



**Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Departamento de Energia Nuclear**

**FELIPE MIRANDA NOVAIS**

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A  
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA  
APROVEITAMENTO QUÍMICO E ENERGÉTICO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO CAMPUS DA UFPE**

**RECIFE**

**2017**

FELIPE MIRANDA NOVAIS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A  
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA  
APROVEITAMENTO QUÍMICO E ENERGÉTICO DA  
BIOMASSA RESIDUAL DO CAMPUS DA UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal  
de Pernambuco, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Energia.

Orientadores:

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

Prof. Dr. Emmanuel Damiliano Dutra

RECIFE

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

N935a Novais, Felipe Miranda.  
Análise técnica e econômica para a implantação de um sistema para aproveitamento químico e energético da biomassa residual do Campus da UFPE. / Felipe Miranda Novais. - Recife, 2017.  
60 f. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.  
Orientador: Prof. Dr. Emmanuel Damiliano Dutra.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Energia Nuclear, 2017.  
Inclui referências bibliográficas e anexos.

1. Biomassa residual. 2. Reaproveitamento energético. 3. Gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos. I. Menezes, Rômulo Simões Cezar, orientador. II. Dutra, Emmanuel Damiliano, orientador. III. Título.

CDD 620(21. ed.)

UFPE  
BDEN/2017-1

---

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Departamento de Energia Nuclear



---

Curso de Graduação:  
Engenharia de Energia

Disciplina:  
EN248 Projeto de Graduação (TCC)

Responsável pela Disciplina:  
Prof. Alexandre Costa

Período:  
2017.1

Local e Data:  
Recife, 25 de Julho de 2017

---

Monografia

---

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA  
APROVEITAMENTO QUÍMICO E ENERGÉTICO DE BIOMASSA RESIDUAL DO CAMPUS  
DA UFPE**

---

**Aluno: FELIPE MIRANDA NOVAIS; Matrícula: 079.472.414-06**

---

**Orientador: RÔMULO SIMÕES CEZAR MENEZES, DEN, CTG, UFPE**

---

**Co-Orientador: EMMANUEL DAMILIANO DUTRA, DEN, CTG, UFPE**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus familiares, principalmente à minha avó, Cleide Miranda, e ao meu avô, Paulo Miranda, que certamente gostaria de estar presente ao meu lado neste momento.

Ao meu orientador, Rômulo Menezes, por sempre propor excelentes ideias e pelo seu olhar atento e cauteloso.

Ao meu co-orientador, Emmanuel Dutra, pela colaboração e apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

A Raphael Correia pelas inúmeras ajudas durante este trabalho.

A João Lemos por toda a assistência .

A todos da Prefeitura da Cidade Universitária, que sempre estiveram dispostos a me ajudar com tudo que eu precisasse.

À minha namorada, Lourdes Cavalcanti, por todo apoio e motivação.

Aos grandes amigos que fiz neste curso, em especial a Dennis, Henrique, Santini e a José Guilherme pelas brincadeiras e pelas risadas durante esta jornada.

A todo o corpo docente da graduação de Engenharia de Energia, em especial a Professora Olga Vilela, ao Professor Alexandre Costa e ao Professor Rômulo Menezes por serem de modelo e inspiração profissional para mim.

*“Gradatim Ferociter”*  
*(Blue Origin’s motto)*

## RESUMO

Diante do conjunto de problemas causados por uma gestão ineficiente dos Resíduos Sólidos Urbanos, surge a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – lei 12.305/2010 buscando traçar diretrizes sobre o gerenciamento e manejo correto dos resíduos no país, atribuindo inclusive responsabilidades a seus geradores. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral realizar um estudo sobre a viabilidade técnico-econômica da fase inicial de um projeto piloto para o reaproveitamento da biomassa residual gerada no *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco com propósito de tornar a instituição uma “Cidade Modelo” no tema. A proposta contempla três projetos: uma usina de biodiesel, um biodigestor e um pátio de compostagem. Para tanto, este estudo realizou um levantamento de custos relativos a implementação dos projetos propostos, efetuando uma pesquisa referente aos gastos atuais da instituição e aos custos de um cenário após a instalação do sistema, para então utilizar o método do fluxo de caixa descontado e determinar os indicadores de rentabilidades. Todas as plantas apresentaram viabilidade financeira, se mostrando um investimento atrativo tanto do ponto de vista monetário quanto de sustentabilidade. A energia elétrica produzida pelo biodigestor seria capaz de atender o consumo total do Departamento de Energia Nuclear, gerando ainda um excedente, e eliminaria os custos com disposição dos resíduos alimentares a aterros sanitários. A usina de biodiesel seria capaz de suprir 19,61% do diesel consumido pela frota veicular da UFPE utilizando como matéria prima o óleo de fritura dos restaurantes do campus. Por fim, o pátio de compostagem eliminaria o custo de despejo das 10t de biomassa vegetal residual geradas diariamente no *campus*, implicando em uma economia anual de R\$ 590.205,00. Ao todo foi estimado que em seu primeiro ano de funcionamento o sistema poderia economizar até R\$ 1.000.615,00. Conclui-se que seria possível agregar um retorno financeiro aos benefícios ambientais e sociais a partir de métodos de reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos. Esse sistema poderia ser facilmente adaptado para a implantação em pequenos e médio municípios do país, o que proporcionaria a geração de empregos e renda nesses municípios, atenderia à política nacional dos resíduos sólidos e traria inúmeros benefícios ambientais.

Palavras-chave: Biomassa Residual. Reaproveitamento Energético. Gestão Sustentável dos RSU.

## ABSTRACT

Amongst the problematic factors caused by inefficient management of urban solid wastes, the National Solid Waste Policy – Law 12.305/2010 seeks to draw up guidelines on the proper management and handling of wastes in the country, including allocating responsibilities to its generators. In this context, the main objective of this paper is to determine the technical and economic viability of the initial phase of a pilot system designed to reutilize the residual biomass generated at the Federal University of Pernambuco with the purpose of making the institution a “Model City” in the theme. The proposed system includes three projects: a biodiesel plant, a biodigester and an accelerated composting unit. To do so, the study carried out a survey of costs related to the implementation of the proposed projects, conducting a survey regarding the current expenditures of the institution and the expenditures of a scenario after the installation of the system, in order to then use the discounted cash flow method and determine the profitability indicators. All the plants presented financial feasibility, demonstrating an attractive investment financially and in terms of sustainability. The electric energy produced by the biodigester would be able to attend the total consumption of the Departamento of Nuclear Energy, and even generating a surplus, and would eliminate the costs of disposal of food waste to landfills. The biodiesel plant would be able to supply 19,61% of the diesel consumed by the vehicle fleet of the university using the residual fry oil of the campus’s restaurants as feedstock. Finally, the accelerated composting unit would eliminate the cost of the waste dumping of 10 tons of residual biomass generated daily on the campus, implying in an annual saving of R\$ 590.205,00. It was estimated that in its first year of operation the system could save up to R\$ 1.000.615,00. Therefore, the conclusion is that it is possible to aggregate return on investment to environmental and social benefits from methods of reuse of urban solid waste. This system could easily be adapted and implemented in small and medium-size cities of the country, which would provide the generation of jobs and income in those municipalities, would attend the National Solid Waste Policy and would bring innumerable environmental benefits.

Keywords: Residual Biomass. Energy Recovery. Sustainable Management of Urban Solid Waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Sistema de reaproveitamento dos resíduos sólidos proposto .....	16
Figura 2. Geração de RSU no Brasil .....	24
Figura 3. Coleta de RSU no Brasil .....	25
Figura 4. Destinação de RSU no Brasil .....	25
Figura 5. Distribuição da quantidade de RSU coletado (%) .....	26
Figura 6. Destinação final dos RSU no NE .....	27
Figura 7. Emissões provenientes da disposição de resíduos no Brasil .....	28
Figura 8. Fluxograma de um típico sistema de biodigestão para a geração de energia elétrica	30
Figura 9. Fluxograma do processo industrial de produção de biodiesel .....	32
Figura 10. Planta do campus Recife UFPE .....	35
Figura 11. Proposta de atuação da COOPERE .....	36
Figura 12. Local de segregação e armazenamento da fração recicláveis dos resíduos gerados no campus .....	37
Figura 13. Área de implantação dos projetos em estudo. ....	37
Figura 14. Biodigestor experimental de 8m <sup>3</sup> .....	53
Figura 15. Usina de biodiesel 140L por batelada.....	53
Figura 16. Pátio de compostagem experimental.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Destino dos RSU em diversos países.....	26
Tabela 2. Composição do biogás.....	29
Tabela 3. Parâmetros de operação do reator .....	38
Tabela 4. Insumos por batelada 150L.....	38
Tabela 5. Produção por batelada 150L.....	38
Tabela 6. Parâmetros constantes utilizados .....	39
Tabela 7. Investimento Inicial – Biodigestor.....	39
Tabela 8. Custo Base - Biodigestor.....	41
Tabela 9. Consumo de Energia - Biodigestor .....	42
Tabela 10. Custo de Depreciação - Biodigestor .....	42
Tabela 11. Custo de manutenção do grupo motor gerador .....	43
Tabela 12. Custos remanescentes - biodigestor.....	43
Tabela 13. Investimento inicial - Usina de biodiesel .....	44
Tabela 14. Custo base - Usina de biodiesel .....	45
Tabela 15. Preços dos insumos por batelada 150L.....	46
Tabela 16. Custo de depreciação - Usina de biodiesel .....	46
Tabela 17. Consumo de Energia - Usina Biodiesel .....	47
Tabela 18. Custos Remanescentes - Usina de Biodiesel.....	47
Tabela 19. Produção por Batelada 150L .....	48
Tabela 20. Investimento inicial - Pátio de Compostagem.....	48
Tabela 21. Consumo de Energia - Pátio de Compostagem .....	49
Tabela 22. Custo de Depreciação - Pátio de Compostagem.....	50
Tabela 23. Custos Remanescentes - Pátio de compostagem.....	50
Tabela 24. Indicadores de rentabilidade .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural & Biocombustíveis
B/C	Indicador Benefício - Custo
COOPERE	Coordenação de Prevenção e Gerenciamento de Resíduos e Efluentes da UFPE
DEN	Departamento de Energia Nuclear
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
GPEB	Grupo de Pesquisa em Energia da Biomassa
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IPCA	Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo
IPCC	International Panel of Climate Changes
kW	Quilowatt-HORA
MWh	Megawatt-hora
O&M	Operação e Manutenção
PBd	<i>Payback</i> descontado
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCU-UFPE	Prefeitura da Cidade Universitária da UFPE
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
Qnt	Quantidade
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VPL	Valor Presente Líquido

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Motivação e Relevância do Tema</b> .....	14
<b>1.2 Objetivos</b> .....	15
<b>1.2.1 Objetivos Gerais</b> .....	15
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>1.3 Estrutura da Monografia</b> .....	16
<b>2 CONCEITOS PRELIMINARES</b> .....	17
<b>2.1 O Resíduo Sólido Urbano (RSU)</b> .....	17
<b>2.2 Destinação Final</b> .....	18
<b>2.3 Coleta Seletiva</b> .....	18
<b>2.4 Métodos de Tratamento do RSU</b> .....	19
<b>2.4.1 Reciclagem</b> .....	19
<b>2.4.2 Compostagem</b> .....	19
<b>2.4.3 Aproveitamento Energético</b> .....	20
<b>2.5 Análise e Viabilidade Econômica</b> .....	21
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E PROPOSIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	24
<b>3.1 Panorama dos RSU no Brasil</b> .....	24
<b>3.2 O Panorama dos Resíduos Sólidos no Nordeste do Brasil</b> .....	26
<b>3.3 Impacto Ambiental</b> .....	27
<b>3.4 Política Nacional de Resíduos Sólidos</b> .....	28
<b>3.5 Biodigestor Anaeróbico</b> .....	29
<b>3.6 Usina de Biodiesel</b> .....	31
<b>3.7 Compostagem Acelerada</b> .....	33
<b>3.8 Proposição do Problema</b> .....	33
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	34
<b>4.1 Campus Recife UFPE</b> .....	34
<b>4.2 COOPERE</b> .....	35
<b>4.3 Coleta Seletiva na UFPE</b> .....	36
<b>4.4 Projetos Propostos</b> .....	37
<b>4.4.1 Biodigestor Anaeróbico</b> .....	37
<b>4.4.2 Usina de Biodiesel</b> .....	38
<b>4.4.3 Pátio de Compostagem Acelerada</b> .....	39
<b>4.5 Análise Econômica dos projetos</b> .....	39
<b>4.5.1 Biodigestor Anaeróbico</b> .....	39
<b>4.5.2 Usina de Biodiesel</b> .....	44
<b>4.5.3 Pátio de Compostagem Acelerada</b> .....	48
<b>5 RESULTADOS</b> .....	50
<b>5.1 Apresentação dos resultados</b> .....	50
<b>5.2 Análise dos resultados</b> .....	51

<b>6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b> .....	51
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54
<b>ANEXOS</b> .....	59
<b>ANEXO A - Análise Econômica - Biodigestor</b> .....	59
<b>ANEXO B - Análise Econômica – Usina de Biodiesel</b> .....	60
<b>ANEXO C - Análise Econômica - Pátio de Compostagem Acelerada</b> .....	61

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação e Relevância do Tema

De acordo com Gouveia (2012) a intensificação dos processos de urbanização, a revolução tecnológica, o crescimento populacional e as alterações dos hábitos de consumo da população levaram ao aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade de sua composição, abrigando cada vez mais elementos sintéticos e perigosos ao ecossistema e à saúde humana quando não dispostos ou tratados de maneira adequada.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), do ano de 2013 para 2014 a quantidade de resíduos sólidos gerados por dia aumentou 2,9%, onde do total produzido 10% não são ao menos coletados e 41,6% da fração coletada é despejada de forma inadequada implicando em potenciais impactos ao ecossistema.

Surge então a necessidade da elaboração de estratégias que promovam uma melhor gestão dos resíduos coletados, evitando assim despejar recursos que poderiam ser reaproveitados em lixões e aterros, e sobretudo contribuindo para o manejo sustentável do resíduo minimizando seu impacto sobre o meio ambiente e à saúde da população.

A necessidade de implantação de políticas públicas que visem à utilização sustentável do resíduo estimulou a criação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos – Lei 12.305/2010, que reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a administração adequada dos RSU no país, estipulando ainda que instituições públicas e privadas implantem um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), elaborando assim estratégias para a segregação e o reaproveitamento dos resíduos gerados em seus estabelecimentos.

No entanto mesmo com a lei em vigência, o panorama dos RSU no Brasil ainda apresenta graves deficiências, muito pela falta de conhecimento da própria população e organizações, bem como infraestrutura necessária para uma gestão eficiente. O resultado foi que pouquíssimas instituições e municípios se adequaram à lei, tornando-se necessário o investimento em práticas que promovam e explorem métodos de tratamento de resíduos, divulgando sua viabilidade financeira e os benefícios de tais práticas para a sociedade.

Foi criada então na UFPE a COOPERE, visando estabelecer um sistema de gestão sustentável de todos os resíduos gerados no interior do *campus*, com o intuito de assim tornar a instituição uma “Cidade Modelo” no tema, funcionando como um centro de treinamento prático e

teórico, servindo como ponto focal para aulas, pesquisa e de divulgação para a sociedade como um todo, sendo então uma iniciativa pioneira no país.

A implantação do sistema permitirá demonstrar com exemplos reais os impactos positivos econômicos e sociais de uma gestão inovadora dos resíduos sólidos urbanos, gerando o conhecimento necessário para que o projeto possa ser exportado e replicado por outras instituições e pequenos municípios.

Uma das propostas iniciais da COOPERE é realizar o reaproveitamento energético dos resíduos orgânicos gerados nas unidades alimentares, bem como a utilização da compostagem para resíduos vegetais. O presente estudo abordará justamente a viabilidade econômica da implantação destes projetos iniciais na universidade.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos Gerais**

O presente trabalho busca realizar um estudo sobre a viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema piloto para o reaproveitamento químico e energético da biomassa residual gerada no *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco. O sistema proposto está representado na figura 1.

Três projetos serão avaliados:

- Uma planta de microgeração de energia elétrica a partir de biogás oriundos dos resíduos alimentares;
- Uma mini usina de biodiesel utilizando como matéria prima óleo de fritura reaproveitado das unidades alimentares da instituição e dos pontos de coleta da COOPERE;
- Um pátio de compostagem acelerada para o despejo da biomassa vegetal originária de podas, capinação e varrição.

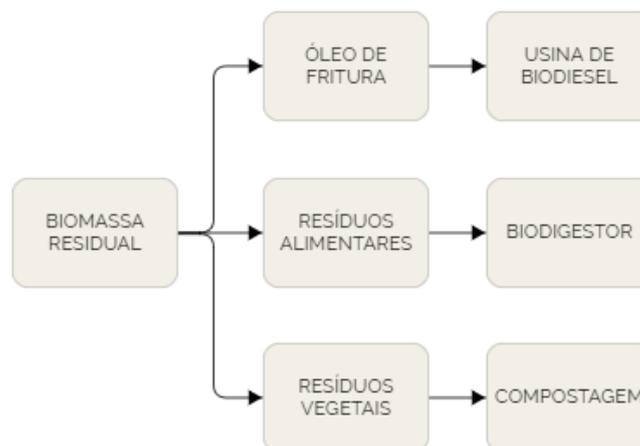


Figura 1. Sistema de reaproveitamento dos resíduos sólidos proposto

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Orçar as plantas projetadas pelo Grupo de Energia da Biomassa (GEB) da UFPE;
2. Estimar a redução dos custos da UFPE após a implantação e funcionamento do sistema;
3. Estimar os custos da universidade após a instalação das plantas, definindo custos relativos a operação, manutenção, energia elétrica e depreciação;
4. Estimar a viabilidade econômica do projeto a partir do método do fluxo de caixa para a obtenção dos indicadores de rentabilidade.

### 1.3 Estrutura da Monografia

Seção 1 – Introdução: esta seção dá uma visão geral sobre a atual problemática da gestão dos resíduos sólidos urbanos no país, explicitando as exigências legais e a necessidade de implementação de métodos de tratamento de tais materiais, abordando também a carência de projetos modelos no tema. Em seguida, foram apresentados os objetivos do trabalho;

Seção 2 – Revisão da Literatura: abordará definições e classificações relacionadas aos RSU, métodos de disposição final, coleta seletiva, bem como métodos de tratamento e o aproveitamento energético do resíduo. Por fim, serão apresentados os métodos de avaliação econômica utilizados neste trabalho;

Seção 3 – Revisão Bibliográfica e Proposição do Problema: expõe dados sobre o atual panorama dos RSU no Brasil e no Nordeste do país, tocando também em pontos como a questão ambiental envolvida ao tema e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Em seguida descreve sobre as tecnologias abordadas no trabalho. Por último, será apresentada a proposição do problema;

Seção 4 – Metodologia: expõe a metodologia utilizada para se chegar aos indicadores de rentabilidade; descreve o *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco, local de implementação dos projetos; apresenta a Coordenação de Prevenção e Gerenciamento de Resíduos e Efluentes, que busca a realização de uma gestão adequada dos RSU no *campus*; discute sobre o sistema de coleta seletiva da universidade; descreve as plantas dos projetos em estudo; apresenta os dados utilizados determinação dos indicadores de rentabilidade;

Seção 5 – Resultados: discute sobre os resultados e estimativas obtidos ao final do estudo;

Seção 6 – Conclusões e Perspectivas: avalia os resultados finais e discorre sobre os benefícios da realização do investimento proposto.

## 2 CONCEITOS PRELIMINARES

### 2.1 O Resíduo Sólido Urbano (RSU)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através de sua norma técnica NBR – 10004, define os resíduos sólidos como:

*“resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”*

O mesmo documento ainda estabelece uma classificação aos RSU quanto a seus potenciais riscos ao meio ambiente e a saúde pública, dividindo-os em três grupos:

- Resíduos Classe I (Perigosos) – São caracterizados por possuírem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentando então potenciais riscos à saúde pública ou ao meio ambiente (ABNT, 2004).
- Resíduos Classe II A (Não perigosos e não inertes) – São todos os resíduos que não são caracterizados como perigosos, que no entanto podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, existindo assim a possibilidade de ocorrer reação com meio ambiente, e conseqüentemente, risco de poluição (ABNT, 2004).

- Resíduos Classe II B (Não perigoso e inerte) – Consiste nos resíduos que não apresentam constituinte algum solubilizado, de acordo com os padrões da NBR 10.006, quando em contato com dinâmico ou estático com a água destilada (ABNT, 2004).

No entanto os termos são muito amplos, sendo assim, os resíduos sólidos urbanos, tema deste trabalho, utilizará a definição dada pela NBR – 8419 (ABNT, 1992), que os caracteriza como os resíduos gerados num conglomerado urbano, excetuando-se os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos.

## **2.2 Destinação Final**

Os métodos de destinação final dos resíduos são três:

- Lixão: Caracterizado pela descarga do lixo sobre ao solo sem as devidas medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, sendo basicamente a descarga de resíduo a céu aberto (IPT, 1995). Consiste em um método inadequado de disposição, onde os resíduos de todas as origens e naturezas são lançados e amontoados sem distinção e controle, representando um risco a população por ser um ambiente propício a proliferação de doenças e um risco ao meio ambiente pela contaminação do solo, lençóis freáticos e liberação de gases do efeito estufa.
- Aterro Controlado: Método intermediário entre o lixão e o aterro sanitário, utiliza técnicas de confinamento do resíduo sólido cobrindo-os com uma camada de material inerte, evitando assim poluir o ambiente externo, entretanto usualmente tais sistemas não contam com uma impermeabilização adequada, carecendo também da infraestrutura necessária para promover a coleta e o tratamento do chorume e do biogás.
- Aterro Sanitário: Caracteriza-se como método adequado para a disposição final de resíduos sólidos obedecendo a critérios de engenharia e normas operacionais específicas de modo a permitir o confinamento seguro do resíduo em termos de controle de poluição e de proteção pública a saúde pública. O sistema é devidamente impermeabilizado em sua base e conta com células de disposição que permitem a separação de resíduos de diferentes naturezas, com técnicas de compactação, aumentando assim a vida útil do aterro, e a com coleta e tratamento adequado aos efluentes líquidos e gasosos (ABNT, 1997).

## **2.3 Coleta Seletiva**

De acordo com Bringhetti (2002) a coleta seletiva pode ser definida como uma etapa de coleta de resíduos após a separação dos mesmos na sua própria fonte geradora, seguido do seu

acondicionamento, conforme sua constituição e composição, e apresentação para a coleta ou entrega em postos voluntários, em postos de troca ou a cooperativas.

A segregação prévia ao ato de coleta é de fundamental importância para um eficiente reaproveitamento do RSU, visto que elimina a necessidade de triagem dos resíduos ao chegarem em uma estação de tratamento, reduzindo custos e acelerando o processamento.

O maior desafio no tocante ao tema é a necessidade de uma logística bem definida em conjunto com o engajamento da população, empresas e serviços e das entidades do governo para investimentos em infraestrutura, incentivos e promoção da conscientização ambiental.

## **2.4 Métodos de Tratamento do RSU**

Segundo Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (IBAM, 2011), o tratamento do RSU é definido como:

*“série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável”*

Tal definição engloba uma ampla gama de tratamentos, podendo este ser através da reciclagem, aproveitamento energético ou compostagem. De acordo com Massukado (2004), a escolha pela forma de tratamento pode variar a depender da realidade do gerador, levando-se em consideração as características do resíduo, assim como as condições técnicas, econômicas e ambientais.

### **2.4.1 Reciclagem**

A reciclagem consiste no reaproveitamento do material beneficiado, reintroduzindo-o no ciclo de produção como matéria-prima de um novo produto, reduzindo assim os resíduos enviados para disposição final, bem como diminuindo a demanda por fontes naturais, usualmente não-renováveis.

A reutilização do resíduo como matéria prima também se torna interessante do ponto de vista energético, já que usualmente é consumida uma menor quantidade de energia no processo de reciclagem frente a transformação de um insumo primário em um produto durante todo o seu ciclo de produção (EPE, 2008).

### **2.4.2 Compostagem**

A compostagem, conforme Massukado (2008), é definida como um procedimento controlado de decomposição aeróbia e exotérmica da substância orgânica biodegradável, por

meio da ação de microrganismos autóctones, com a liberação de gás carbônico e vapor de água, produzindo, ao final, um produto estável e rico em matéria orgânica que apresenta uma grande aplicabilidade como adubo natural.

A técnica se utiliza unicamente de organismos vivos, fungos, bactérias e actinomicetos; sendo então um processo biológico e fazendo-se necessário o controle dos fatores que afetam a sobrevivência de tais microrganismos, como a umidade, oxigenação, temperatura, relação carbono/nitrogênio, pH e tamanho das partículas (Santos, 2007).

Tal processo é desejável por apresentar uma série de vantagens ambientais, tais como a redução do acúmulo de resíduos em aterros, redução na emissão do gás metano e diminuição da produção de chorume, aumentando assim a vida útil do aterro sanitário.

Segundo Libânio (2002), a compostagem torna-se interessante por sua relativa simplicidade operacional e baixo custo de investimento, porém tal prática necessita fundamentalmente da separação da fração orgânica putrescível – restos de alimentos, podas de árvores, folhas de varrição entre outros – dos demais constituintes do lixo urbano, fazendo-se então necessário uma etapa previa de implementação de uma coleta seletiva ou uma fase de triagem e separação.

A compostagem se inicia com o empilhamento dos resíduos orgânicos em pilhas alongadas, conhecidas como leiras, onde estas serão umedecidas e reviradas com uma frequência pré-determinada até um determinado período de maturação, o que pode variar a depender da matéria orgânica utilizada.

### **2.4.3 Aproveitamento Energético**

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por energias renováveis, que representam 75,5% da geração elétrica, sendo deste total 64% oriundo apenas de hidrelétricas (EPE, 2016). Entretanto em períodos de estiagens prolongados, onde ocorre a diminuição dos níveis dos reservatórios, é necessário recorrer a outras alternativas, como termelétricas acionadas por combustíveis fósseis, o que implica em um aumento no custo da energia, bem como um aumento na emissão de poluentes.

Existe então uma necessidade de ampliar a segurança do sistema elétrico nacional, investindo assim em alternativas para diversificação da matriz energética do país, principalmente em renováveis por questões ambientais. Entre as candidatas, a biomassa apresenta um alto potencial não explorado, particularmente se tratando de resíduos sólidos urbanos, uma fonte não sazonal amplamente disponível nos centros urbanos.

A Lei 12.305/2010, prevê o aproveitamento energético dos resíduos sólidos em seu Art. 9., parágrafo primeiro, onde explicita:

*"poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implementação de programa de monitoramento de emissões de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental."*

De acordo com a EPE (2014), os RSU gerados no país apresentam um potencial energético de 31,9 TWh, sendo assim capaz de atender 6,9% do consumo elétrico nacional, uma alternativa capaz de fornecer não só o benefício da geração de energia, como também por ser caracterizado como um método tratamento adequado ao lixo, promovendo assim a mitigação da emissão de poluentes e eliminando a problemática de disposição final do resíduo, ampliando a vida útil de aterros sanitários e diminuindo a necessidade da utilização de novas áreas, cada vez mais escassas em áreas densamente povoadas.

Por fim o aproveitamento energético dos RSU requer uma análise multidimensional, levando-se em conta além da energia potencial disponível pela fonte, o benefício ambiental e social gerado, sendo capaz de gerar empregos e fonte de renda para catadores e cooperativas assim como um ser tratado um instrumento de educação socioambiental. (EPE, 2014).

## **2.5 Análise e Viabilidade Econômica**

A análise de viabilidade econômica de um projeto é uma ferramenta que permite visualizar o retorno financeiro em um determinado horizonte de tempo sobre um investimento, estipulando assim, através de uma série de indicadores de rentabilidade, se a empreitada é viável ou não no decorrer do prazo estudado.

Para a sua elaboração, é realizado uma análise de fluxo de caixa, onde são feitas estimativas dos gastos envolvidos, tais como investimento inicial, custo de operação, manutenção e energia necessária, bem como benefícios obtidos e receitas geradas, para então ser feito um estudo do movimento monetário ao longo do tempo e dos indicadores de rentabilidade.

De acordo com Barreto (2008), os procedimentos básicos de uma análise econômica são:

1. Identificação e quantificação das saídas (custos ou investimentos), e das entradas (benefícios ou receitas) mais relevantes para análise.

2. Análise propriamente dita, com definição do método e do modelo ou fluxo de caixa a serem adotados, quantificando o horizonte do projeto, a taxa de desconto e alocando os custos e os benefícios nos tempos e condições adequados.
3. Cálculo dos seguintes indicadores: VPL (Valor Presente Líquido em R\$), TIR (Taxa Interna de Retorno em %) e *payback* (Em anos ou em percentual do horizonte total do projeto)
4. Conclusão sobre a variabilidade econômica do projeto, realizando a comparação e/ou análise dos indicadores calculados

Em uma análise econômica é possível se utilizar uma ampla gama de métodos para a análise e definição de valores e/ou indicadores, podendo esses serem determinísticos ou não determinísticos (BARRETO, 2008). Este trabalho trabalhará exclusivamente com os métodos determinísticos.

Os métodos determinísticos utilizam os fluxos de caixa e se baseiam na aplicação do princípio da causalidade, contemplando exatidão do comportamento futuro das variáveis inerentes ao projeto. Os indicadores determinísticos utilizados neste trabalho são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) o *payback* e a relação benefício – custo.

- Valor Presente Líquido em R\$ (VPL): Calcula a soma algébrica de todos os valores envolvidos no Fluxo de Caixa, tantos os positivos, como entradas, receitas ou benefícios, quanto os negativos, como saídas, despesas, custos e investimento inicial, aplicando-se uma taxa de desconto. Segundo GITMAN (2004), o VPL é considerável uma técnica sofisticada para a análise de investimentos por considerar explicitamente o valor do dinheiro no tempo.

O cálculo do VPL é determinado pela função (1):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (1)$$

Onde,

$FC_j$  : É o valor de entrada ou saída de caixa para cada intervalo de tempo;

$FC_0$  : Fluxo de caixa no momento inicial, podendo este ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

$i$  : Taxa de desconto;

$n$  : período de tempo;

- Taxa Interna de Retorno em % (TIR): Objetiva definir o valor para o qual o VPL torna-se nulo, isto é, é a taxa interna de retorno de um projeto para o qual o valor presente das receitas torna-se igual ao valor presente dos desembolsos ao longo de todo o projeto (OLIVEIRA, 2008).

O cálculo do TIR é determinado pela função (2):

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} \quad (2)$$

Onde,

$FC_j$  : é o valor de entrada ou saída de caixa para cada intervalo de tempo;

$FC_0$  : fluxo de caixa no momento inicial, podendo este ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

$n$  : período de tempo;

$TIR$ : Taxa Interna de Retorno.

- Relação de Benefício – Custo (B/C): Indicador utilizado para relacionar as despesas com as receitas de um projeto ou investimento em um determinado horizonte de tempo. Se seu valor é maior que 1, isto quer dizer que o projeto é viável, visto que, as receitas são maiores que as despesas.

O cálculo do indicador B/C é determinado pela função (3):

$$B/C = \frac{VPL_r}{VPL_d} \quad (3)$$

Onde,

$B/C$ : indicador Benefício – Custo

$VPL_r$ : Valor Presente Líquido da receita

$VPL_d$ : Valor Presente Líquido das despesas

- *Payback*: Indica o tempo para o qual um investimento leva para ser ressarcido, informando o período para o qual o investidor retome o dinheiro que fora investido, e a partir deste momento, passe a obter ganhos capitais (OLIVEIRA, 2008). Existem duas formas para se avaliar o *payback* de um projeto, pelo *payback* simples (PBs), onde são considerados os valores de fluxo de caixa sem a aplicação da taxa de desconto, e o

*payback* descontado (PBd), onde as taxas de juros são consideradas, fazendo assim a consideração do valor do dinheiro no tempo.

Segundo Lima (2007) o *payback* descontado ocorre no período ( $n$ ) para o qual o VPL é zerado, para  $j$  inteiro. Caso  $VPL < 0$  em  $j - 1$  e  $VPL > 0$  em  $j$ , então é feita uma interpolação para determinar um  $n$  fracionário.

O cálculo do *payback* descontado é determinado pela função (4):

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 = 0 \quad (4)$$

Onde,

$FC_j$  : é o valor de entrada ou saída de caixa para cada intervalo de tempo;

$FC_0$  : fluxo de caixa no momento inicial, podendo este ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

$i$  : taxa de desconto;

$n$  : período de tempo;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E PROPOSIÇÃO DO PROBLEMA

#### 3.1 Panorama dos RSU no Brasil

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), do ano de 2013 para 2014 a quantidade de resíduos sólidos gerados por ano aumentou 2,9%, figura 2, índice superior à taxa de crescimento populacional de 0,9% do país no mesmo período.



Figura 2. Geração de RSU no Brasil. Fonte: ABRELPE (2014)

No entanto a fração coletada, indicada na figura 3, não é capaz de suprir a geração estimada no mesmo ano, onde é possível constatar um índice de cobertura de coleta de apenas 90,6%, o que implica que aproximadamente 7 milhões de toneladas foram descartadas de modo inadequado.

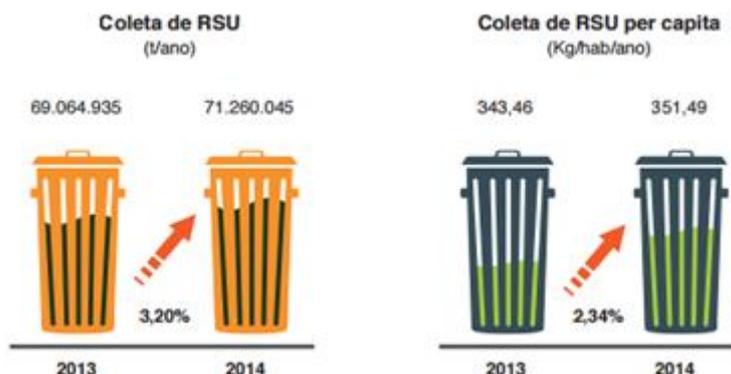


Figura 3. Coleta de RSU no Brasil. Fonte: ABRELPE (2014)

Dentre a fração coletada, apenas 58,4% apresentam uma destinação final adequada, conforme a figura 4, indicando que em 2014 aproximadamente 30 milhões de toneladas seguiram para lixões ou aterros controlados, agravando o potencial impacto dos resíduos sólidos ao meio ambiente.

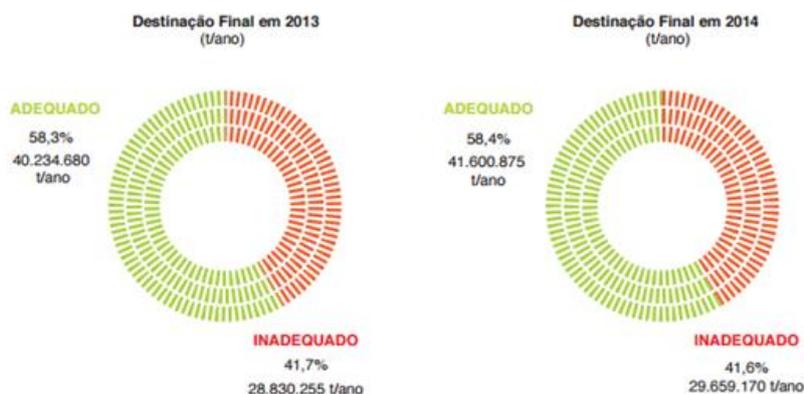


Figura 4. Destinação de RSU no Brasil. Fonte: ABRELPE (2014)

O conjunto de dados revela uma grave deficiência na gestão de resíduos sólidos no país, onde além de um grande percentual ser disposto em locais inadequados, apenas uma pequena percentagem se utiliza de estratégias de reaproveitamento dos RSU, tabela 1, como a reciclagem, compostagem e a recuperação energética. (EPE, 2014)

Tabela 1. Destino dos RSU em diversos países

País	Reciclagem	Compostagem	Recuperação	Aterro
			Energética	Sanitário
Holanda	39%	7%	42%	12%
Suíça	31%	11%	45%	13%
Dinamarca	29%	2%	58%	11%
Estados Unidos	24%	8%	13%	55%
Austrália	20%	<<1%	<1%	80%
Alemanha	15%	5%	30%	50%
Japão	15%	-	78%	7%
Israel	13%	-	-	87%
França	12%	n.i.	40%	48%
Brasil	<8%	2%	-	>90%*
Reino Unido	8%	1%	8%	83%
Grécia	5%	-	-	95%*
Itália	3%	10%	7%	80%
Suécia	3%	5%	52%	40%
México	2%	-	-	98%

\* Incluem aterros controlados e lixões

Elaboração: EPE (2014)

### 3.2 O Panorama dos Resíduos Sólidos no Nordeste do Brasil

Responsável por 22,2% da quantidade total de RSU coletado no país em e sendo a segunda maior região com participação na coleta, figura 5, o Nordeste no mesmo ano apresentou a pior performance nacional no tocante a destinação final dos resíduos, figura 6, onde apenas 35,6% dos resíduos coletados tiveram uma disposição correta. (ABRELPE, 2014)

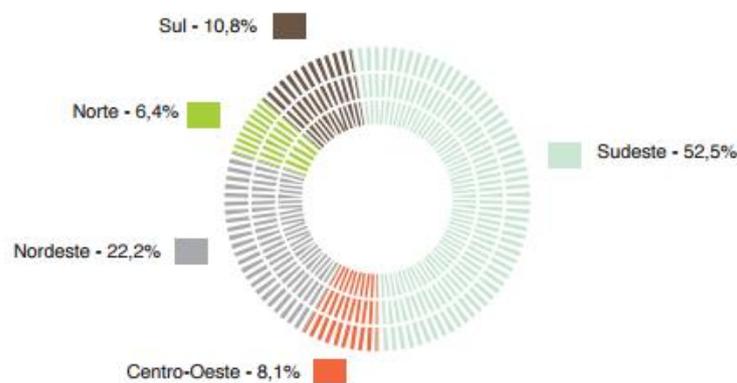


Figura 5. Distribuição da quantidade de RSU coletado (%). Fonte: ABRELPE (2014)

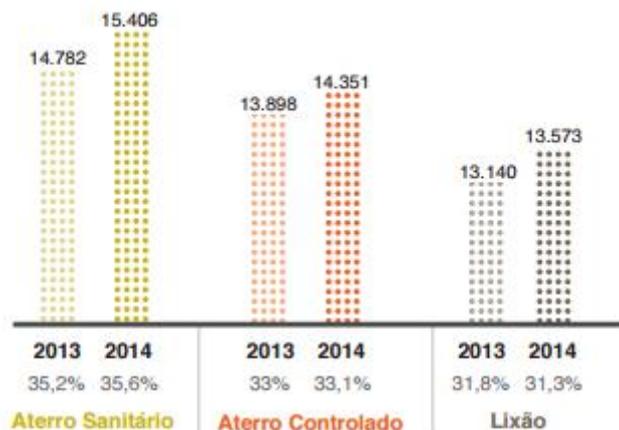


Figura 6. Destinação final dos RSU no NE. Fonte: ABRELPE (2014)

### 3.3 Impacto Ambiental

A destinação inadequada dos resíduos representa não só um risco a população pelo ambiente propício a proliferação de doenças, como também um risco ambiental pela geração de lixiviado e emissão de gases do efeito estufa.

A fração orgânica ao ser disposta em aterros e lixões passa a sofrer um processo de decomposição, predominante anaeróbica, gerando assim um líquido composto por compostos orgânicos biodegradáveis e não biodegradáveis, compostos nitrogenados, sólidos em suspensão, e em alguns casos, metais pesados e compostos tóxicos (BIDONE, 2008). De acordo com (BIDONE e POVINELLI, 1999) este líquido, usualmente conhecido como chorume, após a precipitação pluviométrica sobre a massa de resíduos é capaz de se infiltrar no solo, podendo assim a contaminar o próprio solo e águas subterrâneas.

Um outro problema decorrente da decomposição da matéria orgânica é a produção de gases do efeito estufa, segundo o relatório de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Setor de Resíduos (SEEG, 2016), a emissão de GEE pela disposição de resíduos apresentou no período de 1970 – 2014 um crescimento médio anual de 6,74%, e em 2014 foi responsável pela emissão de aproximadamente 35 milhões de toneladas de dióxido de carbono, figura 7.

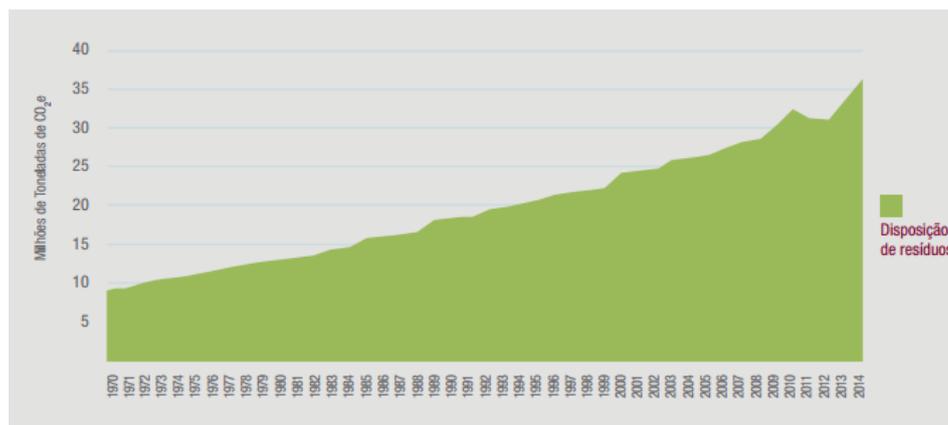


Figura 7. Emissões provenientes da disposição de resíduos no Brasil. Fonte: SEEG (2016)

Em uma análise global, realizada pelo IPCC (2007), as emissões decorrentes de aterros e lixões corresponde a cerca de 5% das emissões globais, demonstrando assim a necessidade de uma gestão eficiente da parte orgânica dos resíduos como estratégia para redução das emissões de GEE (SEEG, 2016).

É válido ainda salientar que embora o biogás também seja um emissor de gases do efeito estufa, a sua emissão em forma natural, isto é, sem a queima, possui um potencial de aquecimento global (*Global Warming Potencial*) de 28 vezes o do dióxido de carbono liberado com a queima do biogás devido ao metano presente em sua composição (IPCC, 2012).

### 3.4 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Instituída pela lei n. 12.305/2010, e regulamentada pelo decreto n. 7404/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece os objetivos, instrumentos e as diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, atribuindo também responsabilidades as empresas, ao poder público e aos consumidores (BRASIL, 2010).

A lei ainda reconhece os resíduos como bem econômico e de valor social, estabelecendo bem a diferença entre rejeito e resíduo, tornando a sua gestão obrigatória pelos seus geradores, prevendo práticas de não-geração, redução, reciclagem, tratamento do resíduo sólido e determinando métodos de disposição final ambientalmente aceitáveis, proibindo assim o despejo em lixões a céu aberto e aterros controlados.

A PNRS enfatiza a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, normalizando as relações entre sociedade civil, empresas, prefeituras e cooperativas quanto ao gerenciamento integrado de ações que visem a separação, coleta seletiva, sistemas de logística reversa e destinação adequada aos resíduos sólidos. Explicitando também a obrigatoriedade da implantação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), por parte de instituições públicas e privadas, integrado ao Plano Municipal, isto significa que as mesmas

devem realizar um diagnóstico de seus resíduos, analisando a sua composição, prevendo métodos de segregação e a destinação final aos mesmos.

### 3.5 Biodigestor Anaeróbico

De acordo com Comastri Filho (1981) o biodigestor pode ser definido como uma câmara hermeticamente fechada de fermentação, onde a biomassa sofre a digestão por bactérias anaeróbias. A biodigestão anaeróbica é então o processo de degradação biológica de matéria orgânica através da ação de microrganismos na ausência de oxigênio, tendo como produto final do processo uma misturas de gases, conhecida como biogás, composta em sua maioria por metano ( $CH_4$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), apresentando também em uma menor concentração nitrogênio ( $N_2$ ), hidrogênio ( $H_2$ ), gás sulfídrico ( $H_2S$ ), entre outros gases (CASTANON, 2002). Como subproduto do processo ainda se tem um efluente líquido com alto teor de nutrientes que pode ser utilizado como fertilizante biológico.

Tabela 2. Composição do biogás

Gás	Porcentagem (%)
Metano ( $CH_4$ )	40 – 75
Dióxido de carbono ( $CO_2$ )	25 – 40
Nitrogênio ( $N_2$ )	0,5 – 2,5
Oxigênio ( $O_2$ )	0,1 – 1
Gás sulfídrico ( $H_2S$ )	0,1 – 0,5
Amoníaco ( $NH_3$ )	0,1 – 0,5
Monóxido de carbono ( $CO$ )	0 – 0,1
Hidrogênio ( $H_2$ )	1 – 3

Fonte: Castanon (2002)

A composição do biogás, apresentada na tabela 2, ainda apresenta certa variabilidade, a depender principalmente da composição das matérias primas utilizadas e das condições locais onde ocorreu o processo, dependendo de uma série de parâmetros como a natureza do resíduo, a concentração do substrato, o pH da mistura, a temperatura no interior do biodigestor, a relação carbono/nitrogênio, o tempo de retenção hidráulica, a agitação do meio e o tipo do reator (CHEN, 2008).

O biodigestor consiste então em uma tecnologia que cria as condições ideais para a ação das bactérias metanogênicas sobre a biomassa a ser degradada, sendo assim de suma importância que a câmara promova um ambiente propício para a proliferação dos microorganismos e que a matéria orgânica despejada no reator seja de fácil degradabilidade, fator definido principalmente pela umidade da biomassa, tais como resíduos alimentares, esterco de animais e efluentes industriais e domésticos.

Tratando-se de sua finalidade, segundo Andrade *et al.* (2002), biodigestores têm sido utilizados com motivações específicas em diferentes países em desenvolvimento, a China por

exemplo tem empregado a tecnologia para a produção de biofertilizantes, já as Filipinas aplicam o processo para o tratamento de águas residuais, na Tailândia o objetivo principal é de promover o saneamento e por fim a Índia, que prioriza a geração de energia elétrica a partir do biogás.

Em 2007 foi estimado que a China contava com 18 milhões de unidades de biodigestão descentralizadas de pequena escala, enquanto que na Índia, este número chegava a 5 milhões. Já nos últimos, com o avanço da tecnologia, o mercado de biodigestores passa a ter um crescimento anual de 20 a 30%, viabilizando inclusive a utilização unidades centralizadas para a geração de energia (CURRY e PILLAY, 2011).

A figura 8 ilustra o típico funcionamento de um sistema de microgeração de energia por meio da biodigestão. A primeira etapa consiste na coleta dos resíduos orgânicos, que passarão por um pré-tratamento, onde serão triturados e misturados, seguindo então para o reator. No tanque principal, os resíduos ficarão até um período de retenção para completar a digestão anaeróbica, ao fim deste processo, o principal produto, o biogás, depositado em um gasômetro, será levado até um compressor e em seguida passará por um processo de filtragem, onde serão filtrados os gases tóxicos, tais como o sulfeto de hidrogênio e o gás carbônico, afim evitar potenciais danos ao acionador. Por fim, o biogás será utilizado para acionar o motor gerador, gerando assim, energia elétrica.



Figura 8. Fluxograma de um típico sistema de biodigestão para a geração de energia elétrica.  
Fonte: Elaboração própria

Os benefícios provenientes do reaproveitamento da fração orgânica da biomassa para geração de eletricidade motivou a Universidade da Califórnia, em 2014, a implantar um sistema de biodigestão capaz de receber 50 toneladas diárias de resíduos orgânicos produzidos no campus e gerar diariamente 12.000 kWh de energia, estimando ainda a redução anual de 20.000 toneladas de resíduos alimentares despejados em aterros sanitários anualmente (UCDAVIS, 2014).

Curry e Pillay (2011) destacam no biodigestor, como sistemas de geração de energia elétrica, uma solução para a problemática envolvida nos resíduos orgânicos gerados em ambientes urbanos, onde simultaneamente evita-se o acúmulo de RSU em aterros sanitários e gera-se energia renovável.

### 3.6 Usina de Biodiesel

De acordo com KNOTHE, GERPEN e KRAHL (2006), o biodiesel é caracterizado por um éster de ácido graxo de cadeia longa derivado de lipídios provenientes de fontes renováveis, tais como óleo vegetal e gordura animal. Por apresentar características físico-químicas semelhantes e ser miscível ao óleo diesel mineral, o biodiesel é de grande importância estratégica para o setor energético, representando uma alternativa renovável ao combustível fóssil, podendo substituí-lo por completo ou ser diluído junto ao diesel mineral. Apresentando também uma série de vantagens ambientais, como ser isento de enxofre e de compostos aromáticos, bem como apresentar uma baixa emissão de monóxido de carbono e particulados (GOMES, 2008).

Segundo Teixeira e Taouli (2010) existe uma série de procedimentos tecnológicos para a obtenção do biodiesel, destacando-se o craqueamento térmico, a esterificação e a transesterificação.

O craqueamento térmico, também conhecido como pirólise, consiste na decomposição térmica de triglicérides, em temperaturas superiores a 450 °C e na ausência de ar ou oxigênio, formando como produto do processo uma mistura química de compostos como alcenos, alcanos, alcadienos, aromáticos e ácidos carboxílicos (ALMEIDA, 2016). No entanto, apesar do craqueamento resultar em um óleo com propriedades muito semelhantes aos derivados de petróleo, é necessário um alto investimento e custo de operação para a obtenção de um rendimento modesto, fatores que assim dificultam a viabilidade econômica da utilização deste processo (GARCIA, 2006).

A esterificação, por sua vez, é a formação de ésteres através de uma reação entre um ácido graxo livre e um álcool de cadeia curta na presença de um catalisador ácido (VIEIRA, 2011). Esta rota torna-se interessante então para óleos com alto teor de ácidos graxos livres, como óleos vegetais, e dentre suas principais desvantagens, estão a baixa eficiência do processo e o alto custo do catalisador ácido.

Por fim, a transesterificação, que consiste em uma reação onde um triglicerídeo, a matéria prima, reage com um álcool de cadeia curta sob a ação de um catalisador ácido ou básico, tendo como produto final glicerina e ésteres alquílicos. Este é o método mais difundido para produção de biodiesel, principalmente pelo seu alto rendimento e curto tempo de reação, o processo usualmente utiliza catalisador básico, pelo seu custo e por não causar danos aos equipamentos como o caso do catalisador ácido, e pode adotar uma rota etílica ou metílica para a produção do biocombustível.

Segundo Gerpen (2005), o processo de produção do biodiesel pela rota de transesterificação alcalina, figura 9, consistem em combinar o álcool e o óleo utilizado em um reator, onde será adicionado um catalizador, a mistura será então agitada e aquecida por um

determinado intervalo de tempo. Em seguida os produtos da reação são encaminhados para os tanques de decantação, onde serão deixados em repouso por um período para que ocorra a separação de duas fases: o biodiesel e a glicerina. O biodiesel gerado passará então por um processo lavagem, com água, e purificação, por meio de um ácido, para então estar pronto para ser utilizado.

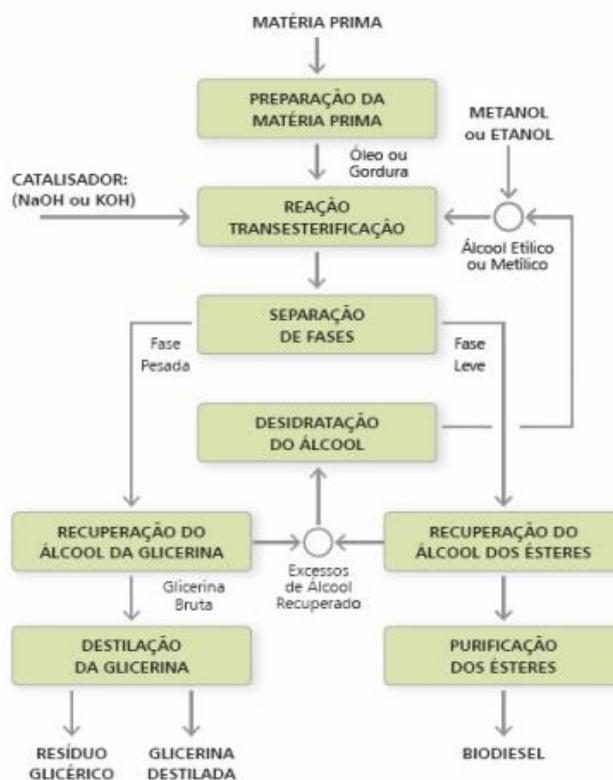


Figura 9. Fluxograma do processo industrial de produção de biodiesel. Fonte: Maronezi e Prucoli (2009)

Se tratando de matéria prima, no Brasil usualmente utiliza-se gorduras animais e óleo de origem vegetal de soja, girasol, babaçu e mamona para a produção de biodiesel, no entanto existem outras fontes, menos difundidas, que tornam-se interessantes por apresentarem uma série de vantagens, como o óleo residual de fritura. DIB (2010) destaca três principais vantagens decorrentes da utilização do óleo residual de fritura para a produção de biodiesel: a primeira, de cunho tecnológico, caracteriza-se pela dispensa do processo de extração do óleo; a segunda, de cunho econômico, caracteriza-se pelo custo da matéria prima, pois se tratar de um resíduo; e a terceira, de cunho ambiental, caracteriza-se pela destinação adequada de um resíduo que, em geral, é descartado inadequadamente impactando o solo e o lençol freático.

Devido a série de vantagens decorrentes de sua reciclagem, o óleo residual já passa a ser utilizado em projetos pilotos, como a planta no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz, na Bahia, apresenta capacidade de produção de 1.400 litros por dia de biodiesel a partir do óleo de dendê e óleo de fritura usado (LIMA, 2004).

Castellanelli (2008) investigou a viabilidade econômica da instalação de uma planta de biodiesel utilizando óleo residual coletado na Universidade Federal de Santa Maria, apontando resultados econômicos altamente favoráveis para a implantação do projeto proposto, com o retorno do investimento em apenas 1,72 anos.

### **3.7 Compostagem Acelerada**

Diferentemente da compostagem natural, o método de compostagem acelerada conta com a aeração das leiras através de um sistema de tubos perfurados sobre os quais a fração orgânica a ser decomposta é depositada. Cada pilha, tem então um soprador ou exaustor individual para melhor controlar a aeração do amontoado, a inserção do ar é utilizada para prover o oxigênio e conseqüente acelerar o processo de degradação biológica que ocorre na leira, diminuindo assim o período no qual o composto permanecerá se decompondo (KIEHL, 1998).

Além da vantagem da diminuição do área necessária e do tempo de maturação do composto em relação a compostagem natural, o método de compostagem acelerada também se mostra mais eficaz na eliminação de organismos patogênicos e apresenta um maior controle dos odores, em contrapartida, o sistema requer um maior investimento e custo de operação (MASSUKADO, 2008).

Entretanto o sistema de compostagem acelerado é recomendado apenas para compostos mais homogêneos, tanto em composição quanto em granulometria, sendo então necessário um pré-processamento da biomassa orgânica antes de ser disposta nas leiras, onde o material deve ser devidamente triturado e peneirado (Massukado, 2008).

Apesar do principal produto da compostagem ser o biofertilizante, segundo Rekow e Rubin (1998), na maioria dos casos apenas a venda do composto não viabiliza o empreendimento, tornando-se apenas um investimento interessante em termos econômicos para regiões que apresentem um alto custo para o despejo do resíduo em aterros sanitários.

Principalmente em áreas urbanizadas, a compostagem passa a se tornar então uma alternativa atrativa como forma de economizar com o aterramento do resíduo, tornando-se nessas regiões um método de tratamento adequado e financeiramente atrativo para municípios e instituições, públicas e privadas, que apresentem uma geração considerável de resíduos.

### **3.8 Proposição do Problema**

O país encontra um grande desafio pela frente em contornar a sua atual gestão ineficiente de RSU, os prejuízos ambientais, sociais e econômicos causados pelo descaso com o lixo serviram como pressão legal por mudanças, que foram concretizadas com a instituição da

PNRS, obrigando instituições públicas e privadas a elaborarem um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). A UFPE, como instituição de ensino e pesquisa, tem papel essencial na divulgação, capacitação de pessoas e organizações para cumprir com tais exigências legais. Este trabalho tem então por objetivo contribuir com a universidade através da realização da análise de viabilidade econômica de um projeto inicial, que visa a implantação de um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos inovador no Brasil, que após concretizado, poderá ser replicado por outras instituições e pequenos municípios.

## 4 METODOLOGIA

Para os objetivos deste trabalho serem atingidos, utilizou-se o método do estudo de caso, que segundo Martins e Pinto (2001), consiste em uma técnica de pesquisa na qual o objetivo é a avaliação de uma unidade que se analisa profunda e intensamente dentro do contexto de uma situação real.

A primeira etapa consistiu em orçamentar o sistema proposto pela GEB-UFPE. Tal levantamento de custos levou como base valores obtidos através de fornecedores e pesquisa de mercado, assim como os custos relativos a instalação e estrutura dos projetos em estudo.

A etapa subsequente fundamentou-se em estimar os custos atuais da universidade com os processos de disposição dos resíduos sólidos gerados no *campus*, com a tarifa de energia elétrica consumida no Departamento de Energia Nuclear (DEN) e com o diesel utilizado pela frota veicular da instituição. O levantamento de tais dados foi realizado através de informações obtidas pela Prefeitura da Cidade Universitária da UFPE.

Em seguida foram avaliados os benefícios financeiros relativos a implementação de cada planta proposta, avaliando os dispêndios decorrentes do funcionamento do sistema, sendo estão estimados custos de operação, manutenção, energia elétrica e depreciação.

Por fim, realizou-se o estudo de viabilidade econômica dos projetos propostos, estimando o fluxo de caixa de cada planta para a determinação dos indicadores de rentabilidade com base nos custos pré e pós instalação do sistema, que no caso do presente trabalho foram: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *payback* descontado (PBd) e a relação de benefício – custo (B/C).

### 4.1 Campus Recife UFPE

Localizado no bairro Cidade Universitária em Recife-PE, o campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), figura 10, abriga uma área de

aproximadamente 161 hectares, dois quais apenas 38 hectares são de área construída, contando com uma circulação diária de cerca de 30 a 40 mil pessoas.

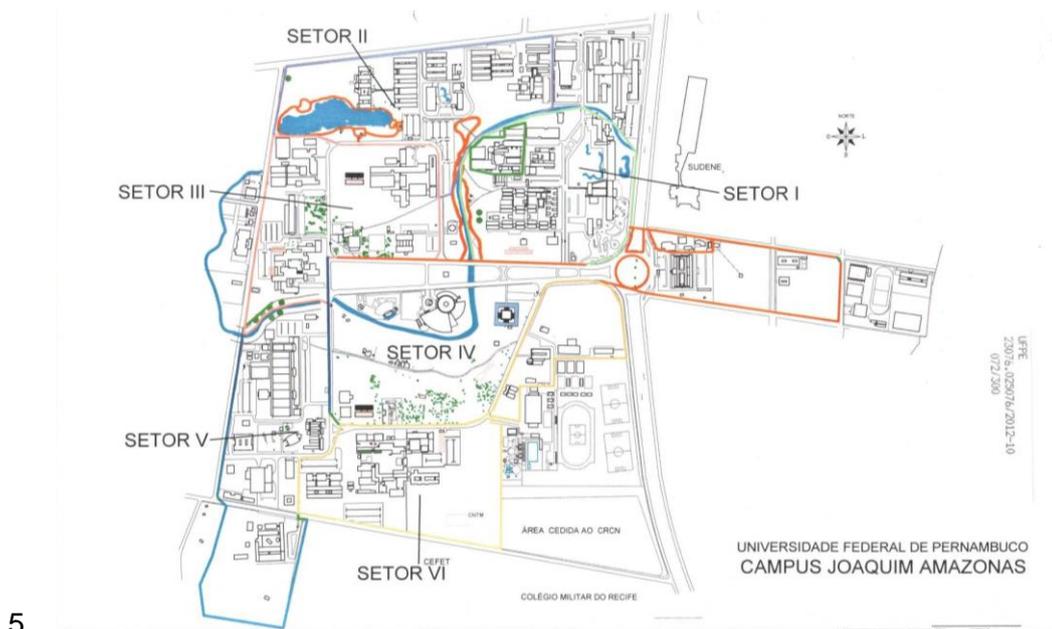


Figura 10. Planta do campus Recife UFPE. PCU-UFPE

#### 4.2 COOPERE

Com base nas diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, surgiu a Coordenação de Prevenção e Gerenciamento de Resíduos e Efluentes (COOPERE) criada na estrutura da Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal de Pernambuco (SINFRA) com o objetivo de estabelecer um sistema de gestão sustentável de todos os resíduos gerados no campus de forma a criar uma “Cidade Modelo” no tema.

O principal produto será a implantação e operação de um sistema integrado de gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos, abordando etapas que vão desde a educação ambiental para não geração ou redução de geração, passando pela segregação e transporte e chegando até a destinação final ambientalmente adequada, incluindo o aproveitamento das matérias primas para reciclagem e a geração de energia renovável.

O esquema, indicado na figura 11, representa a proposta de atuação da COOPERE em longo prazo, determinando a destinação adequada a cada tipo de resíduo coletado no campus, demonstrando um projeto piloto no tema de gestão sustentável de resíduos, iniciativa pioneira no país que pode servir de modelo para outras instituições de ensino superior no Brasil, bem como pequenos e médios municípios do país.

Como proposta inicial, a COOPERE implementará um sistema de coleta e aproveitamento energético da biomassa residual urbana gerada nos parques e jardins e dos resíduos sólidos prediais.

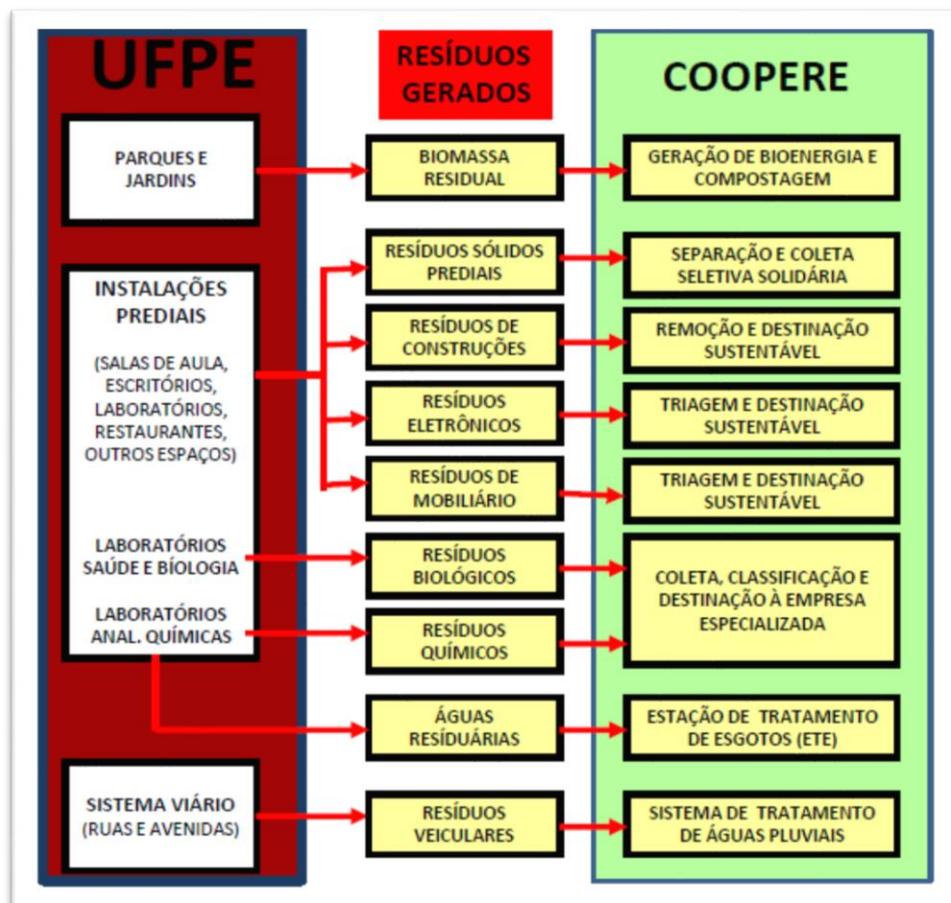


Figura 11. Proposta de atuação da COOPERE. Fonte: GPEB-UFPE

#### 4.3 Coleta Seletiva na UFPE

A universidade atualmente conta com um sistema de coleta seletiva desenvolvida pela Diretoria de Gestão Ambiental, onde os resíduos sólidos prediais são divididos em dois tipos de coletores: rejeitos – identificados pelos sacos pretos – e os recicláveis – dispostos em sacos azuis -. Após a coleta, o material é recolhido e levado a uma área anexa ao Departamento de Licitações e Contratos, figura 12, por onde os sacos azuis são separados dos demais e passam por uma triagem, para serem separados por tipo de material (papel, plástico, metal ou vidro) e depositados em *containers* de onde seguirão para cooperativas que darão um novo destino ao material recolhido.

A instituição também conta com pontos de coleta para materiais que não devem ser descartados em lixos comuns, tais como pilhas e baterias, óleo de fritura e medicamentos,

totalizando 23 pontos espalhados por todo o *campus*, que também serão destinados a cooperativas após o recolhimento.



Figura 12. Local de segregação e armazenamento da fração recicláveis dos resíduos gerados no *campus*

#### 4.4 Projetos Propostos

Os três projetos serão instalados na área externa anexa ao Departamento de Energia Nuclear, figura 13. As plantas foram projetadas pelo Grupo de Energia da Biomassa, levando-se em consideração para o dimensionamento a oferta de matéria prima diária do *campus*.



Figura 13. Área de implantação dos projetos em estudo.

##### 4.4.1 Biodigestor Anaeróbico

Para o dimensionamento do sistema de microgeração, o GEB utilizou como base a oferta diária de matéria orgânica residual das unidades alimentares do *campus*, estimada em 1 t/d. Os parâmetros operacionais do reator estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de operação do reator

<b>Parâmetros de Operação</b>	
Volume do reator	170 m <sup>3</sup>
Taxa de alimentação	2 t/dia
Temperatura de operação	30°C
Tempo de retenção hidráulico	42 d
pH	6,8

Fonte: GPEB-UFPE.

O biodigestor terá capacidade de produção diária de em média 230m<sup>3</sup> de biogás, que será depositado em um gasômetro para ser utilizado como combustível pelo grupo gerador para a geração de eletricidade. O acionador escolhido será um motor alternativo de combustão interna, com potência nominal de 140 kW e 30% de rendimento, que será acionado nos horários de pico, entre às 18 e 21 horas, operando 21 dias por mês, sendo capaz de fornecer em média 151200 kWh/ano de energia.

#### 4.4.2 Usina de Biodiesel

A planta de biodiesel foi planejada de modo a comportar uma carga diária de 150L de óleo de fritura, recolhido das unidades alimentares e dos pontos de coleta da COOPERE espalhados pelo *campus*, operando por quatro horas diárias e produzindo em média 122,06L de biodiesel. Os valores de insumos e produção por batelada estão expostos nas tabelas 4 e 5, respectivamente, e foram estabelecidos conforme os balanços realizados pelo GEB-UFPE.

Tabela 4. Insumos por batelada 150L

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Óleo de Fritura	L	150
Ácido Sulfúrico	Kg	0,67
Metanol	L	37,73
Hidróxido de Sódio	Kg	0,53
Água	L	70,87

Fonte: GEB-UFPE

Tabela 5. Produção por batelada 150L

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
Biodiesel	L	122,06
Glicerina	Kg	12,21

Fonte: GEB-UFPE

#### 4.4.3 Pátio de Compostagem Acelerada

O projeto proposto de compostagem ocupará uma área de 450m<sup>2</sup>, sendo dimensionado para suprir todos os resíduos de varrição, capinação e poda produzidos no *campus*, que equivale a cerca de 10t/dia. O material lignocelulósico será coletado e levado até o patio, onde será disposto continuamente em leira retangulares com 15 m de comprimento e 2,5 m de largura até o amontoado atingir uma altura de 1,5 m.

A periodicidade no reviramento da leira será de 15 em 15 dias até o período de maturação do composto, que pode variar de 30 a 45 dias, dependendo da qualidade da matéria orgânica utilizada.

#### 4.5 Análise Econômica dos projetos

A determinação do fluxo de caixa consistiu em definir os investimentos iniciais e os custos base, aqueles que a universidade assume atualmente, em seguida serão vistos os custos remanescentes, que representam o montante gasto anualmente após o sistema estar devidamente instalado e em funcionamento.

O horizonte adotado foi de 15 anos, tomando 2017 como ano base, e a partir deste foram determinados os parâmetros constantes para a análise econômica, tabela 6. Foram adotados dois parâmetros: o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e a taxa de desconto, calculada com base na taxa SELIC, ambos com base em junho de 2017.

Taxa de desconto	10,25%
IPCA	3,90%

Fonte: Elaboração própria

##### 4.5.1 Biodigestor Anaeróbico

- Despesas

##### 1. Investimento Inicial

Os custos dos equipamentos foram levantados conforme os orçamentos enviados por fornecedores, tabela 7.

Equipamento	Custo (R\$)
<b>Sistema de biodigestão</b>	

Geomembrana de revestimento	44.677,27
Geomembrana de cobertura	44.677,27
Tubulação, válvulas	500,00
<b>Equipamentos elétricos e acessórios</b>	
Triturador com motor	14.000,00
Bomba para drenagem	1.600,00
Compressor	1.500,00
Eletrodutos	1.500,00
Grupo motor gerador	342.000,00
Cabos de conexão à rede elétrica	30.000,00
<b>Sistemas auxiliares e acessórios</b>	
Tanque para mistura de substrato	5.000,00
Tubulação e válvulas	1.500,00
Geomembrana – Tanque para biofertilizante	20.000,00
Tanques de produtos químicos e bombas dosadoras	15.000,00
Sistema de medição de pressão	300,00
Medidor de vazão	2.500,00
<b>Obra Civil</b>	
Instalação do biodigestor	10.000,00
Tanque de recepção de resíduos alimentares	5.000,00
Tanque de recepção de biofertilizante diluído	20.000,00
Escavação para o reservatório	500,00
Galpão 75 m <sup>2</sup>	11.250,00
<b>Sistema de Aquisição de Dados</b>	
CPL e sensores	50.000,00
<b>Sistema de sincronização com a rede</b>	
Valor	50.000,00
<b>Quadro de conexão</b>	
Valor	10.000,00
<b>Total Investimento Inicial</b>	<b>R\$ 681.504,54</b>

Fonte: GEB-UFPE

## 2. Custos Base

A determinação do consumo atual de energia elétrica da universidade se deu através de uma média das contas de energias no período de fevereiro a março de 2017, onde o consumo médio mensal foi de 1998,03 kWh em horário de ponta e 27129,29 kWh em horário fora de ponta, os valores foram então utilizados para se chegar a média de consumo anual de 23976,36 kWh em horário de ponta e 325551,48 kWh em horário fora de ponta.

A definição do custo do kWh seguiu a mesma metodologia previamente descrita, onde foram encontrados os valores médios entre o período estudado, chegando assim as tarifas médias de R\$ 1,73 por kWh em horário de ponta e R\$ 0,32 por kWh em horário fora de ponta.

Considerando os valores da tarifa, para ambos os horários, previamente definidos, chega-se ao custo base total de energia de R\$ 145.655,58, sendo R\$ 41.509,07 deste total apenas relativo ao consumo em horário de ponta.

É importante ressaltar que este trabalho não considerou alguns custos inclusos na conta da CELPE, tais como a demanda ativa, a contribuição à iluminação pública, ICMS, entre outros, pois estes apresentam valores fixos e não influenciarão o resultado final.

Para a determinação dos valores gastos pela UFPE com aterros sanitários, foi realizado um levantamento com os dados da DGA-UFPE sobre o custo dos de disposição dos resíduos alimentares pelos últimos doze meses, chegando assim a média de R\$ 161,70/t, considerando ainda que a universidade produz em média 260 toneladas de resíduos alimentares por ano, chega-se ao valor total anual relativo ao despejo do RSU de R\$ 42.042,00.

Os valores obtidos são então expostos na Tabela 8.

Tabela 8. Custo Base - Biodigestor

<b>Custos Base</b>	<b>2017</b>
Tarifa Energia Elétrica (média) – Ponta	R\$ 1,73
Consumo Energia Elétrica (média) – kWh	23976,36
Tarifa Energia Elétrica (média) – Fora de Ponta	R\$ 0,32
Consumo de Energia Elétrica (média) – kWh	325551,48
<b>Total Custo Base Energia Elétrica</b>	<b>R\$ 145.655,58</b>
<b>Total Custo Base Aterro Sanitário</b>	<b>R\$ 42.042,00</b>
<b>Total Custo Base</b>	<b>R\$ 187.697,58</b>

Fonte: Elaboração própria

### 3. Custos Remanescentes

Os custos remanescentes foram definidos como o montante gasto após a implantação do projeto, considerando assim os custos de manutenção & operação, de depreciação dos equipamentos e o consumo de energia da planta

Primeiramente foi definido que o sistema precisaria da presença de dois funcionários, onde estes seriam responsáveis por receber os resíduos alimentares, carregar o biodigestor, limpar as instalações e realizar a mistura e formação do substrato. Os funcionários também teriam como função acionar os motores de combustão interna, monitorar as condições ótimas do biodigestor e garantir a manutenção dos equipamentos. A determinação do valor pago aos trabalhadores foi determinado a partir de pesquisa de mercado, onde foi definido um valor mensal de R\$ 3.108,00 para cada trabalhador, representando assim um custo anual de R\$ 74.592,00.

Em relação ao volume diário de água que será utilizado, a quantidade necessária por operação diária será de 1 m<sup>3</sup>. Levando em conta o custo do metro cúbico a R\$10,00, o dispêndio anual será de R\$ 2.600,00. Vale salientar que com o aproveitamento de água de chuva este custo pode diminuir significativamente.

A determinação do consumo de energia da planta, tabela 9, levou em consideração a potência dos equipamentos elétricos, ressaltando que apenas o compressor será acionado em horário de ponta, enquanto os outros equipamentos, bomba e triturador, trabalharão apenas em horário fora de ponta.

Tabela 9. Consumo de Energia - Biodigestor

<b>Equipamento</b>	<b>Potência elétrica (kW)</b>	<b>Qnt</b>	<b>Tempo operação diária (h)</b>	<b>Dias em operação</b>	<b>Consumo anual (kW)</b>
Bomba centrífuga	0,37	1	1	260	96,2
Triturador	7,35	1	1	260	1911
Compressor	0,1	1	3	260	78
<b>Total Consumo de Energia do Projeto - Fora de Ponta (kWh)</b>					174,20
<b>Tarifa Energia Elétrica (média) – Fora de Ponta</b>					R\$ 0,32
<b>Total Consumo de Energia do Projeto – Ponta (kWh)</b>					1911
<b>Tarifa Energia Elétrica (média) – Ponta</b>					R\$ 1,73
<b>Total Custo Consumo de Energia</b>					<b>R\$ 3361,77</b>

Fonte: Elaboração própria.

A depreciação dos equipamentos, para então se estimar o custo anual de depreciação, foram obtidos através de Cifuentes (2015), sendo apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Custo de Depreciação - Biodigestor

<b>Equipamento</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Vida Útil (anos)</b>	<b>Depreciação (R\$/ano)</b>
<b>Sistema de biodigestão e acessórios</b>			
Geomembrana de revestimento	44.677,27	15	2.978,48
Geomembrana de cobertura	44.677,27	15	2.978,48
Tubulação, válvulas	500,00	25	20
<b>Equipamentos elétricos e acessórios</b>			
Triturador com motor	14.000,00	15	933,33
Bomba para drenagem	1.600,00	10	160,00
Compressor	1.500,00	10	150,00
Eletrodutos	1.500,00	25	60,00
Grupo motor gerador	342.000,00	20	17.100,00
Cabos de conexão à rede elétrica	30.000,00	25	1.200,00
<b>Sistemas auxiliares e acessórios</b>			
Tanque para mistura de substrato	5.000,00	25	200,00
Tubulação e válvulas	1.500,00	25	60,00
Geomembrana – Tanque para biofertilizante	20.000,00	15	1.333,33

Tanques de produtos químicos e bombas dosadoras	15.000,00	10	1.500,00
Sistema de medição de pressão	300,00	10	30,00
Medidor de vazão	2.500,00	10	250,00
<b>Obra Civil</b>			
Galpão 75 m <sup>2</sup>	11.250,00	50	225,00
<b>Total Custo de Depreciação</b>			<b>R\$ 29178,62</b>

Fonte: Cifuentes (2015) adaptado

Já os valores de manutenção foram obtidos através de Pecora (2006), e seus valores foram trazidos ao valor presente utilizando a taxa de inflação definida neste trabalho. Os custos de manutenção são então apresentados na tabela 11.

Tabela 11. Custo de manutenção do grupo motor gerador

<b>Componentes</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Qnt</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Custo Anual</b>
Troca de Velas	300h	6	R\$ 20,00	R\$ 120,00	R\$ 302,40
Troca de Cabo de Velas	1000h	6	R\$ 30,00	R\$ 180,00	R\$ 136,08
Troca de Óleo	400h	18	R\$ 18,00	R\$ 324,00	R\$ 512,36
Troca do Filtro de Óleo	400h	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00	R\$ 132,30
Retífica do Motor	5000h	1	R\$ 5000,00	R\$ 5000,00	R\$ 756,00
<b>Total Custo de Manutenção</b>					<b>R\$ 1939,14</b>

Fonte: Pecora (2006) adaptado

Sendo assim, os valores para os custos remanescentes são dados pela tabela 12.

Tabela 12. Custos remanescentes - biodigestor

<b>Custos Remanescentes</b>	<b>2017</b>
<b>Total Custo Consumo de Energia</b>	<b>R\$ 3361,77</b>
Tarifa Energia Elétrica (média) Ponta - kWh	R\$ 1,73
Energia Elétrica Gerada Ponta - kWh	151200
<b>Total Custo de Energia Gerada</b>	<b>R\$ 261.576,00</b>
<b>Total Custo Remanescente de Energia</b>	<b>- R\$ 112.558,65</b>
<b>Total Custo Remanescente Aterro Sanitário</b>	<b>-</b>
Custo de Operação	R\$ 77.192,00
Custo de Manutenção	R\$ 1939,14
<b>Total Custo O&amp;M</b>	<b>R\$ 79.131,14</b>
<b>Total Custo de Depreciação</b>	<b>R\$ 29.178,62</b>
<b>Total Custo Remanescentes</b>	<b>R\$ 6.151,11</b>

Fonte: Elaboração própria.

- **Benefícios**

Os benefícios logrados após a implementação do biodigestor advém da economia de energia elétrica e na eliminação dos gastos com disposição dos resíduos alimentares em aterros sanitários.

Devido a instalação do sistema de microgeração, é esperado que a UFPE possa economizar um total de R\$ 261.576,00, visto que é esperado uma geração anual de energia elétrica de 151200 kWh com o sistema em funcionamento.

Quanto a economia relativa aos custos dos transporte ao aterro sanitário, considerando o valor de R\$ 161,70/t pago as empresas terceirizadas, chega-se a poupar anualmente a quantia de R\$ 42.042,00.

Muito embora não seja contabilizado nesta análise, o processo de biodigestão ainda tem como subproduto o biofertilizante, que pode variar a depender da composição da matéria orgânica despejada no reator. Segundo Zhang *et al.* (2007) consegue-se degradar aproximadamente 80% dos sólidos voláteis, isto é, para uma quantidade anual de 260 t de resíduos alimentares, vai ser produzido então o estimado de 8408,4 t de fertilizantes, podendo utiliza-los então nos parques e jardins do *campus*.

#### 4.5.2 Usina de Biodiesel

- Despesas

##### 1. Investimento Inicial

Os custos dos equipamentos foram levantados conforme os orçamentos enviados por fornecedores, tabela 13.

Tabela 13. Investimento inicial - Usina de biodiesel

Descrição	Qty.	Custo (R\$)
<b>Tanques Internos</b>		
Tanque Cilíndrico Polietileno 230L	2	1.190,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 1200L	1	1.700,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 1500L	1	1.900,00
<b>Tanques Externos</b>		
Tanque Cilíndrico Polietileno 1200L	1	1.700,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 280L	1	610,00
<b>Equipamentos Elétricos e Tubulações</b>		
Bomba Centrífuga 0,5 CV	3	1.350,00
Resistência Boiler 3kW	1	350,00
<b>Obra Civil</b>		
Tubulações e Válvulas		300,00
Galpão 50 m <sup>2</sup>		7.500,00
Estrutura de Suporte		4.500,00
<b>Total Investimento Inicial</b>		<b>R\$ 21.100,00</b>

Fonte: Elaboração própria

## 2. Custo Base

Para se determinar os valores de custo base, primeiramente foi realizado um levantamento sobre o consumo de diesel pela universidade no ano de 2016, que segundo a PCU-UFPE representou uma despesa de R\$ 517.995,69, um dispêndio de aproximadamente 161874L de biodiesel anualmente,

O preço médio atual do biodiesel foi determinado a partir das estimativas de preço médio da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para o estado de Pernambuco entre o período de 01 de maio a 31 de maio de 2017, sendo considerado o valor de R\$ 3,20 por litro.

Como a universidade apresenta atualmente uma parceria com cooperativas que coletam o óleo residual produzido no *campus*, o custo relativo a destinação do resíduo a aterros não será considerado, visto que no presente momento não consiste em um custo para a instituição. O custo base é apresentado na tabela 14.

Tabela 14. Custo base - Usina de biodiesel

<b>Custo Base</b>	<b>2017</b>
Preço do Diesel (médio)	R\$ 3.20
Consumo de Diesel (médio) -	161847 L
<b>Total Custo Base Diesel</b>	<b>R\$ 517.910,40</b>
<b>Total Custo Base Aterro Sanitário</b>	<b>-</b>
<b>Total Custo Base</b>	<b>R\$ 517.910,40</b>

Fonte: Elaboração própria.

## 3. Custo Remanescente

Se tratando da Usina de Biodiesel, os custos remanescentes serão o custo de operação e manutenção, o custo de depreciação e o consumo de energia da planta.

A planta precisará apenas um funcionário para o seu funcionamento, sendo este responsável por receber a matéria prima, bem como acionar as bombas e a resistência nos horários pré-determinados e garantir a limpeza dos tanques. Considerando que o valor mensal pago a um auxiliar técnico em jornada de 8 horas como R\$ 3.108,00, e como a usina só funcionará por meio período, isto é, 4 horas, então o custo mensal relativo ao operador é de R\$ 1.554,00 mais o adicional de insalubridade de grau médio, que consta como 20% do salário mínimo nacional, chega-se ao valor mensal de R\$ 1.741,40, resultando em um gasto anual de R\$ 20.898,80.

Como mais um custo adicional para o seu funcionamento, a planta necessitará de filtros de perla, que serão utilizados para filtragem do óleo de fritura ao ser adicionado no reator, foi definido a utilização de 5 metros de perla por ano, consistindo assim em um custo anual de R\$ 20,00.

Para o cálculo do custo dos insumos por batelada, foi realizada uma pesquisa de mercado chegando aos valores explicitados na tabela 15. O valor considerado para o custo do metro cúbico de água foi de R\$ 10,00.

Tabela 15. Preços dos insumos por batelada 150L

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qty</b>	<b>Preço (R\$)/Unidade</b>	<b>Preço (R\$)/Batelada</b>
Óleo de Fritura	L	150	-	-
Ácido Sulfúrico	Kg	0,67	50	33,50
Metanol	L	37,73	7	264,11
Hidróxido de Sódio	Kg	0,53	10	5,30
Água	L	70,87	0,001	0,07
<b>Total Custo por Batelada</b>				<b>R\$ 302,98</b>

Fonte: Elaboração própria

Considerando que a usina produzirá 260 bateladas por ano, é possível chegar ao custo base anual de produção de R\$ 78.774,80.

Sendo assim, o custo operacional consistirá no custo de produção adicionado do custo de mão-de-obra, resultando assim uma despesa anual de R\$ 99.693,60.

Os custos de depreciação, expostos na tabela 16, foram determinados a partir de GATTO (2014).

Tabela 16. Custo de depreciação - Usina de biodiesel

<b>Equipamento</b>	<b>Qty.</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Vida Útil (Anos)</b>	<b>Depreciação (R\$)</b>
<b>Tanques Internos</b>				
Tanque Cilíndrico Polietileno 230L	2	1.190,00	10	119,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 1200L	1	1.700,00	10	170,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 1500L	1	1.900,00	10	190,00
<b>Tanques Externos</b>				
Tanque Cilíndrico Polietileno 1200L	1	1.700,00	10	170,00
Tanque Cilíndrico Polietileno 280L	1	610,00	10	61,00
<b>Equipamentos Elétricos e Tubulações</b>				
Bomba Centrífuga 0,5 CV	3	1350,00	10	135,00
Resistência Boiler 3kW	1	350,00	5	70,00
Tubulações e Válvulas		300,00	25	12,00
<b>Obra Civil</b>				
Galpão 50 m <sup>2</sup>		7.500,00	50	150,00
Estrutura de Suporte		4.500,00	25	180,00
<b>Total Custo de Depreciação</b>				<b>R\$ 1257,00</b>

Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos equipamentos elétricos, a planta apresenta três bombas centrífugas de 0,37kW e uma resistência boiler de 3kW, considerando que cada bomba irá operar em média 20 minutos por batelada e a resistência 40 minutos por batelada, e como ambas serão ligadas apenas em horário fora de ponta, chegou-se ao consumo elétrico anual de R\$ 225,42, tabela 17.

Tabela 17. Consumo de Energia - Usina Biodiesel

<b>Equipamento</b>	<b>Potência Elétrica (kW)</b>	<b>Qnt</b>	<b>Tempo Operação diária (h)</b>	<b>Dias em Operação</b>	<b>Consumo Anual (kW)</b>
Bomba Centrífuga	0,37	3	0,33	260	95,24
Resistência boiler	3	1	0,66	260	514,80
<b>Total Consumo de Energia do Projeto</b>					<b>609,24</b>
<b>Tarifa Energia Elétrica (média) – Fora de Ponta</b>					<b>R\$ 0,37</b>
<b>Total Custo Consumo de Energia</b>					<b>R\$ 225,42</b>

Fonte: Elaboração própria

Sendo assim, chega-se ao custo pós implantação do sistema exposto na tabela 18.

Tabela 18. Custos Remanescentes - Usina de Biodiesel

<b>Custos Remanescentes</b>	<b>2017</b>
Preço do Diesel por Litro (médio)	R\$ 3,20
Total Diesel Gerado	101.553,92 L
<b>Total Custo Remanescente Diesel</b>	<b>R\$ 416.356,48</b>
Preço da Glicerina por Kilograma (médio)	R\$ 1,65
Total Glicerina Gerado	3174,60 kg
<b>Total Custos Remanescentes Glicerina</b>	<b>- R\$ 5.238,09</b>
<b>Total Custos Remanescentes Transporte - Aterro</b>	<b>-</b>
<b>Total Custo Consumo de Energia</b>	<b>R\$ 225,42</b>
Custo de Operação	R\$ 99.693,70
Custo de Manutenção	-
<b>Total Custo O&amp;M</b>	<b>R\$ 99.693,70</b>
<b>Total Custo de Depreciação</b>	<b>R\$ 1257,00</b>
<b>Total Custos Remanescentes</b>	<b>R\$ 512.294,51</b>

Fonte: Elaboração própria

- **Receita**

Para estimar a receita, tabela 19, foram considerados tanto a produção do biodiesel quanto a glicerina, e muito embora não se tenha um valor determinado quanto ao consumo mensal da universidade deste subproduto, o mesmo foi considerado já que é bastante utilizado em pesquisas e laboratórios. Também é válido salientar que futuramente existe a

possibilidade do reaproveitamento da glicerina, a transformando em etanol através da fermentação, o que pode inclusive diminuir significativamente os custos de produção por batelada, aumentando a viabilidade do projeto.

Tabela 19. Produção por Batelada 150L

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (R\$/Unidade)</b>	<b>Preço (R\$)/Batelada</b>
Biodiesel	L	122,06	3,20	390,59
Glicerina	Kg	12,21	1,65	20,15
<b>Total Produção por Batelada</b>				<b>R\$ 410,74</b>

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.5.3 Pátio de Compostagem Acelerada

##### 1. Investimento Inicial

Os custos de investimento inicial foram obtidos através de orçamentos enviados por fornecedores, tabela 20.

Tabela 20. Investimento inicial - Pátio de Compostagem

<b>Descrição</b>	<b>Custo (R\$)</b>
<b>Equipamentos</b>	
Picador Rotativo	68.000,00
Peneira Rotativa	45.000,00
Aerador e Baias de Compostagem	34.200,00
Medidor de Temperatura	5.500,00
Carretão	9.000,00
Caminhão Médio Porte	125.000,00
Caçamba Basculante	22.000,00
<b>Obra Civil</b>	
Galpão Pré-Fabricado 450 m <sup>2</sup>	135.000,00
Instalação	14.000,00
<b>Total Investimento Inicial</b>	<b>R\$ 457.700,00</b>

Fonte: Elaboração própria

##### 2. Custo Base

Considerando o valor de R\$ 161,70 por tonelada gastos para o transporte do resíduo ao aterro e a produção média diária de biomassa vegetal residual no *campus* como 10 toneladas diárias, chega-se ao custo base anual R\$ 590.205,00.

### 3. Custos Remanescentes

Para a operação da planta, serão necessários dois funcionários, estes serão responsáveis por coletar os resíduos já segregados, por acionar e manter todo o maquinário utilizado. O valor pago mensalmente para um auxiliar técnico considerado neste trabalho foi de R\$ 3.108,00 com base em valores de mercado, representando assim um gasto anual de R\$ 74.592,00 para manter os dois trabalhadores.

Conforme foi apresentado previamente, a leira precisará ser revirada, e para isto, será necessário a contratação de serviços de uma máquina retroescavadeira a cada 15 e 15 dias até o período de maturação que pode variar entre 30 e 45 dias. Devido as incertezas envolvidas neste cálculo, foi definido que cada leira deverá ser revirada em média 20 vezes por ano, como o projeto foi dimensionado para utilizar quatro leiras, e o custo para a contratação diária de tal serviço é de R\$ 440,00, conforme os dados da PCU-UFPE, chega-se ao gasto anual de R\$ 35.200,00.

O montante gasto anualmente para O&M, é então de R\$ 109.792,00.

A determinação dos dispêndios anuais com energia elétrica para o funcionamento do maquinário foi estipulado através da capacidade de processamento de cada máquina levando em consideração que serão processadas em média 14 toneladas de matéria orgânica diariamente. Os valores encontrados estão dispostos na tabela 21.

Tabela 21. Consumo de Energia - Pátio de Compostagem

<b>Equipamento</b>	<b>Potência Elétrica (kW)</b>	<b>Qnt</b>	<b>Tempo operação diária (h)</b>	<b>Dias em Operação</b>	<b>Consumo anual (kW)</b>
Picador Rotativo	37	1	2	260	19240
Peneira Rotativa	1,5	1	2,5	260	975
<b>Total Consumo de Energia - Fora de Ponta (kWh)</b>					<b>20215</b>
Tarifa Energia Elétrica (média) – Fora de Ponta					R\$ 0,32
<b>Total Consumo de Energia – Ponta (kWh)</b>					<b>-</b>
Tarifa Energia Elétrica (média) – Ponta					-
<b>Custo Consumo de Energia Total</b>					<b>R\$ 6.468,80</b>

Fonte: Elaboração própria

Os custos de depreciação anual dos equipamentos para o pátio de compostagem foram determinados a partir de GATTO(2007) e são apresentados em detalhes na tabela 22.

Tabela 22. Custo de Depreciação - Pátio de Compostagem

Descrição	Custo (R\$)	Vida Útil (anos)	Depreciação (R\$/ano)
<b>Equipamentos</b>			
Picador Rotativo	68.000,00	20	3.400,00
Peneira Rotativa	45.000,00	20	2.250,00
Aerador e Baias de Compostagem	34.200,00	20	1.710,00
Medidor de Temperatura	5.500,00	10	550,00
Carretão	9.000,00	10	900,00
Caminhão Médio Porte	125.000,00	10	12.500,00
Caçamba Basculante	22.000,00	10	2.200,00
<b>Obra Civil</b>			
Galpão 450 m <sup>2</sup>	135.000,00	50	2.700,00
<b>Total Custo de Depreciação</b>			<b>R\$ 26.210,00</b>

Fonte: Elaboração própria

Sendo assim, chegou-se aos custos remanescentes totais após a instalação do projeto, expostos na tabela 23.

Tabela 23. Custos Remanescentes - Pátio de compostagem

Custo Remanescente	2017
<b>Total Custo Remanescente Transporte RA</b>	-
<b>Total Custo O&amp;M</b>	R\$ 109.792,00
<b>Total Custo de Depreciação</b>	R\$ 26.210,00
<b>Total Custos Remanescentes</b>	<b>R\$ 136.002,00</b>

Fonte: Elaboração própria

- **Benefícios**

O pátio será capaz de suprir toda a biomassa residual vegetal gerada no campus, sendo assim, após a instalação do projeto a universidade não precisará mais gastar com a disposição do resíduo em aterro, gerando uma economia anual de R\$ 590.205,00, conforme visto anteriormente.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Apresentação dos resultados

Após determinado o fluxo de caixa das plantas, foram calculados os indicadores de rentabilidade, exibidos na tabela 24.

Tabela 24. Indicadores de rentabilidade

	VPL	B/C	TIR	Payback Descontado (anos)
Biodigestor	R\$ 1.361.149,52	4,51	44%	3,86
Usina de Biodiesel	R\$ 68.655,84	2,82	40,96%	4,14
Pátio de Compostagem Acelerada	R\$ 4.426.709,04	10,56	13498,81%	1,01

Fonte: elaborada pelo autor

## 5.2 Análise dos resultados

Com base nos indicadores de rentabilidades obtidos para cada projeto, é possível constatar que todas as propostas avaliadas são economicamente viáveis, com destaque para o pátio de compostagem que obteve uma alta relação benefício – custo e um payback de apenas um ano.

Os valores dos VPLs foram positivos para todas as plantas, demonstrando a solvência econômica do sistema proposto, obtiveram destaque principalmente o biodigestor e novamente o pátio de compostagem acelerada.

Embora a usina de biodiesel tenha apresentado indicadores menos atraentes quanto aos outros projetos, a planta apresenta a grande vantagem de apresentar um baixo custo de investimento e uma infraestrutura mais modesta para o seu funcionamento, podendo ser implementada com facilidade e em um curto período de tempo.

Quanto ao TIR, o pátio de compostagem acelerada se destaca novamente, apresentando uma taxa interna de retorno muito acima das outras propostas, comprovando a alta atratividade financeira do investimento. O biodigestor e a usina de biodiesel, no entanto, também apresentaram uma TIR superior a taxa de desconto aplicada, validando a viabilidade econômica das plantas.

## 6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Como foi exposto neste trabalho, a problemática decorrente da destinação inadequada dos resíduos sólidos afeta todo o Brasil, e mesmo a PNRS em vigência, traçando diretrizes que priorizam o tratamento dos resíduos, o país ainda encontra uma gestão deficitária no tocante ao

tema. É necessário uma maior adesão das instituições, tanto públicas quanto privadas, para que seja possível mudar de fato o atual panorama nacional dos RSU.

Com a geração de 1 t de resíduos alimentares, 10 t de biomassa vegetal e 100 L de óleo de fritura diariamente, a UFPE apresenta um grande potencial de reaproveitamento de seus resíduos não explorado, implicando ainda em custos extras com o despejo adequado ao lixo, custos estes que poderiam ser diminuídos de forma expressiva e até eliminados se houvesse um sistema que permitisse a reutilização dos resíduos

O estudo de caso desenvolvido demonstrou a viabilidade econômica do projeto inicial para a implantação da “Cidade Modelo” na UFPE, validando que é possível obter benefícios ambientais decorrentes de uma gestão sustentável aliados a um retorno financeiro economicamente atrativo, conforme confirmado principalmente pelo pátio de compostagem destinado ao tratamento dos materiais lignocelulosicos e o sistema de microgeração de energia a partir do biogás oriundo dos restos de alimentos.

Ao todo os projetos avaliados poderão gerar uma economia de R\$ 1.000.615,00 para a universidade em seu primeiro ano de atividade, sendo capaz de eliminar em sua totalidade os gastos com disposição em aterros sanitários dos resíduos orgânicos, alimentar toda a energia do DEN, gerando um excedente de energia que será creditado nas faturas, e ainda suprir 19,61% do diesel consumido pela frota veicular da instituição.

É válido ainda salientar que o GEB já conta com plantas experimentais dos projetos propostos, onde são realizados estudos para avaliar a futura viabilidade de sistemas de maiores escalas, atualmente o biodigestor, figura 15, apresenta uma capacidade de 8m<sup>3</sup>, a usina de biodiesel é capaz de receber até 40L por batelada, figura 16, e o pátio de compostagem, figura 17, recebe apenas uma pequena fração dos restos de alimentos do restaurante universitário. Sendo assim é possível constatar que a equipe já conta com experiência e *know-how* em projetos de menor escala, o que reflete em uma menor probabilidade de risco técnico, financeiro ou atraso no cronograma caso desperte o interesse em colocar as propostas aqui expostas em prática.

É recomendado no entanto que a universidade reforce o sistema de coleta seletiva, procurando aumentar a sua abrangência, seu corpo de funcionários e a eficácia da metodologia de segregação, incluindo também campanhas que promovam a educação ambiental e procurem informar sobre a forma e local correto de descarte de cada material.

É sugerido também a elaboração de outros estudos que abordem rotas alternativas de processamentos de resíduos das abarcadas neste trabalho, para então se avaliar os benefícios da utilização de diferentes tecnologias e assim determinar a melhor estratégia de destinação para cada RSU e guiar a tomada de decisão quanto ao investimento.



Figura 14. Biodigestor experimental de 8m<sup>3</sup>



Figura 15. Usina de biodiesel 140L por batelada



Figura 16. Pátio de compostagem experimental

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**: NBR 8419. Rio de Janeiro: 1992.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Classificação de resíduos sólidos**: NBR 10,004. Rio de Janeiro: 2004.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aterro de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implementação e operação**: NBR 13,896. Rio de Janeiro: 1997.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Atlas brasileiro de emissões de GGE e potencial energético na destinação de resíduos sólidos**. São Paulo: 2013. p. 12.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: 2014.

ALMEIDA, T. S. **Estudo da reação de transesterificação de óleo de soja e pinhão-mansão por metanolise e etanolise empregando diversos catalisadores**. Dissertação (Mestrado em UNESP). Ilha Solteira, SP: 2016.

ANDRADE, M.; RANZI, T.; MUNIZ, R.; SILVA, L; ELIAS, M. **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. In: 4o Encontro de energia no meio rural – AGRENER 2002. Campinas – SP, pp. 1-12: 2012.

BARRETO, E.; RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. **Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida - Soluções energéticas para a Amazônia**, Programa luz para todos. 1. ed. Brasília: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008.

BRASIL, Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº 147, 3 p., 03 de agosto de 2010.

BRINGHENTI, J. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. Dissertação (Doutorado em USP). São Paulo, SP: 2004.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EDUSP, 1999. 109 p.

BIDONE, R. F. **Tratamento do lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios, seguidos de banhados construídos: estudo de caso – central de resíduos do Recreio, Minas do Leão/RS**. Dissertação (Mestrado em USP). São Paulo, SP: 2008.

CASTELLANELLI, C. A. **Estudo da viabilidade de produção de biodiesel obtido através do óleo de fritura usado, na cidade de Santa Maria – RS.** Dissertação (Mestrado em UFSM). Santa Maria, SC: 2008.

CASTANON, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais.** São Paulo, 2002.

CHEN, Y.; CHENG J. J.; CREAMER, K. S. **Inhibition of anaerobic digestion process: a review.** Bioresour Technol, 2008.

CIFUENTES, I. D. R. **Análise de viabilidade técnica e econômica da microgeração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás oriundo de resíduos alimentares.** Dissertação (Doutorado em UFPE). Recife, PE: 2015.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense.** Circular Técnica nº 9, EMBRAPA: Corumbá, 1981.

CURRY, N.; PILLAY, P. **Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment.** Renewable energy: 2011.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um motor-generador.** Dissertação (Mestrado em UNESP), Ilha Solteira, SP: 2010.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação preliminar do aproveitamento energético dos resíduos sólidos de Campo Grande, MS.** Rio de Janeiro: 2008.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016 – Relatório Síntese Ano Base 2015.** Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)> Acesso em: 15 jun, 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Rio de Janeiro: 2014.

GARCIA, C. M. **Transesterificação de óleo vegetais.** Dissertação (Mestrado em UNICAMP). Campinas, SP: 2006.

GATTO, O. **Estudo de vidas úteis para máquinas e equipamentos.** Relatórios Ibape / SP- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo, 2007.

GERPEN, J. V. **Biodiesel processing and production.** Fuel Processing Technology, 2015, n. 86 p. 1097 – 1107.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira,** 7ª ed. São Paulo: HARBRA, 2002. 841 p.

GOMES, A. P. N. **Biodegradação de biodiesel soja, mamona e hidrocarbonetos monoaromáticos em ambientes aquáticos**. Dissertação (Mestrado em UFSC). Florianópolis, SC: 2008.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: 2001. 119 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE 1995. 278 p.

IPCC. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Nova Iorque, NY, EUA: Cambridge University Press, 2012.

IPCC, **Relatório do IPCC/ONU**: Novos cenários climáticos, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual do Biodiesel**. Traduzido do original "The Biodiesel Handbook" por Luiz Pereira Ramos. Editora: Edgard Bluncher, São Paulo, SP: 2006.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume**. Dissertação (Mestrado em UFMG). Belo Horizonte, Minas Gerais: 2002.

LIMA, P. C. R. **O biodiesel e a inclusão social**. Consultoria Legislativa. Brasília: Câmara dos Deputados: 2004.

MARONEZI, A. P.; PRUCOLI, M. **A viabilidade econômica do empreendimento de biodiesel**. Revista Nacional da Carne, São Caetano – SP: FEV 2009

MARTINS, G. A.; PINTO, R. L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo, SP: Atlas, 2001.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. Dissertação (Doutorado em UFSCAR). São Carlos, SP: 2008.

MASSUKADO, L. M. **Sistema de apoio à decisão**: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares. Dissertação (Mestrado em UFSCar). São Carlos, SP: 2004.

NASCIMENTO, L. C. A.; FILHO, N. B. A.; ZAKON, A. Cinzas da incineração de lixo: matéria-prima para cerâmicas. **Ciência Hoje**, v. 27. n. 160. p. 63-67. 2000.

OLIVEIRA, M. H. F. **A avaliação econômico-financeira de investimentos sob condição de incerteza: uma comparação entre o método de monte carlo e o VPL fuzzy**. Dissertação (Mestrado em UFSCar). São Carlos, SP: 2008.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. Dissertação (Doutorado em USP). São Paulo: 2010.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de caso**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) Universidade de São Paulo - USP.

RENKOW, M.; RUBIN, A. R. RUBIN. **Does municipal solid waste composting make economic sense?** Journal of Environmental Management (1998), n. 53, p. 339 – 347.

SANTOS, S. M. **Gerenciamento do destino final dos resíduos sólidos orgânicos na região metropolitana de Recife: Histórico e Proposições**. Dissertação (Doutorado em UFPE). Recife, PE: 2007.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa. **Emissões de GEE do setor de resíduos**. 2016

TEIXEIRA, M. C.; TAOUIL, D. S. G. **Biodiesel: uma alternativa verde**. Vértice, Campos dos Goytacazes – RJ: 2010, v. 12, n. 3, p. 17-40.

UCDAVIS. **Biodigester turns campus waste into campus energy**. University of California: 2014. Disponível em: < <http://www.caes.ucdavis.edu/news/articles/2014/04/biodigester-turns-campus-waste-into-campus-energy> > Acesso em: 01/07/2017

VIEIRA, S. S. **Produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos livres utilizando catalisadores heterogêneos ácidos**. Dissertação (Mestrado em UFLA). Lavras, MG: 2011.

ZHANG, R., EL-MASHAD H., HARTMAN, K., WANG, F., LIU, G., CHOATE, C., GAMBLE, P. **Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion**. Bioresource Technology 98 (2007) 929-935 p.



## ANEXO B - Análise Econômica – Usina de Biodiesel

Parâmetros Constantes																	
Taxa de desconto	10,25%																
IPC	3,90%																
<b>Investimento (CAPEX)</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Custos com Infraestrutura	R\$ 12.300,00																
Custos com Equipamentos	R\$ 8.900,00																
<b>Total</b>	<b>R\$ 21.200,00</b>																
<b>Custo Base</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Preço do Diesel (média)	R\$ 3,20	R\$ 3,32	R\$ 3,45	R\$ 3,59	R\$ 3,73	R\$ 3,87	R\$ 4,03	R\$ 4,18	R\$ 4,35	R\$ 4,52	R\$ 4,69	R\$ 4,87	R\$ 5,06	R\$ 5,26	R\$ 5,47	R\$ 5,68	
Consumo de Diesel (média)	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	161,847	
<b>Total Custo Base Diesel</b>	<b>R\$ 517.910,40</b>	<b>R\$ 538.108,91</b>	<b>R\$ 559.095,15</b>	<b>R\$ 580.899,86</b>	<b>R\$ 603.554,96</b>	<b>R\$ 627.093,60</b>	<b>R\$ 651.550,25</b>	<b>R\$ 676.960,71</b>	<b>R\$ 703.362,18</b>	<b>R\$ 730.793,31</b>	<b>R\$ 759.294,24</b>	<b>R\$ 788.906,72</b>	<b>R\$ 819.674,08</b>	<b>R\$ 851.641,37</b>	<b>R\$ 884.855,38</b>	<b>R\$ 919.364,74</b>	
Total Custo Base Aterro Sanitário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Total Custo Base</b>	<b>R\$ 517.910,40</b>	<b>R\$ 538.108,91</b>	<b>R\$ 559.095,15</b>	<b>R\$ 580.899,86</b>	<b>R\$ 603.554,96</b>	<b>R\$ 627.093,60</b>	<b>R\$ 651.550,25</b>	<b>R\$ 676.960,71</b>	<b>R\$ 703.362,18</b>	<b>R\$ 730.793,31</b>	<b>R\$ 759.294,24</b>	<b>R\$ 788.906,72</b>	<b>R\$ 819.674,08</b>	<b>R\$ 851.641,37</b>	<b>R\$ 884.855,38</b>	<b>R\$ 919.364,74</b>	
<b>Custo Remanescentes</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Preço do Diesel por Litro (médio)	R\$ 3,20	R\$ 3,32	R\$ 3,45	R\$ 3,59	R\$ 3,73	R\$ 3,87	R\$ 4,03	R\$ 4,18	R\$ 4,35	R\$ 4,52	R\$ 4,69	R\$ 4,87	R\$ 5,06	R\$ 5,26	R\$ 5,47	R\$ 5,68	
<b>Total Custo Diesel Gerado</b>	<b>R\$ 101.553,92</b>	<b>R\$ 105.514,52</b>	<b>R\$ 109.629,59</b>	<b>R\$ 113.905,14</b>	<b>R\$ 118.347,44</b>	<b>R\$ 122.962,99</b>	<b>R\$ 127.758,55</b>	<b>R\$ 132.741,13</b>	<b>R\$ 137.918,04</b>	<b>R\$ 143.296,84</b>	<b>R\$ 148.885,42</b>	<b>R\$ 154.691,95</b>	<b>R\$ 160.724,94</b>	<b>R\$ 166.993,21</b>	<b>R\$ 173.505,94</b>	<b>R\$ 180.272,68</b>	
<b>Total Custo Remanescente Diesel</b>	<b>R\$ 416.356,48</b>	<b>R\$ 432.594,38</b>	<b>R\$ 449.465,56</b>	<b>R\$ 466.994,72</b>	<b>R\$ 485.207,51</b>	<b>R\$ 504.130,61</b>	<b>R\$ 523.791,70</b>	<b>R\$ 544.219,58</b>	<b>R\$ 565.444,14</b>	<b>R\$ 587.496,46</b>	<b>R\$ 610.408,82</b>	<b>R\$ 634.214,77</b>	<b>R\$ 658.949,15</b>	<b>R\$ 684.648,16</b>	<b>R\$ 711.349,44</b>	<b>R\$ 739.092,07</b>	
Preço da Glicerina por Quilograma (médio)	R\$ 1,65	R\$ 1,71	R\$ 1,78	R\$ 1,85	R\$ 1,92	R\$ 2,00	R\$ 2,08	R\$ 2,16	R\$ 2,24	R\$ 2,33	R\$ 2,42	R\$ 2,51	R\$ 2,61	R\$ 2,71	R\$ 2,82	R\$ 2,93	
<b>Total Glicerina Gerado (kg)</b>	<b>3.174,60</b>																
<b>Total Custo Remanescente de Glicerina</b>	<b>-R\$ 5.238,09</b>	<b>-R\$ 5.442,38</b>	<b>-R\$ 5.654,63</b>	<b>-R\$ 5.875,16</b>	<b>-R\$ 6.104,29</b>	<b>-R\$ 6.342,36</b>	<b>-R\$ 6.589,71</b>	<b>-R\$ 6.846,71</b>	<b>-R\$ 7.113,73</b>	<b>-R\$ 7.391,16</b>	<b>-R\$ 7.679,42</b>	<b>-R\$ 7.978,92</b>	<b>-R\$ 8.290,10</b>	<b>-R\$ 8.613,41</b>	<b>-R\$ 8.949,33</b>	<b>-R\$ 9.298,36</b>	
<b>Total Custo Remanescente Aterro Sanitário</b>	<b>-</b>																
<b>Total Custo Consumo de Energia</b>	<b>R\$ 225,42</b>	<b>R\$ 234,21</b>	<b>R\$ 243,35</b>	<b>R\$ 252,84</b>	<b>R\$ 262,70</b>	<b>R\$ 272,94</b>	<b>R\$ 283,59</b>	<b>R\$ 294,65</b>	<b>R\$ 306,14</b>	<b>R\$ 318,08</b>	<b>R\$ 330,48</b>	<b>R\$ 343,37</b>	<b>R\$ 356,76</b>	<b>R\$ 370,68</b>	<b>R\$ 385,13</b>	<b>R\$ 400,15</b>	
<b>Custo Operação</b>	<b>R\$ 99.693,60</b>	<b>R\$ 103.581,65</b>	<b>R\$ 107.621,33</b>	<b>R\$ 111.818,57</b>	<b>R\$ 116.179,49</b>	<b>R\$ 120.710,49</b>	<b>R\$ 125.418,20</b>	<b>R\$ 130.309,51</b>	<b>R\$ 135.391,58</b>	<b>R\$ 140.671,85</b>	<b>R\$ 146.158,05</b>	<b>R\$ 151.858,22</b>	<b>R\$ 157.780,69</b>	<b>R\$ 163.934,14</b>	<b>R\$ 170.327,57</b>	<b>R\$ 176.970,34</b>	
<b>Custo Manutenção</b>	<b>-</b>																
<b>Total Custos O&amp;M</b>	<b>R\$ 99.693,60</b>	<b>R\$ 103.581,65</b>	<b>R\$ 107.621,33</b>	<b>R\$ 111.818,57</b>	<b>R\$ 116.179,49</b>	<b>R\$ 120.710,49</b>	<b>R\$ 125.418,20</b>	<b>R\$ 130.309,51</b>	<b>R\$ 135.391,58</b>	<b>R\$ 140.671,85</b>	<b>R\$ 146.158,05</b>	<b>R\$ 151.858,22</b>	<b>R\$ 157.780,69</b>	<b>R\$ 163.934,14</b>	<b>R\$ 170.327,57</b>	<b>R\$ 176.970,34</b>	
<b>Total Custos Depreciação</b>	<b>R\$ 1.257,00</b>	<b>R\$ 1.306,02</b>	<b>R\$ 1.356,96</b>	<b>R\$ 1.409,88</b>	<b>R\$ 1.464,86</b>	<b>R\$ 1.521,99</b>	<b>R\$ 1.581,35</b>	<b>R\$ 1.643,02</b>	<b>R\$ 1.707,10</b>	<b>R\$ 1.773,68</b>	<b>R\$ 1.842,85</b>	<b>R\$ 1.914,72</b>	<b>R\$ 1.989,40</b>	<b>R\$ 2.066,99</b>	<b>R\$ 2.147,60</b>	<b>R\$ 2.231,35</b>	
<b>Total Custos Remanescentes</b>	<b>R\$ 512.294,41</b>	<b>R\$ 532.273,89</b>	<b>R\$ 553.032,57</b>	<b>R\$ 574.600,84</b>	<b>R\$ 597.010,28</b>	<b>R\$ 620.293,68</b>	<b>R\$ 644.485,13</b>	<b>R\$ 669.620,05</b>	<b>R\$ 695.735,23</b>	<b>R\$ 722.868,91</b>	<b>R\$ 751.060,79</b>	<b>R\$ 780.352,17</b>	<b>R\$ 810.785,90</b>	<b>R\$ 842.406,55</b>	<b>R\$ 875.260,41</b>	<b>R\$ 909.395,56</b>	
<b>Total Fluxo de Caixa Projeto</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>VP</b>	<b>-R\$ 15.584,01</b>	<b>R\$ 5.835,01</b>	<b>R\$ 6.062,58</b>	<b>R\$ 6.299,02</b>	<b>R\$ 6.544,68</b>	<b>R\$ 6.799,92</b>	<b>R\$ 7.065,12</b>	<b>R\$ 7.340,66</b>	<b>R\$ 7.626,95</b>	<b>R\$ 7.924,40</b>	<b>R\$ 8.233,45</b>	<b>R\$ 8.554,55</b>	<b>R\$ 8.888,18</b>	<b>R\$ 9.234,82</b>	<b>R\$ 9.594,98</b>	<b>R\$ 9.969,18</b>	
<b>Saldo Acumulado</b>	<b>-R\$ 15.584,01</b>	<b>-R\$ 10.291,48</b>	<b>-R\$ 5.303,78</b>	<b>-R\$ 603,36</b>	<b>R\$ 3.826,34</b>	<b>R\$ 8.000,91</b>	<b>R\$ 11.935,03</b>	<b>R\$ 15.642,56</b>	<b>R\$ 19.136,55</b>	<b>R\$ 22.429,30</b>	<b>R\$ 25.532,40</b>	<b>R\$ 28.456,78</b>	<b>R\$ 31.212,72</b>	<b>R\$ 33.809,93</b>	<b>R\$ 36.257,54</b>	<b>R\$ 38.564,19</b>	
<b>Resultados</b>																	
VPL Projeto	R\$ 68.655,84																
Relação Benefício/Custo	2,82																
TIR Projeto	40,96%																
Payback Descontado Projeto (Anos)	4,14																

## ANEXO C - Análise Econômica - Pátio de Compostagem Acelerada

Parâmetros Constantes																
Taxa de desconto	10,25%															
IPC	3,90%															
<b>Investimento (CAPEX)</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Custos com Infraestrutura	R\$ 149.000,00															
Custo com Equipamento	R\$ 308.700,00															
<b>Total</b>	<b>R\$ 457.700,00</b>															
<b>Custo Base</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Total Custo Base Aterro Sanitário	R\$ 590.205,00	R\$ 613.223,00	R\$ 637.138,69	R\$ 661.987,10	R\$ 687.804,60	R\$ 714.628,98	R\$ 742.499,51	R\$ 771.456,99	R\$ 801.543,81	R\$ 832.804,02	R\$ 865.283,38	R\$ 899.029,43	R\$ 934.091,58	R\$ 970.521,15	R\$ 1.008.371,47	R\$ 1.047.697,96
<b>Total Custo Base</b>	<b>R\$ 590.205,00</b>	<b>R\$ 613.223,00</b>	<b>R\$ 637.138,69</b>	<b>R\$ 661.987,10</b>	<b>R\$ 687.804,60</b>	<b>R\$ 714.628,98</b>	<b>R\$ 742.499,51</b>	<b>R\$ 771.456,99</b>	<b>R\$ 801.543,81</b>	<b>R\$ 832.804,02</b>	<b>R\$ 865.283,38</b>	<b>R\$ 899.029,43</b>	<b>R\$ 934.091,58</b>	<b>R\$ 970.521,15</b>	<b>R\$ 1.008.371,47</b>	<b>R\$ 1.047.697,96</b>
<b>Custo Remanescentes</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Total Custo Remanescente Aterro Sanitário	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Custo Consumo de Energia	R\$ 6.468,80	R\$ 6.721,08	R\$ 6.983,21	R\$ 7.255,55	R\$ 7.538,52	R\$ 7.832,52	R\$ 8.137,99	R\$ 8.455,37	R\$ 8.785,13	R\$ 9.127,75	R\$ 9.483,73	R\$ 9.853,60	R\$ 10.237,89	R\$ 10.637,16	R\$ 11.052,01	R\$ 11.483,04
Custo de Operação	R\$ 109.792,00	R\$ 114.073,89	R\$ 118.522,77	R\$ 123.145,16	R\$ 127.947,82	R\$ 132.937,78	R\$ 138.122,36	R\$ 143.509,13	R\$ 149.105,99	R\$ 154.921,12	R\$ 160.963,04	R\$ 167.240,60	R\$ 173.762,98	R\$ 180.539,74	R\$ 187.580,79	R\$ 194.896,44
Custo de Manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Custos O&M	R\$ 109.792,00	R\$ 114.073,89	R\$ 118.522,77	R\$ 123.145,16	R\$ 127.947,82	R\$ 132.937,78	R\$ 138.122,36	R\$ 143.509,13	R\$ 149.105,99	R\$ 154.921,12	R\$ 160.963,04	R\$ 167.240,60	R\$ 173.762,98	R\$ 180.539,74	R\$ 187.580,79	R\$ 194.896,44
Total Custos Depreciação	R\$ 26.210,00	R\$ 27.232,19	R\$ 28.294,25	R\$ 29.397,72	R\$ 30.544,23	R\$ 31.735,46	R\$ 32.973,14	R\$ 34.259,09	R\$ 35.595,20	R\$ 36.983,41	R\$ 38.425,76	R\$ 39.924,37	R\$ 41.481,42	R\$ 43.099,19	R\$ 44.780,06	R\$ 46.526,48
<b>Total Custos Remanescentes</b>	<b>R\$ 136.002,00</b>	<b>R\$ 141.306,08</b>	<b>R\$ 146.817,02</b>	<b>R\$ 152.542,88</b>	<b>R\$ 158.492,05</b>	<b>R\$ 164.673,24</b>	<b>R\$ 171.095,50</b>	<b>R\$ 177.768,22</b>	<b>R\$ 184.701,18</b>	<b>R\$ 191.904,53</b>	<b>R\$ 199.388,81</b>	<b>R\$ 207.164,97</b>	<b>R\$ 215.244,40</b>	<b>R\$ 223.638,93</b>	<b>R\$ 232.360,85</b>	<b>R\$ 241.422,93</b>
<b>Total Fluxo de Caixa Projeto</b>	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>-R\$ 3.497,00</b>	R\$ 471.916,92	R\$ 490.321,68	R\$ 509.444,22	R\$ 529.312,55	R\$ 549.955,74	R\$ 571.404,01	R\$ 593.688,77	R\$ 616.842,63	R\$ 640.899,49	R\$ 665.894,57	R\$ 691.864,46	R\$ 718.847,17	R\$ 746.882,21	R\$ 776.010,62	R\$ 806.275,03
VP	<b>-R\$ 3.497,00</b>	R\$ 428.042,56	R\$ 403.388,86	R\$ 380.155,12	R\$ 358.259,57	R\$ 337.625,12	R\$ 318.179,13	R\$ 299.853,17	R\$ 282.582,72	R\$ 266.306,98	R\$ 250.968,66	R\$ 236.513,78	R\$ 222.891,44	R\$ 210.053,70	R\$ 197.955,37	R\$ 186.553,86
Saldo Acumulado	<b>-R\$ 3.497,00</b>	R\$ 424.545,56	R\$ 827.934,41	R\$ 1.208.089,53	R\$ 1.566.349,10	R\$ 1.903.974,22	R\$ 2.222.153,35	R\$ 2.522.006,52	R\$ 2.804.589,23	R\$ 3.070.896,21	R\$ 3.321.864,87	R\$ 3.558.378,65	R\$ 3.781.270,09	R\$ 3.991.323,79	R\$ 4.189.279,16	R\$ 4.375.833,02
<b>Resultados</b>																
VPL Projeto	R\$ 4.426.709,54															
Relação Benefício/Custo	10,56															
TIR Projeto	13498,81%															
Payback Descontado Projeto (Anos)	1,01															