,00	9.091.023,64	8.965.573,55	8.912.694,34	11.018.556,97	11.118.986,76
Custos totais	7.000.000,00	6.581.023,64	6.455.573,55	6.402.694,34	6.236.815,67	6.337.245,46

12: Para a base de cálculo foi considerado um fator para o custo de nacionalização dos equipamentos importados de, no mínimo, 1,3 e uma taxa de câmbio de 1,00 EUR = 4,00 R\$.

A Tabela 5 mostra os investimentos para cada etapa de ampliação, como também os custos específicos totais (R\$/t) por tonelada de resíduo coletado (total de 50.000 t/a), que resultam do balanço econômico obtido entre os custos de investimento (*Capex*), custos de operação (*Opex*) da instalação (incluindo custos fixos de capital, custos variáveis e mão de obra), custos de disposição final dos rejeitos (aterro sanitário), receitas decorrentes de cada etapa (comercialização de recicláveis, CDR e energia gerada a partir do biogás).

Verifica-se que, apesar do custo de investimento ir aumentando gradativamente com a ampliação do projeto, os custos de tratamento são reduzidos.

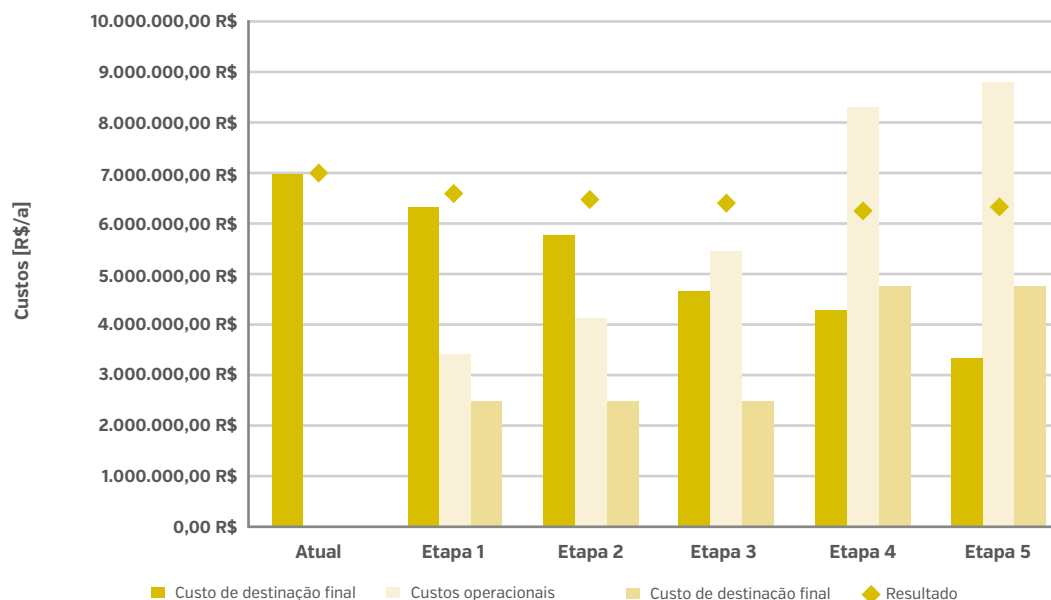
Figura 17: Visão geral dos custos de investimento e custos totais de tratamento das etapas



Importante salientar que este estudo foi realizado seguindo metodologia financeira do Custo Anual Equivalente (CAE), considerando-se uma taxa de juros de 8,2%. Ou seja, o CAE projeta, de acordo com o Fator de Correção do Capital, o capital investido para o último ano de vida útil dos diversos equipamentos e instalações utilizadas e soma ao custo anual dessa do sistema, obtendo assim o custo anual equivalente de todo o projeto. Desta forma, os valores aqui apresentados já consideram os custos de capital e depreciação da instalação, além, obviamente, dos custos operacionais do empreendimento. Os custos de tratamento são compostos de custos relacionados ao investimento (como depreciação), custos de mão de obra, assim como custos para materiais, manutenção e revisões dos equipamentos. Visto que os custos relacionados aos investimentos (custos de capital) formam a maior parte dos custos operacionais, é possível perceber um claro aumento destes custos (convertidos em R\$/t de RSU tratado) à medida que aumenta o grau de sofisticação da instalação entre as etapas 1 e 5. Desta forma, apesar do custo de implantação do empreendimento na etapa 5 ser de aproximadamente 50 milhões de reais, o custo de gerenciamento dos resíduos, além de dar um tratamento adequado ao RSU, reduz de R\$ 140,00 por tonelada¹³ para R\$ 126,74 por tonelada, sem considerar ainda os ganhos ambientais do empreendimento e econômicos de gerenciamento do aterro sanitário (que também podem resultar em redução no custo de disposição do resíduo de planta e aumento da vida útil do aterro).

13: Custo de disposição do RSU considerado no estudo para o cenário status quo, que representa o valor médio praticado no país.

O gráfico a seguir ilustra as despesas, receitas e o resultado anual comparativo entre as etapas avaliadas (Figura 18).

Figura 18: Visão geral dos custos de investimento e custos totais de tratamento das etapas

Conforme pode ser observado, na situação atual (*status quo*) não foram contabilizadas as despesas e receitas do aterro sanitário, sendo que foi considerado apenas o custo anual de tratamento dos resíduos (50.000 t/ano a R\$ 140,00/t), que é da ordem de R\$ 7.000.000,00 anuais. Verifica-se que, apesar dos custos operacionais aumentarem de acordo com a implantação das etapas do empreendimento, as receitas também têm uma tendência positiva, sendo mais expressiva nas etapas em que a metanização é implementada (etapas 4 e 5). O resultado da figura acima demonstra que, apesar do aumento dos custos de investimento com a ampliação da instalação, é possível reduzir os custos totais do tratamento por tonelada de resíduo gerado. Isto é decorrente da redução dos custos de disposição pelo menor volume, pela receita gerada através da venda de materiais recicláveis (a partir da etapa 1) e, principalmente, pelas receitas advindas da energia proveniente do biogás (etapas 4 e 5).

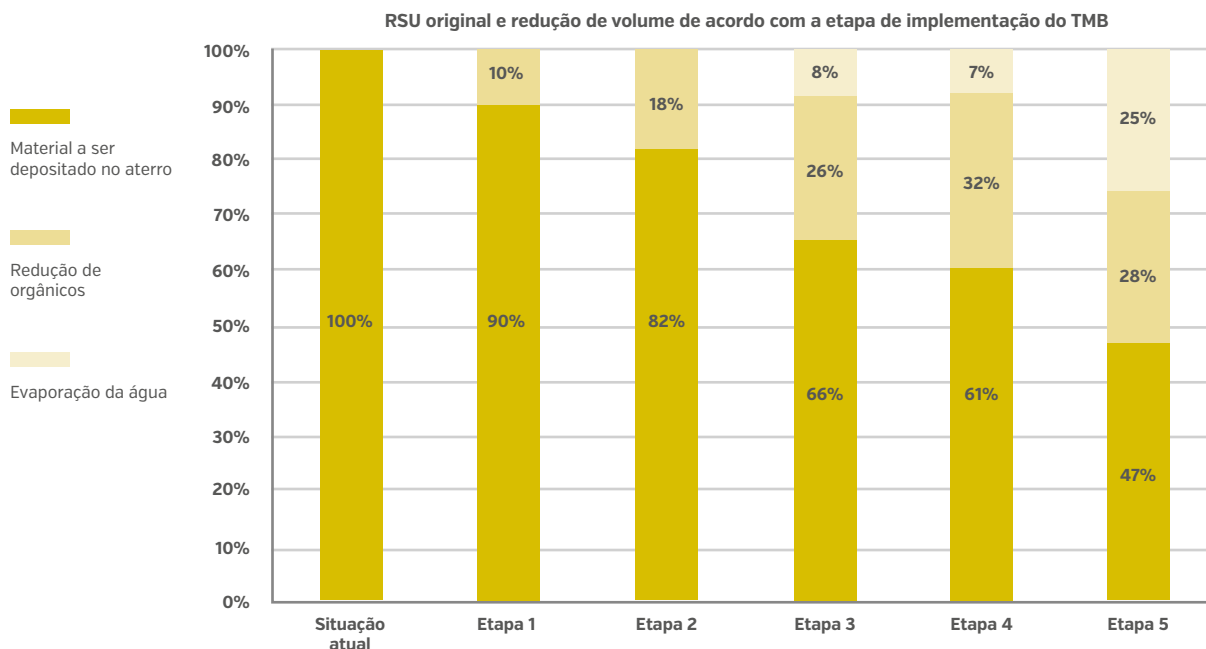
5.2 Análise comparativa dos resultados decorrentes das etapas de implantação no aterro sanitário

O tipo e a intensidade de tratamento ao qual os resíduos são submetidos têm grande impacto nos custos de processamento e disposição final dos rejeitos produzidos na instalação, assim como na própria capacidade dos aterros sanitários que os recebem.

Os principais efeitos do tratamento são: (i) a redução do volume causado pela remoção de materiais recicláveis; e (ii) CDR, pela evaporação de água por meio da compostagem ou da drenagem, e pela conversão através da metanização de grande parte do carbono contido na fração orgânica em biogás.

O efeito de redução de cada componente no resíduo final a ser depositado em aterro está ilustrado na Figura 19.

Figura 19: Ilustração da decomposição orgânica e perda de água dos resíduos aterrados, para os diferentes cenários considerados



Como pode ser observado, há um incremento gradual no tratamento do RSU entre a etapa 1 e 5. Da massa total de resíduos (50.000 t/ano), há uma redução da ordem de 10% com a implantação do sistema separação de recicláveis (etapa 1) e 18% agregando um sistema de recuperação de CDR. Na etapa 3, com um tratamento aeróbio da massa residual posterior à etapa de segregação de recicláveis e recuperação de CDR, consegue-se uma perda de água e carbono na ordem de 16% (8% para cada), reduzindo em 34% a massa total a ser enviada ao aterro sanitário. Com a etapa de metanização anterior à compostagem (Etapa 4), consegue-se uma recuperação adicional de carbono por meio do biogás na ordem de 6% e, como o sistema de metanização proposto umedece o material, há uma redução da perda de água na ordem de 1% na etapa de compostagem/secagem. Desta forma, consegue-se uma redução da massa total a ser enviada ao aterro de aproximadamente 39%. Com a implantação de um sistema de separação das fases sólido/líquido e envio da fase líquida a um leito de mineralização, consegue-se uma perda de água na ordem de 25%, sendo que a massa de resíduos a ser enviada ao aterro reduz em 53% a massa inicial, ou seja, das 50.000 t/ano iniciais, com o tratamento integral proposto, serão enviados 23.640 t/ano à destinação final.

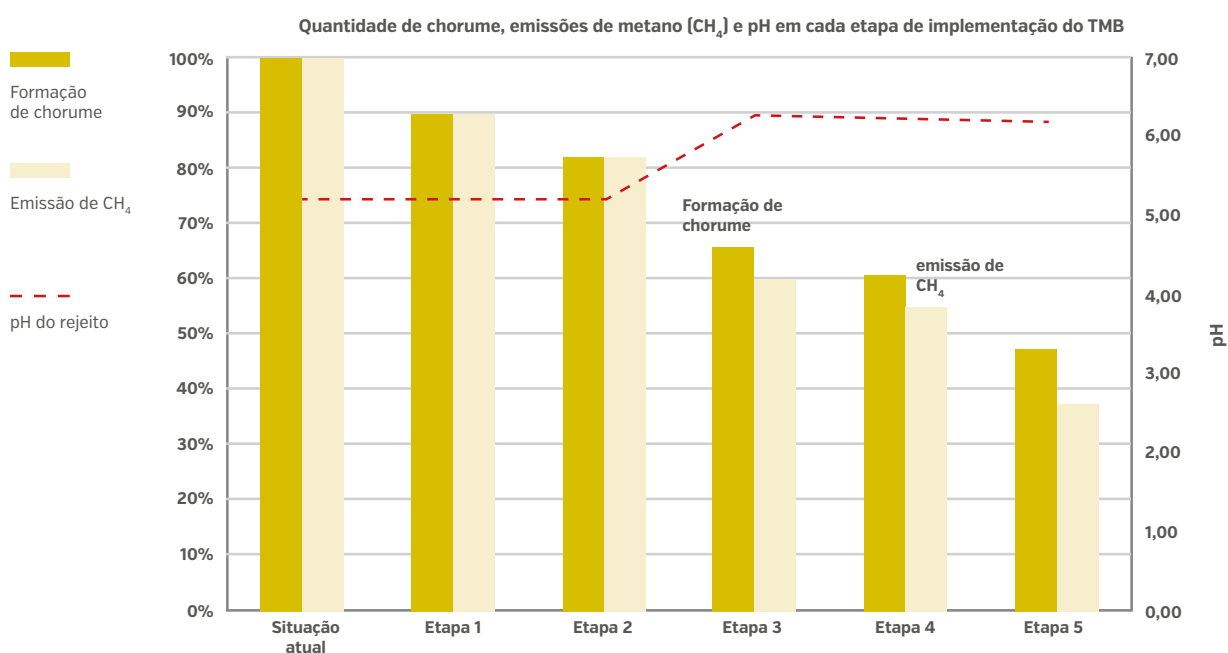
Os efeitos do tratamento não são somente quantitativos, mas também qualitativos. Por meio da redução da fração orgânica no resíduo, decorrente do tratamento biológico, é possível depositá-lo no aterro sanitário com um menor potencial de emissão de gases efeito estufa (notadamente dióxido de carbono - CO_2 , e metano - CH_4). Neste caso, pode-se atingir uma redução das emissões de CO_2 de até 11.683 t/a, e de metano em até 556 t/a, o que é bastante representativo se consideramos que o metano apresenta potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential* ou GWP) 28 vezes superior ao CO_2 ¹⁴. Ao mesmo tempo, a decomposição do material e o consequente

14: Fifth Assesment Report – Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (AR5, 2013).

menor volume de disposição de resíduos orgânicos no aterro sanitário causa uma redução na produção de chorume de até 50%, diminuindo custos de tratamento não computados neste estudo.

O material restante após o tratamento biológico (anaeróbio e aeróbio) apresenta um pH mais alto do que o do material não tratado (especialmente através da decomposição de ácidos orgânicos durante o processo de metanização e compostagem). Isto também resulta em um maior pH do material do aterro e consequente simplicidade operacional no tratamento do chorume, uma vez que, segundo a Resolução CONAMA nº 430/2001, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em nível nacional, é necessário que o pH do efluente esteja entre 5 e 9, sendo recomendável um pH próximo da neutralidade, de forma a não acidificar/alcalinizar corpos hídricos receptores. A Figura 20 demonstra a redução das emissões de CH_4 , geração de chorume e aumento do pH no cenário atual de gestão de RSU (*status quo*) e etapas analisadas.

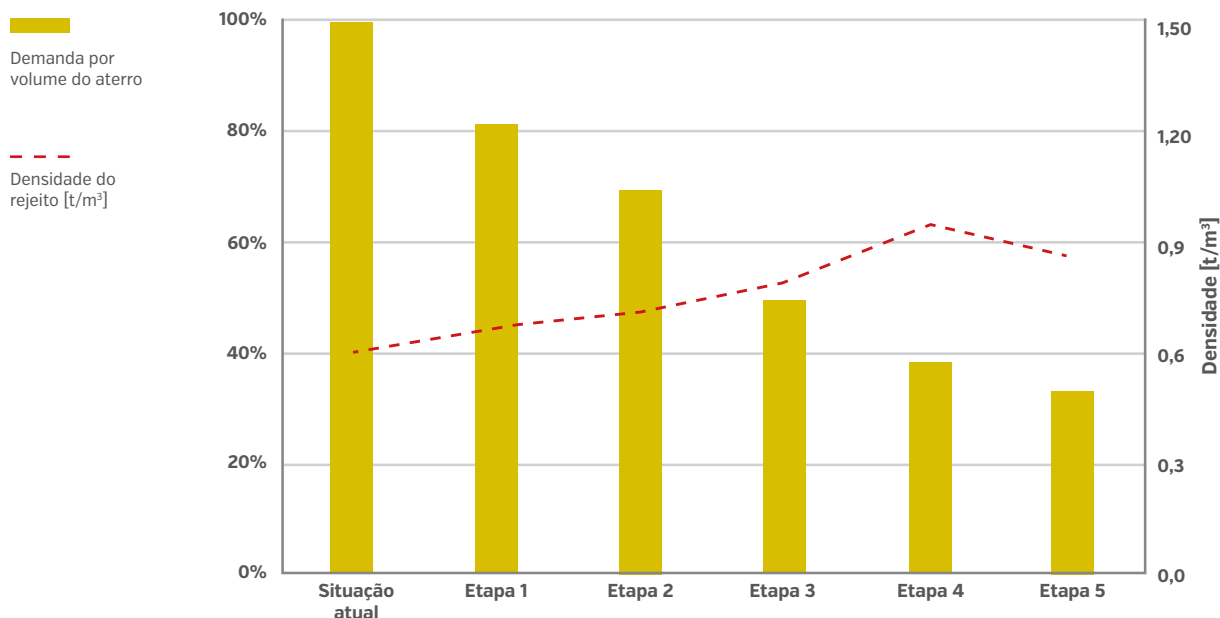
Figura 20: Volume de produção de chorume, liberação de metano e valor de pH dos resíduos aterrados, para as diferentes etapas de implantação analisadas



Conforme pode ser observado, há uma redução da emissão de metano e da formação potencial de chorume gradativa de acordo com a implantação subsequente das etapas, sendo que, na etapa 5, esta redução é de aproximadamente 53% para a formação de chorume e 62% para as emissões de metano e há um incremento do valor de pH de 5 para 6.

Além da redução do volume do material final a ser depositado, a sua compactação aumenta, resultando em uma economia adicional do volume de aterro necessário, ou seja, além de aumentar a vida útil do aterro, devido à redução da massa a ser depositada, há uma redução adicional devido à maior compactação. A Figura 21 ilustra a redução do volume e a densidade do material a ser depositado no aterro sanitário.

Figura 21: Volume e densidade dos materiais a serem dispostos em aterro sanitário, para as diferentes etapas de implantação analisadas



Verifica-se que a densidade do material a ser depositado tem o menor valor na situação atual (0,60 t/m³) e maior na etapa 4 (0,95 t/m³). Isto ocorre devido, principalmente, à trituração, à remoção de recicláveis e CDR (que possuem baixo peso específico) e tratamento da fração orgânica. Na etapa 5, a densidade decai a 0,85 t/m³ devido, principalmente, à redução de água em relação à etapa 4. Porém, a demanda por volume de aterro é reduzida entre estas duas etapas devido à menor quantidade de resíduo a ser descartado. Na etapa 5, a demanda por volume de aterro é de apenas 33,2% da demanda inicial, enquanto a redução da massa de resíduo é de 53% devido, justamente, à diminuição da densidade. Ou seja, há um incremento de aproximadamente três vezes no tempo de vida útil do aterro sanitário caso toda rota tecnológica seja empregada para reciclar e tratar os resíduos antes da sua disposição final. De maneira adicional, obtém-se ainda maior segurança operacional do aterro, devido a ganhos de estabilidade em função da redução de riscos de deslizamentos e explosões, face à menor presença de umidade, matéria orgânica e formação de gases, além de menor custo operacional no tratamento de chorume, devido ao incremento do pH e à redução da geração deste.

Uma visão geral dos parâmetros relevantes relacionados às características do material a ser aterrado e dos ganhos acima mencionados, em cada uma das etapas de tratamento consideradas, é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Características do material a ser aterrado nas diferentes etapas de implantação analisadas

PARÂMETROS	STATUS QUO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
Triagem manual-mecânica	-	x	x	x	x	x
Triagem de CDR	-	-	x	x	x	x
Metanização	-	-	-	-	x	x
Separação sólido-líquido	-	-	-	-	-	x
Compostagem aberta do lodo digerido	-	-	-	x	x	x
EMISSIONES EVITADAS DO ATERRO						
Emissões evitadas de CH ₄	0	89	161	355	403	556
Emissões evitadas de CO ₂ [t CO ₂ /a]	0	1.874	3.374	7.456	8.459	11.683
DESENVOLVIMENTO DO PH						
pH do rejeito	5,2	5,2	5,2	6,3	6,3	6,2
REDUÇÃO DO CHORUME						
Produção de chorume [%]	100%	90%	82%	66%	61%	47%
DESENVOLVIMENTO DA UTILIZAÇÃO DE VOLUME NO ATERRO SANITÁRIO						
Densidade do rejeito [t/m ³]	0,60	0,67	0,71	0,79	0,95	0,85
REDUÇÃO DA DEMANDA DE ESPAÇO (VOLUME) NO ATERRO SANITÁRIO						
Redução de espaço no aterro sanitário [%]	100%	81%	69%	50%	38%	33%

Verifica-se a importância do tratamento biológico na gestão do RSU. Além dos ganhos econômicos diretos demonstrados neste documento, pode-se observar que há ganhos indiretos substanciais ao implantar as etapas de tratamento da fração orgânica. Sem o tratamento biológico, por exemplo, a demanda por volume no aterro sanitário (fase 3) é de 69% da inicial, reduzindo-se para 33% na fase 5. Pode também ser observada a redução das emissões de gases do efeito estufa e da geração de chorume da fase 5 em relação às fases sem tratamento da fração orgânica. Estas vantagens, embora não quantificadas economicamente, são de suma importância e relevância na escolha tecnológica quando se pensa em um tratamento integrado, no qual o custo de disposição e gestão do RSU é de responsabilidade do poder público.

ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

Devido ao fato de a análise de viabilidade econômica considerar um contexto econômico e comercial de certa forma estático, esta etapa do estudo teve como objetivo avaliar em que medida as variações de custos e receitas são capazes de impactar a atratividade econômica das etapas de implantação avaliadas.

Baseando-se nas 5 etapas de ampliação consideradas, foram realizadas seis análises de sensibilidade para demonstrar a resiliência do projeto na alteração das condições comerciais e econômicas padrão, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Análises de sensibilidade e etapa(s) de implantação considerada(s)

	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	ETAPA CONSIDERADA
(i)	Flutuação na extração de recicláveis e preço de venda	1
(ii)	Produção e venda de CDR	1 e 2
(iii)	Flutuação dos custos do aterro sanitário para destinação final dos rejeitos	4
(iv)	Autoconsumo e/ou venda do biogás	5
(v)	Flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo	4 e 5
(vi)	Variação dos custos de investimento	5

Neste contexto, entende-se que a análise das variáveis (i) *Flutuação da extração de recicláveis e preço de venda de recicláveis* é importante para a tomada de decisão sobre a implantação de um sistema de triagem (etapa 1) como alternativa à disposição direta do RSU em aterro. Somente com a decisão de implantar esta etapa, as etapas seguintes serão tecnicamente possíveis. Esta etapa deve se viabilizar por meio da venda dos materiais recicláveis e uma redução do material a ser depositado em aterro, e, como o custo de investimento e operação da etapa 1, deve garantir este investimento. Esta análise de sensibilidade teve como foco esta etapa.

Já a importância das variáveis relacionadas à (ii) *Produção e venda de CDR* determina sobre a decisão de implantar o pacote tecnológico para extração deste material, aumentando o Capex e Opex da instalação e reduzindo os custos de disposição em aterro, além de poder ampliar as receitas. Esta etapa somente pode ser implantada caso já se tenha decidido por uma triagem anterior, uma vez que ela é uma etapa subsequente à etapa 1. Esta decisão é, portanto, a relevância do entendimento da sua viabilidade, e acontece, na etapa 2, que pode se viabilizar através da venda de CDRs.

A análise das outras variáveis (iii) *Flutuação dos custos do aterro sanitário para destinação final dos rejeitos*, (iv) *Autoconsumo e/ou venda do biogás*, (v) *Flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo* e (vi) *Variação dos custos de investimentos*, irá influenciar o processo de decisão sobre a implantação do sistema de metanização, nas etapas 4 e 5, uma vez que os pacotes

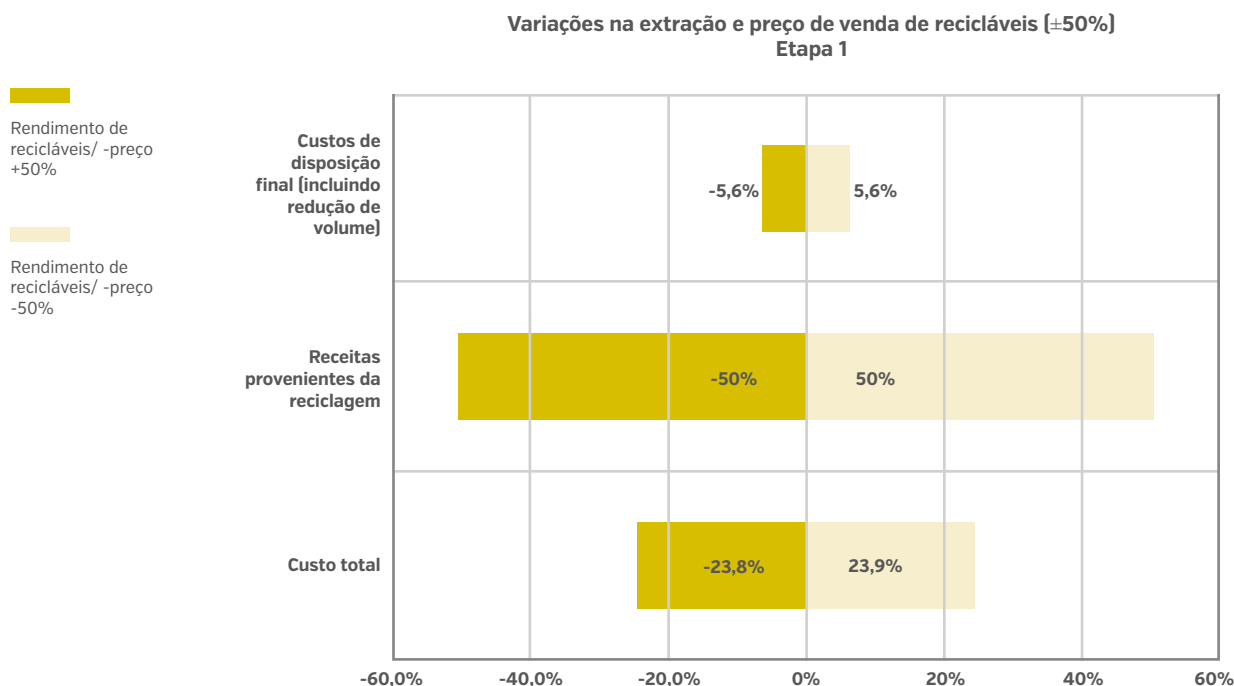
tecnológicos anteriores à metanização já demonstraram serem viáveis pela sua própria agregação de valor e por suas próprias receitas. Os produtos adicionais gerados por meio desta tecnologia são o biogás e a energia, além da redução de carbono e água a serem depositados em aterro. Em algumas situações, pode ser possível a valorização de parte do material digerido e sua comercialização como fertilizante ou, então, a necessidade de um custo adicional para destinação e tratamento adequado do efluente líquido resultante.

6.1 Análise de sensibilidade (i) – Flutuação da extração de recicláveis e preços de venda

A análise de sensibilidade sobre a flutuação da extração de recicláveis e preços de venda demonstrou que a variação do volume de extração (em função da eficiência da segregação – Linha de base 10% da massa bruta de RSU) ou dos preços de comercialização dos materiais (Linha de base – R\$ 502,00/t) pode influenciar significativamente o resultado operacional da unidade de triagem de recicláveis.

A Figura 22 ilustra como flutuações na produção e consequente venda dos recicláveis (PP, PET, PVC, metais ferrosos e não ferrosos) influencia nos custos finais do tratamento do RSU.

Figura 22: Efeito das flutuações da extração de recicláveis

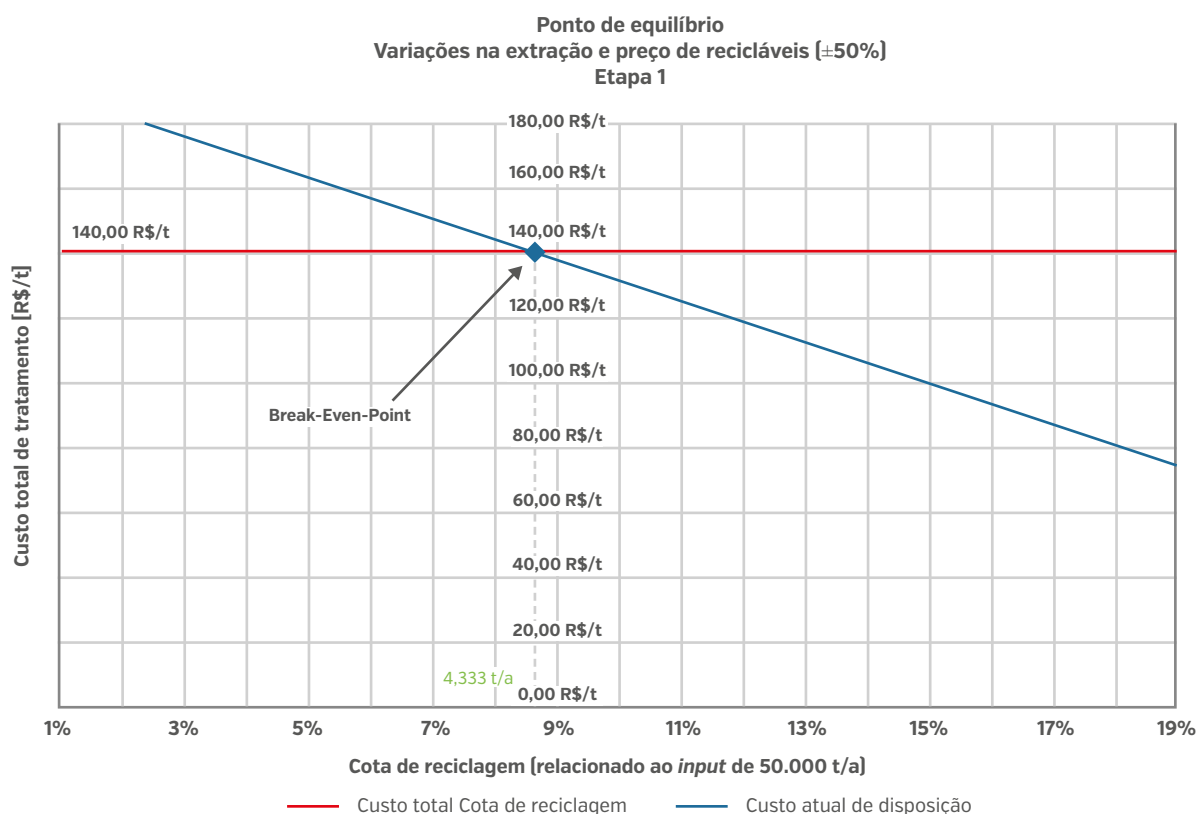


Observa-se que flutuações na produção e consequente venda dos recicláveis (PP, PET, PVC, metais ferrosos e não ferrosos) em $\pm 50\%$ podem influenciar nos custos finais do tratamento dos resíduos em $\pm 24\%$. O impacto nos custos de disposição final é de $\pm 6\%$, devido à massa inicial (10%) considerada e ao aumento da compactabilidade final do RSU.

Devido à forte influência desta variável no custo total da instalação, é necessário definir o valor limite para a rentabilidade desta, ou seja, o ponto

Figura 23: Ponto de equilíbrio (*Break-Even-Point*) para flutuações da extração e preço de venda de recicláveis

de equilíbrio (*Break-Even-Point*) entre as receitas e as despesas do empreendimento. Dessa forma, o *Break-Even-Point* representa o ponto a partir do qual o investidor passa a ter lucro e consegue equilibrar o capital investido, ou, então, passa a ter prejuízo, inviabilizando o empreendimento. A Figura 23 apresenta o ponto de equilíbrio para as variáveis analisadas.



Como com a implantação desta etapa, o custo final de tratamento já é reduzido para R\$ 131,62 por tonelada de resíduo tratado, o custo de disposição na situação *status-quo* é de R\$ 140,00/t, e o projeto foi dimensionado para recuperar 10% de material reciclável, tem-se ainda uma margem que possibilita a manutenção do custo com o tratamento em R\$ 140,00/t mesmo com uma menor recuperação de material reciclável. O ponto de equilíbrio (*Break-Even-Point*) é alcançado quando considerado um percentual de reciclagem de aproximadamente 8,7% do volume total de entrada (50.000 t/a). Em analogia, pode-se estimar, a partir desta análise, que, caso a recuperação de recicláveis seja a do *status-quo* (10%), o ponto de equilíbrio se dá com uma redução dos preços de reciclagem de até 13%, ou R\$ 436,74 por tonelada de material reciclável. Devido ao fato de que flutuações da extração de materiais recicláveis podem ser compensadas por meio de um preço de venda estável e que preços decrescentes podem ser compensados através de um volume crescente ou estável de materiais, o risco total de investimento na instalação de tratamento de resíduos com foco na extração de materiais recicláveis pode ser considerado como tendencialmente baixo.

Os valores considerados nesta análise são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações da extração e preço de venda de recicláveis

VALOR CRÍTICO	AVALIAÇÃO AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS		AVALIAÇÃO MONETÁRIA AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS [R\$/A]		DIFERENÇA DE CUSTOS		DESVIO [%]				
	-50%	0%	50%	-50%	0%	50%	-50%	50%			
INFLUÊNCIA SOBRE											
Redução de custo de disposição	±0	±0	±0	6.000.000	5.684.211	5.368.421	315.789	0 R\$	-315.789	5,6%	-5,6%
Custo de operação	-	±0	+	68,14 R\$/t	68,14 R\$/t	68,14 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
CAPEX	-	±0	+	27,55 R\$/t	27,55 R\$/t	27,55 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
Mão de obra	±0	±0	±0	14,37 R\$/t	14,37 R\$/t	14,37 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
Custos de capital variáveis/fixos	-	±0	+	26,22 R\$/t	26,22 R\$/t	26,22 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
Receita	±0	±0	±0	-1.255.000	-2.510.000	-3.765.000	1.255.000	0	-1.255.000	-50,0%	50,0%
Reciclagem	±0	±0	±0	1.255.000	-2.510.000	-3.765.000	1.255.000	0	-1.255.000	-50,0%	50,0%
Combustível Derivado de Resíduo	±0	±0	±0	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%
Perdas	±0	±0	±0	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%
Custo total	+	±0	-	8.151.813	6.581.024	5.010.234	1.570.789	0	-1.570.789	23,9%	-23,9%

6.2 Análise de sensibilidade [ii] – Produção e venda de CDR

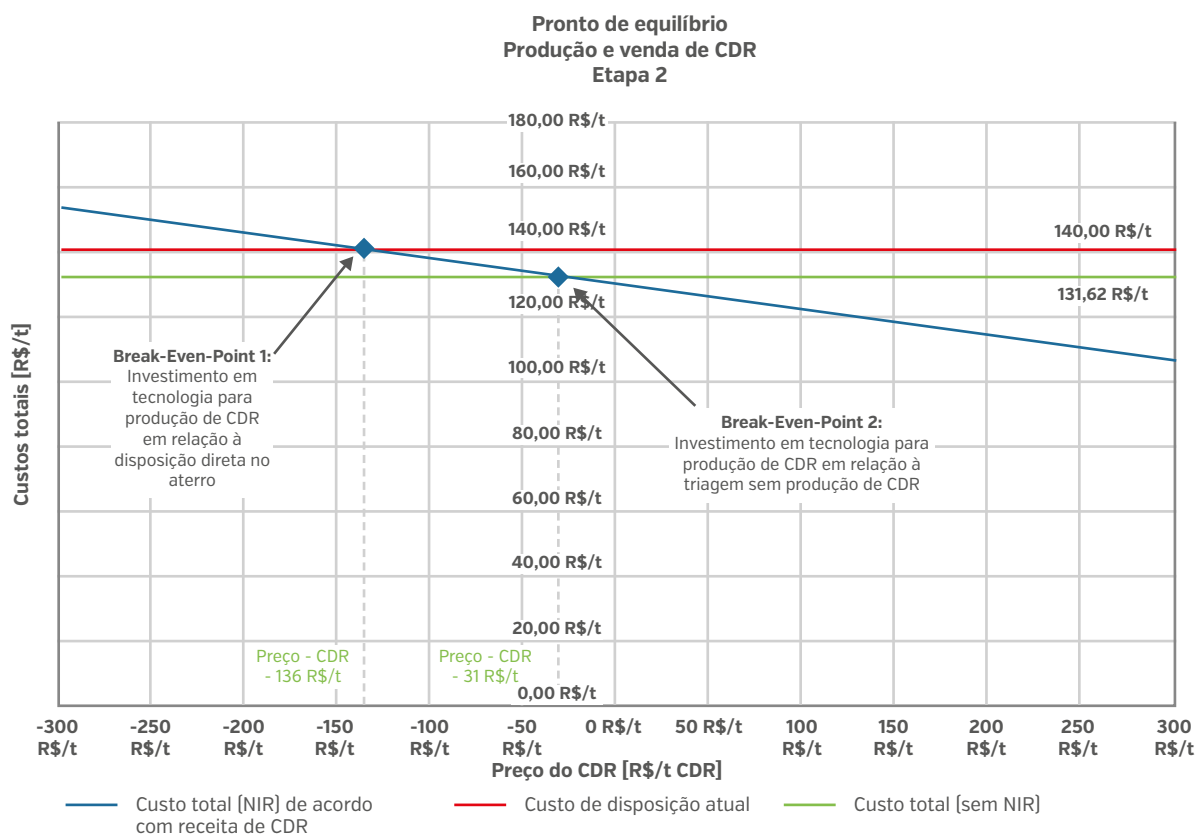
A tecnologia para extração de CDRs do RSU pode ser considerada um complemento opcional da triagem, aumentando assim o aproveitamento do material não orgânico e reduzindo o volume a ser depositado em aterro sanitário. A instalação deste equipamento adicional não interfere no volume ou na qualidade da fração orgânica que pode ser destinada à compostagem e à metanização. Portanto, a análise de sensibilidade sobre variações na produção ou venda de CDR pode ser melhor demonstrada quando se consideram os dados econômicos do pacote tecnológico implantado na etapa 2.

A produção de CDR pode ser um fator de custo importante no contexto de aproveitamento dos materiais recicláveis utilizando tratamento mecânico. A tecnologia necessária para a sua recuperação (ventilador de separação, separador de infravermelho, triturador, etc.) exige investimentos relativamente altos, passando de um custo de investimento de aproximadamente R\$ 12 milhões para R\$ 15,7 milhões. Ou seja, o custo de implantação com a separação de CDR é aproximadamente 30% superior quando comparado ao custo sem a implantação dos equipamentos para a recuperação deste material. Por outro lado, há uma redução nos custos de aterramento deste material, e, por este motivo, o impacto da logística de distribuição/comercialização do CDR é fator decisivo para a rentabilidade deste investimento.

Desta forma, as etapas de ampliação 1 e 2 são comparadas, pelo fato de se diferenciarem justamente pela adição da tecnologia automatizada para a extração de CDR que ocorre na etapa 2. Além do preço de venda do CDR, a variação do volume a ser depositado em aterro (e seu custo) influenciam fortemente o resultado final sobre o custo de tratamento de resíduos.

A Figura 24 apresenta o ponto de equilíbrio para a variável analisada.

Figura 24: Ponto de equilíbrio (*Break-Even-Point*) para flutuações dos preços de CDR



A figura anterior ilustra os valores limites de venda da fração CDR para que o investimento nesta tecnologia (etapa 2) seja viável em comparação à alternativa de não se fazer este investimento e, portanto, depositar o material diretamente em aterro (etapa 1). Considera-se que a fração reciclável nas etapas 1 e 2, que estão sendo comparadas, é triada e comercializada nas mesmas condições, portanto já tendo um efeito na redução de custos finais do tratamento de R\$ 140,00 para R\$ 131,62/t, antes do efeito da recuperação de CDR. O gráfico mostra que o ponto de equilíbrio para que o investimento se justifique economicamente se dá quando o custo de gestão do CDR é inferior a R\$ 31,00/t, ou seja, o operador pode assumir um custo para disposição do CDR de R\$ 31,00/t que a instalação continua viável, justificando o empreendimento e não resultando em prejuízos. Abaixo deste custo, o investimento na tecnologia de recuperação de CDR agrega valor e impacta em uma redução maior do custo final de tratamento dos resíduos, adicional ao impacto gerado pelos recicláveis (*Break-even-Point-2*), uma vez que, anteriormente, este material deveria ser encaminhado ao aterro sanitário.

Cabe enfatizar que a fração de CDR que não puder ser doada ou comercializada deve ser disposta em aterros sanitários, portanto somente deve-se investir na tecnologia para recuperação deste material na existência de um mercado consumidor assegurado. Porém, a análise demonstrou que, mesmo que o empreendedor tenha um custo para este gerenciamento, o material pode ser inserido no mercado de forma gradativa até que se tenha maturidade e confiança em utilizar este material como combustível. Esta situação é bastante promissora, se considerarmos a demanda energética crescente das instalações industriais e os elevados custos da energia elétrica, além da regulamentação já existente para coprocessamento deste material em determinadas instalações. Por outro lado, este estudo demonstra o quão importante é reduzir resíduos de planta, uma vez que o custo de gestão e amassa destes materiais é fator chave para a rentabilidade de um investimento em plantas de tratamento de RSU.

Os valores considerados nesta análise são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações dos preços de CDR

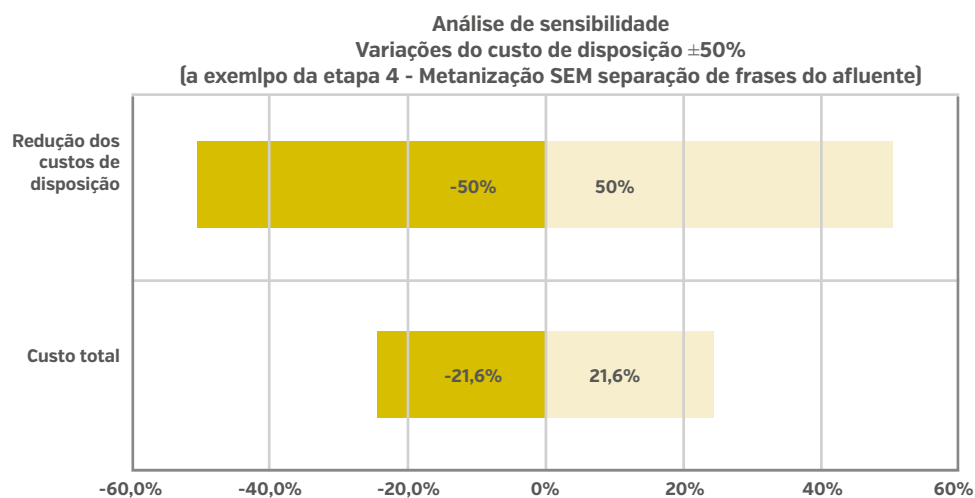
VALOR CRÍTICO	AVALIAÇÃO AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS		AVALIAÇÃO MONETÁRIA AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS [R\$/A]						DIFERENÇA DE CUSTOS		DESVIO [%]		
	ETAPA 1B	ETAPA 2	ETAPA 1B	ETAPA 2	ETAPA 1B	ETAPA 2	ETAPA 1B	ETAPA 2	ETAPA 1B	ETAPA 2	ETAPA 1B	ETAPA 2	
CUSTO COMBUSTÍVEL DERIVADO DE RESÍDUO	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	10,00 R\$/t	10,00 R\$/t
INFLUÊNCIA SOBRE													
Custo de Investimento			11,998.000	15.717.000	15.717.000	15.717.000	-3.719.000	0	-23,7%	0,0%			
Redução de custo de disposição	±0	±0	5.684.211	4.854.874	4.854.874	4.854.874	829.337	0	17,1%	0,0%			
Custo de operação	±0	±0	68,14 R\$/t	82,21 R\$/t	82,21 R\$/t	82,21 R\$/t	-14,08 R\$/t	0,00 R\$/t	-17,1%	0,0%			
CAPEX	±0	±0	27,55 R\$/t	37,15 R\$/t	37,15 R\$/t	37,15 R\$/t	-9,61 R\$/t	0,00 R\$/t	-25,9%	0,0%			
Mão de obra	±0	±0	14,37 R\$/t	14,37 R\$/t	14,37 R\$/t	14,37 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%			
Custos de capital variáveis/fixos	±0	±0	26,22 R\$/t	30,69 R\$/t	30,69 R\$/t	30,69 R\$/t	-4,47 R\$/t	0,00 R\$/t	-14,6%	0,0%			
Receita	-	±0	-2.510.000	-2.510.000	-2.550.000	-2.550.000	0	0	0,0%	1,6%			
Reciclagem	±0	±0	-2.510.000	-2.510.000	-2.510.000	-2.510.000	0	0	0,0%	0,0%			
Combustível Derivado de Resíduo	-	±0	0	0	-40.000	-40.000	0	0	-40.000	-			
Perdas	±0	±0	0	0	0	0	0	0	0	-			
Biogás	±0	±0	0	0	0	0	0	0	0	-			
Custo Total	-	±0	6.581.024	6.455.574	6.415.574	6.415.574	125.450	0	1,9%	-2,6%			

6.3 Análise de sensibilidade (iii) – Flutuação do custo do aterro sanitário para destinação final dos rejeitos

Figura 25: Efeito das flutuações do custo de aterro sanitário para destinação final dos rejeitos

■ Custos de disposição 210,00 R\$/t

■ Custos de disposição 70,00 R\$/t



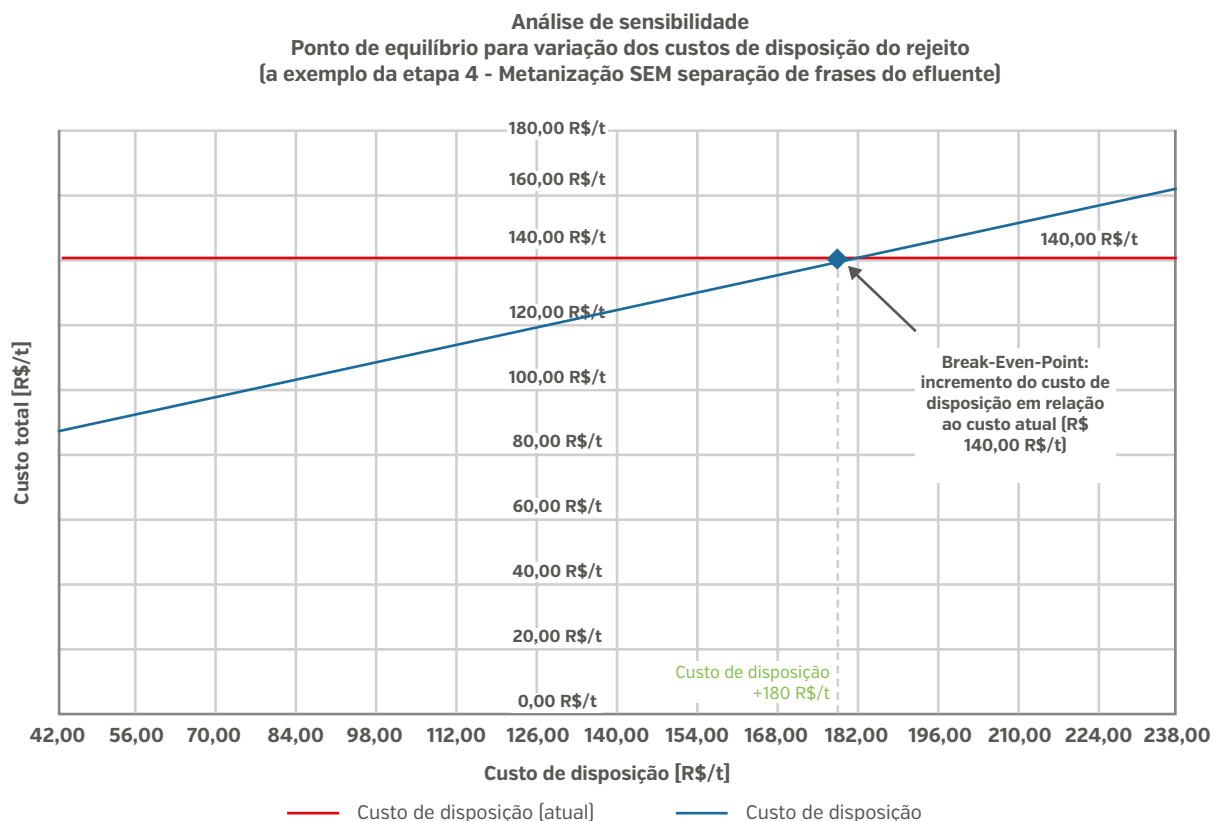
A partir desta análise de sensibilidade, serão analisadas as etapas 4 e 5, uma vez que estas representam os maiores valores de investimento da instalação. Como o volume a ser disposto em aterro sanitário tende a diminuir à medida que cada etapa é implementada e entre as etapas 4 e 5 há uma grande variação de geração de resíduos de planta, a análise de sensibilidade sobre a variação do custo do aterro sanitário foi realizada de forma conservadora, considerando os volumes de rejeito gerados após a instalação do pacote tecnológico da etapa 4, em que o volume a ser depositado em aterro é maior que na etapa 5.

Para todas as etapas de ampliação da instalação e análises de sensibilidade, foi considerado um preço médio de R\$ 140,00/t para a disposição dos rejeitos em um aterro sanitário. Este valor tem uma importância muito grande na rentabilidade da instalação, principalmente quando for considerado como custo evitado devido à redução de volume em projetos de tratamento como proposto nas diferentes etapas de ampliação descritas neste documento. Portanto, é imprescindível analisar a variação deste valor e seu impacto nos custos finais de tratamento.

O resultado da flutuação no custo do aterro sanitário para disposição dos rejeitos é apresentado na Figura 25.

Como pode ser observado, consideradas as flutuações do preço inicial (R\$ 140,00/t) de $\pm 50\%$, há uma flutuação do custo final de tratamento de $\pm 22\%$, quando calculado o impacto na etapa 4, fato que resulta em maior volume de material a ser depositado em aterro. Ou seja, o impacto, apesar de considerável, é diminuído pelo fato do resíduo de planta nesta etapa ser 39% inferior à situação *status quo* e ocorrer um aumento na compatibilidade deste, resultando em aumento de vida útil do aterro.

Figura 26: Pontos de equilíbrio [Break-Even-Point] para flutuações no custo do aterro sanitário



Como na etapa 4, o custo de tratamento é reduzido de R\$ 140,00/t para R\$ 124,74/t de resíduo, sendo o ponto de equilíbrio (*Break-Even-Point*) para o preço do aterro sanitário para resíduos restantes após esta triagem analisado. Este valor é de, aproximadamente, R\$ 180,00/t, ou seja, o empreendimento apresenta os mesmos resultados econômicos do *status quo*, mesmo com o custo de disposição de R\$ 180,00 por tonelada de rejeitos de planta. Neste caso, o custo de disposição final abaixo deste valor já viabiliza o investimento.

Percebe-se, então, que o risco associado à alteração do custo de disposição pode ser considerado reduzido quando o volume de rejeitos é diminuído na etapa 4. Por outro lado, a redução do volume a ser enviado ao aterro é determinante para a rentabilidade de um projeto, na medida em que faz um material caracterizado por gerar despesa passar a gerar receita (por exemplo, digestato enviado a aterro ou convertido em biofertilizante). Desta forma, é fundamental que o empreendedor tenha clareza de que a maior ou menor geração de rejeitos na instalação pode alterar significativamente a rentabilidade de um projeto.

Os valores considerados nesta análise são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações no custo do aterro sanitário

VALOR CRÍTICO	AVALIAÇÃO AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS		AVALIAÇÃO MONETÁRIA AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS [R\$/a]		DIFERENÇA DE CUSTOS		DESVIO [%]	
	-50%	0	50%	140,00 R\$/t	-50%	0	-50%	50%
CUSTO DE INVESTIMENTO								
Custo de Investimento								
Influência sobre								
Redução do custo de disposição	-	±0	+	5.684.211	-2.842.105	0	2.842.105	-50,0%
Custo de operação	-	±0	+	68,14 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%
CAPEX	-	±0	+	27,55 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%
Mão de Obra	±0	±0	±0	14,37 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%
Custos de capital variáveis/fixos	-	±0	+	26,22 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%
Receita	±0	±0	±0	-2.510.000	0	0	0	0,0%
Reciclagem	±0	±0	±0	-2.510.000	0	0	0	0,0%
Combustível Derivado de Resíduo	±0	±0	±0	0	0	0	0	-
Perdas	±0	±0	±0	0	0	0	0	-
Biogás	±0	±0	±0	0	0	0	0	-
Custo total	+	±0	-	6.581.024	-2.842.105	0	2.842.105	-43,2%
				188,46 R\$/t				43,2%
				74,78 R\$/t				
				131,62 R\$/t				

6.4 Análise de sensibilidade (iv) – Autoconsumo e/ou venda do biogás

Para analisar os impactos de utilização e venda do biogás isoladamente e entender como esta tecnologia, acompanhada de suas receitas adicionais, viabiliza-se, levou-se em consideração a etapa 5, que considera todas as tecnologias necessárias de uma instalação TMB com produção de biogás.

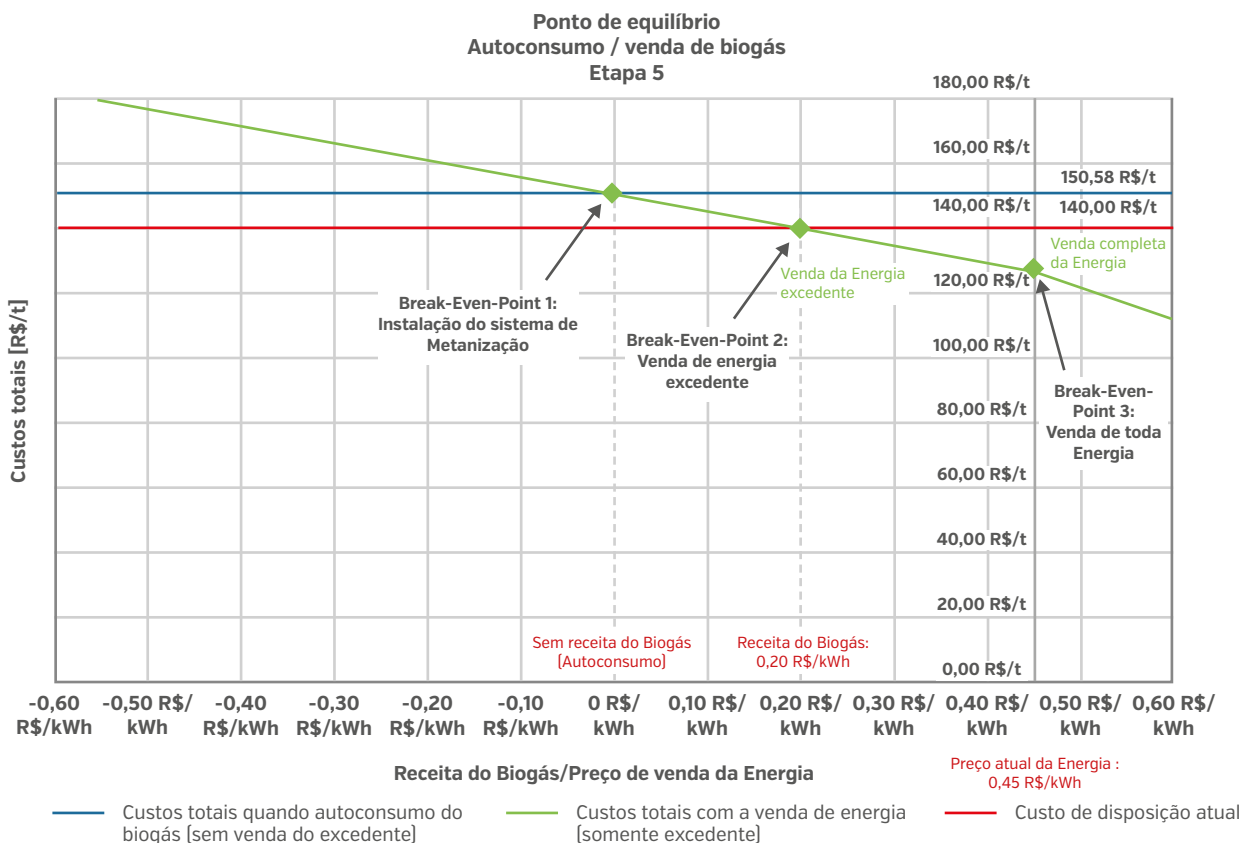
Os altos investimentos desta etapa de ampliação devem ser assegurados utilizando uma análise de risco na qual são considerados os impactos da venda de energia do biogás nos custos finais de tratamento dos resíduos.

Em relação aos valores limites para a rentabilidade da integração de uma central de geração e aproveitamento de biogás, foram considerados 3 casos:

- i. O biogás ou a eletricidade gerada não pode ser injetado na rede ou comercializado para terceiros. Neste caso, a eletricidade gerada seria usada para cobrir a própria demanda. A eletricidade/biogás que sobra não seria aproveitada.
- ii. O biogás é vendido por um preço menor do que o preço atual da eletricidade consumida pelo sistema. Neste caso, a eletricidade gerada seria primordialmente usada para cobrir a própria demanda da central de tratamento de resíduos. A eletricidade excedente seria disponibilizada na rede e vendida a um preço inferior.
- iii. O biogás é vendido por um preço acima do preço da eletricidade atualmente consumida da rede. A própria demanda por eletricidade da usina será suprida completamente por meio da rede. A totalidade da energia gerada será injetada na rede e vendida a um preço elevado, gerando uma receita superior ao custo da energia consumida pela usina.

Figura 27: Ponto de equilíbrio (Break-Even-Point) para flutuações do preço de biogás

A Figura 27 apresenta o ponto de equilíbrio para a variável analisada.



Quando a energia gerada é consumida na instalação e o excedente não possui valor de venda (considerado, portanto, como “desperdício”), o custo total de tratamento do resíduo passa de 140,00 R\$/t para 150,58 R\$/t, ou seja, neste cálculo o investimento em um CHP para autoconsumo somente incrementa o custo de tratamento dos resíduos em 7,6%, valor que talvez não seja tão elevado, considerando-se as externalidades de um sistema energeticamente mais eficiente e sustentável.

Caso a eletricidade gerada seja utilizada para cobrir completamente a demanda interna de eletricidade, evitando a compra de eletricidade da rede, e, adicionalmente, vendendo eletricidade sobressalente a valores superiores a 0,20 R\$/kWh, os custos finais para o tratamento de resíduos são reduzidos em comparação à eliminação direta no aterro sanitário sem tratamento, como demonstra o gráfico a partir do *Break-Even-Point* 2. Naturalmente, este custo final de tratamento é reduzido à medida em que aumenta o preço de venda da energia excedente.

Caso o preço de venda da eletricidade gerada seja maior que o preço da eletricidade consumida da rede, os custos totais para o tratamento de resíduos são reduzidos ainda mais. Neste caso, a demanda interna de eletricidade é atendida completamente com a compra de energia da rede, enquanto a eletricidade gerada é completamente comercializada (*Break-Even-Point* 3). Considerando-se um preço de venda de toda energia a 0,45 R\$/kWh (equivalente ao preço da energia comprada da rede), o custo final de tratamento dos resíduos é reduzido a R\$ 126,7/t.

Os valores considerados nesta análise são apresentados Tabela 8.

Tabela 8: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações do preço de biogás

VALOR CRÍTICO	AVALIAÇÃO AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS		AVALIAÇÃO MONETÁRIA AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS [R\$/a]		DIFERENÇA DE CUSTOS		DESVIO [%]				
	0 R\$/t	739 R\$/t	821 R\$/t	0 R\$/t	739 R\$/t	821 R\$/t		0 R\$/t	821 R\$/t	-100%	11%
INFLUÊNCIA SOBRE											
Custo de Investimento		49.869.000	49.869.000	49.869.000	49.869.000	0	0	0	0	0,0%	0,0%
Redução de custo de disposição	±0	±0	±0	2.323.029	2.323.029	2.323.029	0	0	0	0,0%	0,0%
Custo de Operação	±0	±0	±0	154.32 R\$/t	154,32 R\$/t	175,92 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	21,60 R\$/t	0,0%	14,0%
CAPEX	±0	±0	±0	109,96 R\$/t	109,96 R\$/t	109,96 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
Mão de Obra	±0	±0	±0	16,26 R\$/t	16,26 R\$/t	16,26 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%	0,0%
Custos variáveis/fixos	±0	±0	±0	28,10 R\$/t	28,10 R\$/t	49,70 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	21,60 R\$/t	0,0%	76,9%
Pacela de custo de energia elétrica	-	-	+	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	21,60 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	21,60 R\$/t	-	-
Receita	-	±0	+	-2.510.000	-3.701.741	-5.034.157	1.191.741	0	-1.332.416	-32,2%	36,0%
Reciclagem	±0	±0	±0	-2.510.000	-2.510.000	-2.510.000	0	0	0	0,0%	0,0%
Combustíveis	-	±0	+	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%
Perdas	±0	±0	±0	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%
Biogás	±0	±0	±0	-1.191.741	-1.191.741	-2.524.157	1.191.741	0	-1.332.416	0,0%	0,0%
Custo Total	-	±0	+	7.528.987	6.337.245	6.084.830	1.191.741	0	-252.416	18,81%	-3,98%

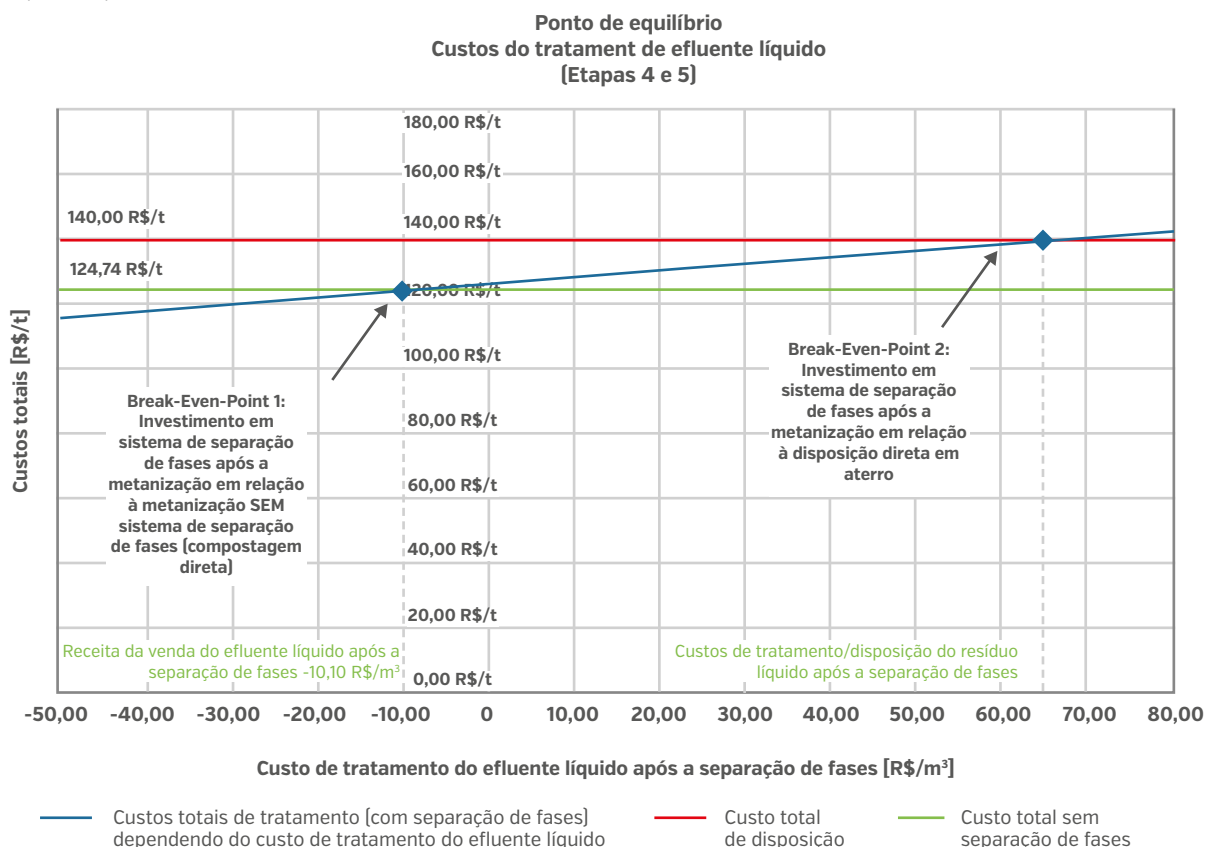
6.5 Análise de sensibilidade (v) – Flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo

Figura 28: Ponto de equilíbrio (*Break-Even-Point*) para flutuações no custo do tratamento do efluente líquido do processo

No caso das etapas 4 e 5, nas quais ocorre o tratamento da fração orgânica via compostagem e metanização, além da questão dos custos de investimento para todas as etapas tecnológicas envolvidas, deve-se levar em consideração, na análise de viabilidade, o impacto dos custos associados ao tratamento do efluente líquido produzido nas instalações. Dependendo da qualidade do efluente, este pode ser considerado fertilizante apto para utilização na agricultura, entretanto seu uso é fortemente impactado por dificuldades logísticas para seu escoamento, dado seu elevado volume.

As duas etapas consideradas se diferenciam pela instalação de uma unidade de separação de fases do lodo digerido e leito de mineralização, adotado como sistema de tratamento dos efluentes líquidos (etapa 5). Portanto, a etapa 5 gera efluentes líquidos potencialmente aplicáveis na agricultura, ou seja, com potencial de receita, enquanto a etapa 4 gera um maior volume, adicionado integralmente o digestato à compostagem seguido de aterramento.

A Figura 28 apresenta o ponto de equilíbrio para a variável analisada.



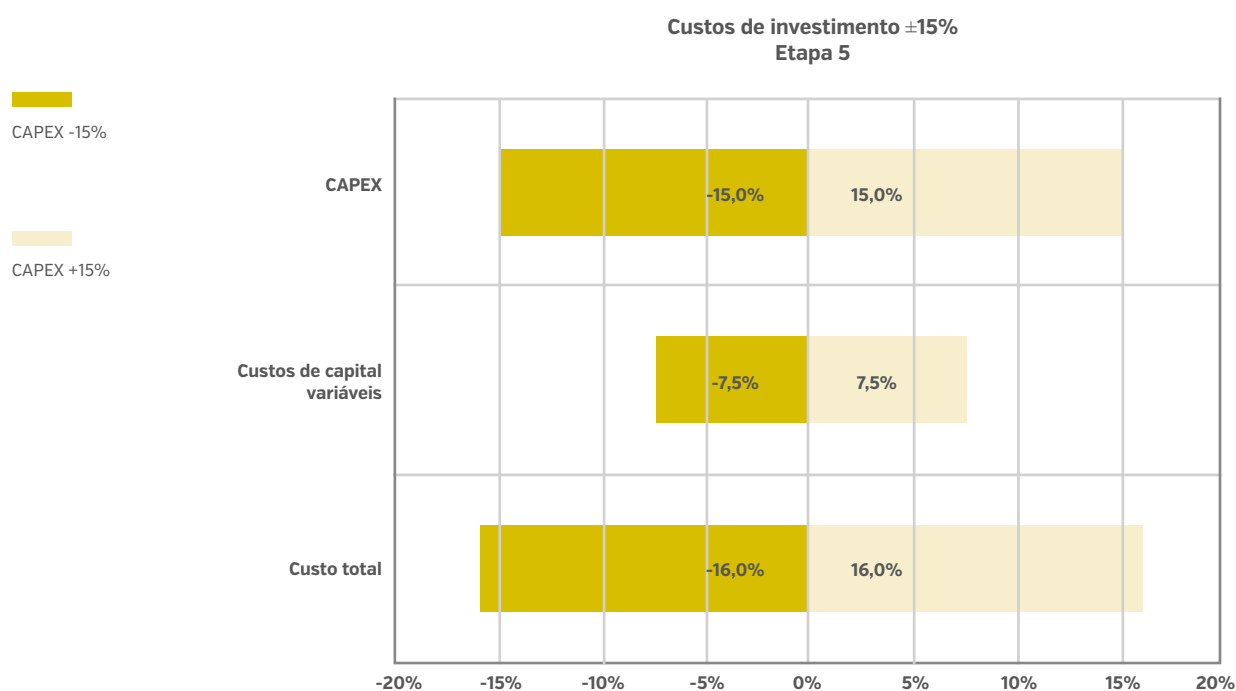
Neste caso, constata-se que, com a venda a partir de R\$ 10,00/t dos efluentes líquidos (resultantes da etapa 5), os custos totais são menores, apesar dos maiores custos de investimento e operação em comparação à metanização e compostagem direta do lodo (Etapa 4) (*Break-Even-Point 1*). Como pode ser observado, mesmo que os efluentes líquidos da etapa 5 tenham que ser dispostos em um sistema de tratamento de efluentes adicional a um custo igual ou superior a R\$ 65,60/t (neste exemplo), o investimento na separação mecânica dos efluentes se viabiliza em comparação ao custo atual de R\$ 140,00/t, conforme mostra o *Break-Even-Point 2*.

Os valores considerados nesta análise são apresentados na Tabela 9.

6.6 Análise de sensibilidade (v) – Variação dos custos de investimento

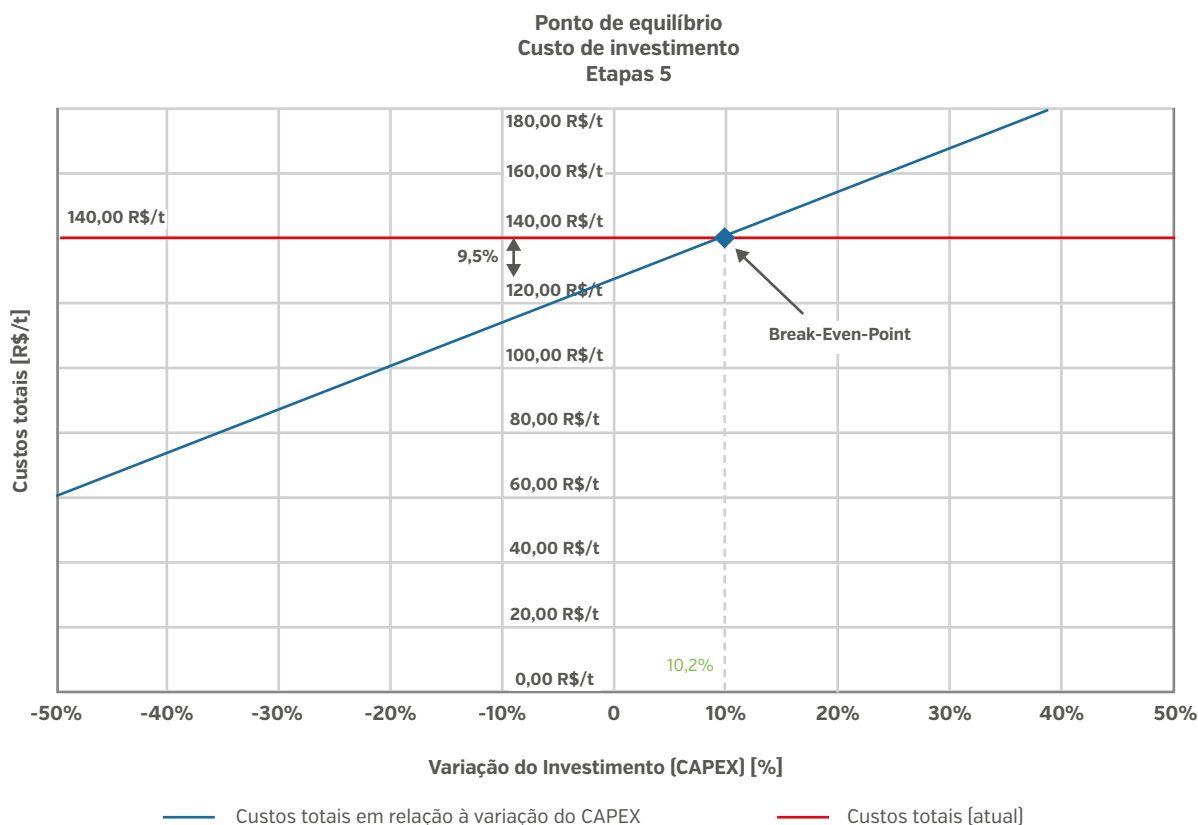
As variações dos custos de investimento, levando-se em conta a discrepância entre os custos esperados e os custos reais, são um risco eminente para a viabilização de todo o projeto. Estas variações podem ser decorrentes de diferentes taxas de juros, variação cambial ou alterações no projeto. A Figura 29 ilustra o efeito de flutuações dos custos de investimentos de $\pm 15\%$ nos custos totais de operação e tratamento, tomando como exemplo a etapa 5, que representa uma instalação TMB completa.

Figura 29: Efeito das flutuações do custo de investimento (Capex) em relação aos custos totais de operação e tratamento do RSU



Constata-se que flutuações dos custos de investimento de $\pm 15\%$ podem influenciar o resultado total da instalação, impactando o custo de tratamento dos resíduos (50.000 t/a) em até $\pm 16\%$. A Figura 30 analisa o ponto de equilíbrio relacionando o aumento e a diminuição do investimento em relação ao custo de tratamento.

Figura 30: Ponto de equilíbrio (Break-Even-Point) para flutuações dos custos de investimentos



Como pode ser observado a partir da figura acima, o custo de tratamento de 140,00 R\$/t somente é alcançado quando o aumento do investimento é 10% superior ao planejado (*status quo* R\$ 49,9 milhões). A partir deste valor de investimento (R\$ 54,9 milhões), o sistema de TMB com os *inputs* e *outputs* apresentados não se justifica economicamente. E, obviamente, custos de implantação inferiores a este valor são atrativos economicamente em relação ao valor *status quo* de tratamento de resíduos (R\$ 140,00/t). É importante considerar que, neste estudo, o montante de equipamentos importados é de 30% para a etapa 5, o que representa um grau de importação relativamente alto, podendo os valores do sistema serem reduzidos com a nacionalização da tecnologia. Além disso, há de se considerarem as externalidades ambientais positivas e intangíveis que não estão precificadas neste estudo, mas que serão discutidas no capítulo 07.

Os valores considerados nesta análise são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores-base para a análise de sensibilidade em relação a flutuações dos custos de investimentos

VALOR CRÍTICO	AVALIAÇÃO AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS		AVALIAÇÃO MONETÁRIA AUMENTO/REDUÇÃO DE CUSTOS [R\$/a]		DIFERENÇA DE CUSTOS		DESVIO [%]		
	-15%	0	15%	-15%	0	15%	-15%	15%	
CUSTOS DE INVESTIMENTO									
Custo de investimento				42.833.650	49.869.000	57.349.350	0 R\$	7.480.350	15,0%
INFLUÊNCIA SOBRE									
Redução de custos de disposição									
	±0	±0	±0	2.323.029	2.323.029	2.323.029	0 R\$	0 R\$	0,0%
Custo de operação									
	-	±0	+	155,70 R\$/t	175,92 R\$/t	196,14 R\$/t	-20,22 R\$/t	20,22 R\$/t	-11,5%
CAPEX									
	-	±0	+	93,46 R\$/t	109,96 R\$/t	126,45 R\$/t	-16,49 R\$/t	16,49 R\$/t	-15,0%
Mão de obra									
	±0	±0	±0	16,26 R\$/t	16,26 R\$/t	16,26 R\$/t	0,00 R\$/t	0,00 R\$/t	0,0%
Custos de capital variáveis/fixos									
	-	±0	+	45,97 R\$/t	49,70 R\$/t	53,43 R\$/t	-3,73 R\$/t	3,73 R\$/t	-7,5%
Receita									
	±0	±0	±0	-4.781.741	-4.781.741	-4.781.741	0 R\$	0 R\$	0,0%
Reciclagem									
	±0	±0	±0	-2.510.000	-2.510.000	-2.510.000	0 R\$	0 R\$	0,0%
Combustível Derivado de Resíduo									
	±0	±0	±0	0 R\$	0 R\$	0 R\$	0 R\$	0 R\$	-
Perdas									
	±0	±0	±0	0 R\$	0 R\$	0 R\$	0 R\$	0 R\$	-
Biogás									
	±0	±0	±0	-2.271.741	-2.271.741	-2.271.741	0 R\$	0 R\$	0,0%
Custo total									
	+	±0	-	5.326.203	6.337.288	7.348.287	-1.011.042	1.011.042	-16,0%
				106,52 R\$/t	126,75 R\$/t	146,97 R\$/t			

EXTERNALIDADES E INDICADORES NÃO ECONÔMICOS DE IMPACTO

A análise de viabilidade de um projeto deve considerar, além dos aspectos econômicos, as externalidades e indicadores não econômicos de impacto decorrentes da iniciativa em questão. Na economia, devem ser assumidas externalidades, ou efeitos externos, quando as ações de um agente afetam diretamente as possibilidades de escolha e/ou o bem-estar de outro agente, que não esteve diretamente envolvido nesta ação (DA COSTA, 2010). As externalidades podem ser positivas ou negativas, conforme a natureza do impacto gerado.

Importante ressaltar que, apesar de não serem mensuráveis, imediatamente, sob o ponto de vista econômico, não significa que seus impactos não tenham repercussão financeira a médio e longo prazo, e de forma indireta. Como exemplo no setor de RSU, pode-se citar a economia de energia elétrica, água e matéria-prima em decorrência da reciclagem de materiais, por exemplo, etapa preliminar de toda Usina TMB. Os impactos resultantes para o setor podem ser contabilizados em termos de economia de água e energia para a fabricação de produtos, que, apesar de não poderem ser assumidos como receitas diretas que beneficiam diretamente o empreendedor, devem ser contabilizados na análise global de viabilidade econômica do projeto, devido aos seus impactos para diferentes setores produtivos, na esfera macroeconômica e para a sociedade.

Estimativas recentes da Comissão Europeia¹⁵ concluem que o atendimento à legislação sobre RSU resultaria, ao final desta década, em uma economia de 72 bilhões de euros por ano, em aumento de 42 bilhões de euros no faturamento do setor de coleta e reciclagem de resíduos sólidos, e a criação de 400 mil empregos no setor, que já oferece 2 milhões de postos de trabalho. Estes resultados não foram contabilizados diretamente nos projetos de RSU desenvolvidos ao longo dos diferentes países-membros, mas são externalidades positivas que se estendem à sociedade e à economia nacional.

No caso de projetos integrados de tratamento e valorização energética do RSU, em todos os estágios de ampliação considerados neste estudo, por exemplo, podem-se identificar distintas externalidades positivas. Além do enquadramento legal propriamente, em atendimento à PNRS e às metas estabelecidas nos planos municipais setoriais (que se encontram em gradativa expansão), a gestão integrada do RSU gera impactos positivos nas esferas ambiental, econômica e social, que serão descritos na sequência. O objetivo desta análise foi ressaltar que os benefícios do projeto perpassam aqueles gerados diretamente aos agentes envolvidos e de cunho estritamente financeiro e de curto prazo, e que tais aspectos devem ser considerados como fatores positivos adicionais na análise de viabilidade de um projeto desta natureza.

15: Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/waste>

7.1 Alternativa para atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A adoção de soluções tecnológicas para o tratamento das diferentes frações reaproveitáveis do RSU – utilizando a segregação de recicláveis e CDR, a compostagem ou a metanização da fração – tem como principal externalidade a adequação legal à PNRS, que proíbe o aterramento integral dos resíduos e fomenta ações de logística integrada visando ao reaproveitamento de materiais e seus potenciais energéticos.

Esta diretriz já foi adotada em diversos países no mundo, está em vigor há mais de 15 anos na Europa e tem sido a principal maneira de fomentar iniciativas de valorização das frações recuperáveis do RSU, possibilitando a geração de receitas no setor ao incentivar a reciclagem e a produção de energia a partir do RSU.

A principal vantagem de enquadramento legal, em termos de externalidades positivas, é a redução dos passivos ambientais e melhoria da saúde pública, que afeta diretamente a sociedade.

Na prática, para o empreendedor, os benefícios indiretos estão relacionados à redução de custos evitados (*savings*) devido à regularização ambiental, que tende a reduzir a incidência de autuações e multas, que são recorrentes mesmo em aterros sanitários no Brasil, e que devem ser ampliadas face à regulamentação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e das metas de redução de orgânicos e recicláveis em aterros, por exemplo.

7.2 Implicações na logística de coleta

A logística de coleta e transporte para disposição dos RSU configura-se como uma etapa crítica da gestão urbana de resíduos sólidos, e resulta em inúmeras externalidades negativas que podem ser evitadas por meio da adoção de iniciativas integradas de gestão e tratamento, como propostas neste estudo.

Em caso de Usinas TMB, a recepção dos RSU é realizada em um local único onde serão realizadas as etapas de segregação e tratamento das diferentes frações, o que elimina a demanda de investimentos na logística de coleta seletiva e, conseqüentemente, reduz a frota de caminhões em circulação. Além dos custos financeiros evitados diretamente (na aquisição de caminhões, combustível, funcionários, manutenção, etc.), o menor trânsito de veículos de coleta impacta positivamente a mobilidade urbana, o que se caracteriza como uma externalidade positiva de elevada relevância. Esta situação é especialmente importante quando consideramos a situação de contínuo afastamento dos aterros dos centros urbanos, demandando grandes deslocamentos.

Não obstante, a redução da frota de caminhões de coleta de RSU também acarreta menor consumo de combustíveis e redução de emissões de gases de efeito estufa, que geralmente não são contabilizadas nos projetos. Esta redução é ainda maior se considerarmos a possibilidade de uso do biogás gerado na instalação de tratamento do RSU (usina de biogás) para uso como biometano veicular em substituição ao diesel. Nesse caso, se evitarmos o trânsito de um caminhão que transita em média 100 km diariamente em uma área metropolitana, com rendimento de 4 km por litro de diesel, por exemplo, as emissões evitadas totalizam, aproximadamente, 23.700 kgCO₂ por ano (considerando-se fator de emissão de 2,6 kgCO₂/litro de diesel).

7.3 Efeitos positivos no aterro sanitário

Atualmente, a dependência exclusiva dos aterros sanitários como solução para disposição do RSU coloca o setor de manejo de resíduos em uma posição crítica. Tem sido crescente a elevação de custos de aterramento em função da reduzida disponibilidade de áreas nos centros urbanos, elevando os custos de logística e transporte, além dos altos custos de terrenos. Como

resultado, tem havido um crescente aumento nos contratos, que variaram de 40% a 94% entre 2004 e 2008 (IPEA, 2010).

Neste sentido, a correta gestão dos aterros passa, necessariamente, pelo aumento da vida útil destas instalações (existentes e futuras), que pode ser alcançada por meio da redução dos volumes de aterramento de materiais que podem ser utilizados como matéria-prima, como recicláveis e orgânicos em geral, limitando a disposição no solo apenas às frações entendidas como rejeitos, sem potencial de aproveitamento. Percebe-se, então, que esta redução é plenamente viável, do ponto de vista técnico e econômico, como discutido neste estudo, por meio da adoção de processos tecnológicos que recuperem as frações potenciais.

Como benefícios adicionais de uma iniciativa de gestão integrada de resíduos visando à redução dos materiais destinados ao aterramento, podem-se mencionar as seguintes externalidades positivas:

- i. Redução na demanda de frota para transporte dos rejeitos até a disposição final, com menor impacto na mobilidade urbana devido ao menor tráfego de caminhões nas áreas urbanas;
- ii. Menor demanda de espaço nas células, com aumento da vida útil total do empreendimento;
- iii. Maior segurança operacional devido a ganhos de estabilidade geológica dos aterros, com redução de riscos de deslizamentos e explosões, devido à menor presença de umidade e matéria orgânica putrescível e, conseqüentemente, menor formação de biogás;
- iv. Redução do risco de poluição ambiental relacionada a vazamentos de chumbo e contaminação de solo e corpos hídricos;
- v. Redução das emissões difusas de metano, que atingem até 40% do total de metano gerado nestas instalações;
- vi. Melhora da salubridade ambiental das áreas, com redução de atração de vetores e doenças associadas; e
- vii. Redução da desvalorização imobiliária, devido ao menor impacto no trânsito de caminhões (barulho, desgaste e poluição de vias), geração de odores e problemas sociais (presença de catadores, ocupação local desordenada).

Todos estes benefícios são mensuráveis, podendo ser utilizados como indicadores das externalidades positivas associadas a um empreendimento de valorização integrada de RSU, cujos benefícios serão, em grande parte, direcionados ao poder público e à sociedade, o que agrega valor a um projeto desta natureza.

Entretanto, é importante destacar que existem impactos positivos também para os operadores de aterros, relacionados à ampliação do horizonte operacional do negócio, no qual as receitas não são apenas diluídas em maior espaço de tempo, mas acompanham a valorização gradual deste serviço, que tende invariavelmente a ser positiva face à menor disponibilidade de áreas e aumento crescente dos custos de novos contratos. Esta situação tende a mudar a visão do negócio predominante neste setor, que se baseia na prospecção de receitas por tonelada recebida – situação que o faz desejar apenas ampliar a quantidade de resíduos aterrada.

Por fim, é importante salientar que, mesmo considerando que todo o material orgânico pós-tratamento anaeróbio seja destinado ao aterro sanitário (caso não tenha qualidades de composto ou escoamento devido a condições de mercado), as externalidades positivas serão mantidas, na íntegra, inclusive com relação à demanda de volume nas células, uma vez que a redução de densidade do material final é de até 3 vezes em comparação ao RSU coletado. E neste caso, pelo fato de ser facilmente mensurável, a redução de materiais aterrados é inclusive utilizada como um indicador econômico do projeto, pois possibilita estimar custos evitados (*savings*) associados à redução dos serviços de destinação final.

7.4 Controle das emissões de gases efeito estufa (GEE) e possibilidades de receitas

As emissões de GEE em aterros sanitários ocorrem de forma difusa, sendo recorrentes neste tipo de empreendimentos e inevitáveis, caso haja o depósito de material orgânico – situação atual no país. O emprego de tecnologias para tratamento desta fração, evitando sua disposição, resulta em redução efetiva de emissões de metano e dióxido de carbono, na medida em que a degradação da matéria orgânica ocorre em ambiente fechado, gerando biogás, que passa a ser utilizado energeticamente e não mais emitido para a atmosfera.

7.5 Economia de energia/água

A gestão de resíduos sólidos em cadeia a partir da coleta seletiva, reuso e reciclagem de materiais, captação e produção de gás para fins energéticos traz economia na produção de bens, por meio da redução de custos associados à simples disposição dos resíduos e à produção a partir de matérias-primas virgens.

O custo ambiental evitado na redução da extração de recursos naturais implica na redução de gastos com água, transporte e mão de obra. Além disso, a preservação de áreas que seriam exploradas garante a redução do consumo de recursos naturais e aumento da vida útil das reservas de recursos não renováveis.

No tocante à energia, a possibilidade de geração distribuída permite a redução de gastos e perdas nas redes de transmissão, além de estabelecer um ciclo de estabilidade no fornecimento, livre de variações de custo, devido a estiagens ou eventos estocásticos, que impactam diretamente no preço da energia. A autonomia na geração a partir do biogás de resíduos orgânicos é possível, devido à garantia de continuidade de recebimento de matéria orgânica durante todo o ano. Isso favorece a seguridade e a estabilidade no fornecimento de energia das usinas, sendo um diferencial entre outras fontes, como a energia hidrelétrica e eólica, que são diretamente afetadas com a redução de capacidade, devido a alterações climáticas.

Portanto, os recursos direta ou indiretamente envolvidos devem ser levados em conta, pois sua redução se mostrar como um expressivo serviço ambiental com reflexos estratégicos consolidados no custo evitado dos empreendimentos e principalmente na transformação de gastos e agravos em geração de valor e preservação ambiental.

A *Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos* (IPEA, 2010) estima em R\$ 8 bilhões as perdas anuais no Brasil relacionadas à não reciclagem de materiais, valor ainda mais expressivo

Tabela 11: Estimativa dos benefícios econômicos associados à redução do consumo de insumos

caso haja sua atualização. Os benefícios econômicos da reciclagem foram definidos como a diferença entre os custos gerados para a produção de bens a partir de matéria-prima virgem (produção primária) e os custos gerados pela produção de bens a partir de material secundário. A Tabela 11 estima, de forma simplificada, estes benefícios de acordo com diferentes tipologias de materiais recicláveis.

MATERIAIS	CUSTOS DOS INSUMOS PARA PRODUÇÃO PRIMÁRIA (R\$/t)	CUSTOS DOS INSUMOS PARA PRODUÇÃO A PARTIR DA RECICLAGEM (R\$/t)	BENEFÍCIOS LÍQUIDOS DA RECICLAGEM (R\$/t)
Aço	552	425	127
Alumínio	6.162	3.447	2.715
Celulose	687	357	330
Plástico	1.790	626	1.164
Vidro	263	143	120

Fonte: IPEA (2010)

Tabela 12: Estimativa dos custos ambientais associados à redução do consumo de insumos

Em se tratando apenas dos benefícios ambientais associados à economia de energia proporcionada pela reciclagem destes materiais, os benefícios líquidos da reciclagem por tipo de material (R\$/t) são apresentados na Tabela 12.

MATERIAIS	CUSTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À GERAÇÃO DE ENERGIA PARA PRODUÇÃO PRIMÁRIA (R\$/t)	CUSTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À GERAÇÃO DE ENERGIA PARA RECICLAGEM (R\$/t)	BENEFÍCIOS LÍQUIDOS DA RECICLAGEM (R\$/t)
Aço	34,18	7,81	26,37
Alumínio	176,78	7,92	168,86
Celulose	11,98	2,26	9,72
Plástico	6,56	1,40	5,16
Vidro	23,99	20,81	3,18

Fonte: IPEA (2010)

7.6 Efeitos sociais [geração de empregos diretos/indiretos]

A adoção de soluções para a gestão diferenciada das frações dos resíduos resulta em benefícios diretos em decorrência de:

- >> Criação de infraestrutura e postos de trabalho, em condições adequadas de salubridade;

- >> Inserção social de catadores e dignificação do trabalho com RSU, por meio da formalização;
- >> Elevação da renda média dos catadores; e
- >> Redução da oscilação dos preços de vendas de materiais recicláveis.

A mudança de cenário, quanto à precariedade de condições dos catadores, se deu a partir do reconhecimento do importante papel e protagonismo dos catadores na gestão de resíduos. Com isso, desde 2002, a atividade de “Catador de Material Reciclado” é considerada categoria profissional pelo CBO – Classificação Brasileira de Ocupação – no Código N° 5192-05. Embora haja avanço quanto ao entendimento do papel do catador, existe, ainda, necessidade de infraestrutura que ofereça condições adequadas de salubridade e possibilidade de ampliação de postos de trabalho. Não obstante, a adoção de processos mecânicos associados a manuais amplia significativamente a eficiência da recuperação de recicláveis e maiores rendimentos econômicos ao trabalhador e à cooperativa, por exemplo.

Além disso, o aperfeiçoamento dos processos de gestão e a modernização das tecnologias garantem o beneficiamento e a disposição adequada, colaborando com a valoração do trabalho e a garantia de ambientes salubres. Hoje, a coleta informal de materiais recicláveis é responsável por grande parte das estatísticas de reciclagem no Brasil, tornando a atividade pouco valorizada e ainda submetida a processos pouco eficientes. Porém, mesmo de forma informal, a participação popular garante ao Brasil taxas de reciclagem de alguns materiais acima da média mundial. A relação entre sucata recuperada e consumo doméstico de alumínio foi de 35,3% em 2012 (média mundial de 30,4%), valor superior ao de países como Japão, Alemanha, Canadá e China (ABAL¹⁶, 2012). A participação dos catadores apoiados por prefeituras (e outros órgãos do poder público) na coleta seletiva nos municípios brasileiros em 2013 foi estimada em 33,3%, valor muito expressivo, mas que ainda desconsidera toda a atividade dos catadores que não contam com apoio do poder público.

A gestão integrada de resíduos atinge positivamente toda a classe de catadores informais, uma vez que permite sua real identificação social, recuperando-os de situação de vulnerabilidade, garantindo remuneração adequada e regular por seus serviços ambientais de saneamento urbano, bem como permitindo estabilidade financeira. Com a integração de um setor informal ao sistema formal de políticas públicas, toda a cadeia produtiva é beneficiada, atingindo inclusive os consumidores, uma vez que profissionaliza prestadores de serviço e incentiva o desenvolvimento e o crescimento deste setor.

Entende-se, portanto, que a inserção do catador na gestão dos RSU representa um indicador de impacto social, vital para o equilíbrio sustentável e o sucesso da gestão de RSU.

16: Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/total-aluminio/>



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi realizado de forma a comparar um cenário base – disposição de RSU em aterro sanitário sem qualquer tipo de tratamento, denominada de *status quo* – aos cinco sistemas de tratamento, entendidos como etapas gradativas e complementares para a conformação de uma Usina TMB, instalação de valorização integral do RSU adotada em diversos países do mundo.

Importante ressaltar que, para todas as etapas analisadas, foram consideradas tecnologias “estado da arte” no mundo, com maturidade tecnológica, disponibilidade no mercado e já aplicadas nos países europeus. No entanto, cabe a ressalva de que os componentes técnicos previstos representam apenas uma possibilidade de arranjo tecnológico, existindo, além de diferentes rotas tecnológicas, distintos fornecedores para cada tipo de componente em particular. Não obstante, por se tratar de um estudo estático, realizado em determinadas condições de mercado, os valores monetários apresentados podem sofrer alterações.

Cabe destacar, também, que o cenário referencial adotado não considerou a existência de coleta seletiva do RSU. Caso já haja uma separação do lixo domiciliar no momento da coleta, alcançando assim uma melhor qualidade da fração reciclável e de orgânicos em comparação ao resíduo misturado, os requisitos tecnológicos necessários para a instalação (em suas respectivas etapas) podem variar significativamente, alterando conseqüentemente os custos de investimento e operacionais envolvidos. Neste caso, é importante considerar os custos envolvidos na coleta e no transporte diferenciado que esta iniciativa demanda, ou, então, mantê-los a cargo do município, isolados do custo efetivo do tratamento, como realizado neste estudo.

Já a análise econômica, por sua vez, foi embasada na metodologia do Custo Anual Equivalente (CAE), amplamente adotada na Alemanha e entendida como capaz de atender aos objetivos do estudo, de elucidar, de modo comparativo, a viabilidade econômica das diferentes etapas de valorização do RSU, maneira clara e simples.

Os resultados demonstraram que todas as etapas propostas apresentaram redução do custo de tratamento do RSU em relação ao *status quo*, demonstrando viabilidade econômica para se implantar o empreendimento, caso as condições comerciais previstas para cada fase sejam atendidas (existência de mercado para recicláveis, CDR, etc.). Não obstante, as principais flutuações nas condições de mercado foram analisadas e tiveram como objetivo demonstrar quais são os valores limites de custos/receitas que tais empreendimentos são capazes de absorver.

De modo geral, um ponto comum evidenciado na análise econômica foi o impacto da redução do volume a ser destinado ao aterro, que se constitui em variável determinante para a rentabilidade do projeto, na medida em que faz um material caracterizado por gerar uma despesa (RSU bruto) passar a gerar receita, a partir do isolamento de suas frações. Por outro lado, deve-se ter bastante atenção ao caso inverso, pois uma planta projetada para gerar receita com um subproduto, caso este não seja escoado, pode se converter em uma despesa e prejudicar fortemente os resultados econômicos do empreendimento. Por este motivo, este estudo optou por ser conservador e adotar o custo de disposição para todas as etapas analisadas.

Ainda com relação à disposição de rejeitos, verificou-se que, com a implantação da Etapa 5, caracterizada por tratamento integral de todas as frações do RSU e elevada recuperação energética, foram obtidos resultados significativos em termos de redução de massa a ser depositada no aterro sanitário (53%) em relação à situação atual, em função do incremento do peso específico do material. Isto resulta em um incremento de aproximadamente três vezes no tempo de vida útil do aterro, o que representa inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais à gestão pública na área de planejamento urbano e manejo de resíduos, além de beneficiar a sociedade de um modo geral.

Não obstante, é sempre importante enfatizar que a adoção de soluções tecnológicas para o tratamento das diferentes frações de materiais do RSU tem como principal externalidade a adequação legal à PNRS, que está em vigor e tende a alterar gradativamente o cenário atual de gestão de resíduos baseada no aterramento integral de materiais com elevado valor energético e de mercado.

De maneira adicional, foi demonstrado, também, que há uma redução da emissão de metano e formação potencial de chorume gradativa de acordo com a implantação subsequente das etapas, sendo que, na etapa 5, esta redução é de aproximadamente 53% para a formação de chorume e 62% para as emissões de metano. Estes dados ilustram, de modo geral, a importância do tratamento biológico na gestão do RSU, que perpassa os ganhos econômicos diretos demonstrados neste documento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Total Alumínio – **Relação entre Sucata Recuperada e Consumo Doméstico** – 2012. Disponível em < <http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/total-aluminio/>> Acesso em: 19 Nov. 2015.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2014**. Rio de Janeiro: ABRELPE, 2015.

ÁLVAREZ-HORNOS, F. Javier; SEMPERE, Feliu; IZQUIERDO, Marta; GABALDÓN, Carmen. **Lab-scale Evaluation of Two Biotechnologies to Treat VOC Air Emissions: Comparison with a Pilot Unit Installed in the Plastic Coating Sector. Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality**. Disponível em <<http://www.intechopen.com/books/chemistry-emission-control-radioactive-pollution-and-indoor-air-quality/lab-scale-evaluation-of-two-biotechnologies-to-treat-voc-air-emissions-comparison-with-a-pilot-unit->> Acesso em 25 Nov. 2015.

ÁVILA, Cristina. **Metade do país pronta para gerir resíduos**. Disponível em < <http://meioambienterio.com/2015/11/11450/metade-do-pais-pronta-para-gerir-residuos/>> Acesso em: 25 Nov. 2015.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.

FRICKE, Klaus; PEREIRA, Christiane. **Global Trends in Waste Management**: Apresentação. Alemanha: CREED, [s.d].

DA COSTA, Carlos Eugênio. **Notas de Economia do Setor Público**. Rio de Janeiro: EPGE/ FGV, Ago.-Dez. 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas Nacionais Trimestrais**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>> Acesso em: 12 Ago. 2015b.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>> Acesso em: 25 Nov. 2015a.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos** – Relatório de Pesquisa. Brasília: IPEA, 2012.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Relatório de Pesquisa – Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília: IPEA, 2010.

Re-energise Africa. MAKKA Mobile Activated Carbon Adsorber. Disponível em <<http://reenergise.co.za/products/gas-cleaning/>> Acesso em 25 Nov. 2015.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Estimativa de emissões totais de gases estufa em 2014 de cada setor em CO₂eq. Resíduos**. Infográficos. Disponível em <<http://seeg.tracersoft.com.br.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2015/07/infograficos-03.jpg>> Acesso em: 16 nov. 2015.

ANEXO 1 - ETAPA 1 - UNIDADE DE TRIAGEM DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

Tabela 13: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de investimento - Etapa de expansão 1 (segregação manual com aproveitamento de matéria-prima).

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.0	TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			
1.1	Infraestrutura/Instalações externas			R\$815.000
	Áreas de terrenos	1 global	R\$ 190.000,00	R\$ 190.000,00
	Áreas pavimentadas	1 global	R\$ 471.850,00	R\$ 472.000,00
	Construções civis nas instalações externas	1 global	R\$ 99.000,00	R\$ 99.000,00
	Equipamentos técnicos nas instalações externas	1 global	R\$ 53.500,00	R\$ 54.000,00
1.2	Galpão de recepção e triagem			R\$ 5.691.000,00
1.2.1	Prédio-construção civil	1 global	R\$ 5.316.335,00	R\$ 5.316.000,00
1.2.2	Prédio-Instalações técnicas	1 global	R\$ 375.000,00	R\$ 375.000,00
1.3	Composto			R\$-
1.3.1	Prédio-construção civil	1 global	R\$-	R\$-
1.3.2	Prédio-Instalações técnicas	1 global	R\$-	R\$-
1.3.3	Instalações externas	1 global	R\$-	R\$-
1.4	Prédio operacional			R\$ 579.000,00
1.4.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 579.022,00	R\$ 579.000,00
1.5	Prédio das prensas			R\$-
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$-	R\$-
1.6	Contêiner da usina de cogeração			R\$-
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$-	R\$-
1.7	Reservatório e estabilização biológica do líquido fermentado residual			R\$-
1.7.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$-	R\$-

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.7.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ -	R\$ -
1.7.3	Instalações externas (tanque de estabilização biológica)	1 global	R\$ -	R\$ -
Subtotal 1.0 - Técnica de construção				R\$ 7.085.000,00
2.0 BIODIGESTOR				
2.1	Alimentação de partículas sólidas	2 unidades	R\$ -	R\$ -
2.2	Sistema de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
2.3	Biodigestor	2 unidades	R\$ -	R\$ -
Subtotal 2.0 - Biodigestor				R\$ -
3.0 TECNICA DE PROCESSAMENTO				
3.1	Técnica de tratamento e transporte			R\$ 3.343.000,00
	Sistemas de transporte, agregados	1 global	R\$ 1.156.000,00	Sem NIR [Infravermelho próximo]
	Sistemas de transporte, outros	1 global	R\$ 58.000,00	Sem NIR
	Instalações de utilização específica, agregados	1 global	R\$ 2.129.000,00	Sem NIR
	Instalações de utilização específica, outros	1 global	R\$ -	Sem NIR
3.2	Drenagem mecânica dos resíduos de fermentação			R\$ -
	Instalações de utilização específica	1 global	R\$ -	R\$ -
3.3	Instalações de guias			R\$ -
	Sistemas de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
3.4	Técnica de ventilação			R\$ 70.000,00
	Equipamento de técnica de ventilação	1 global	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
	Subtotal 3.0 - Técnica de processos			R\$ 3.413.000,00
4.0	TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS			
	Prédio/Instalações técnicas		R\$ -	
	Usina de cogeração módulo 650 kWel	1 unidade	R\$ -	
	Subtotal 4.0 - Tratamento e aproveitamento de biogás		R\$ -	
5.0	ELETROTÉCNICA			
	Prédio/Instalações técnicas		R\$ 310.000,00	
	Instalações de corrente de alta tensão	1 global	R\$ 310.000,00	Descontado um transformador etc. [-250.000 R\$]
	Subtotal 5.0 - Eletrotécnica		R\$ 310.000,00	
	Total das despesas de construção civil		R\$ 10.808.000,00	
6.0	DESPESAS ADICIONAIS/ IMPREVISTAS			
	11 Despesas de construção adicionais (serviços de engenharia e perícia, despesas de alvarás) aprox. 5% das despesas de construção	1 global	R\$ 540.000,00	R\$ 540.000,00
	Subtotal 6.0 - Despesas adicionais/ imprevistas		R\$ 540.000,00	
7.0	TÉCNICA MÓVEL			
	Carregadeiras de rodas, escavadeiras, empilhadeiras	1 global	R\$ 650.000,00	R\$ 650.000,00 sem revolvedor de leiras
	Subtotal 7.0 - Técnica móvel		R\$ 650.000,00	
	Total			R\$ 11.998.000,00

Tabela 14: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de tratamento - Etapa de expansão 1 [segregação manual com aproveitamento de matéria-prima]

		FLUXO: 50.000 t/a		
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a				
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO	
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO
CUSTOS FIXOS DE CAPITAL				
		Investimento	Fator de anuidade	
Taxa de juros p = 8,2%				
Técnica de construção	25 a	R\$ 7.085.000,00	0,0953	675.090 R\$/a 13,50 R\$/t
Biodigestor	25 a	R\$ -	0,0953	0 R\$/a 0,00 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (sistema de transporte, drenagem, técnica de ventilação)	13 a	R\$ 3.723.000,00	0,1309	487.200 R\$/a 9,74 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (tratamento e aplicação de biogás)	10 a	R\$ -	0,1504	0 R\$/a 0,00 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	5 a	R\$ 650.000,00	0,2518	163.656 R\$/a 3,27 R\$/t
Despesas adicionais	25 a	R\$ 540.000,00	0,0953	51.454 R\$/a 1,03 R\$/t
Total Custos fixos de capital		R\$ 11.998.000,00		1.377.399 R\$/a 27,55 R\$/t
CUSTOS DE RH				
Gestão operacional		1 profissional/a	R\$ 189.120,00	189.120,00 R\$/a 3,78 R\$/t
Engenheiro		0 profissional/a	R\$ 151.296,00	0 R\$/a 0,00 R\$/t
Secretaria		0 profissional/a	R\$ -	0 R\$/a 0,00 R\$/t

FLUXO: 50.000 t/a						
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a						
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		ESPECÍFICO	
			ABSOLUTO			
Administração/Contabilidade	0	profissional/a	R\$ 66.192,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Pesagem	1	profissional/a	R\$ 56.736,00	56.736 R\$/a	1,13 R\$/t	
Controle de entrada	2	profissional/a	R\$ 37.824,00	75.648 R\$/a	1,51 R\$/t	
Galpão de recepção (grua)	1	profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824 R\$/a	0,76 R\$/t	
Tratamento mecânico (serralheiro, eletricista)	3	profissional/a	R\$ 56.736,00	170.208 R\$/a	3,40 R\$/t	
Classificador	6	profissionais/a	R\$ 18.912,00	113.472 R\$/a	2,27 R\$/t	
Maquinista	1	profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824 R\$/a	0,76 R\$/t	
Biodigestor/Compostagem	0	profissional/a	R\$ 37.824,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Metanização e usina de cogeração	0	profissional/a	R\$ 56.736,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	não necessário
Limpeza	2	profissional/a	R\$ 18.912,00	37.824 R\$/a	0,76 R\$/t	
Estagiários etc.	0	profissional/a	R\$ 9.456,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Total Despesas de Recursos Humanos	17	profissionais/a		718.656,00 R\$/a	14,37 R\$/t	
CUSTOS VARIÁVEIS E FIXOS						
ENERGIA						
Consumo de energia elétrica	33	kWh/d	0,45 R\$/kWh	746.325,00 R\$/a	14,93 R\$/t	Dados ANEEL: Despesas de luz "Residencial" 0,44436 R\$/kWh para 08/2015 a 08/2016

FLUXO: 50.000 t/a						
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a						
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO			
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO		
ÁGUA/ESGOTO						
Água potável	50 m ³	4,50 R\$/m ³	225 R\$/a	0,00 R\$/t	10% antes da fermentação [500 m ³]	
INSUMOS						
Combustíveis/lubrificantes	1,85 l/t	3,00 R\$/l	277.200,00 R\$/a	5,54 R\$/t		
Material de escritório, roupas de trabalho, materiais de consumo	200,00 R\$/profissional	17,0 profissionais/a	3.400,00 R\$/a	0,07 R\$/t		
GESTÃO DA INSTALAÇÃO						
Acompanhamento analítico	100,00 R\$/mês		1.200,00 R\$/a	0,02 R\$/t	100,00 R\$/mês ao invés de 500,00 R\$/mês	
Limpeza da instalação		0,50 R\$/t	25.000 R\$/a	0,50 R\$/t		
CONSERTOS/MANUTENÇÃO		Método				
Prédio	R\$ 7.085.000,00	0,50%	35.425,00 R\$/a	0,71 R\$/t		
Engenharia mecânica fixa	R\$ 3.723.000,00	5,00%	186.150,00 R\$/a	3,72 R\$/t		
Engenharia mecânica móvel	R\$ 650.000,00	3,75%	24.375 R\$/a	0,49 R\$/t	Somente 50% da fermentação	
SEGUROS						
Total dos custos variáveis e fixos			1.310.758,00 R\$/a	26,22 R\$/t		
Total dos custos de tratamento			3.406.813,00 R\$/a	68,14 R\$/t		

Tabela 15: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos totais do tratamento - Etapa de expansão 1 [segregação manual com aproveitamento de matéria-prima]

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS S/RENDIMENTOS ANUAIS	CUSTOS ANUAIS	Volume antigo	Volume novo	Volume economizado
CUSTOS DE TRATAMENTO									
Tratamento biológico	Custos de tratamento		50.000 t/a		68,14 R\$/t	3.406.813,00 R\$/a			
CUSTOS DE ELIMINAÇÃO									
Impurezas para eliminação	Deposição em aterro	0,0%	0 t/a	incl.	150,00 R\$/t	0 R\$/a	75.000	67.669	10%
Produtos residuais para aterro	Deposição em aterro	90,0%	45.000 t/a	incl.	140,00 R\$/t	6.300.000 R\$/a	0,6	0,67	
Resíduo fermentado líquido	Tanque de estabilização	0,0%	0 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a	84,00 R\$/m³		
Perda de água	-	0,0%	0 t/a	-	0,00 R\$/t	0 R\$/a			
RENDIMENTOS									
Volume economizado aterro (pré-tratamento)	Densidade de instalação 0,7 t/m³ ao invés de 0,6 t/m³	9,8%	7.331 m³/a	incl.	-84,00 R\$/m³	-615.789,00 R\$/a			
Metais ferrosos	reciclagem de materiais	1,2%	600 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-300.000,00 R\$/a			
Materiais não-ferrosos	reciclagem de materiais	1,8%	900 t/a	incl.	-1.000,00 R\$/t	-900.000 R\$/a			
Fração de papel e papelão	reciclagem de materiais	4,4%	2.200 t/a	incl.	-300,00 R\$/t	-660.000 R\$/a			
Fração de plástico (PVC)	reciclagem de materiais	2,0%	1.000 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-500.000 R\$/a			
Fração de PET	reciclagem de materiais	0,6%	300 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-150.000 R\$/a			

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS S/RENDIMENTOS ANUAIS
Fração leve (EBS)	reciclagem de materiais	0,0%	0 t/a	incl.	0,00 R\$/t 0 R\$/a
Biogás**	utilização energética	0,0%	0 t/a	-	-738,78 R\$/t 0 R\$/a
Custos totais de tratamento		50.000 t/a		131,62 R\$/d	6.581.024 R\$/a

* Preço misto

** Rendimentos biogás: 0,45 R\$/kWhel; sem rendimento para calor

Tabela 16: Demonstrativos adicionais

VEÍCULOS	g/kWh	kW	h/a	kg/a	kg/l	l/a	Mg/a	l/Mg
Carregadeira de rodas pequena	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
Revolvedor de leiras	0	250	1.700	-	0,67	-	50.000	0,00
Escavadeira	125	125	1.700	26.563	0,84	32.000	50.000	0,64
Empilhadeira	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
								1,68
						+10% lubrificantes		0,17
								1,85

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Pré-triturador/Rasga-sacos	400	1.700	680.000
Peneira rotativa	30	1.700	51.000
Ventilador de separação	100	1.700	170.000
Separador de metais ferrosos	10	1.700	17.000

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Separador de metais não-ferrosos	10	1.700	17.000
Separador infravermelho		1.700	-
Enfardadora	150	1.700	255.000
Compressor	55	1.700	93.500
Técnica de transporte do galpão de recepção	100	1.700	170.000
Silo biológico (2)		1.333	-
Rosca helicoidal (2)		1.333	-
Agitador do biodigestor 2			1.333
Bomba de saída do biodigestor 2			1.333
Técnica de medição do biodigestor 2			1.333
Prensa extrusora		1.700	-
Bombas para o líquido residual fermentado		1.333	-
Tratamento e utilização de gás		8.200	-
Controle etc.	25	8.200	205.000
Trabalho kWh/a	880		1.658.500
Consumo específico kWh/t			33

BIOGÁS	
3.075	t/a
1,30 kg/m ³	Densidade
2.365.385	m ³ /a
57%	CH ₄
1.348.269	m ³ CH ₄ /a
10	kWh/m ³ CH ₄

BIOGÁS	
13.482.692	kWh/a [Potência térmica nominal]
ENERGIA ELÉTRICA	
40%	Rendimento elétrico
5.393.077	kWh energia elétrica/a [bruta]
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
5.048.314	kWh energia elétrica/a [líquida]
R\$ 0,450	R\$/kWh Venda para AWZ NMS
R\$ 2.271.741,31	R\$/a Rendimentos provenientes de energia elétrica
CALOR	
42%	Rendimento elétrico
5.662.731	kWh calor/a [bruto]
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
3.975.547	kWh calor/a [descontados 25% de consumo próprio]
R\$ -	R\$/kWh [recepção]
R\$ -	R\$/a Rendimentos térmicos
TOTAL	
R\$ 2.271.741,31	R\$/a
R\$ 738,78	R\$/t

ANEXO 2 - ETAPA 2 - UNIDADE DE TRIAGEM DE MATERIAIS RECICLÁVEIS + TRIAGEM DE CDR

Tabela 17: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de investimento - Etapa de expansão 2 [segregação manual com obtenção de CDR (NIR)]

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.0	TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			
1.1	Infraestrutura/Instalações externas			
	Áreas de terrenos	1 global	R\$ 190.000,00	R\$ 190.000,00
	Áreas pavimentadas	1 global	R\$ 471.850,00	R\$ 472.000,00
	Construções civis nas instalações externas	1 global	R\$ 99.000,00	R\$ 99.000,00
	Equipamentos técnicos nas instalações externas	1 global	R\$ 53.500,00	R\$ 54.000,00
1.2	Galpão de recepção e triagem			R\$ 5.691.000,00
1.2.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 5.316.335,00	R\$ 5.316.000,00
1.2.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ 375.000,00	R\$ 375.000,00
1.3	Compostagem			R\$ -
1.3.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	R\$ -
1.3.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ -	R\$ -
1.3.3	Instalações externas	1 global	R\$ -	R\$ -
1.4	Prédio operacional			R\$ 579.000,00
1.4.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 579.022,00	R\$ 579.000,00
1.5	Prédio das prensas			R\$ -
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	R\$ -
1.6	Contêiner da usina de cogeração			R\$ -
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	R\$ -
1.7	Reservatório do resto de líquido fermentado e estabilização biológica			R\$ -
1.7.1	Prédio/Construções civis	1 global	R\$ -	R\$ -

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.7.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ -	R\$ -
1.7.3	Instalações externas (tanque de estabilização biológica)	1 global	R\$ -	R\$ -
Subtotal 1.0 - Técnica de construção				R\$ 7.085.000,00
2.0 BIODIGESTOR				
2.1	Alimentação de partículas sólidas	2 unidade	R\$ -	R\$ -
2.2	Técnica de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
2.3	Biodigestor	2 unidade	R\$ -	R\$ -
Subtotal 2.0 - Biodigestor				R\$ -
3.0 TÉCNICA DE PROCESSOS				
3.1	Técnica de tratamento e transporte			R\$ 6.882.000,00
	Sistemas de transporte, agregados	1 global	R\$ 1.902.000,00	R\$ 1.902.000,00
	Sistemas de transporte, outros	1 global	R\$ 95.000,00	R\$ 95.000,00
	Instalações de utilização específica, agregados	1 global	R\$ 4.885.000,00	R\$ 4.885.000,00
	Instalações de utilização específica, outros	1 global	R\$ -	R\$ -
3.2 Drenagem mecânica dos resíduos de fermentação				R\$ -
	Instalações de utilização específica	1 global	R\$ -	R\$ -
3.3 Instalações de guias				
	Sistemas de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
3.4 Técnica de ventilação				
	Técnica de ventilação			R\$ 70.000,00
	Equipamento de técnica de ventilação	1 global	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00
Subtotal 3.0 - Técnica de processos				R\$ 6.952.000,00

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
4.0	TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS			
	Prédio/Instalações técnicas		R\$ -	
	Usina de cogeração módulo 650 kWel	1 unidade	R\$ -	
	Subtotal 4.0 - Tratamento e aproveitamento de biogás		R\$ -	
5.0	ELETROTÉCNICA			
	Prédio-Instalações técnicas		R\$ 310.000,00	
	Instalações de alta tensão	1 global	R\$ 310.000,00	Descontado um transformador etc. [-250.000 R\$]
	Subtotal 5.0 - Eletrotécnica		R\$ 310.000,00	
	Total das despesas de construção civil		R\$ 14.347.000,00	
6.0	DESPESAS ADICIONAIS/ IMPREVISTAS			
	Despesas de construção adicionais (serviços de engenharia e perícia, despesas de alvarás) approx. 5% das despesas de construção	1 global	R\$ 720.000,00	R\$ 720.000,00
	Subtotal 6.0 - Despesas adicionais/ imprevistas		R\$ 720.000,00	
7.0	TÉCNICA MÓVEL			
	Carregadeiras de rodas, escavadeiras, empilhadeiras	1 global	R\$ 650.000,00	R\$ 650.000,00 sem revolvedor de leiras
	Subtotal 7.0 - Técnica móvel		R\$ 650.000,00	
	Total			R\$ 15.717.000,00

Tabela 18: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de tratamento - Etapa de expansão 2 [segregação manual + obtenção de CDR (NIR)]

		FLUXO: 50.000 t/a			
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a					
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO	CUSTOS DE TRATAMENTO		
			TAXA DE JUROS 8,2%	ABSOLUTO ESPECÍFICO	
CUSTOS FIXOS DE CAPITAL					
		Investimento	Fator de anuidade		
Taxa de juros p = 8,2%					
Técnica de construção	25 a	R\$ 7.085.000,00	0,0953	675.090 R\$/a	13,50 R\$/t
Biodigestor	25 a	R\$ -	0,0953	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (sistema de transporte, drenagem, técnica de ventilação)	13 a	R\$ 7.262.000,00	0,1309	950.322,00 R\$/a	19,01 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (tratamento e aplicação de biogás)	10 a	R\$ -	0,1504	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	5 a	R\$ 650.000,00	0,2518	163.656 R\$/a	3,27 R\$/t
Despesas adicionais	25 a	R\$ 720.000,00	0,0953	68.605 R\$/a	1,37 R\$/t
Total Custos fixos de capital		R\$ 15.717.000,00		1.857.672,00 R\$/a	37,15 R\$/t
CUSTOS DE RECURSOS HUMANOS					
Gestão operacional		1 profissionais/a	R\$ 189.120,00	189.120,00 R\$/a	3,78 R\$/t
Engenheiro		0 profissionais/a	R\$ 151.296,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Secretaria		0 profissionais/a	R\$ -	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Administração/Contabilidade		0 profissionais/a	R\$ 66.192,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Pesagem		1 profissionais/a	R\$ 56.736,00	56.736 R\$/a	1,13 R\$/t
Controle de entrada		2 profissionais/a	R\$ 37.824,00	75.648 R\$/a	1,51 R\$/d
Galpão de recepção (grua)		1 profissionais/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t

FLUXO: 50.000 t/a						
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a						
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO			
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO	ABSOLUTO	ESPECÍFICO
Tratamento mecânico (serralheiro, electricista)	3	profissionais/a	R\$ 56.736,00	170.208,00 R\$/a	3,40 R\$/t	
Classificador	6	profissionais/a	R\$ 18.912,00	113.472,00 R\$/a	2,27 R\$/t	
Maquinista	1	profissionais/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Biodigestor/Compostagem	0	profissionais/a	R\$ 37.824,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Metanização e usina de cogeração	0	profissionais/a	R\$ 56.736,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Limpeza	2	profissionais/a	R\$ 18.912,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Estagiários etc.	0	profissionais/a	R\$ 9.456,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Total Despesas de RH	17	profissionais/a		718.656,00 R\$/a	14,37 R\$/t	
CUSTOS VARIÁVEIS E FIXOS						
ENERGIA						
Consumo de energia elétrica	35	kWh/t	0,45 R\$/kWh	784.575,00 R\$/a	15,69 R\$/t	Dados ANEEL: Despesas de luz "Residencial" 0,44436 R\$/kWh para 08/2015 a 08/2016
ÁGUA/ESGOTO						
Água potável	50	m³	4,50 R\$/m³	225 R\$/a	0,00 R\$/t	10% da fermentação
INSUMOS						
Combustíveis/Lubrificantes	1,85	l/t	3,00 R\$/l	277.200 R\$/a	5,54 R\$/t	
Material de escritório, roupas de trabalho, materiais de consumo	200,00	R\$/profissional	17,0 profissionais/a	3.400 R\$/a	0,07 R\$/t	

FLUXO: 50.000 t/a					
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO [LÍQUIDO], FLUXO: 50.000 Mg/a					
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO	
GESTÃO DA INSTALAÇÃO					
Acompanhamento analítico	100,00 R\$/mês		1.200,00 R\$/a	0,02 R\$/t	100 R\$/mês ao invés de 500 R\$/mês
Limpeza da instalação		0,50 R\$/t	25.000 R\$/a	0,50 R\$/t	
CONCERTOS/ MANUTENÇÃO					
Prédio	Investimento	Método			
Engenharia mecânica fixa	R\$ 7.085.000,00	0,50%	35.425,00 R\$/a	0,71 R\$/t	
Engenharia mecânica móvel	R\$ 7.262.000,00	5,00%	363.100,00 R\$/a	7,26 R\$/t	
	R\$ 650.000,00	4,50%	29.250,00 R\$/a	0,59 R\$/t	ao invés de 7,5% fermentação
SEGUROS	R\$ 14.997.000,00	0,10%	14.997,00 R\$/a	0,30 R\$/t	
Total dos custos variáveis e fixos	1.534.372,00 R\$/a	30,69 R\$/t			
Total dos custos de tratamento	4.110.700,00 R\$/a	82,21 R\$/t			

Tabela 19: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos totais do tratamento - Etapa de expansão 2 (segregação manual + obtenção de CDR [NIR])

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/ UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS S/ RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS
CUSTOS DE TRATAMENTO						
Tratamento biológico	Custos de tratamento		50.000 t/a	82,21 R\$/t		4.110.700,00 R\$/a

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS S/ RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS	Densidade antiga	Densidade nova	Volume antigo	Volume novo	Volume economizado
CUSTOS DE ELIMINAÇÃO											
Impurezas para eliminação	Deposição em aterro	0,0%	0 t/a	incl.	150,00 R\$/t	0 R\$/a	0,6	0,71	68.333	57.796	15%
Produtos residuais para aterro	Deposição em aterro	82,0%	41.000 t/a	incl.	140,00 R\$/t	5.740.000 R\$/a	0,6	0,71	68.333	57.796	15%
Resíduo fermentado líquido	Tanque de estabilização	0,0%	0 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a			84,00 R\$/m ³		
Perda de água	-	0,0%	0 t/a	-	0,00 R\$/d	0 R\$/a					
RENDIMENTOS											
Volume economizado aterro (pré-tratamento)	Densidade de instalação 0,7 t/m ³ ao invés de 0,6 t/m ³	15,4%	10.537 m ³ /a		-84,00 R\$/m ³	-885.126 R\$/a					
Metais ferrosos	reciclagem de materiais	1,2%	600 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-300.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2013]
Metais não-ferrosos	reciclagem de materiais	1,8%	900 t/a	incl.	-1.000,00 R\$/t	-900.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2014]
Fração de papel e papelão	reciclagem de materiais	4,4%	2.200 t/a	incl.	-300,00 R\$/t	-660.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2015]
Fração de plástico (PVC)	reciclagem de materiais	2,0%	1.000 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-500.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2016]
Fração de PET	reciclagem de materiais	0,6%	300 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-150.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2017]
Fração leve (EBS)	reciclagem de materiais	8,0%	4.000 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a					

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS S/ RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS
Biogás**	utilização energética	0,0%	0 t/a	-	-738,78 R\$/d	0 R\$/a
Custos totais de tratamento			50.000 t/a		129,11 R\$/d	6.455.574 R\$/a

* Preço misto

** Rendimentos biogás: 0,45 R\$/kWh_{ef}; sem rendimento para calor

Tabela 20: Demonstrativos adicionais

VEÍCULOS	g/kWh	kW	h/a	kg/a	l/a	Mg/a	l/Mg
Carregadeira de rodas pequena	100	100	1.700	17.000	26.000	50.000	0,52
Revolvedor de leiras	0	250	1.700	-	-	50.000	0,00
Escavadeira	125	125	1.700	26.563	32.000	50.000	0,64
Empilhadeira	100	100	1.700	17.000	26.000	50.000	0,52
							1,68
					+10% lubrificantes		0,17
							1,85

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Pré-triturador/ Rasga-sacos	400	1.700	680.000
Peneira rotativa	30	1.700	51.000
Ventilador de separação	100	1.700	170.000

AGREGADO	kw	Bh	TRABALHO kWh/a
Separador de metais ferrosos	10	1.700	17.000
Separador de metais não-ferrosos	10	1.700	17.000
Separador infravermelho	50	1.700	85.000
Enfardadora	150	1.700	255.000
Compressor	55	1.700	93.500
Técnica de transporte do galpão de recepção	100	1.700	170.000
Silo biológico (2)		1.333	-
Rosca helicoidal (2)		1.333	-
Agitador do biodigestor 2			1.333
Bomba de saída do biodigestor 2			1.333
Técnica de medição do biodigestor 2			1.333
Prensa extrusora		1.700	-
Bombas para o líquido residual fermentado		1.333	-
Tratamento e utilização de gás		8.200	-
Controle etc.	25	8.200	205.000
Trabalho kWh/a		930	1.743.500
Consumo específico kWh/t			35

BIOGÁS	
3.075	t/a
1,30 kg/m ³	Densidade
2.365.385	m ³ /a
57%	CH ₄

BIOGÁS	
1.348.269	m ³ CH ₄ /a
10	kWh/m ³ CH ₄
13.482.692	kWh/a
	(Potência térmica nominal)
ENERGIA ELÉTRICA	
40%	Rendimento elétrico
5.393.077	kWh energia elétrica/a (bruta)
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
5.048.314	kWh energia elétrica/a (líquida)
R\$ 0,450	R\$/kWh Venda para AWZ NMS
R\$ 2.271.741,31	R\$/a Rendimentos provenientes de energia elétrica
CALOR	
42%	Rendimento elétrico
5.662.731	kWh calor/a (bruto)
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
3.975.547	kWh calor/a (descontados 25% de consumo próprio)
R\$ -	R\$/kWh (recepção)
R\$ -	R\$/a Rendimentos de calor
Total	
R\$ 2.271.741,31	R\$/a
R\$ 738,78	R\$/t

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.5	Prédio das prensas			
			R\$ -	Demanda de 12.130 m³/ciclo 8.335 m³/ ciclo 5.351 m³/ ciclo
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	100% 74% 44%
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	Percentual de composto
1.6	Contêiner da usina de cogeração		R\$ -	
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ -	
1.7	Reservatório e estabilização biológica do líquido fermentado residual		R\$ -	
1.7.1	Prédio/Construções civis	1 global	R\$ -	
1.7.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ -	
1.7.3	Instalações externas (tanque de estabilização biológica)	1 global	R\$ -	
Subtotal 1.0 - Técnica de construção				R\$ 12.324.000,00
2.0	BIODIGESTOR			
2.1	Alimentação de partículas sólidas	2 unidades	R\$ -	
2.2	Técnica de transporte	1 global	R\$ -	
2.3	Biodigestor	2 unidades	R\$ -	
Subtotal 2.0 - Biodigestor				
3.0	TÉCNICA DE PROCESSOS			
3.1	Técnica de tratamento e transporte			R\$ 6.882.000,00

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
	Sistemas de transporte, agregados	1 global	R\$ 1.902.000,00	R\$ 1.902.000,00
	Sistemas de transporte, outros	1 global	R\$ 95.000,00	R\$ 95.000,00
	Instalações de utilização específica, agregados	1 global	R\$ 4.885.000,00	R\$ 4.885.000,00
	Instalações de utilização específica, outros	1 global	R\$ -	R\$ -
3.2	Drenagem mecânica dos resíduos de fermentação			
	Instalações de utilização específica	1 global	R\$ -	R\$ -
3.3	Instalações de gruas			
	Sistemas de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
3.4	Técnica de ventilação			
	Equipamento de técnica de ventilação	1 global	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00
	Subtotal 3.0 - Técnica de processos			R\$ 6.952.000,00
4.0	TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ -
	Usina de cogeração módulo 650 kWel	1 unidade	R\$ -	R\$ -
	Subtotal 4.0 - Tratamento e aproveitamento de biogás			R\$ -

Anexo 3 - Etapa 3 - Unidade de triagem materiais recicláveis
+ compostagem para tratamento da matéria orgânica

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
5.0	ELETROTÉCNICA			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ 310.000,00
	Instalações de alta tensão	1 global	R\$ 310.000,00	R\$ 310.000,00
				Descontado transformador etc. [-250.000 R\$]
	Subtotal 5.0 - Eletrotécnica			R\$ 310.000,00
	Total das despesas de construção civil			R\$ 19.586.000,00
6.0	DESPESAS ADICIONAIS/ IMPREVISTAS			
	Despesas de construção adicionais (serviços de engenharia e perícia, despesas de alvarás) aprox. 5% das despesas de construção	1 global	R\$ 980.000,00	R\$ 980.000,00
	Subtotal 6.0 - Despesas adicionais/ imprevistas			R\$ 980.000,00
7.0	TÉCNICA MÓVEL			
	Carregadeiras de rodas, revolvedor de leiras, escavadeiras, empilhadeiras	1 global	R\$ 1.950.000,00	R\$ 1.950.000,00
	Subtotal 7.0 - Técnica móvel			R\$ 1.950.000,00
	Total			R\$ 22.516.000,00

Tabela 22: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de tratamento - Etapa de expansão 3 (com NIR e compostagem da matéria orgânica)

		FLUXO: 50.000 t/a			
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a					
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO	CUSTOS DE TRATAMENTO		
			TAXA DE JUROS 8,2%	ABSOLUTO ESPECÍFICO	
CUSTOS FIXOS DE CAPITAL					
		Investimento	Fator de anuidade		
Taxa de juros p = 8,2%					
Técnica de construção	25 a	R\$ 12.324.000,00	0,0953	1.174.284 R\$/a	23,49 R\$/t
Biodigestor	25 a	R\$ -	0,0953	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (sistema de transporte, drenagem, técnica de ventilação)	13 a	R\$ 7.262.000,00	0,1309	950.322,00 R\$/a	19,01 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (tratamento e aplicação de biogás)	10 a	R\$ -	0,1504	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	5 a	R\$ 1.950.000,00	0,2518	490.967 R\$/a	9,82 R\$/t
Despesas adicionais	25 a	R\$ 980.000,00	0,0953	93.379 R\$/a	1,87 R\$/t
Total Custos fixos de capital		R\$ 22.516.000,00		2.708.952,00 R\$/a	54,18 R\$/t
CUSTOS DE RECURSOS HUMANOS					
Gestão operacional		1 profissional/a	R\$ 189.120,00	189.120 R\$/a	3,78 R\$/t
Engenheiro		0 profissional/a	R\$ 151.296,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Secretaria		0 profissional/a	R\$ -	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Administração/Contabilidade		0 profissional/a	R\$ 66.192,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Pesagem		1 profissional/a	R\$ 56.736,00	56.736,00 R\$/a	1,13 R\$/t
Controle de entrada		2 profissionais/a	R\$ 37.824,00	75.648 R\$/a	1,51 R\$/t

FLUXO: 50.000 t/a						
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a						
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		ESPECÍFICO	
			ABSOLUTO			
Galpão de recepção (grua)	1	profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Tratamento mecânico (serralheiro, eletricitista)	3	profissionais/a	R\$ 56.736,00	170.208,00 R\$/a	3,40 R\$/t	
Classificador	6	profissionais/a	R\$ 18.912,00	113.472,00 R\$/a	2,27 R\$/t	
Maquinista	1	profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Biodigestor/Compostagem	1	profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Metanização e usina de cogeração	0	profissional/a	R\$ 56.736,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	0,5 mão de obra (sem fermentação)* fator adicional de composto
Limpeza	2	profissionais/a	R\$ 18.912,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Estagiários etc.	0	profissional/a	R\$ 9.456,00	0 R\$/a	0,00 R\$/d	
Total Despesas de Recursos Humanos	18	profissionais/a		756.480 R\$/a	15,13 R\$/t	
CUSTOS VARIÁVEIS E FIXOS						
ENERGIA						
Consumo de energia elétrica	35	kWh/d	0,45 R\$/kWh	784.575,00 R\$/a	15,69 R\$/t	Dados ANEEL: Despesas de luz "Residencial" 0,44436 R\$/kWh para 08/2015 a 08/2016
ÁGUA/ESGOTO						
Água potável	50	m³	4,50 R\$/m³	225 R\$/a	0,00 R\$/t	10% da fermentação
INSUMOS						
Combustíveis/ lubrificantes	3,96	l/t	3,00 R\$/l	594.000 R\$/a	11,88 R\$/t	

FLUXO: 50.000 t/a				
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a				
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO	
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO
Material de escritório, roupas de trabalho, materiais de consumo	200,00 R\$/profissional	18,0 profissionais/a	3.600 R\$/a	0,07 R\$/t
GESTÃO DA INSTALAÇÃO				2/3 de fermentação [500 R\$]
Acompanhamento analítico	100,00 R\$/mês		4.000 R\$/a	0,08 R\$/t
Limpeza da instalação	0,50 R\$/t		25.000 R\$/a	0,50 R\$/t
CONCERTOS/ MANUTENÇÃO	Investimento	Alíquota		
Prédio	R\$ 12.324.000,00	0,50%	61.620,00 R\$/a	1,23 R\$/t
Maquinário técnico fixo	R\$ 7.262.000,00	5,00%	363.100,00 R\$/a	7,26 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	R\$ 1.950.000,00	5,50%	107.250,00 R\$/a	2,15 R\$/t
SEGUROS	R\$ 21.536.000,00	0,10%	21.536,00 R\$/a	0,43 R\$/t
Total dos custos variáveis e fixos			1.964.906,00 R\$/a	39,30 R\$/t
Total dos custos de tratamento			5.430.338,00 R\$/a	108,61 R\$/t

Tabela 23: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de investimento - Etapa de expansão 3 (com NIR e compostagem da matéria orgânica)

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/ UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/ RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS
CUSTOS DE TRATAMENTO						
Tratamento biológico	Custos de tratamento		50.000 t/a		108,61 R\$/t	5.430.338 R\$/a

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS	Densidade antiga	Densidade nova	Volume antigo	Volume novo	Volume economizado
Custos de eliminação											
Impurezas para eliminação	Deposição em aterro	0,0%	0 t/a	incl.	150,00 R\$/t	0 R\$/a					
Produtos residuais para aterro	Deposição em aterro	65,6%	32.800 t/a	incl.	140,00 R\$/t	4.592.000 R\$/a	0,6	0,79	54.667	41.457	24%
Resíduo fermentado líquido	Tanque de estabilização	0,0%	0 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a			84,00 R\$/m³		
Perda de água	-	16,4%	8.200 t/a	-	0,00 R\$/t	0 R\$/a					
Rendimentos											
Volume economizado aterro (pré-tratamento)	Densidade de instalação 0,8 t/m³ ao invés de 0,6 t/m³	24,2%	13.210 m³/a	incl.	-84,00 R\$/m³	-1.109.644 R\$/a					
Metais ferrosos	reciclagem de materiais	1,2%	600 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-300.000,00 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2013]
Materiais não-ferrosos	reciclagem de materiais	1,8%	900 t/a	incl.	-1.000,00 R\$/t	-900.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2014]
Fração de papel e papelão	reciclagem de materiais	4,4%	2.200 t/a	incl.	-300,00 R\$/t	-660.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2015]
Fração de plástico (PVC)	reciclagem de materiais	2,0%	1.000 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-500.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2016]
Fração de PET	reciclagem de materiais	0,6%	300 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-150.000 R\$/a					Rendimentos: ver lista de Timbo [08/2017]
Fração leve (EBS)	reciclagem de materiais	8,0%	4.000 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a					
Biogás**	utilização energética	0,0%	0 t/a	-	-738,78 R\$/t	0 R\$/a					

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS
Custos totais de tratamento			50.000 t/a		128,05 R\$/t	6.402.694 R\$/a

* Preço misto

** Rendimentos biogás: 0,45 R\$/kWh_{ef}; sem rendimento para calor

Tabela 24: Demonstrativos adicionais

VEÍCULOS	g/kWh	kW	h/a	kg/a	l/a	Mg/a	l/Mg
Carregadeira de rodas pequena	100	100	1.700	17.000	26.000	50.000	0,52
Revolvedor de leiras	150	250	1.700	63.750	96.000	50.000	1,92
Escavadeira	125	125	1.700	26.563	32.000	50.000	0,64
Empilhadeira	100	100	1.700	17.000	26.000	50.000	0,52
							3,60
					+10% lubrificantes		0,36
							3,96

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Pré-triturador/Rasga-sacos	400	1.700	680.000
Peneira rotativa	30	1.700	51.000
Ventilador de separação	100	1.700	170.000
Separador de materiais ferrosos	10	1.700	17.000
Separador de metais não-ferrosos	10	1.700	17.000
Separador infravermelho	50	1.700	85.000

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Enfardadora	150	1.700	255.000
Compressor	55	1.700	93.500
Técnica de transporte do galpão de recepção	100	1.700	170.000
Silo biológico (2)		1.333	-
Rosca helicoidal (2)		1.333	-
Agitador do biodigestor 2		1.333	-
Bomba de saída do biodigestor 2		1.333	-
Técnica de medição do biodigestor 2		1.333	-
Prensa extrusora		1.700	-
Bombas para o líquido residual fermentado		1.333	-
Tratamento e utilização de gás		8.200	-
Controle etc.	25	8.200	205.000
Trabalho kWh/a	930		1.743.500
Consumo específico kWh/t			35
BIOGÁS			
3.075	t/a		
1,30 kg/m ³	Densidade		
2.365.385	m ³ /a		
57%	CH ₄		
1.348.269	m ³ CH ₄ /a		
10	kWh/m ³ CH ₄		
13.482.692	kWh/a		[Potência térmica nominal]

BIOGÁS	
ENERGIA ELÉTRICA	
40%	Rendimento elétrico
5.393.077	kWh energia elétrica/a [bruta]
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
5.048.314	kWh energia elétrica/a [líquida]
R\$ 0,450	R\$/kWh Venda para AWZ NMS
R\$ 2.271.741,31	R\$/a Rendimentos provenientes de energia elétrica
CALOR	
42%	Rendimento elétrico
5.662.731	kWh calor/a [bruto]
8.200 h/a	Período de operação da usina de cogeração
94%	Período de operação da usina de cogeração
3.975.547	kWh calor/a [descontados 25% de consumo próprio]
R\$ -	R\$/kWh [recepção]
R\$ -	R\$/a Rendimentos de calor
Total	
R\$ 2.271.741,31	R\$/a
R\$ 738,78	R\$/t

ANEXO 4 - ETAPA 4 - UNIDADE DE TRIAGEM MATERIAIS RECICLÁVEIS + REATOR DE METANIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA + COMPOSTAGEM DIRETA DO LODO DIGERIDO

Tabela 24: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de investimento - Etapa de expansão 4 (com fermentação e sem drenagem)

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
1.0	TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			
1.1	Infraestrutura/Instalações externas			R\$ 815.000,00
	Áreas de terrenos	1 global	R\$ 190.000,00	R\$ 190.000,00
	Áreas pavimentadas	1 global	R\$ 471.850,00	R\$ 472.000,00
	Construções civis nas instalações externas	1 global	R\$ 99.000,00	R\$ 99.000,00
	Equipamentos técnicos nas instalações externas	1 global	R\$ 53.500,00	R\$ 54.000,00
1.2	Galpão de recepção e triagem			R\$ 5.691.000,00
1.2.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 5.316.335,00	R\$ 5.316.000,00
1.2.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ 375.000,00	R\$ 375.000,00
1.3	Composto		74%	R\$ 3.875.000,00
1.3.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 2.454.443,00	R\$ 2.454.000,00
1.3.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ 14.430,00	R\$ 14.000,00
1.3.3	Instalações externas	1 global	R\$ 1.407.406,00	R\$ 1.407.000,00
1.4	Prédio operacional			R\$ 579.000,00
1.4.1	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 579.022,00	R\$ 579.000,00
			788 t/sem. composto	729 t/sem. 535 t/sem.
			41.000 t/a	37.925 t/a
			Volume do composto	27.825 t/a
			788 t/sem. composto	729 t/sem. 535 t/sem.
			Período de compostagem	6 sem.
			10 sem. compostagem	8 sem.
			Volume de composto por ciclo	5.835 t/ciclo
			7.885 t/ciclo	3.211 t/ciclo
			Densidade	0,65
				0,70
				0,60

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
3.0	TÉCNICA DE PROCESSOS			
3.1	Técnica de tratamento e transporte			R\$ 6.882.000,00
	Sistemas de transporte, agregados	1 global	R\$ 1.902.000,00	R\$ 1.902.000,00
	Sistemas de transporte, outros	1 global	R\$ 95.000,00	R\$ 95.000,00
	Instalações de utilização específica, agregados	1 global	R\$ 4.885.000,00	R\$ 4.885.000,00
	Instalações de utilização específica, outros	1 global	R\$ -	R\$ -
3.2	Drenagem mecânica dos resíduos de fermentação			
	Instalações de utilização específica	1 global	R\$ -	R\$ -
3.3	Instalações de gruas			
	Sistemas de transporte	1 global	R\$ -	R\$ -
3.4	Técnica de ventilação			
	Equipamento de técnica de ventilação	1 global	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00
	Subtotal 3.0 - Técnica de processos			R\$ 6.952.000,00
4.0	TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ 2.600.000,00
	Usina de cogeração módulo 650 kWel	1 unidade	R\$ 2.600.000,00	R\$ 2.600.000,00
	Subtotal 4.0 - Tratamento e aproveitamento de biogás			R\$ 2.600.000,00

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
5.0	ELETROTÉCNICA			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ 560.000,00
	Instalações de alta tensão	1 global	R\$ 560.000,00	R\$ 560.000,00
Subtotal 5.0 - Eletrotécnica				R\$ 560.000,00
Total das despesas de construção civil				R\$ 41.854.000,00
6.0	DESPESAS ADICIONAIS/ IMPREVISTAS			
	Despesas de construção adicionais (serviços de engenharia e perícia, despesas de alvarás) aprox. 5% das despesas de construção	1 global	R\$ 2.090.000,00	R\$ 2.090.000,00
Subtotal 6.0 - Despesas adicionais/ imprevistas				R\$ 2.090.000,00
7.0	TECNOLOGIA MÓVEL			
	Carregadeiras de rodas, revolvedor de leiras, escavadeiras, empilhadeiras	1 global	R\$ 1.950.000,00	R\$ 1.950.000,00
Subtotal 7.0 - Técnica móvel				R\$ 1.950.000,00
Total				R\$ 45.894.000,00

Tabela 25: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos de tratamento - Etapa de expansão 4 (sem fermentação e drenagem)

		FLUXO: 50.000 t/a		
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a				
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO	
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO
CUSTOS FIXOS DE CAPITAL				
	Investimento	Fator de anuidade		
Taxa de juros p = 8,2%				
Técnica de construção	25 a	R\$ 11.050.000,00	0,0953	1.052.892,00 R\$/a 21,06 R\$/t
Biodigestor	25 a	R\$ 20.692.000,00	0,0953	1.971.624,00 R\$/a 39,43 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (sistema de transporte, drenagem, técnica de ventilação)	13 a	R\$ 7.512.000,00	0,1309	983.037,00 R\$/a 19,66 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (tratamento e aplicação de biogás)	10 a	R\$ 2.600.000,00	0,1504	390.979,00 R\$/a 7,82 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	5 a	R\$ 1.950.000,00	0,2518	490.967,00 R\$/a 9,82 R\$/t
Despesas adicionais	25 a	R\$ 2.090.000,00	0,0953	199.144,00 R\$/a 3,98 R\$/t
Total Custos fixos de capital		R\$ 45.894.000,00		5.088.644,00 R\$/a 101,77 R\$/t
CUSTOS DE RECURSOS HUMANOS				
Gestão operacional	1 profissional/a	R\$ 189.120,00		189.120,00 R\$/a 3,78 R\$/t
Engenheiro	0 profissional/a	R\$ 151.296,00		0 R\$/a 0,00 R\$/t
Secretaria	0 profissional/a	R\$ -		0 R\$/a 0,00 R\$/t
Administração/Contabilidade	0 profissional/a	R\$ 66.192,00		0 R\$/a 0,00 R\$/t
Pesagem	1 profissional/a	R\$ 56.736,00		56.736,00 R\$/a 1,13 R\$/t
Controle de entrada	2 profissionais/a	R\$ 37.824,00		75.648,00 R\$/a 1,51 R\$/t

FLUXO: 50.000 t/a						
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a						
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		ESPECÍFICO	
			ABSOLUTO			
Galpão de recepção (grua)	1	1 profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Tratamento mecânico (serralheiro, electricista)	3	3 profissionais/a	R\$ 56.736,00	170.208,00 R\$/a	3,40 R\$/t	
Classificador	6	6 profissionais/a	R\$ 18.912,00	113.472,00 R\$/a	2,27 R\$/t	
Maquinista	1	1 profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Biodigestor/Compostagem	1	1 profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Metanização e usina de cogeração	1	1 profissional/a	R\$ 56.736,00	56.736,00 R\$/a	1,13 R\$/t	
Limpeza	2	2 profissional/a	R\$ 18.912,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Estagiários etc.	0	0 profissional/a	R\$ 9.456,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Total Despesas de Recursos Humanos	19	19 profissionais/a		813.216,00 R\$/a	16,26 R\$/t	
CUSTOS VARIÁVEIS E FIXOS						
ENERGIA						
Consumo de energia elétrica	48	48 kWh/d	0,45 R\$/kWh	1.072.275,00 R\$/a	21,45 R\$/t	Dados ANEEL: Despesas de luz "Residencial" 0,44436 R\$/kWh para 08/2015 a 08/2016
ÁGUA/ESGOTO						
Água potável	500	500 m³	4,50 R\$/m³	2.250 R\$/a	0,05 R\$/t	
INSUMOS						
Combustíveis/ lubrificantes	3,41	3,41 l/d	3,00 R\$/l	511.500 R\$/a	10,23 R\$/t	
Material de escritório, roupas de trabalho, materiais de consumo	200,00	200,00 R\$/profissional	19,0	3.800 R\$/a	0,08 R\$/t	

FLUXO: 50.000 t/a			
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO [LÍQUIDO], FLUXO: 50.000 Mg/a			
CUSTOS OPERACIONAIS	N	CUSTOS DE TRATAMENTO	
		APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	ABSOLUTO ESPECÍFICO
GESTÃO DA INSTALAÇÃO			
Acompanhamento analítico	100,00 R\$/mês	6.000 R\$/a	0,12 R\$/t
Limpeza da instalação	0,50 R\$/d	25.000 R\$/a	0,50 R\$/t
CONSERTOS/ MANUTENÇÃO			
Prédio	Investimento	Alíquota	
	R\$ 31.742.000,00	0,50%	158.710,00 R\$/a 3,17 R\$/t
Engenharia mecânica fixa	R\$ 10.112.000,00	5,00%	505.600,00 R\$/a 10,11 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	R\$ 1.950.000,00	5,00%	97.500,00 R\$/a 1,95 R\$/t
			somente 5% ao invés de 7,5% incl. prensa
SEGUROS	R\$ 43.804.000,00	0,10%	43.804,00 R\$/a 0,88 R\$/t
Total dos custos variáveis e fixos			2.426.439,00 R\$/a 48,53 R\$/t
Total dos custos de tratamento			8.328.299,00 R\$/a 166,57 R\$/t

Tabela 26: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos totais do tratamento - Etapa de expansão 4 [com fermentação e sem drenagem]

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS				
CUSTOS DE TRATAMENTO										
Tratamento biológico	Custos de tratamento		50.000 t/a		166,57 R\$/t	8.328.299 R\$/a				
CUSTOS DE ELIMINAÇÃO										
Impurezas para eliminação	Deposição em aterro	0,0%	0 t/a	incl.	150,00 R\$/t	0 R\$/a				
						Densidade antiga	Densidade nova	Volume antigo	Volume novo	Volume economizado

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS			
Produtos residuais para aterro	Deposição em aterro	60,6%	30.300 t/a	incl.	140,00 R\$/t	4.242.000 R\$/a	0,6	0,95	32.027 37%
Resíduo fermentado líquido	Tanque de estabilização	0,0%	0 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a			84,00 R\$/m ³
Perda de água	-	15,2%	7.600 t/a	-	0,00 R\$/t	0 R\$/a			
RENDIMENTOS									
Volume economizado aterro (pré-tratamento)	Densidade de instalação 0,9 t/m ³ ao invés de 0,6 t/m ³	36,6%	18.473 m ³ /a	incl.	-84,00 R\$/m ³	-1.551.742 R\$/a			
Metais ferrosos	reciclagem de materiais	1,2%	600 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-300.000,00 R\$/a			Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2013)
Materiais não-ferrosos	reciclagem de materiais	1,8%	900 t/a	incl.	-1.000,00 R\$/t	-900.000 R\$/a			Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2014)
Fração de papel e papelão	reciclagem de materiais	4,4%	2.200 t/a	incl.	-300,00 R\$/t	-660.000 R\$/a			Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2015)
Fração de plástico (PVC)	reciclagem de materiais	2,0%	1.000 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-500.000 R\$/a			Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2016)
Fração de PET	reciclagem de materiais	0,6%	300 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-150.000 R\$/a			Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2017)
Fração leve (CDR)	reciclagem de materiais	8,0%	4.000 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0 R\$/a			
Biogás**	utilização energética	6,2%	3.075 t/a	-	-738,78 R\$/t	-2.271.741 R\$/a			
Custos totais de tratamento						124,74 R\$/t			6.236.816,00 R\$/a

* Preço misto

** Rendimentos biogás: 0,45 R\$/kWh_{el}; sem rendimento para calor

Tabela 27: Demonstrativos adicionais

VEÍCULOS	g/kWh	kW	h/a	kg/a	kg/l	l/a	Mg/a	l/Mg
Carregadeira de rodas pequena	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
Revolvedor de leiras	150	250	1.258	47.175	0,67	71.000	50.000	1,42
Escavadeira	125	125	1.700	26.563	0,84	32.000	50.000	0,64
Empilhadeira	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
						+10% lubrificantes		0,31
								3,41

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Pré-triturador/Rasga-sacos	400	1.700	680.000
Peneira rotativa	30	1.700	51.000
Ventilador de separação	100	1.700	170.000
Separador de metais ferrosos	10	1.700	17.000
Separador de metais não-ferrosos	10	1.700	17.000
Separador infravermelho	50	1.700	85.000
Enfardadora	150	1.700	255.000
Compressor	55	1.700	93.500
Técnica de transporte do galpão de recepção	100	1.700	170.000
Silo biológico (2)	100	1.333	133.333
Rosca helicoidal (2)	20	1.333	26.667
Agitador do biodigestor (2)	30	1.333	40.000
Bomba de saída do biodigestor (2)	20	1.333	26.667

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Técnica de medição do biodigestor (2)	2	1.333	2.667
Prensa extrusora		1.700	-
Bombas para o líquido residual fermentado		1.333	-
Tratamento e utilização de gás	50	8.200	410.000
Controle etc.	25	8.200	205.000
Trabalho kWh/a	1.152		2.382.833
Consumo específico kWh/t			48
BIOGÁS			
3.075	t/a		
1,30 kg/m ³	Densidade		
2.365.385	m ³ /a		
57%	CH ₄		
1.348.269	m ³ CH ₄ /a		
10	kWh/m ³ CH ₄		
13.482.692	kWh/a	[Potência térmica nominal]	
ENERGIA ELÉTRICA			
40%			Rendimento elétrico
5.393.077			kWh energia elétrica/a (bruta)
8.200 h/a			Período de operação da usina de cogeração
94%			Período de operação da usina de cogeração
5.048.314			kWh energia elétrica/a (líquida)

BIOGÁS		
R\$ 0,450	R\$/kWh	Venda a AWZ NMS
R\$ 2.271.741,31	R\$/a	Rendimentos provenientes de energia elétrica
CALOR		
42%		Rendimento elétrico
5.662.731		kWh calor/a [bruto]
8.200 h/a		Período de operação da usina de cogeração
94%		Período de operação da usina de cogeração
3.975.547		kWh calor/a (descontados 25% de consumo próprio)
R\$ -	R\$/kWh	[recepção]
R\$ -	R\$/a	Rendimentos de calor
Total		
R\$ 2.271.741,31	R\$/a	
R\$ 738,78	R\$/t	

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)				
1.5	Prédio das prensas			R\$ 50.000,00	Demanda de volume de com-posto	12.130 m³/ciclo	8.335 m³/ciclo	5.351 m³/ciclo
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00	Percentual de composto	100%	74%	44%
1.6	Contêiner da usina de cogeração			R\$ 90.000,00				
	Prédio/Construção civil	1 global	R\$ 90.000,00	R\$ 90.000,00				
1.7	Reservatório e estabilização biológica do líquido fermentado residual			R\$ 4.444.000,00				
1.7.1	Prédio/Construções civis	1 global	R\$ 2.000.000,00	R\$ 2.000.000,00				
1.7.2	Prédio/Instalações técnicas	1 global	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00				
1.7.3	Instalações externas (tanque de estabilização biológica)	1 global	R\$ 2.399.000,00	R\$ 2.399.000,00				
Subtotal 1.0 - Técnica de construção				R\$ 13.980.000,00				
2.0	BIODIGESTOR							
2.1	Alimentação de partículas sólidas	2 unidades	R\$ 1.196.000,00,00	R\$ 2.392.000,00				
2.2	Sistema de transporte	1 global	R\$ 300.000,00	R\$ 300.000,00				
2.3	Biodigestor	2 unidades	R\$ 9.000.000,00	R\$ 18.000.000,00				
Subtotal 2.0 - Biodigestor				R\$ 20.692.000,00				
3.0	TÉCNICA DE PROCESSOS							
3.1	Técnica de tratamento e transporte			R\$ 6.882.000,00				

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
	Sistemas de transporte, agregados	1 global	R\$ 1.902.000,00	R\$ 1.902.000,00
	Sistemas de transporte, outros	1 global	R\$ 95.000,00	R\$ 95.000,00
	Instalações de utilização específica, agregados	1 global	R\$ 4.885.000,00	R\$ 4.885.000,00
	Instalações de utilização específica, outros	1 global	R\$ -	R\$ -
3.2	Drenagem mecânica dos resíduos de fermentação			R\$ 780.000,00
	Instalações de utilização específica	1 global	R\$ 780.000,00	R\$ 780.000,00
3.3	Instalações de gruas			R\$ 75.000,00
	Sistemas de transporte	1 global	R\$ 75.000,00	R\$ 75.000,00
3.4	Técnica de ventilação			R\$ 70.000,00
	Equipamento de técnica de ventilação	1 global	R\$ 70.000,00	R\$ 70.000,00
	Subtotal 3.0 - Técnica de processo			R\$ 7.807.000,00
4.0	TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE BIOGÁS			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ 2.600.000,00
	Usina de cogeração módulo 650 kWel	1 unidades	R\$ 2.600.000,00	R\$ 2.600.000,00
	Subtotal 4.0 - Tratamento e aproveitamento de biogás			R\$ 2.600.000,00
5.0	ELETROTÉCNICA			
	Prédio/Instalações técnicas			R\$ 560.000,00

ITEM	DENOMINAÇÃO	QUANTIDADE APLICADA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (APROXIMADO)
	Instalações de alta tensão	1 global	R\$ 560.000,00	R\$ 560.000,00
	destes, 250.000 R\$ para o transformador			
Subtotal 5.0 - Eletrotécnica				
				R\$ 560.000,00
Total das despesas de construção civil				
				R\$ 45.639.000,00
6.0 DESPESAS ADICIONAIS/ IMPREVISTAS				
	Despesas de construção adicionais (serviços de engenharia e perícia, despesas de alvarás) aprox. 5% das despesas de construção	1 global	R\$ 2.280.000,00	R\$ 2.280.000,00
Subtotal 6.0 - Despesas adicionais/ imprevistas				
				R\$ 2.280.000,00
7.0 TÉCNICA MÓVEL				
	Carregadeiras de rodas, revolvedor de leiras, escavadeiras, empilhadeiras	1 global	R\$ 1.950.000,00	R\$ 1.950.000,00
Subtotal 7.0 - Técnica móvel				
				R\$ 1.950.000,00
Total				
				R\$ 49.869.000,00

FLUXO: 50.000 t/a					
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a					
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO	
CUSTOS FIXOS DE CAPITAL					
	Investimento	Fator de anuidade			
Taxa de juros p = 8,2%					
Técnica de construção	25 a	R\$ 13.980.000,00	0,0953	1.332.075,00 R\$/a	26,64 R\$/t
Biodigestor	25 a	R\$ 20.692.000,00	0,0953	1.971.624,00 R\$/a	39,43 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (sistema de transporte, drenagem, técnica de ventilação)	13 a	R\$ 8.367.000,00	0,1309	1.094.925,00 R\$/a	21,90 R\$/t
Engenharia mecânica fixa (tratamento e aplicação de biogás)	10 a	R\$ 2.600.000,00	0,1504	390.979,00 R\$/a	7,82 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	5 a	R\$ 1.950.000,00	0,2518	490.967,00 R\$/a	9,82 R\$/t
Despesas adicionais	25 a	R\$ 2.280.000,00	0,0953	217.248,00 R\$/a	4,34 R\$/t
Total Custos fixos de capital		R\$ 49.869.000,00		5.497.818,00 R\$/a	109,96 R\$/t
CUSTOS DE RECURSOS HUMANOS					
Gestão operacional		1 profissional/a	R\$ 189.120,00	189.120,00 R\$/a	3,78 R\$/t
Engenheiro		0 profissional/a	R\$ 151.296,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Secretaria		0 profissional/a	R\$ -	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Administração/Contabilidade		0 profissional/a	R\$ 66.192,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t
Pesagem		1 profissional/a	R\$ 56.736,00	56.736 R\$/a	1,13 R\$/t
Controle de entrada		2 profissionais/a	R\$ 37.824,00	75.648 R\$/a	1,51 R\$/t
Galpão de recepção (grua)		1 profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t
Tratamento mecânico (serralheiro, eletricitista)		3 profissionais/a	R\$ 56.736,00	170.208,00 R\$/a	3,40 R\$/t

FLUXO: 50.000 t/a					
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a					
CUSTOS OPERACIONAIS	N	APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	CUSTOS DE TRATAMENTO		
			ABSOLUTO	ESPECÍFICO	
Classificador			113.472,00 R\$/a	2,27 R\$/t	
Maquinista	6 profissionais/a	R\$ 18.912,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Biodigestor/Compostagem	1 profissional/a	R\$ 37.824,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Metanização e usina de cogeração	1 profissional/a	R\$ 37.824,00	56.736 R\$/a	1,13 R\$/t	
Limpeza	2 profissionais/a	R\$ 18.912,00	37.824,00 R\$/a	0,76 R\$/t	
Estagiários etc.	0 profissionais/a	R\$ 9.456,00	0 R\$/a	0,00 R\$/t	
Total Despesas de Recursos Humanos	19 profissionais/a		813.216,00 R\$/a	16,26 R\$/t	a mesma quantidade de mão de obra da etapa 4, uma vez que as despesas adicionais para a drenagem compensam as despesas reduzidas da compostagem da matéria orgânica (etapa 4)
CUSTOS VARIÁVEIS E FIXOS					
ENERGIA					
Consumo de energia elétrica	50 kWh/t	0,45 R\$/kWh	1.116.525,00 R\$/a	22,33 R\$/t	Dados ANEEL: Despesas de luz "Residencial" 0,44436 R\$/kWh para 08/2015 a 08/2016
ÁGUA/ESGOTO					
Água potável	500 m³	4,50 R\$/m³	2.250 R\$/a	0,05 R\$/t	
INSUMOS					
Combustíveis/ lubrificantes	2,77 l/t	3,00 R\$/l	415.800 R\$/a	8,32 R\$/t	
Material de escritório, roupas de trabalho, materiais de consumo	200,00 R\$/profissional	19,0 R\$/profissional	3.800 R\$/a	0,08 R\$/t	

FLUXO: 50.000 t/a			
CÁLCULO DOS CUSTOS DE TRATAMENTO (LÍQUIDO), FLUXO: 50.000 Mg/a			
CUSTOS OPERACIONAIS	N	CUSTOS DE TRATAMENTO	
		APLICAÇÃO TAXA DE JUROS 8,2%	ABSOLUTO ESPECÍFICO
GESTÃO DA INSTALAÇÃO			
Acompanhamento analítico	100,00 R\$/mês	6.000,00 R\$/a	0,12 R\$/t
Limpeza da instalação	0,50 R\$/t	25.000,00 R\$/a	0,50 R\$/t
CONCERTOS/ MANUTENÇÃO			
Prédio	Investimento	Alíquota	
	R\$ 34.672.000,00	0,50%	173.360,00 R\$/a 3,47 R\$/t
Engenharia mecânica fixa	R\$ 10.967.000,00	5,00%	548.350,00 R\$/a 10,97 R\$/t
Engenharia mecânica móvel	R\$ 1.950.000,00	7,50%	146.250,00 R\$/a 2,93 R\$/t
SEGUROS	R\$ 47.589.000,00	0,10%	47.589,00 R\$/a 0,95 R\$/t
Total dos custos variáveis e fixos			2.484.924,00 R\$/a 49,70 R\$/t
Total dos custos de tratamento			8.795.958,00 R\$/a 175,92 R\$/t

Tabela 29: Tratamento mecânico-biológico de resíduos - Custos gerais de tratamento - Etapa de expansão 5 (com fermentação e drenagem)

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/ UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/ RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS				
CUSTOS DE TRATAMENTO										
Tratamento biológico	Custos de tratamento		50.000 t/a		175,92 R\$/t	8.795,958 R\$/a				
CUSTOS DE ELIMINAÇÃO										
Impurezas para eliminação	Deposição em aterro	0,0%	0 t/a	incl.	150,00 R\$/t	0 R\$/a				
						Densidade antiga	Densidade nova	Volume antigo	Volume novo	Volume economizado

FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA	ROTA DE ELIMINAÇÃO/UTILIZAÇÃO	PERCENTUAL	QUANTIDADE	DESPESAS DE TRANSPORTE	CUSTOS ESPECIAIS/RENDIMENTOS	CUSTOS ANUAIS		
Produtos residuais para aterro	Deposição em aterro	47,2%	23.600 t/a	incl.	140,00 R\$/t	3.304.000,00 R\$/a	0,6	0,85
								39.333
								27.655
								30%
Resíduo fermentado líquido	Tanque de estabilização	20,2%	10.100 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0,00 R\$/a		84,00 R\$/m ³
Perda de água	-	8,2%	4.100 t/a	-	0,00 R\$/t	0,00 R\$/a		
RENDIMENTOS								
Volume economizado aterro (pré-tratamento)	Densidade de instalação 0,9 t/m ³ ao invés de 0,6 t/m ³	29,7%	11.678 m ³ /a	incl.	-84,00 R\$/m ³	-980.971 R\$/a		
Metais ferrosos	reciclagem de materiais	1,2%	600 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-300.000,00 R\$/a	Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2013)	
Materiais não-ferrosos	reciclagem de materiais	1,8%	900 t/a	incl.	-1.000,00 R\$/t	-900.000 R\$/a	Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2014)	
Fração de papel e papelão	reciclagem de materiais	4,4%	2.200 t/a	incl.	-300,00 R\$/t	-660.000,00 R\$/a	Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2015)	
Fração de plástico (PVC)	reciclagem de materiais	2,0%	1.000 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-500.000 R\$/a	Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2016)	
Fração de PET	reciclagem de materiais	0,6%	300 t/a	incl.	-500,00 R\$/t	-150.000 R\$/a	Rendimentos: ver lista de Timbo (08/2017)	
Fração leve (CDR)	reciclagem de materiais	8,0%	4.000 t/a	incl.	0,00 R\$/t	0,00 R\$/a		
Biogás**	utilização energética	6,2%	3.075 t/a	-	-738,78 R\$/t	-2.271.741,00 R\$/a		
Custos totais de tratamento			50.000 t/a		126,74 R\$/t	6.337.245 R\$/a		

* Preço misto

** Rendimentos biogás: 0,45 R\$/kWh_{gr}, sem rendimento para calor

Tabela 30: Demonstrativos adicionais

VEÍCULOS	g/kWh	kW	h/a	kg/a	kg/l	l/a	Mg/a	l/Mg
Carregadeira de rodas pequena	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
Revolvedor de leiras	150	250	750	28.122	0,67	42.000	50.000	0,84
Escavadeira	125	125	1.700	26.563	0,84	32.000	50.000	0,64
Empilhadeira	100	100	1.700	17.000	0,67	26.000	50.000	0,52
								2,52
						+10% lubrificantes		0,25
								2,77

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Pré-triturador/Rasga-sacos	400	1.700	680.000
Peneira rotativa	30	1.700	51.000
Ventilador de separação	100	1.700	170.000
Separador de metais ferrosos	10	1.700	17.000
Separador de metais não-ferrosos	10	1.700	17.000
Separador infravermelho	50	1.700	85.000
Enfardadora	150	1.700	255.000
Compressor	55	1.700	93.500
Técnica de transporte do galpão de recepção	100	1.700	170.000
Silo biológico (2)	100	1.333	133.333
Rosca helicoidal (2)	20	1.333	26.667
Agitador do biodigestor (2)	30	1.333	40.000

AGREGADO	kW	Bh	TRABALHO kWh/a
Bomba de saída do biodigestor (2)	20	1.333	26.667
Técnica de medição do biodigestor (2)	2	1.333	2.667
Prensa extrusora	50	1.700	85.000
Bombas para o líquido residual fermentado	10	1.333	13.333
Tratamento e utilização de gás	50	8.200	410.000
Controle etc.	25	8.200	205.000
Trabalho kWh/a	1.212		2.481.167
Consumo específico kWh/t			50
BIOGÁS			
3.075	t/a		
1,30 kg/m ³	Densidade		
2.365.385	m ³ /a		
57%	CH ₄		
1.348.269	m ³ CH ₄ /a		
10	kWh/m ³ CH ₄		
13.482.692	kWh/a		[Potência térmica nominal]
ENERGIA ELÉTRICA			
40%			Rendimento elétrico
5.393.077			kWh energia elétrica/a [bruta]
8.200 h/a			Período de operação da usina de cogeração
94%			Período de operação da usina de cogeração

BIOGÁS			
5.048.314	kWh energia elétrica/a [líquida]		
R\$ 0,450	R\$/kWh		Venda para AWZ NMS
R\$ 2.271.741,31	R\$/a		Rendimentos provenientes de energia elétrica
CALOR			
42%			Rendimento elétrico
5.662.731			kWh calor/a (bruto)
8.200 h/a			Período de operação da usina de cogeração
94%			Período de operação da usina de cogeração
3.975.547			kWh calor/a (descontados 25% de consumo próprio)
R\$ -	R\$/kWh		[recepção]
R\$ -	R\$/a		Rendimentos de calor
TOTAL			
R\$		2.271.741,31	R\$/a
R\$		738,78	R\$/t



Por meio da:



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7958-060-4



9 788579 580604

