



FUNDAÇÃO  
GETULIO VARGAS

FGV Management  
MBA em ADM. do Setor Elétrico 2015

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
DE CURSO

# GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL É UMA REALIDADE?

Elaborado por:  
Raul Assi Junior

Trabalho de Conclusão de Curso do

MBA em Administração do Setor Elétrico 1/2015  
*Prof. Orientador: Fabiano Simões Coelho , PhD.*

---

Curitiba  
Abril/2017

RAUL ASSI JUNIOR

# **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL É UMA REALIDADE?**

Prof. Fabiano Simões Coelho, PhD

Prof. Andriei José Beber, Dr.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Administração do Setor Elétrico de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista TURMA 1/15.

Curitiba – PR  
2017

---

---

O Trabalho de Conclusão de Curso

**GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NO BRASIL É UMA REALIDADE?**

Elaborado por RAUL ASSI JUNIOR e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção do **(Administração do Setor Elétrico)** Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management.

Data da aprovação: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

Coordenador Acadêmico  
Prof. Fabiano Simões Coelho, PhD

---

Professor orientador  
Prof. Andriei José Beber, Dr.

---

## TERMO DE COMPROMISSO

O aluno RAUL ASSI JUNIOR, abaixo-assinado, do Curso de Administração do Setor Elétrico turma 1/15 do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE CURITIBA, no período de 26 de junho de 2015 a 02 de abril de 2017, declaram que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado: **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL É UMA REALIDADE?**, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

Curitiba, 20 de abril de 2017



RAUL ASSI JUNIOR

---

## Sumário

<b>RESUMO .....</b>	<b><u>77</u></b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b><u>88</u></b>
1.1 Justificativa .....	<u>99</u>
1.2 Objetivo Geral.....	<u>99</u>
1.3 Objetivo Específico .....	<u>10</u>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b><u>1111</u></b>
2.1 Políticas referentes à geração e destinação dos resíduos sólidos no Brasil, normas e leis. <u>1111</u>	
2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	<u>1111</u>
2.1.2 Política Estadual (PR) de Resíduos Sólidos.....	<u>1313</u>
2.1.3 Política Municipal (Curitiba) de Resíduos Sólidos.....	<u>1515</u>
2.1.4 Programa de Incentivo as fontes Alternativas de Energia Elétrica.....	<u>1717</u>
2.1.5 ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos Classificação.....	<u>1717</u>
2.2 Tipos de tratamento de Resíduos .....	<u>1818</u>
2.2.1 Resíduos Sólidos no Brasil.....	<u>1919</u>
2.2.2 Incineração.....	<u>2323</u>
2.2.3 Biodigestor .....	<u>2424</u>
2.2.4 Aterro Sanitário.....	<u>2525</u>
2.3 Créditos de Carbono .....	<u>3030</u>
2.4 Tipos de Geração a partir de Resíduos Sólidos Urbanos. ....	<u>3232</u>
2.4.1 Vapor.....	<u>3232</u>
2.4.2 Gás .....	<u>3232</u>
2.4.3 Turbina a Vapor .....	<u>3333</u>
2.4.4 Grupo Motor Gerador (GMG) a Gás .....	<u>3535</u>
<b>3 COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS .....</b>	<b><u>3636</u></b>
3.1 INCINERAÇÃO.....	<u>3737</u>
3.1.1 Visita técnica operacional a Usina de Recuperação Energética – URE.....	<u>3939</u>

---

---

3.2	BIODIGESTÃO.....	<u>5454</u>
3.3	ATERRO SANITÁRIO .....	<u>5656</u>
3.4	COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS DETALHADO.....	<u>6363</u>
4	CONCLUSÃO.....	66
5	Bibliografia .....	67

---

---

---

## RESUMO

Hoje os processos de geração de energia a partir do tratamento de RSU – Resíduos Sólidos Urbanos, começam a ser difundidos e a lei 12.305, apresentada em 02 de agosto de 2010, referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é vista como um marco regulatório para o setor de resíduos no Brasil, abrindo uma grande fronteira para o desenvolvimento sustentável no tratamento e geração de insumos a partir destes resíduos. No contexto podemos demonstrar as formas de geração de energia através da incineração, biodigestão e aterro sanitário, os gases e vapores gerados nestas transformações possibilitam seu uso em turbinas a vapor e em grupos geradores motores, fazendo nossa transformação de trabalho mecânico em elétrico. Esta nova forma de geração de energia é responsável no momento por 0,82% da matriz energética de biomassa brasileira, que equivale a 116.779kW de acordo com BIG – Banco de informações de geração da ANEEL, projetos de P&D estão sendo desenvolvidos juntamente com a ANEEL que previam a instalação de 33,7 MW em usinas de geração a partir do biogás de resíduos e efluentes líquidos.

Porém essas medidas representam que o Brasil realmente está interessado em inserir esse modelo de geração em sua matriz, podemos dizer que não? Será que existe uma campanha dos empreendedores no tratamento de resíduos para manter da maneira que está? Somando-se a todas essas probabilidades, existem os custos elevados das usinas que utilizam a incineração como modelo, assim como os custos de opex e a capacidade das mesmas em se pagar somente com a tarifa de energia.

---

# 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso possibilitará, através da análise de dados nacionais e internacionais, uma visão global sobre o setor de resíduos sólidos urbanos, que mostram como o setor vem se desenvolvendo, no tocante as tecnologias para gerenciamento e reaproveitamento de resíduos, em relação à incineração de resíduos sólidos urbanos, e utilização de gás oriundo de lixões no tópico da geração de energia, além de trazer um panorama geral do setor elétrico referente à geração de energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos.

A análise das informações permitirá verificar que, existe uma enorme quantidade de resíduos sólidos urbanos que precisam ser tratados e destinados adequadamente, contudo é necessário que novas soluções e tecnologias sejam inseridas, a fim de que tenhamos o máximo aproveitamento dos resíduos antes de sua disposição final.

A legislação atual nos mostrará que possuímos leis e resoluções que dão diretrizes e estabelecem padrões para a atividade de reaproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A legislação atual busca garantir que sejam observadas condições de licenciamento, operação, critérios de funcionamento, bem como limites de emissões atmosféricas o que confere a todo o processo de utilização dos RSU. Para que seja implementado o processo tecnológico na geração de energia através dos RSU, teremos como linha mestre neste trabalho quando o detalhamento seja a incineração visita técnica operacional feita à usina de recuperação energética a partir de resíduos sólidos urbanos e industriais, instalada no estado do Rio de Janeiro a mesma é uma empresa brasileira de capital privado que tem como objetivo a aplicação de sua tecnologia em conjunto com empreendedores, poder público ou iniciativa privada, interessados na implantação de soluções ambientais, em especial para o tratamento de resíduos sólidos.

Será salientado as formas de geração de energia através de turbinas a vapor oriunda dos gases gerados através da incineração em caldeiras, assim como a geração através de grupos geradores motores utilizando o Biogás, oriundo também dos RSU dos aterros sanitários e/ou lixões.

Finalizando o mesmo com a análise de como está hoje os processos de geração de energia a partir do tratamento de RSU no Brasil, e uma ideia orientativa de como seria moldado o investimento de uma usina de recuperação energética, desde o processo de liberações até o

---

custo deste investimento, porém os dados serão simulados a partir do valor total global informado pelas empresas nos seus prospectos e dados do mercado.

## **1.1 Justificativa**

A produção de lixo varia basicamente em função do crescimento populacional e do nível de desenvolvimento industrial e tecnológico de cada região. A presença desses resíduos causa grande preocupação, pois sua decomposição, quando fora de controle, são fontes de doenças e de poluição ambiental. É necessário que o resíduo gerado tenha um destino adequado, sem causar danos à população ou ao meio ambiente. Portanto a geração de energia através do lixo tem chamado a atenção. No Brasil, o tratamento dado aos resíduos sólidos pode ser bem avaliado a partir da própria dificuldade em se obter informações confiáveis e detalhadas sobre o assunto. A aplicação da lei 12.305, apresentada em 02 de agosto de 2010 e publicado dia 23 de dezembro de 2010, referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é vista como um marco regulatório para o setor de resíduos no Brasil, abrindo uma grande fronteira para o desenvolvimento sustentável no tratamento e geração de insumos a partir destes resíduos.

Assim, o presente trabalho, além de difundir os conceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, através de uma visão sucinta sobre o setor irá nos mostrar como o setor vem se desenvolvendo, no tocante as tecnologias para gerenciamento e reaproveitamento de resíduos, principalmente em relação à incineração de resíduos sólidos urbanos, e utilização de gás oriundo de aterros e lixões no que se refere à geração de energia, apresentar comparação entre as tecnologias de geração do biometano.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é comparar tecnicamente e ambientalmente sistemas de geração de biometano e sua utilização como combustível para geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos – RSU.

---

### **1.3 Objetivo Específico**

A fim de alcançar o objetivo geral estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- Revisão da bibliografia sobre as políticas referentes à geração e destinação dos resíduos sólidos no Brasil, normas e leis;
  - Revisão da bibliografia sobre os tipos de tratamento dos resíduos;
  - Revisão da bibliografia sobre fontes de geração de combustível (gás, vapor) para geração de energia a partir RSU;
  - Revisão da bibliografia sobre tipos de geradores para cada aplicação que será apresentada;
  - Comparativo entre os tipos de tratamentos de RSU, ambiental e capacidade de geração de energia;
  - Comparativo entre as tecnologias de geração de biometano e descrição da visita técnica a usina de recuperação energética.
-

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesse capítulo serão abordadas as políticas Nacionais, Estaduais e Municipais referentes à legislação vigente ao tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, assim como toda a bibliográfica pertinente a geração de energia a partir destes resíduos.

### **2.1 Políticas referentes à geração e destinação dos resíduos sólidos no Brasil, normas e leis.**

#### 2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

Apresentada em 02 de agosto de 2010 e publicada dia 23 de dezembro de 2010, sob a lei 12.305 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é vista como um marco regulatório para o setor de resíduos no Brasil já que a mesma colabora para a solução das questões ambientais, sociais e econômicas. A PNRS traz diretrizes e metas a serem cumpridas pelos diversos setores que participam do ciclo de vida do produto.

Com referência a PNRS, destacamos os seguintes argumentos:

- Encerramento dos lixões e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos até 2014, hoje em 2017 o mesmo não ocorreu ainda devido às prefeituras solicitarem mais tempo para suas adequações;
- Elaboração dos planos municipais de resíduos sólidos com o objetivo de orientar municípios e cidadãos quanto ao manejo adequado dos resíduos;
- Elaboração de acordos setoriais envolvendo toda a cadeia de geração e consumo, visando à efetivação do compromisso compartilhado do ciclo de vida do produto.

Ao buscar uma melhor qualidade no tratamento dos resíduos, estimular a separação e a correta destinação, priorizar a reciclagem de embalagens e gerar condições favoráveis para a criação de consórcios intermunicipais, a PNRS apresenta soluções sustentáveis ao processo de resíduos e influencia diretamente o desenvolvimento de novas oportunidades para a

---

implantação de projetos de captura de biogás em aterros, assim como incineração dos resíduos com a consequente geração de energia e redução de emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa).

Os prognósticos e oportunidades gerados pela PNRS se mostram bastante promissores, mesmo ao se considerar que o caminho ainda é longo e desafiador. Uma das principais barreiras deste processo já foi cumprida, a própria aprovação da PNRS após anos de estudo e tramitação. Resta agora que a sociedade se mobilize para que de fato a PNRS vire um instrumento efetivo de sustentabilidade para o Brasil.

A seguir está o recorte dos artigos da lei com os dispositivos gerais do objeto e do campo de aplicação.

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta Lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Art. 2º Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto nesta Lei, nas Leis nºs 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 9.974, de 6 de junho de 2000, e 9.966, de 28 de abril de 2000, as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Dentro do âmbito federal em entrevista a TV Senado, o deputado Lelo Coimbra do PMDB-ES, lançou o projeto do Programa Nacional de Geração de Energia Elétrica o PROGEL, que a geração de energia a partir dos RSU seja reconhecida e estimulada pelos governos Federais, Estaduais e Municipais ao mesmo tempo ela possa ser recebida pelo sistema de energia elétrica como uma energia nova e que seu valor no sistema esteja na faixa de acesso dos consumidores, tudo isso reconhecido e encampado pela Eletrobrás, fazendo com que a mesma garanta a compra da energia gerada pelos aterros e ou usinas de recuperação energética.

---

O Ministério das Minas e Energia incentiva que os estados elaborem os Planos Estaduais de Gestão Integrada de Resíduos Urbanos de modo a organizar a gestão integrada de resíduos sólidos em cada estado e apoiar a formação de consórcios entre os estados da federação. Nos planos estão previstos a realização de estudos regionais individualizado por estado, verificando a infraestrutura que cada estado já possui ou necessita para equacionar a disposição inadequada de resíduos sólidos. Para tanto os planos contemplam ações de construção de aterros sanitários com aplicação de tecnologia adequada que possibilite e potencialize a recuperação do biogás (metano), a eliminação de lixões a céu aberto, a compostagem e a reciclagem. Também o Plano Nacional de Mudanças do Clima contém metas de incentivo ao aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário.

### 2.1.2 Política Estadual (PR) de Resíduos Sólidos

Apresentada no Palácio do Governo do Paraná dia 22 de janeiro de 1999 e publicada no Diário Oficial nº. 5430 de 5 de Fevereiro de 1999, sob a lei 12.493 a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, condicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, contaminação e minimizar seus impactos ambientais e adotar outras providências. A seguir está o recorte dos artigos da lei com os dispositivos gerais do objeto e do campo de aplicação.

Assembleia Legislativa do Estado do Paraná decretou e eu sanciono a seguinte lei:

**Art. 1º.** Ficam estabelecidos, na forma desta lei, princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais.

**Art. 2º.** Para os fins desta lei, entende-se por resíduos sólidos qualquer forma de matéria ou substância, nos estados sólido e semi-sólido, que resulte de atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição e de outras atividades da comunidade, capazes de causar poluição ou contaminação ambiental.

**Parágrafo único.** Ficam incluídos entre os resíduos sólidos definidos no caput deste artigo, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como os líquidos cujas características tornem inviável o seu lançamento em rede pública de esgotos ou corpos d' água ou exijam, para tal fim, solução técnica e economicamente inviável, em

face da melhor tecnologia disponível, de acordo com as especificações do Instituto Ambiental do Paraná - IAP.

---

---

### 2.1.2.1 Resolução nº 048/08 SEMA

Esta resolução é da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, refere-se a queima de resíduos, onde vale salientar o artigo três que se refere a quais resíduos são proibidos a queima em caldeiras para geração de calor e/ou vapor, a seguir segue o recorte deste artigo.

**Art. 3º.** Fica proibida a queima em caldeiras dos seguintes resíduos:

- I. Lodos de estações de tratamento físico-químico de efluentes;
- II. Lodos de fossas sépticas;
- III. Resíduos que contenham Poluentes Orgânicos Persistentes (POP);
- IV. Drogas ou entorpecentes, com exceção de *Cannabis sativa* (maconha) e cigarros;
- V. Resíduos de Saúde Grupos A, B, C, D e E;

**VI. Resíduos sólidos urbanos ou domiciliares;**

VII. Resíduos de agrotóxicos e domissanitários, seus componentes e afins, incluindo embalagens, solos, areias e outros materiais resultantes da recuperação de áreas ou de acidentes ambientais contaminados pelos mesmos;

VIII. Resíduos radioativos;

IX. Resíduos que contenham Co, Ni, Se, Te, Pb, As, Cd, Hg ou Tl acima das seguintes concentrações (em mg/kg de resíduo):  
As 1,0 – Cd 0,5 – Co 1,0 – Hg 0,5 – Ni 0,5 – Pb 1,0 – Se 1,0 – Te 1,0 e Tl 0,5

### 2.1.3 Política Municipal (Curitiba) de Resíduos Sólidos

Diferente das esferas Federais e Estaduais, no município de Curitiba o item tratamento de resíduos sólidos está inserido dentro da Política Municipal do Meio Ambiente, a qual foi apresentada na Câmara Municipal de Curitiba no dia 19 de dezembro de 1991, sob a lei 7.883 em seus princípios fundamentais podemos salientar os artigos a seguir.

**Art. 1º -** A Política do Meio Ambiente do Município de Curitiba tem como objetivo, respeitadas as competências da União e do Estado, manter ecologicamente equilibrado o meio ambiente, considerado bem de uso comum do povo e essencial à

sadia qualidade de vida, razão pela qual impõe-se ao poder público o dever de defendê-lo, preservá-lo e recuperá-lo.

**Art. 20** - Para o estabelecimento da política do meio ambiente serão observados os seguintes princípios fundamentais:

- I - multi disciplinarietà no trato das questões ambientais;
- II - participação comunitária na defesa do meio ambiente;
- III - integração com a política do meio ambiente nacional, estadual, setoriais e demais ações do governo;
- IV - manutenção do equilíbrio ecológico;
- V - racionalização do uso do solo, água e do ar;
- VI - planejamento e fiscalização do uso dos recursos naturais;
- VII - controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
- VIII - proteção dos ecossistemas, com a preservação e manutenção de áreas representativas;
- IX - Educação Ambiental a todos os níveis de ensino, incluindo a educação da comunidade;
- X - incentivo ao estudo científico e tecnológico, direcionados para o uso e a proteção dos recursos ambientais;
- XI - prevalência do interesse público;
- XII - reparação do dano ambiental.

**Art. 21** - A coleta, transporte, tratamento e disposição final do lixo urbano de qualquer espécie ou natureza, processar-se-á em condições que não tragam malefícios ou inconvenientes à saúde, ao bem-estar público ou ao meio ambiente.

§ 1º - Fica expressamente proibido:

- I - A deposição indiscriminada de lixo em locais inapropriados, em áreas urbanas ou agrícolas.
- II - A incineração e a disposição final de lixo a céu aberto.
- III - A utilização de lixo "in natura" para alimentação de animais e adubação orgânica.
- IV - O lançamento de lixo em água de superfície, sistemas de drenagem de águas pluviais, poços, cacimba e áreas erodidas.
- V - O assoreamento de fundo de vale através da colocação de lixo, entulhos e outros materiais.

§ 2º - É obrigatória a adequada coleta, transporte e destinação final do lixo hospitalar, sempre obedecidas as normas técnicas pertinentes.

§ 3º - A Secretaria Municipal do Meio Ambiente poderá estabelecer zonas urbanas, onde a seleção do lixo deverá ser efetuada em nível domiciliar, para posterior coleta seletiva.

#### 2.1.4 Programa de Incentivo as fontes Alternativas de Energia Elétrica

O PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, serve como apoio financeiro a investimentos nestas fontes, o mesmo foi publicado em 26 de abril de 2002, sob a lei 10.438 e revisado em 11 de novembro de 2003, vigorando até o momento sob a lei 10.762, O programa tem por objetivo diversificar a matriz energética brasileira buscando soluções regionalizadas de fontes renováveis de energia, utilizando o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis a cada fonte a ser explorada e/ou viabilizada economicamente.

#### 2.1.5 ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos Classificação

A ABNT NBR 10004 foi elaborada pela Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos (ABNT/CEET–00:001.34). O Projeto circulou em Consulta Pública conforme Edital nº 08 de 30.08.2002, com o número Projeto NBR 10004, a mesma foi publicada em 31 de maio de 2004 e teve sua validade a partir de 30 de novembro de 2004 sendo que a mesma está em vigor.

Esta norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que os mesmos possam ser gerenciados adequadamente.

Para a NBR 10004 os resíduos sólidos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, ficam incluídos nesta assim como os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e 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.

De acordo com a norma os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos;
  - Resíduos classe II – Não inertes;
  - Resíduos classe III – Inertes;
-

A figura 1 demonstra os tipos e classes de acordo com a NBR 10004, porém salientamos que além das políticas públicas temos normas já publicadas e que regem as classes de resíduos sendo assim as mesmas podem ser pesquisadas ou adquiridas junto ao catálogo da ABNT.

RESÍDUOS	CARACTERÍSTICAS
<b>Resíduos classe I: Perigosos</b>	Resíduos Classe I, Perigosos: São classificados como resíduos classe I ou perigosos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
<b>Resíduos classe II: Não inertes</b>	Resíduos Classe II, Não Inerte: São classificados como Classe II ou resíduos não inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que não se enquadram na Classe I ou na Classe II – B. Esses resíduos podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São, basicamente, os resíduos com as características do lixo doméstico.
<b>Resíduos classe III: Inertes</b>	Resíduos Classe II – B – Inertes: São classificados como Classe II – B os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004), e submetidos ao teste de solubilização, conforme a NBR 10006 (ABNT, 2004), não tenham nenhum de seus constituintes solubilizado sem concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. São os resíduos que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo, tais como resíduos de construção e demolição, solos e rochas provenientes de escavações, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.

Figura 1 – Classificação dos resíduos.  
Fonte: ABNT, 2017.

## 2.2 Tipos de tratamento de Resíduos

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, em 2008 o Brasil gerou 188.815 toneladas de resíduos sendo que desse montante 94.335,10 são de origem orgânica, correspondendo a 51,2% de todo o resíduo gerado no Brasil naquele ano. A Lei 12.305 de 2010 em seu Art. 9º determina que somente possam ser destinados à disposição final (aos aterros sanitários), os rejeitos, ou seja, somente o resíduo que não podem ter um aproveitamento seja de que forma for. Para o caso dos resíduos orgânicos, existem basicamente três tratamentos possíveis e encontrados mais facilmente, a incineração, biodigestão e aterros. Tecnologias como pirólise e outras mais exóticas não são encontradas facilmente.

De acordo com o site Portal de Resíduos, temos no Brasil mais de 50% de resíduos gerados que não podem ser destinados aos aterros sanitários. Então as centrais tecnológicas para

o tratamento de resíduos orgânicos precisam ser construídas em todo território brasileiro e a demanda deve movimentar um mercado bilionário nos próximos anos.

De acordo com Reis (2011), projetos associados à utilização de RSU, começam a ser implementados no Brasil, com inserção nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) e atuação no mercado de créditos de carbono. O mesmo também salienta o trabalho "Reciclagem de lixo sólido e conservação de energia" que indicamos neste trabalho, referenciando alguns aspectos importantes, para alcançar os objetivos latentes na geração de energia através de RSU, a incineração de resíduos com recuperação de energia, que seria a geração a partir destes resíduos, assim como a geração de energia pela coleta do gás metano sendo este obtido através da decomposição anaeróbica, em aterros sanitários.

### 2.2.1 Resíduos Sólidos no Brasil

Os dados a serem apresentados a seguir são conforme o Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos, estes incluem a geração e o tipo de destinação final de resíduos nas diferentes regiões e estados do Brasil nos anos de 2010 e 2011.

Para o ano de 2011, estima-se que no Brasil foram geradas aproximadamente 198 mil toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, o que equivale a aproximadamente 62 milhões de toneladas no ano. Do total de resíduos gerados, cerca de 90% são coletados, o que equivale a aproximadamente 180 mil toneladas por dia.

Dos resíduos coletados em 2011, 58% foram destinados a aterros sanitários, 24% em aterros controlados e 17% em lixões. Isto significa que cerca de 75 mil toneladas diárias ainda têm destinação inadequada, sendo enviadas para lixões ou aterros controlados, os quais não possuem uma mescla de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações. Apesar das exigências legais e do empenho desempenhados, essa destinação irregular de RSU está presente em todos os estados.

De acordo com os dados disponíveis para 2011, conforme a ABRELPE a região Sudeste concentra cerca de metade dos resíduos gerados no país, ou seja, 97 mil toneladas por dia, o que representa 49% do total de resíduos.

---

A segunda região em geração de resíduos e a região Nordeste, onde são geradas diariamente em torno de 50 mil toneladas de resíduos, 25% do total. Em seguida, as regiões Sul, Centro-Oeste e Norte geram entre 7 e 10% cada uma.

Nos dados apresentados pela ABRELPE, estes demonstram que as regiões Sudeste e Sul contam com uma porcentagem maior de resíduos depositados em aterros sanitários (respectivamente, 72 e 70%) em comparação com as outras regiões, enquanto a região Norte conta com o maior índice de destinação em lixões (35%). Estes valores de destinação final dos RSU têm impacto direto sobre a geração de biogás.

A seguir, serão apresentados nas figuras 2, 3 e 4 os gráficos que demonstram como está a geração, coleta e destinação de resíduos por região e por estado no Brasil.

A figura 2 demonstra os RSU gerados e coletados em 2011 no Brasil por região.

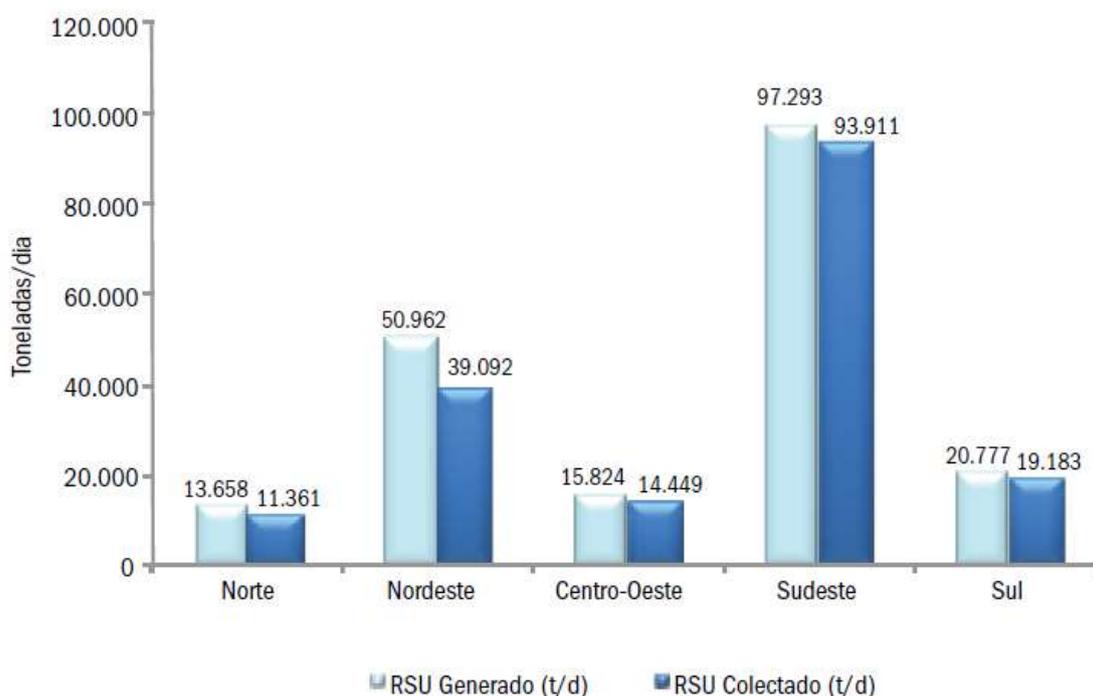


Figura 2 - RSU gerados e coletados

Fonte: Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético, 2011.

A figura 3 demonstra a distribuição da Quantidade de RSU's gerada e coletada por região – 2011

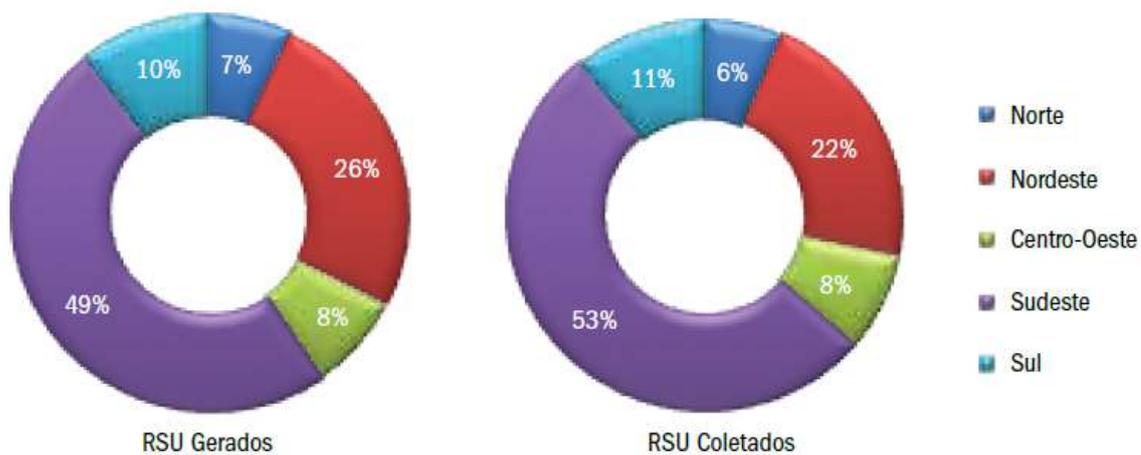


Figura 3 - RSU gerados e coletados por região  
 Fonte: Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético, 2011.

A figura 4 demonstra a destinação final de RSU por região – 2011

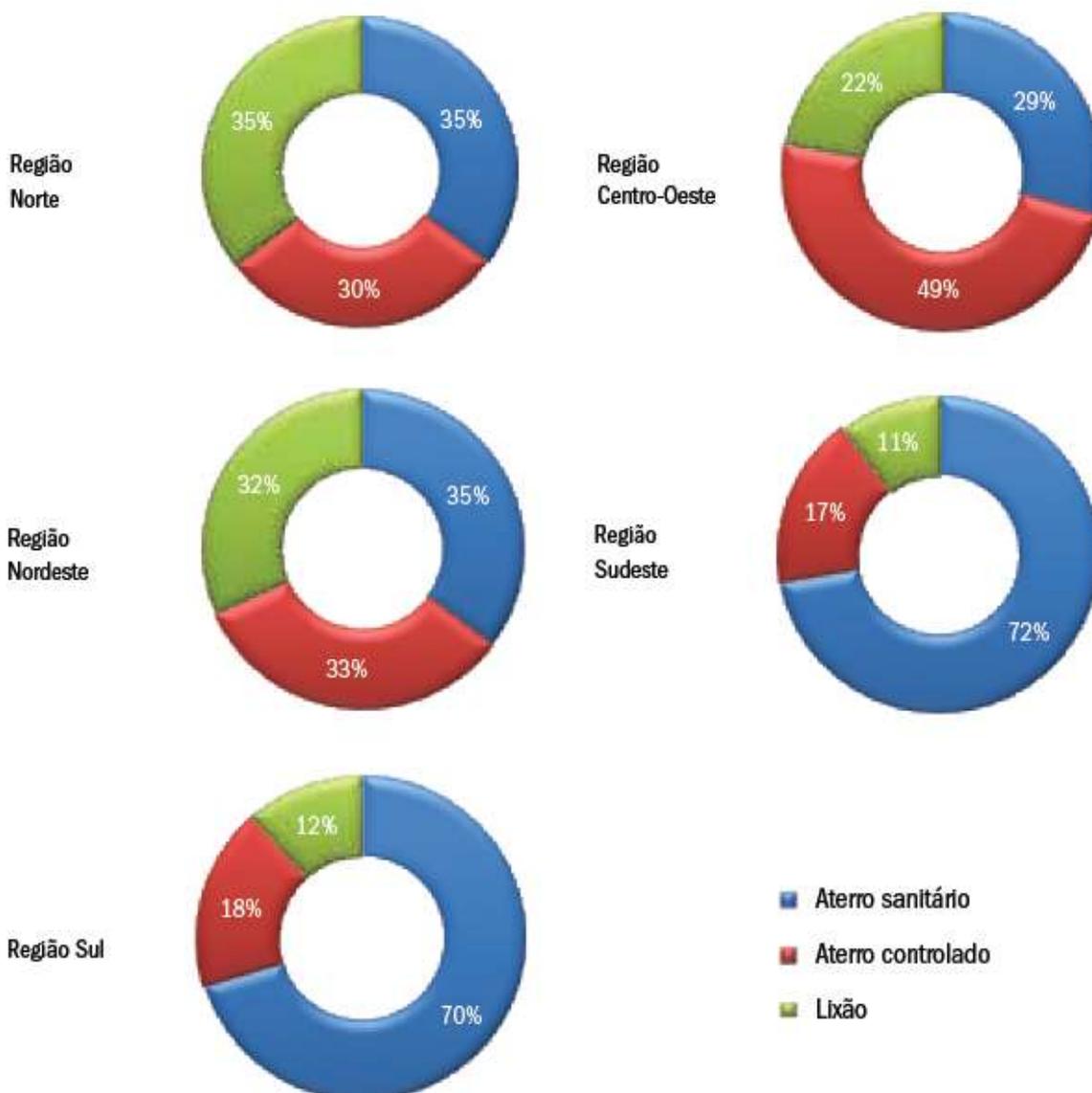


Figura 4 - Destinação final RSU por região  
 Fonte: Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético, 2011.

### 2.2.2 Incineração

A incineração é um processo de decomposição térmica, queima de resíduos, onde há redução de peso, do volume e das características de periculosidade dos resíduos, através da combustão controlada. A redução de volume é geralmente maior que 90% e em peso, maior a 75%, nesta queima ou combustão é possível fazer o aproveitamento energético do processo. Para que seja economicamente viável, é fundamental ter um volume mínimo de resíduos a serem incinerados. O calor gerado na queima vem de uma reação química entre o oxigênio e a parte orgânica dos resíduos, para que a reação ocorra precisamos de água nos resíduos. Por isso que nas usinas de reaproveitamento energético, existe uma chama alimentada por gás natural ou outro combustível para o início do processo e algumas vezes dependendo dos materiais para o processo de queima dos resíduos. Essa chama vaporiza a primeira quantidade de umidade (água) dos resíduos e a queima da matéria orgânica libera mais calor para evaporar o restante da água. Depois que toda a água foi evaporada, o calor excedente é direcionado a caldeira onde é gerado o vapor que vai alimentar a turbina e por consequência um gerador elétrico. Os resíduos mais indicados para esse processo são os orgânicos não úmidos (secos), como os derivados de papelão e madeira e plásticos.

Conforme a ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos definida pela Lei 12.305/2010, o que puder ser reciclado, não deverá sofrer tratamento, desta forma, restam para os incineradores os demais materiais orgânicos com maior umidade e também os recicláveis contaminados, isto é, com uma quantidade de materiais agregados (sujeiras) que não podem ser tratados e transformados novamente em matéria prima para algum processo.

No aspecto social, os incineradores não precisariam do trabalho dos catadores, mas com um trabalho de pré-reciclagem os mesmos poderiam ser aproveitados. A implementação de incineradores como solução principal de tratamento de resíduos sem uma política de reciclagem que aproveite o trabalho dos catadores nos municípios brasileiros certamente significará o desemprego para catadores do município em questão.

Na figura 5 é apresentada uma montagem de imagens de visita técnica a uma usina de incineração situada na cidade do Rio de Janeiro, a visão deve ser considerada da esquerda para a direita com o alimentador do incinerador assim como o tubo de alimentação do forno e a queima dentro do forno, fechando o ciclo de queima do incinerador.





Figura 5 – Imagens do ciclo de incineração.  
 Fonte: Material de visita à usina no RJ, 2014.

### 2.2.3 Biodigestor

Biodigestores são centrais tecnológicas que aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica e aperfeiçoam os produtos resultantes desse processo e é uma das soluções para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos.

A decomposição da matéria orgânica é um processo bioquímico executado por milhões de bactérias que transformam a matéria orgânica em gases e biofertilizantes. Sendo as bactérias seres vivos, estas necessitam de condições ideais de acidez, temperatura e homogeneidade, para produzir melhor. Na presença de oxigênio temos a decomposição aeróbia e na ausência à anaeróbia.

Em biodigestores, a decomposição acontece sem oxigênio, sendo portanto, uma decomposição anaeróbia. O resultado dessa decomposição é o biogás, uma mistura de gás carbônico e metano, e biofertilizantes.

Quando se fala em decomposição anaeróbia, devemos considerar os diferentes tipos de matéria orgânica e estas produzem diferentes quantidades de biogás e com diferentes concentrações de metano e gás carbônico, para podermos calcular o potencial máximo de geração de biogás de uma mistura, devemos fazer a análise química da matéria orgânica usada, porém a quantidade que será gerada no processo depende do tipo de tecnologia usada que salientaremos no decorrer, a figura 6 apresenta o esquemático básico de um biodigestor com

dois fermentadores para geração de biogás para uso direto na geração de energia elétrica, energia térmica, combustível e seu rejeito como adubo.

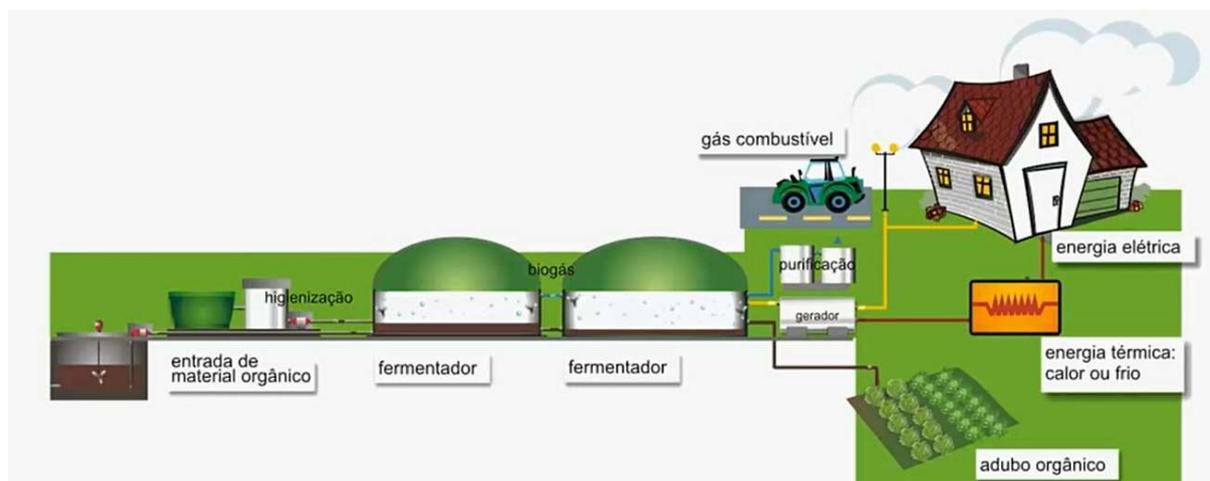


Figura 6 – Esquemático de um biodigestor e utilização  
 Fonte: Portal de resíduos, 2017.

## 2.2.4 Aterro Sanitário

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método que utiliza princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão da jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário. (CEMPRE-IPT, 2000).

Os aterros sanitários apresentam em geral a seguinte configuração: setor de preparação, setor de execução e setor concluído.

Na preparação da área são realizados, basicamente, a impermeabilização e o nivelamento do terreno, as obras de drenagem para captação do chorume (ou percolato) para conduzi-lo ao tratamento, além das vias de circulação. As áreas limítrofes do aterro devem apresentar uma cerca viva para evitar ou diminuir a proliferação de odores e a poluição visual.

Na execução os resíduos são separados de acordo com suas características e depositados separadamente. Antes de ser depositado todo o resíduo é pesado, com a finalidade de

acompanhamento da quantidade de suporte do aterro. Os resíduos que produzem material percolado são geralmente revestidos por uma camada selante.

Atingida a capacidade de disposição de resíduos em um setor do aterro, esse é revegetado, com os resíduos sendo então depositados em outro setor. Ao longo dos trabalhos de disposição e mesmo após a conclusão de um setor do aterro, os gases produzidos pela decomposição do lixo devem ser queimados e os percolados devem ser captados. Em complemento, também devem ser realizadas obras de drenagem das águas pluviais.

Os setores concluídos devem ser objeto de contínuo e permanente monitoramento para avaliar as obras de captação dos percolados e as obras de drenagem das águas superficiais, avaliar o sistema de queima dos gases e a eficiência dos trabalhos de revegetação, conforme CEMPRE-IPT (2000).

---

Na sequência a figura 7 apresenta o esquemático de um aterro sanitário.

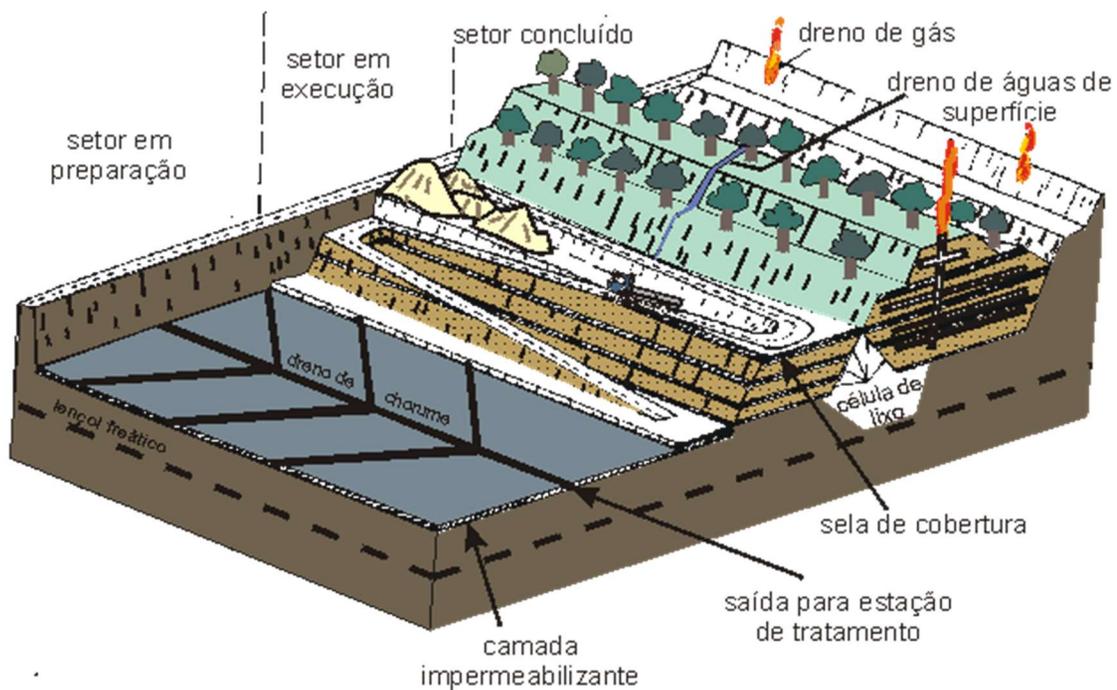


Figura 7 – Esquemático de aterro sanitário.  
 Fonte: Unesp/IGGE, 1999.

Um sistema padrão ou básico de coleta de Biogás tem quatro componentes, poços de coleta, tubos condutores, um sistema de tratamento e um compressor. O biogás excedente é queimado em flares de forma controlada, evitando a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. No desenvolver deste capítulo nas figuras 8, 9, 10 e 11 nos mostram um aterro sanitário em formação e na sequência um poço drenante de um aterro já terminado com suas saídas de tubulações para captação do biogás e os compressores.



Figura 8 – Aterro sanitário em formação  
*Fonte: Globo News, 2013*

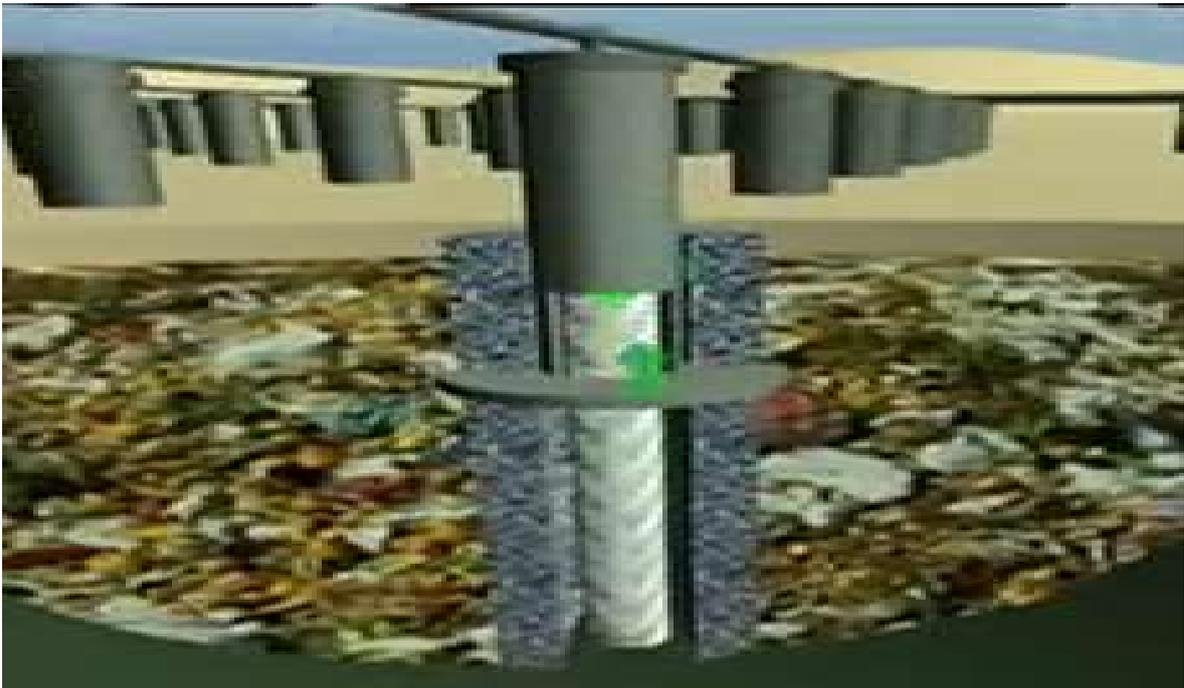


Figura 9 – Poço drenante de Biogás  
*Fonte: Globo News, 2013*





Figura 10 – Saída das tubulações para captação do Biogás  
*Fonte: Globo News, 2013.*



Figura 11 – Compressores para captação do Biogás  
*Fonte: Globo News, 2013.*

O primeiro projeto a utilizar o gás de aterro no Brasil foi o do aterro do Caju no Rio de Janeiro, porém este projeto não foi para geração de energia e sim para agregar gás na rede de distribuição de gás residencial, este projeto foi implementado em meados de 1977, pela Companhia Estadual de gás e da Empresa Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro.

## **2.3 Créditos de Carbono**

Neste item será exemplificado de como o crédito de carbono se apresenta comercialmente, podemos dizer que:

O princípio básico é a geração do gás metano  $\text{CH}_4$ , que surge da decomposição da matéria orgânica nos aterros e biodigestores como vimos em capítulos anteriores, porém este é poluente ao extremo, mas pode ser transformado em gás Carbônico  $\text{CO}_2$ . Cada tonelada de  $\text{CH}_4$  (metano) que deixe de ir para a atmosfera corresponde a um crédito de carbono.

Estes papéis de crédito de carbono são vendidos para empresas poluidoras de países “Ricos” que tem metas para reduzir a emissão de gases que causam o efeito estufa, dessa maneira são fontes importantes de recursos a países emergentes para se desenvolverem ao mesmo tempo em que preservam o meio ambiente.

Para ter uma visão geral do mercado de carbono segue a figura 12, a partir da Investing.com, que é uma fonte de ferramentas e informações relacionadas aos mercados financeiros.

---



Fechamento Anterior	4,7	Mês	Dez 17	Tick Size	0,01
Abertura	4,75	Contrato	1.000 toneladas	Tick Value	10
Var. Diária	4,62 - 5,12	Tipo de Liquidação	Física	Símbolo Base	C
52 semanas	3,87 - 7,07	Data da liquidação	26/12/2016	Valor de Ponto Base	1 = €1000
Retorno 1 ano	- 30,47%	Último dia de rollover	18/12/2016	Meses	HMUZ

Figura 12 – Visão geral do mercado carbono

Fonte: Investing.com, 2017.

Dentro do subitem, o aterro Novagerar no RJ, foi o primeiro no mundo a obter créditos de carbono, sendo que seu principal cliente é a Holanda e parte dos lucros destes créditos de carbono conforme matéria da TV Câmara é repassado para a prefeitura de Nova Iguaçu onde o aterro fica instalado.

## **2.4 Tipos de Geração a partir de Resíduos Sólidos Urbanos.**

A cada dia a tecnologia geração de energia a partir de RSU vem sendo difundida, este capítulo mostrará um demonstrativo das energias ou combustíveis que normalmente, são utilizados para alimentar os equipamentos que farão nossa transformação de energia mecânica em elétrica, assim como, uma explanação dos equipamentos que estão relacionados a cada uma destas energias.

### **2.4.1 Vapor**

Vapor de água é usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial. Incontáveis motivos colaboraram para a geração de energia a partir do vapor. A água é o composto mais abundante da Terra e normalmente é de fácil obtenção e baixo valor agregado. Na forma de vapor a água tem alta capacidade de energia por unidade de massa e volume. As relações temperatura e pressão de saturação permitem utilização como fonte de calor a temperaturas médias e de larga utilização industrial com pressões de trabalho perfeitamente toleráveis pela tecnologia disponível.

### **2.4.2 Gás**

- **Gás Natural**

De modo similar aos demais combustíveis fósseis, o gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, originados da decomposição de matéria orgânica fossilizada ao longo de milhões de anos. Em seu estado bruto, o gás natural é composto principalmente por metano, com inúmeras medidas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e água, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, metanol, ácido clorídrico e outras impurezas. Outras características intrínsecas importantes são os baixos índices de emissão de poluentes, em comparação a outros combustíveis fósseis, rápida dispersão em caso de vazamentos, os baixos índices de odor e de contaminantes. Ainda, em relação a outros combustíveis fósseis, o gás natural apresenta maior flexibilidade, tanto em termos de transporte como de aproveitamento (ANEEL, 2016). Além de insumo básico da indústria gasoquímica, o gás natural tem-se mostrado cada vez mais

---

competitivo em relação a outros combustíveis, tanto no setor industrial como no de transporte e na geração de energia elétrica. Nesse último caso, a inclusão do gás natural na matriz energética nacional, conjugada com a necessidade de expansão do parque gerador de energia elétrica e com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país, tem despertado o interesse de analistas e empreendedores em ampliar o seu uso na geração termelétrica.

- Biogás

É uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbica da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais e esgotos domésticos tratados pelo processo anaeróbico. Essa mistura gasosa é formada principalmente por metano e dióxido de carbono, em média, em partes iguais. Quanto maior a fração de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém. Neste gás há dezenas de substâncias, como gás sulfídrico, causador de mau cheiro, traços de siloxinas, que reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético. (CETESB, 2014)

### 2.4.3 Turbina a Vapor

As turbinas a vapor são equipamentos que aproveitam a energia calorífica do vapor e a transforma em energia mecânica, esta energia mecânica pode ser utilizada para mover equipamentos e se acoplarmos a um gerador terá a transformação da energia mecânica em energia elétrica.

O elemento básico da turbina a vapor é o rotor que é composto por palhetas ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido de vapor em movimento produza uma força tangencial que impulsiona o mesmo, conseqüentemente fazendo com que ele gire, esta energia mecânica é transferida através de um eixo e movimentando o gerador.

Dentre os tipos de turbinas a vapor, as turbinas em geral se classificam como hidráulicas, a vapor ou de combustão. Hoje, grande parte da energia elétrica no mundo é produzida com o uso de geradores movidos por turbinas.

Serão apresentados a seguir três tipos de formas construtivas sendo estas: turbinas de ação, reação e ação/reação.

---

- Nas turbinas de ação o vapor se expande unicamente no sistema diretor da máquina e não nos canais móveis do rotor, de modo que a pressão sobre as faces das palhetas não varia sensivelmente.
- Nas turbinas de reação é quando o vapor se expande nos canais móveis do rotor, de modo que a pressão de entrada do mesmo é maior que na saída.
- As turbinas de ação e reação, na realidade é uma turbina de reação com vários estágios e possuem um estágio de ação, no qual acontece uma queda elevada de pressão, fazendo com que tenhamos uma turbina menor e de custo mais acessível.

Quanto à classificação das turbinas a vapor podem ser divididas em duas, por estágios e descarga.

Por estágio:

- Mono estágio são as que apresentam um único rotor que normalmente é construída conforme o modelo de ação.
- Vários estágios são montados em um mesmo eixo podem apresentar estágios de ação ou de reação. Os vários estágios móveis são intercalados por pás fixas, dispostas formando um ângulo igual àquele de entrada das pás móveis que as seguem a fim de evitar que a entrada de vapor se processe com choque.

Por descarga:

- De escape livre, são aquelas que o vapor sai diretamente para atmosfera.
  - De condensação, são aquelas que o vapor é conduzido a um condensador.
  - De contrapressão, são aquelas que o vapor de descarga é conduzido a um processo. Neste caso a pressão de vapor de descarga é ligeiramente superior à atmosférica.
  - Combinadas, são aquelas que uma parte do vapor é retirado em estágios intermediários da turbina e conduzido a outros equipamentos e o vapor restante continua a sua expansão pelos estágios de menor pressão da turbina.
-

Ainda dentro do tema turbina as microturbinas se referem em geral a um sistema de dimensões relativamente reduzidas composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador elétrico, com uma potência total disponível não superior a 1.000kW.

Normalmente as microturbinas são de construção simples, pois possuem somente uma parte móvel, além de não utilizar líquidos para refrigeração e lubrificação.

O rendimento de uma microturbina normalmente está entre 27 a 30%, podendo ser otimizado entre 80 e 90% desde que seja utilizada com processos de cogeração. Estas ao invés de funcionar com o vapor têm como combustível o Biogás, Biometano, Gás Natural, GLP/Propano, Diesel, Biodiesel e Querosene.

#### 2.4.4 Grupo Motor Gerador (GMG) a Gás

De acordo com Chagas (2014), o conceito de grupo motor gerador é um conjunto formado por um motor a combustão e acoplado a um gerador de corrente alternada, normalmente estes grupos são alimentados por combustíveis fósseis diesel ou gasolina, mas também por combustíveis alternativos como o gás e o biodiesel.

Na construção física de um GMG a diesel e a gás não existe uma variação mecânica abrupta, porém sistemas de injeção, filtragem de combustível e de ar assim como controle são mais apuradas, conforme Fernando Marcante consultor técnico de uma das grandes empresas fornecedoras de grupos motores geradores.

Segundo o mesmo, a não adaptação da máquina ao combustível gera um extenso histórico de motores que não operam satisfatoriamente e especialmente ao uso do gás de aterro, além disso, pode ocorrer combustão incompleta falha de alimentação e perda de potência assim como a corrosão precoce provocada pela presença de substâncias nestes gases, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que prejudicam o processo de queima tornando-o menos eficiente, como já temos um poder calorífico menor neste gás e adicionando estas impurezas este poder calorífico tende a ficar menor ainda, com isso é justificado as alterações salientadas acima.

O estudo proposto visa à utilização de equipamentos que trabalhem com gases de baixo poder calorífico este combustível alternativo além de vir de aterros sanitários vem de biodigestores ou mesmo de plantas de tratamento de esgoto ou agrícolas.

---

Na continuação a figura 13 apresenta o layout básico de um GMG a gás natural ou biogás de 120kVA.



Figura 13 – Grupo motor gerador a gás  
 Fonte: Catálogo Stamac, 2012

### 3 COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS

Este capítulo vai fazer um comparativo baseado em aspectos tecnológicos, ambientais, sociais e econômicos visando à solução mais indicada para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, sejam eles rurais ou urbanos, levando em conta os autores citados na pesquisa e com subsídios levantados em visitas técnicas, poderemos então comparar ao menos três tecnologias utilizadas hoje no Brasil e no mundo que são incineração, biodigestão e gás de aterro.



### **3.1 INCINERAÇÃO**

A incineração dentre todos os métodos de geração de energia a partir de resíduos sólidos é a mais polêmica, pois nem todos convergem para as mesmas ideias e soluções, podemos salientar que em março de 2002, quando estava sendo criada a PNRS o Greenpeace a criticou, afirmando que a incineração e o coprocessamento em fornos de cimento são métodos prejudiciais à saúde humana, pois despejam substâncias tóxicas no meio ambiente, causando danos no sistema imunológico, gerando disfunções hormonais, problemas respiratórios, má formação congênita, entre outros efeitos, os mesmos dizem que o PNRS prioriza as tecnologias "sujas".

Já a Wtert-Brasil através de seu diretor em entrevista a Globo News, defende a geração de energia através da incineração, pois teríamos uma grande disponibilidade de combustível e este está próximo dos centros urbanos, sem a necessidade de gastos com a transmissão de energia, o mesmo afirma que após a reciclagem e ou compostagem de todo o lixo urbano produzido no planeta, cerca de 200 milhões de toneladas são processadas, por ano, em usinas resíduo-energia (REN) que recuperam a energia contida no lixo na forma de eletricidade ou calor. Nos EUA, aproximadamente 7% dos RSU são processados em 86 usinas, gerando cerca de 15 milhões de MWh ao ano de energia elétrica.

Já Machado, em publicação no portal de resíduos, a existência de uma grande quantidade de incineradores no mundo se dá pelo fato de quando estes foram construídos em meados dos anos 60, eram a tecnologia mais inovadora daquele momento e ambientalmente mais correta. Hoje com o avanço da reciclagem, os projetos de incineradores estão ficando cada vez mais inviáveis.

Embora os comentários sobre usinas de incineração estejam bem diversificados podemos ver na figura 14, que o Japão, União Européia e Estados Unidos lideram este tipo de processo para geração de energia. Enquanto que no Brasil estamos ainda “engatinhando” neste tipo de tecnologia e podemos salientar apenas um projeto em funcionamento no Brasil que abordaremos a seguir.

---



Figura 14 – Países com o maior número de usinas de RSU por incineração  
 Fonte: Globo News, 2013.

Na sequência será descrita a visita técnica operacional à usina de recuperação energética a partir de resíduos sólidos urbanos, localizada na cidade do Rio de Janeiro que utiliza o processo de incineração para geração de energia.

### 3.1.1 Visita técnica operacional a Usina de Recuperação Energética – URE

Esta usina é um protótipo com tecnologia totalmente nacional, mas formatada nos moldes das usinas que trabalham com incineração pelo mundo.

Sua capacidade de incineração é de trinta toneladas de RSU (lixo) por dia e sua capacidade instalada de geração é de 440kW. Hoje sua geração é de 220kW que é sua necessidade para todo o processo, pois a mesma não está interligada ao sistema (SIN) e o uso de sua geração é para consumo próprio.

O processo de geração de energia da mesma é por geração de vapor a partir de caldeira, isto é, os mesmos possuem um forno para incineração dos RSU, os quais geram calor para aquecimento de água do sistema de vapor da usina, a usina possui uma turbina acoplada a um gerador síncrono o qual foi dimensionado de acordo com o poder calorífico da caldeira, solicitando uma explanação melhor sobre o sistema de geração de vapor e o conjugado do gerador, os mesmos não quiseram informar os detalhes, somente me informaram que o pacote de fornecimento dos equipamentos quando solicitado é fechado, fazendo com que a capacidade da caldeira seja dimensionada diretamente ao conjunto gerador/turbina.

O processo de geração a partir da caldeira é similar a qualquer usina a vapor de ciclo fechado, a seguir será detalhado o processo básico de uma usina a vapor de ciclo fechado, conforme o esquemático da figura 15.

- O forno é alimentado por RSU, que em sua queima chegam até 1200° C;
  - Este calor gerado pela queima dos RSU esquentam a água na caldeira e seus vapores saem em alta pressão até a turbina para geração de energia;
  - No estágio intermediário da turbina, o vapor perde parte de sua pressão, então ele é retirado e seu poder calorífico, passa pelo desaerador para otimizar a eficiência da caldeira, isto é, aproveita-se parte do calor para manter a água em uma temperatura mais alta;
  - O vapor que passa pela turbina, em contatos com suas pás gera trabalho mecânico que é transmitido para o conjunto gerador, onde é feita a conversão de energia mecânica para energia elétrica;
-

- Os vapores de baixa pressão que são resultado da saída da turbina, após a geração de trabalho vão até o condensador onde este vapor é condensado e resfriado para voltar ao estado líquido e voltar ao processo;
- A água vinda do condensador é completa, embora o processo seja fechado sempre temos algumas perdas no processo, devido às conexões, expurgos entre outros;
- Esta água é pré-aquecida no desaerador conforme o item três, para otimizar a eficiência da caldeira, fazendo com que a água entre no processo já pré-aquecida;
- A partir deste momento o ciclo se repete.

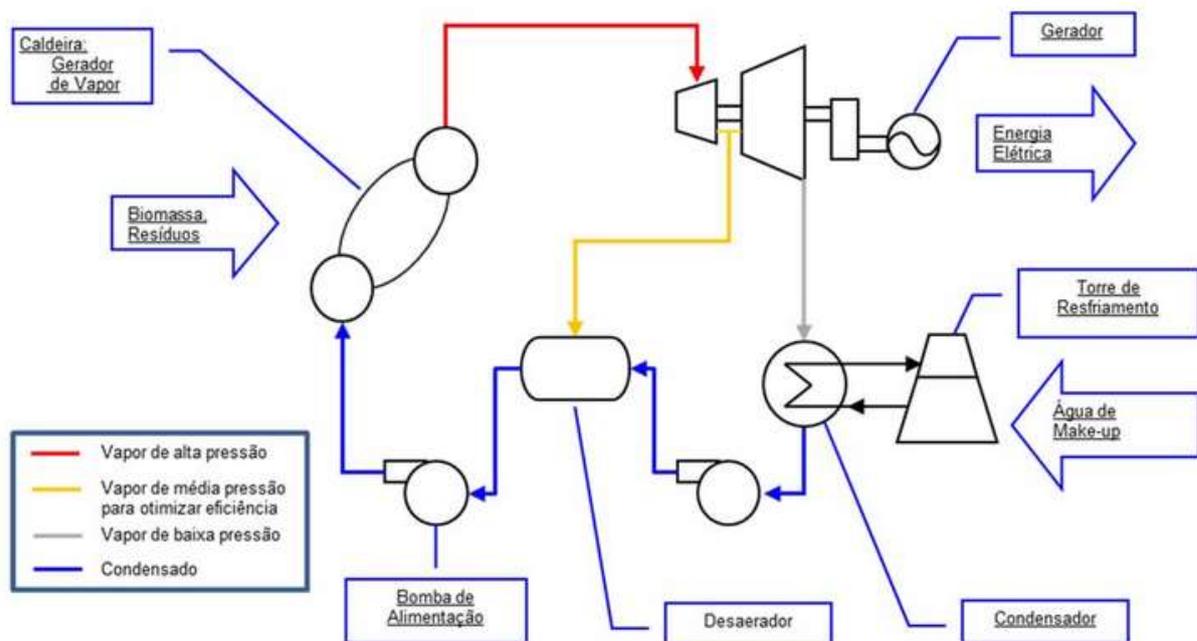


Figura 15 – Esquemático básico ciclo fechado de usina vapor  
 Fonte: Base Solida Energia, 2017.

No início da visita a engenheira química da empresa, apresentou todo o processo ilustrando-o na sala de receptivo, já em campo além da engenheira química o engenheiro Mecânico da empresa nos acompanhou detalhando mais tecnicamente o processo completo.

Devido a esta usina ser um protótipo, as informações quando solicitadas mais tecnicamente e com dados detalhados eram barradas, devido à confidencialidade das mesmas

para evitar cópia dos processos que estão sendo homologados ainda, assim como da inserção de novas tecnologias e equipamentos.

A figura 16 mostra uma imagem da entrada da unidade visitada, não foi autorizado filmar, fotografar e/ou gravar nada das conversas e partes da usina, foi liberado apenas utilizar imagens e informações já divulgadas pelos mesmos e/ou entendimentos adquiridos durante a visita.



Figura 16– Usina de recuperação Energética  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2017.*

Os RSU depois de passar pela unidade de reciclagem (associação de catadores) onde foram retirados todos os materiais que poderiam ser reciclados vêm para usina onde os demais materiais que estão contaminados e não podem ser reciclados vão ser incinerados, nesta etapa do processo o caminhão descarrega os RSU no fosso, que na sequência serão puxados pela esteira até o próximo processo, poderá ser visto este descarregamento na figura 17.

---



Figura 17 – Descarga dos RSU  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*

Na próxima etapa os RSU são carregados pela esteira até o tambor rotativo, onde existem facas de corte para abrir qualquer saco plástico que por ventura esteja ainda inteiro, assim como desmanchar algum material que possua tamanho muito grande, esta etapa do processo pode ser evidenciada na figura 18.



Figura 18 – Esteira Alimentadora dos RSU  
 Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.

Depois de passar por este processo os resíduos passam novamente pela unidade de reciclagem local que são funcionários da associação de catadores que retiram ainda a sobra de todos os materiais que poderiam ser reciclados e sem contaminação, a figura 19 ilustra esta etapa do processo.



Figura 19 – Separação de recicláveis  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*

A figura 20 evidencia como os resíduos ficam após a reciclagem local, desta maneira que os mesmos são conduzidos para próxima etapa do processo.



Figura 20 – Resíduos após separação de recicláveis  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*

A partir deste momento do processo temos o combustível para o forno, sendo que a partir da incineração destes materiais que teremos o poder calorífico suficiente para aquecer a água da caldeira que vai gerar o vapor para nosso processo de geração de energia, na sequência as figuras 21 e 22 sucessivamente apresentam a esteira alimentadora e a caída dos resíduos no funil do forno e a boca de entrada do forno.

Mas para que o processo de queima do forno possa ficar contínuo sendo alimentado apenas com os resíduos, este no início do processo de aquecimento é alimentado por gás natural por quatro horas e mantido a uma temperatura de 900°C podendo a partir deste estado, ser mantido apenas com os resíduos e com o poder calorífico em média de até 1200°C.





Figura 21 – Esteira alimentadora forno e descida do forno  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*



Figura 22 – Boca de entrada do forno  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*



A seguir poderá ser visualizada a chama de queima dentro do forno, onde a temperatura está próxima dos 1200°C, figura 23.



Figura 23 – Visor do queimador do forno  
 Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.

Os processos de controle do forno, caldeira e geração de energia são todos automatizados e controlados por *software* dedicado na plataforma padrão *SCADA*, estes equipamentos de supervisórios estão instalados na sala de comando da usina onde ficam dois operadores em turnos de revezamento de oito horas perfazendo o período de vinte e quatro horas de operação da usina, por serem *softwares* dedicados da usina os mesmos não foram detalhados pelos engenheiros, mas pode se observar que todos os comandos de pressão, temperatura, controle de velocidade do gerador, assim como *setup's* dos equipamentos e válvulas estavam evidenciados nas telas de comando e supervisão, a figura 24 evidencia a sala de comando e a figura 25 nos mostra um recorte da tela do supervisório da usina.



Figura 24 – Sala de comando da usina  
 Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.

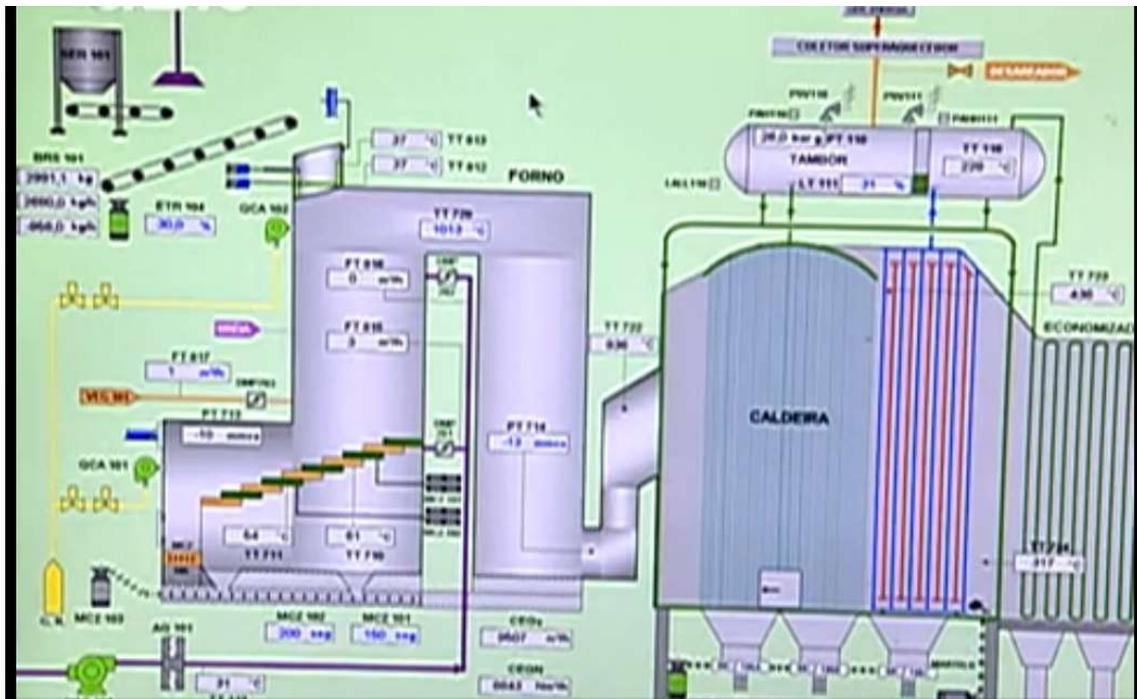


Figura 25 – Tela do supervisor do sistema forno caldeira  
 Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.

A figura 26 nos mostra o local onde está a sala acústica que se encontra instalada a turbina a vapor e gerador de energia da usina.



Figura 26 – Visão da sala do gerador  
 Fonte: *Catálogo de divulgação, 2014.*

Na sequência a figura 27 mostra o conjunto turbina gerador da usina, este conjunto foi fornecido pela Dresser-Rand que uma das maiores fornecedoras mundiais de soluções customizadas de engenharia para equipamentos rotativos de longa duração, conforme informado pelos engenheiros da usina os pacotes de turbina e geradores são dedicados a cada empreendimento desenvolvido pelos mesmos, pois além da usina servir como protótipo de estudos e aperfeiçoamento de tecnologias nacionais, os mesmos tentam entrar no mercado com venda de usinas completas e soluções no tratamento de resíduos para clientes em potencial, tais como prefeituras, grandes indústrias entre outros.





Figura 27 – Gerador e turbina a vapor  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*

Em um processo de incineração em média temos 90% de redução do volume de resíduos a serem processados, na figura 28 podemos exemplificar esta redução do volume de resíduos.

A unidade visitada como comentado em capítulos anteriores tem capacidade de incinerar 30 toneladas de RSU por dia. Esta unidade possui alguns projetos em andamento para utilização destes resíduos na fabricação de tijolos e na fabricação de asfalto, caso estes resíduos fossem transportados novamente para o aterro sanitário teríamos em torno de 10 a 12 anos a mais de vida útil do mesmo.



Figura 28 – Resíduos do forno  
 Fonte: *Catálogo de divulgação, 2014.*

As figuras 29 e 30 exemplificam os processos de tratamento de efluentes e gases do processo.

Os mesmos possuem uma estação de tratamento de efluentes onde os dejetos são filtrados e tratados antes de serem descartados na galeria de esgoto, fazendo com que não tenhamos contaminação do meio ambiente.

Já os gases, é o ponto de maior polêmica nas usinas de incineração, pois a geração de gases tóxicos é notória, porém os sistemas de filtragem e lavagem destes vêm sendo melhorada

em todo mundo, nesta unidade o monitoramento e o tratamento dos gases se baseiam na norma Paulista para emissão de gases de efeito estufa e de dióxidos do processo de incineração, a mesma possui filtros manga com pressão negativa para que os gases não fossem perdidos para atmosfera assim como sistema de lavagem dos gases fazendo que as impurezas fossem recolhidas pela aspersão de água e estas fossem filtradas no sistema de descontaminação em ciclo fechado.

Com os sistemas de filtragem e as medições aferidas dos gases por sensores monitorados pelo supervisor da usina, pode-se verificar que praticamente a apenas vapor d'água saindo da chaminé da usina.



Figura 29 – Sistema de tratamento de efluentes do processo  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*



Figura 30 – Chaminé de exaustão dos gases do processo  
*Fonte: Catálogo de divulgação, 2014.*

Resumindo a visita, sua produção de energia é para uso próprio em torno de 220kW/h, para gerar esta energia é processado 30 toneladas de RSU por dia, sendo que seu volume após incineração fica reduzido a 12%, os mesmos possuem 1 turbina a vapor, podemos assumir que a mesma é de ação, mono-estágio e por descarga de condensação, seu gerador tem capacidade de 440kW e sua tensão pela falta de transformação no local e a tensão de trabalho da usina ser de 440V pode-se até afirmar empiricamente que sua tensão é de 440V, os mesmos não possuem vínculos com empresas para geração de energia, possuem rendimentos com o tratamento dos RSU, vendas de papéis de carbono e utilização de sua própria energia, possuem em seu quadro funcional 50 funcionários sem contar com as equipes da associação de recicladores.

## **3.2 BIODIGESTÃO**

A biodigestão tem umas das melhores aceitações perante os processos de geração de energia, de acordo com Machado, 2013 com as tecnologias atuais, praticamente qualquer tipo de resíduo orgânico pode ser tratado, A viabilidade econômica de centrais de biodigestão se dá pela venda de biogás, biofertilizante, créditos de carbono e a cobrança pelo tratamento dos resíduos orgânicos. Além disso, podem ser oferecidos cursos de qualificação em biotecnologia, hoje biodigestores para o tratamento de resíduos orgânicos urbanos chegam a empregar mais de 120 funcionários diretos com diferentes qualificações. Portanto, no aspecto social, os biodigestores podem gerar milhares de empregos.

Em razão do aumento da população é cada vez maior a exigência ao setor agropecuário quanto à produção de alimentos. Porém, inevitavelmente, o aumento de produção de alimentos, seja de origem vegetal ou animal, resultará, também, numa maior geração de resíduos, os quais se tornarão um problema para o produtor, se não receberem tratamento seguro. Assim, é preciso ter consciência ecológica, visando à preservação do meio ambiente. E, para isso, se torna necessário fazer uso das fontes alternativas de energia.

A Wtert-Brasil em sua base de trabalho já defende a geração de biogás e sua utilização, hoje os biodigestores é uma de suas áreas de estudo, mas sem dados preliminares para levantamentos no Brasil, já o ramo da Wtert nos EUA afirma que cerca de 9% dos seus resíduos são utilizados no processo de biodigestão e compostagem.

Hoje a biodigestão no Brasil é muito difundida nas áreas agrícolas e nas áreas industriais químicas, pois além de tratar seus dejetos podem agregar valor na geração de energia assim como todos os demais processos.

Os biodigestores utilizam tecnologias simples, que possibilitam transformar os dejetos de animais em biofertilizantes para serem usados nas lavouras e na produção de biogás, muito útil como fonte de energia. O princípio de funcionamento dos biodigestores se baseia no processo anaeróbio. Se trata de um ambiente criado de forma artificial e favorável ao desenvolvimento de bactérias anaeróbias. Existem vários modelos de biodigestores, sendo que cada um é adequado aos diferentes tipos de resíduos obtidos no meio rural, podendo ser operados com cargas contínuas ou batelada. Os dejetos diluídos em água são colocados de uma

---

só vez dentro da câmara de biodigestão, onde permanecerão até que a fermentação for completada, gerando assim o biogás.

Os dejetos podem ser coletados por raspagem do piso das instalações. Independentemente de como os dejetos serão coletados, eles precisam ser diluídos em água, sendo que a quantidade de água utilizada será determinada de acordo com o tipo de dejetos que irá abastecer o biodigestor. Depois de colocados no interior dos biodigestores, os dejetos diluídos em água sofrem o processo de biodigestão, produzindo o biogás e o biofertilizante. O biogás é um produto que pode ser utilizado no funcionamento de diversos equipamentos das propriedades rurais que não possuem energia elétrica, ou mesmo como fonte de energia alternativa. Como já vimos o biogás possui em sua composição frações de gases metano, carbônico, nitrogênio, hidrogênio, oxigênio e gás sulfídrico, apenas o metano é combustível, incolor e sem cheiro. Assim, em termos energéticos, quanto maior for seu percentual, melhor será sua qualidade, e quando queimado, não deixará fuligem.

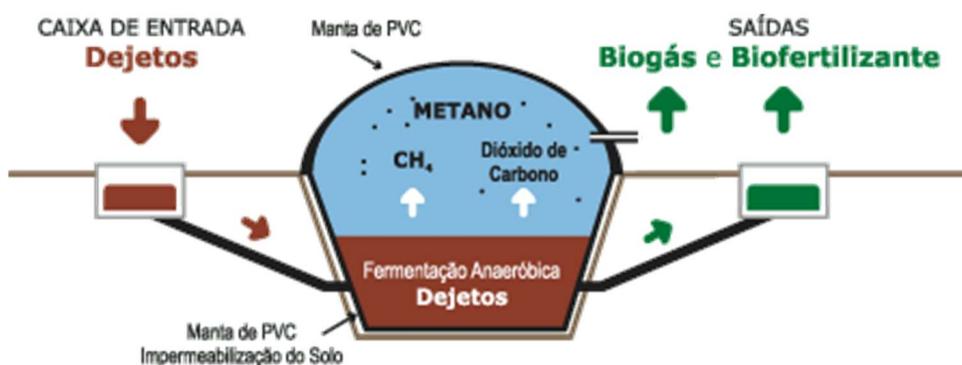


Figura 31 – Esquema de biodigestor anaeróbico  
 Fonte: Master Ambiental, 2012.

O biofertilizante é natural e tem características bem adequadas para ser aplicado como fertilizante. O biofertilizante, por sua vez, poderá ser aproveitado como fertilizante natural para realizar adubações das lavouras, pois se trata de um produto de excelente qualidade que, quando utilizado corretamente, praticamente não polui o ambiente, além de possuir características minerais adequadas para o desenvolvimento das plantas. É um produto rico em matéria orgânica, bioestabilizado, que possui todos os nutrientes que os dejetos tinham antes da biodigestão, uma vez que as perdas que ocorrem durante o processo são mínimas. Portanto, trata-se de um material natural com características bem adequadas para ser aplicado como

fertilizante em substituição aos químicos que poluem o ambiente e deixam resíduos tóxicos nos alimentos e que, por isso, poderão causar danos à saúde do homem. Além disso, tem a característica de não atrair moscas às plantações e de ser livre de microrganismos patogênicos causadores de doenças nas plantas.

### **3.3 ATERRO SANITÁRIO**

Grande parte dos empreendimentos realiza o aproveitamento do gás produzido espontaneamente pela decomposição nos vazadouros em motores ciclo Otto ou, após beneficiamento do biogás, em turbinas. Apesar de acoplada a um sistema sanitário existente, o que reduz custos, este tipo de usina convive com a incerteza quanto à disponibilidade do combustível, função das emissões fugitivas que naturalmente ocorrem nos vazadouros, visto que as grandes áreas utilizadas impossibilitam a vedação total e a curva típica de oferta de gás dificulta o dimensionamento do empreendimento elétrico.

A tecnologia de aproveitamento do gás de lixo (GDL), ou biogás produzido nos aterros sanitários é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos. É uma alternativa que pode ser aplicada a curto e médio prazos para os gases produzidos na maioria dos aterros já existentes, como ocorre em centenas de aterros de diversos países. Consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição anaeróbica da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), por ação de micro-organismos que transformam os resíduos em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água, gás metano ( $\text{CH}_4$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), mercaptanas e outros componentes minerais.

---



Figura 32 – Esquema de aterro sanitário  
 Fonte: *Ambiental Sustentável*, 2011.

Se considerarmos que a população mundial estimada em 6,0 bilhões de habitantes e a população urbana representada por 75% da população total habitando as cidades, torna-se claro a urgência na resolução da disposição final de resíduos sólidos.

Um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume.

Chorume é a parte líquida que se origina dos processos biológicos, químicos e físicos que resultam da decomposição de resíduos orgânicos. Tem cor escura e cheiro forte característicos, com alta capacidade de causar danos ao meio ambiente. Como é resultado dos processos de decomposição orgânica, o líquido apresenta baixíssima biodegradabilidade, o que o torna uma ameaça de alto risco. Como a origem dos resíduos sólidos urbanos é muito variada e tem seu destino concentrado no aterro sanitário, além de matéria orgânica, o chorume contém elementos altamente tóxicos como o cádmio, cobre, cobalto, chumbo, mercúrio e arsênio. Em contato com o solo pode contaminar a terra, tornando-a imprópria para a existência da flora e para a manutenção da fauna, e infiltrar até os lençóis freáticos, afetando a qualidade das águas subterrâneas que formam as nascentes, as cisternas e os poços artesianos. Os rios também podem ser afetados, podendo acarretar a morte de peixes e de outros organismos da fauna aquática.

Como nos aterros sanitários há alta concentração de matéria orgânica em decomposição a capacidade de danos ao meio ambiente pela contaminação com o chorume gerado é elevada e medidas de contenção e precaução devem ser adotadas ainda na fase de projeto do aterro sanitário. Não basta a contenção e o isolamento do terreno dos riscos de contato do chorume com o meio ambiente, o que deve ser feito em conformidade com a NBR 8419/1992, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que dispõe sobre a construção de aterros sanitários no Brasil. O tratamento do chorume é a solução que viabiliza a transformação da substância em uma série de compostos estáveis.



Figura 33 – Tanque de tratamento de chorume do Aterro Sanitário de Goiânia  
 Fonte: Instituto Brookfield, 2016.

Após passar por tratamento biológico o chorume é transformado em um adubo rico em nutrientes essenciais para as lavouras, o líquido que tinha grande potencial poluidor se transforma em uma solução para agricultura. A decomposição da matéria orgânica ocorre por dois processos, o primeiro processo é de decomposição aeróbia e ocorre normalmente no período de deposição do resíduo. Após este período, a redução do  $O_2$  presente nos resíduos dá origem ao processo de decomposição anaeróbica.

O gás de aterro é composto por vários gases, alguns presentes em grandes quantidades como o metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços. Os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos. A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro.

O gás metano, principal componente do biogás, é 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono em termos de efeito estufa. Assim, sua simples queima representa um benefício ambiental perante sua emissão. Em adição, o aproveitamento energético também evita a emissão decorrente da queima de combustível fóssil que poderia ser utilizado para ofertar a mesma quantidade de energia que o biogás

Porém de acordo com o governo Brasileiro e dados do PROINFA, um aterro com capacidade de geração de 20 MW produz 12.000  $\text{Nm}^3$  de biogás / hora. Esse valor pode variar entre 45% e 65%, pois o volume disponível de biogás não é o mesmo em todos os drenos, podendo ser otimizado pela utilização de medidores para avaliar a vazão de pressão de metano, definindo em quais drenos será feita a captação, utilizando uma captação mais eficiente poderemos ter uma fonte de combustível confiável que fará um incremento em nossa capacidade energética muito necessária para o país, fazendo com que nossa matriz energética tome outros rumos.

Outros fatores que contribuem na quantidade de produção do biogás são: temperatura, pH, idade dos resíduos, composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, projeto do aterro e sua operação. O aterro tem que ser concebido levando-se em conta muitos atributos que vão impactar a produção do biogás. Geralmente, a geração de biogás inicia-se após a disposição dos resíduos sólidos, encontrando-se, registros de metano ainda nos primeiros três meses após a disposição, podendo continuar por um período de 20, 30 ou até mais anos depois do encerramento do aterro. O gás proveniente dos aterros contribui consideravelmente para o aumento das emissões globais de metano. As estimativas das emissões globais de metano, provenientes dos aterros, oscilam entre 20 e 70 Tg/ano, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20% do total de metano (IPCC, 1995).

---

Segundo o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, realizado pelo Governo Federal em 2005, as emissões de metano por resíduos sólidos no Brasil, para o ano de 1990, foram estimadas em 618 Gg, aumentando para 677 Gg no ano de 1994. As emissões de metano geradas no tratamento dos resíduos líquidos de origem doméstica e comercial foram estimadas em 39 Gg para o ano de 1990, subindo para 43 Gg em 1994.

O aproveitamento energético da produção do biogás obtido da degradação dos resíduos será a conversão em forma de energia útil: combustível veicular, abastecimento de gasodutos, combustível para caldeiras ou fogões, eletricidade e vapor.

Independente da aplicação do biogás produzido no aterro, o projeto do sistema de produção, coleta e tratamento deverá contemplar todas as etapas necessárias para obter um biogás de qualidade que não possua restrições quanto a sua utilização.

---

De acordo com a ABRELPE, temos um horizonte muito amplo para geração de biogás nos aterros, sendo que o mesmo continua em estudos pela associação, na sequência temos a figura 31 que nos mostra o panorama de 2013 com vistas para 2020, teríamos hoje uma capacidade de geração de energia 311MW/h com uma quantidade de 5,6 milhões de m<sup>3</sup> de metano, porém com a melhor utilização dos aterros poderíamos aumentar sua capacidade de geração de gás para 8,8 milhões de m<sup>3</sup> de metano fazendo com que a capacidade de geração de energia fica-se aumentada para cerca de 420MW/h.

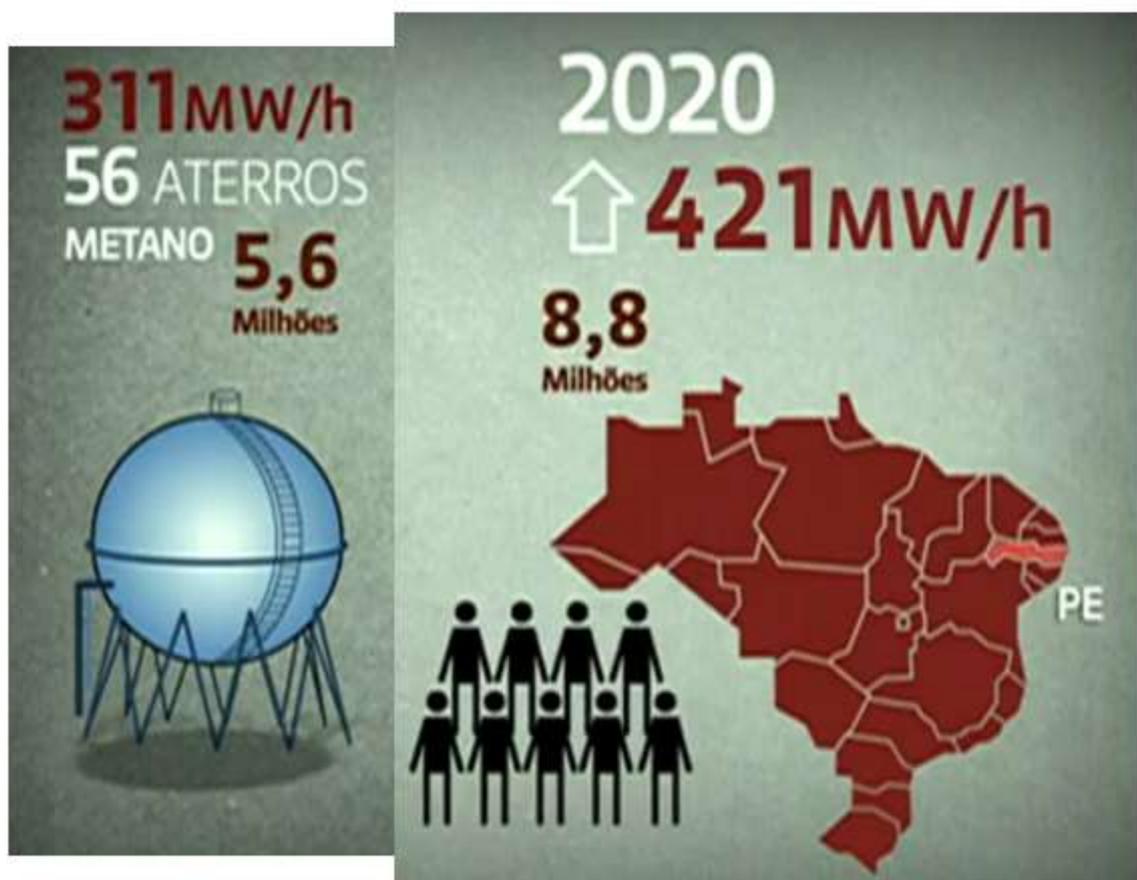


Figura 34 – Visão energética dos aterros

Fonte: Globo News, 2013.

De acordo com EPE, Empresa de Pesquisa Energética, no município de São Paulo, a geração de energia elétrica nos dois maiores aterros da cidade, Bandeirantes e São João, já é uma realidade.

Estão em operação duas termelétricas, com 20 e 21,56MW de potência instalada, respectivamente. Tomando como referência um fator de capacidade de 80% e tendo em conta

o atual consumo médio do consumidor residencial brasileiro, em torno de 150 kWh/mês, a geração de energia nesses dois aterros é suficiente para atender ao consumo de cerca de 170 mil residências, ou o equivalente a uma população entre 500 e 600 mil habitantes. Dentro de uma perspectiva de longo prazo, o Plano Nacional de Energia 2030 da Empresa de Pesquisa Energética do governo brasileiro, considera a possibilidade de instalação de até 1.300 MW nos próximos 25 anos em termelétricas utilizando RSU, em uma indicação de que são esperados avanços importantes no aproveitamento energético do lixo urbano. A melhor configuração de um aterro sanitário em particular dependerá de uma variedade de fatores, incluindo a viabilidade de um mercado de energia, os custos de projetos, as fontes potenciais de receita, e várias considerações técnicas. De um modo geral o aproveitamento do gás do lixo (GDL) tem as seguintes vantagens: redução dos gases de efeito estufa, receita adicional para aterros existentes, utilização para geração de energia ou como combustível, redução da possibilidade de ocorrência de autoignição e ou explosão pelas altas concentrações de metano.

Por outro lado temos algumas desvantagens: recuperação parcial do gás em aterros, sobretudo naqueles cuja construção não foi projetada para este fim, em que a recuperação máxima muitas vezes se limita a 50%, alto custo da planta de aproveitamento do gás, decorrente do tratamento necessário, decaimento da disponibilidade de combustível ao longo da vida útil do projeto.

A seguir a figura 35 apresenta a usina de geradores de alta potência instalada para utilizar o Biogás do aterro São João.

---



Figura 35 – Grupos moto - geradores  
*Fonte: Globo News, 2013.*

### 3.4 COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS DETALHADO

O mapeamento do potencial de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos converge com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, visto que esta limita aos rejeitos – resíduos para os quais não haja viabilidade técnica, ambiental e econômica para reaproveitamento – a destinação a aterros sanitários a partir de 2014 e, conseqüentemente, exige a análise de viabilidade das destinações de resíduos.

Dentro do contexto, cada solução para geração de energia através dos RSU é defendida por um grupo de pensadores, empresas e pelo governo, cada um salienta pontos que serão organizados no quadro 1, este fará um resumo entre os tipos de geração a partir de cada método apresentado neste estudo.

ITEM COMPARATIVO	INCINERADOR	BIODIGESTOR	ATERRO SANITÁRIO
Tipos de resíduos	Basicamente RSU secos (pouca umidade)	Qualquer tipo	Qualquer tipo
Geração de receita	Energia térmica e elétrica, taxa para tratamento dos resíduos, créditos de carbono, reaproveitamento dos resíduos em projetos	Energia térmica e elétrica, taxa para tratamento dos resíduos, créditos de carbono, biofertilizantes	Energia térmica e elétrica, taxa para tratamento dos resíduos, créditos de carbono, biofertilizantes
Geração de emprego para catadores	SIM (embora alguns defendam a ideia de NÃO)	SIM	SIM
Ambientalmente adequada	NÃO, devido à dificuldade de fiscalização das emissões, e obscuridade de informações.	SIM	SIM
Diminuição do volume	SIM	SIM	NÃO
Tempo de operação	Indeterminado	Indeterminado	18 anos, após fechamento.
Viabilidade Econômica	Alto custo da planta de aproveitamento dos RSU, principalmente decorrente do tratamento dos gases tóxicos e do processo;	Baixo custo da planta de aproveitamento do gás, decorrente do pouco tratamento dos gases e sistema simplificado do processo;	Alto custo da planta de aproveitamento do gás, decorrente do tratamento necessário em todo o processo;

Quadro 1 – Comparativo entre os tipos de geração  
*Fonte: Própria, 2017.*

Embora tenhamos uma forma de comparação entre os tipos de geração não se pode definir qual seria a melhor, pois cada estudo deve identificar o modelo de negócio ideal e com viabilidade econômica e isso só pode ocorrer através da elaboração de um plano de negócio específico, este deve ser elaborado por profissionais com capacidade técnica e operacional visando à melhor solução para cada projeto. As pesquisas literárias sobre o tema produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU) destacam sua importância para as áreas econômica, ambiental e social. A produção dos resíduos sólidos, devido a demanda da população, é crescente e as áreas para destinação destes estão cada vez mais escassas. Os trabalhos de pesquisa realizados nos últimos anos apontam para o potencial energético significativo que os resíduos podem ter na matriz energética. Porém, necessita-se ainda de investimento em tecnologia para aprimorar o potencial energético e garantir que esta produção se torne representativa e viável.

Quando fizemos a visita técnica operacional a Usina de Recuperação Energética – URE no estado do Rio de Janeiro, ficou claro que quando comparamos com as outras tecnologias

abordadas neste trabalho este tipo de empreendimento é o de maior tecnologia aplicada, maior investimento necessário e também o empreendimento que tem o maior domínio da tecnologia em razão da automação e controle empregados. Para a geração de eletricidade a partir da incineração, ela apresenta potencial de atendimento de 5,4% do consumo de eletricidade nacional, com potencial de 25 TWh

Existem hoje unidades de produção de energia elétrica a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) para ser comercializadas dependendo de quanto se quer gerar e de quanto combustível se tem disponível.

Os benefícios que serão obtidos com a instalação de biodigestores, não estão relacionados apenas nas possíveis receitas com a venda de energia gerada e injeção na rede elétrica, relaciona-se aqui principalmente a redução dos gastos com a compra de energia elétrica das concessionárias de energia e com a compra de gás para uso domiciliar. Além disso, o biogás produzido a partir de biodigestores não depende da produção de alimentos que necessitem de terra para cultivo. Dessa forma, a implantação de biodigestores auxiliariam no saneamento ambiental, diminuindo a contaminação de bacias, rios e a emissão de gases de efeito estufa para atmosfera. As desvantagens do sistema vêm sendo minimizadas a cada dia com a evolução da tecnologia, como a fabricação de equipamentos de funcionamento exclusivo por biogás e melhorias do sistema de biodigestão. O capítulo quatro do estudo nos dará uma ideia real dos empreendimentos que estão em andamento no Brasil, fazendo com que tenhamos uma visão ampla da geração de energia a partir dos RSU, contudo o capítulo cinco fará uma análise básica das licenças para um empreendimento de geração Usina de Recuperação Energética (URE) a partir de RSU e um fluxo de caixa orientativo para possíveis investidores terem uma breve simulação de como os valores necessários para tal investimento podem ser distribuídos e fomentados, estes valores simulados, serão de valores globais divulgados pelos empreendedores em atividade em revistas e/ou artigos técnicos apresentados em simpósios, assim como taxas de juros de mercado entre outros.

---

## **4 CONCLUSÃO**

O Brasil tem enorme potencial para gerar energia elétrica a partir de resíduos sólidos e a alternativa poderia ampliar a atual oferta de eletricidade do país. A comprovação do baixo custo desta eletricidade tornará esta fonte muito interessante, além de possibilitar segurança energética ao SIN.

As vantagens são muitas. Diminuição dos aterros sanitários e lixões, menor produção de gases poluentes, menos risco ao meio ambiente e à saúde humana, mais economia e mais empregos. Economia é o grande chamariz de se transformar lixo em energia. Contudo, o potencial brasileiro para transformar lixo em energia permanece subutilizado, quase nada dos resíduos brasileiros é utilizado para gerar energia elétrica. Neste trabalho não há uma resposta sobre o que seria melhor ou pior para exploração e geração de energia a partir de RSU, mas há uma síntese de cada uma das propostas para que pudéssemos tirar nossas próprias conclusões, pois cada tema abordado faz referência a uma determinada área de exploração e cada qual com suas particularidades.

Hoje, o panorama em diversos estados do Brasil é de falta de água, concomitante a isto, nossa matriz energética é basicamente hídrica, logo, pode-se dizer que a diversificação na geração de energia é necessária. São necessárias também energias diversificadas, e porque não dizer, novas fontes de energia que podem agregar muito valor a matriz energética brasileira. Recursos são formatados e disponibilizados pelo PROINFA, estudos são incentivados pelo P&D, investidores estão enxergando o horizonte rentável na geração de energia de forma inovada, e como apresentamos no fluxo de caixa orientativo o empreendimento pode ser fomentado desde que todos os condicionantes possam ser alinhados.

Os responsáveis pelas diretrizes de meio ambiente simpatizam pelos novos projetos com a diminuição dos impactos a natureza, daí a necessidade de questionar o que falta para a evolução na geração de energia a partir de RSU; seria vontade política, burocracia, tecnologia, ou falta de novos grupos formadores de ideias referentes aos processos aqui demonstrados.

O aproveitamento energético dos resíduos requer análise multidimensional, abrangendo o tratamento adequado do lixo e do esgoto, a energia potencial disponível, a mitigação de emissões de poluentes e o benefício social, caracterizando-se como uma solução de transformação socioambiental da realidade de tratamento de resíduos no Brasil.

---

A gigantesca demanda por serviços de saneamento pode ser atendida por soluções que maximizem o potencial de oferta de energia renovável, renda e serviços ambientais para a sociedade. Para tanto, são necessárias ações coordenadas entre as diversas esferas políticas (federal, estadual e municipal) e sociedade civil, entendendo que há diferentes realidades no tocante às características dos resíduos, da infraestrutura e de instituições vinculados ao tema por todo o país e, com isso, as soluções são múltiplas e diversas.

Quando utilizarmos o biogás gerado por uma das tecnologias apresentadas aqui estaremos evitando a emissão decorrente da queima de combustível fóssil que poderia ser utilizado para ofertar a mesma quantidade de energia que o biogás.

## **5 Bibliografia**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 27 dez. 2016;

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) - Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos, 2013.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) – Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, 2011. BRASIL, DECRETO LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. DIÁRIO OFICIAL DO BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2010;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em:<<http://abnt.org.br>> Acesso em: 22 jul. 2017;

BAITELO, Ricardo - Coordenador da Campanha de Energias Renováveis do Greenpeace Brasil. Doutor em Planejamento Integrado de Recursos pela Escola Politécnica da USP. – Disponível em [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org). Acesso em: 28 mar. 2016.

BRASIL, DECRETO LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. DIÁRIO OFICIAL DO BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2010.

---

BRASIL, DECRETO LEI Nº 12.493, DE 2 DE JANEIRO DE 1999. DIÁRIO OFICIAL DO PARANÁ. Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS). Diário Oficial nº 5430, Curitiba, PR, 05 fev. 1999.

BRASIL, DECRETO LEI Nº 7.833, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1991. DIÁRIO OFICIAL DO PARANÁ. Política Municipal do Meio Ambiente. Diário Oficial, Curitiba, PR, 19 dez. 1991.

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira - Sistemas de energia e climatização: aplicações práticas em telecomunicações e data Center – São Paulo: Érica, 2014;

CENTO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS- CPT Disponível em:< <http://www.cpt.com.br/cursos-energiaalternativa/artigos/biodigestor-produz-energia-e-fertilizantes-a-partir-de-dejetos>> Acesso em: 27 dez. 2016;

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – CERPCH. Disponível em:<<http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php>> Acesso em: 27/12/2016. EPE [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA]. Série – Recursos Energéticos. Rio de Janeiro: EPE, 2008 disponível em:< [http://epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208\\_1.pdf](http://epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208_1.pdf).> Acesso em: 27 dez. 2016;

CETESB – Biogás: Projetos e pesquisas no Brasil / CETESB, Secretaria do Meio Ambiente; organização Josilene Ticianelli Vannuzini; responsável técnico João Wagner Silva Alves. \_ São Paulo: SMA,2006. Disponível em [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br) Acesso em: 21 abr. 2016;

EPE [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA]. Série – Recursos Energéticos. Rio de Janeiro: EPE, 2008 disponível em [http://epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208\\_1.pdf](http://epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208_1.pdf). Acesso em: 17 mar. 2016.

FERREIRA, Adriana Ziemer Garcia - Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos pelo Processo de Incineração: Análise Técnica e Ambiental CONEXÃO ACADEMIA - A Revista Científica sobre Resíduos Sólidos, Julho 2013 - Ano II - Volume 4.

GLOBO NEWS – Conheça as formas de produção de energia e matéria-prima a partir de resíduos – Cidades e Soluções – Disponível em <http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/videos/t/programas/v/conheca-as-formas-de-producao-de-energia-e-materia-prima-a-partir-de-residuos/2497175> - Acesso em: 07 dez. 2016.

INFOPÉDIA - Incineração - Porto Editora, 2003-2014. - Disponível em [http://www.infopedia.pt/\\$incineracao](http://www.infopedia.pt/$incineracao) - Acesso em: 22 mar. 2016.

INVESTING.COM – Valores dos Créditos de Carbono - <http://br.investing.com/commodities/carbon-emissions> - Acesso em: 18 jan. 2017;

---

MACHADO, Gleysson B – Usina de Queima de Lixo – Portal de resíduos sólidos, artigo publicado em 8 de abril de 2013, disponível em:< <http://www.portalresiduossolidos.com>> Acesso em: 12 jan. 2017;

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, Disponível em:<<http://www.ons.gov.br>> Acesso em: 17/01/2017. TV CAMARA – Vídeos educativos transformando lixo em energia Elétrica – programa apresentado dia 04 abr. 2013, visto em 12 dez 2017;

PAVAN, Margareth de Cássia Oliveira – Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: Avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil – São Paulo, 2010. Disponível em [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde). Acesso em: 14 dez 2016.

REIS, Lineu Belico dos - Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais - Barueri, SP: Manole, 2006. - (Coleção Ambiental)

WTERT-Brasil - Consórcio indústria-universidade denominado Waste-to-Energy Research and Technology Council (WTERT) - é reconhecido como a principal fonte de informação em pesquisa e desenvolvimento nos EUA na área de energia a partir de resíduos. – Disponível em [www.wtert.com.br](http://www.wtert.com.br) Acesso em: 12 dez 2016;

---