



**UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO**

**ROBERTA MOREIRA BALAMINUT**

**A ENERGIA DO LIXO E UM DESAFIO:  
OS RESÍDUOS PLÁSTICOS**

Bauru  
2009

**ROBERTA MOREIRA BALAMINUT**

**A ENERGIA DO LIXO E UM DESAFIO:  
OS RESÍDUOS PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro de Ciências Exatas  
e Sociais Aplicadas como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
bacharel em Química, sob orientação do  
Prof.º Ms. Dorival Roberto Rodrigues.

Bauru  
2009

B1714e	<p>Balaminut, Roberta Moreira</p> <p>A energia do lixo e um desafio : os resíduos plásticos / Roberta Moreira Balaminut -- 2009. 29 f.</p> <p>Orientador: Prof. Ms. Dorival Roberto Rodrigues. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Sagrado Coração - Bauru - SP.</p> <p>1. Resíduos sólidos. 2. Energia. 3. Plásticos. I. Rodrigues, Dorival Roberto. II. Título.</p>
--------	--

**ROBERTA MOREIRA BALAMINUT**

**A ENERGIA DO LIXO E UM DESAFIO:  
OS RESÍDUOS PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Química, sob orientação do Prof.º Ms. Dorival Roberto Rodrigues.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Aparecida Zeferino Garcia  
Universidade Sagrado Coração

---

Prof.<sup>a</sup> Ms. Setsuko Sato  
Universidade Sagrado Coração

Bauru, 25 de junho de 2009.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pela base sólida que sempre me deu força para encarar a vida de frente. Aos meus pais, pela dedicação e espera por mais essa conquista. À minha mãe por cumprir este papel magistralmente e pelo amor intenso.

Ao meu orientador Prof.º Ms. Dorival Roberto Rodrigues, pelas supervisões, orientações e tantas exigências, e aos demais professores desta universidade que fizeram parte dessa jornada.

Pela paciência e compreensão que uma pessoa muito especial teve ao receber tantas respostas negativas quando me convidava para passear no período em que escrevia este trabalho.

Aos meus novos amigos que aqui conquistei, pelo apoio dado nos momentos mais difíceis que passei nesse período.

“Quando Deus quer,  
o homem sonha, a obra nasce.”

Fernando Pessoa

## **RESUMO**

Este trabalho visa demonstrar os diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais obtidos a partir de um poluente presente em todos os locais do mundo, mas que apresenta enorme potencial energético, os resíduos sólidos. Serão apresentados os métodos de obtenção de energia que podem ser de maneira indireta, através do processo de reciclagem e pela conservação de energia, como também de forma direta, através de processos como a compostagem, incineração, gaseificação e aproveitamento dos gases gerados em aterros; também serão abordadas as vantagens e desvantagens destes processos. Por último, um estudo sobre os resíduos plásticos, mostrando as dificuldades encontradas em aumentar o índice de reciclagem deste material, considerado o maior vilão quando nos referimos aos impactos ambientais causados, assim como algumas alternativas, utilizando estes materiais, para obtenção de energia e conseqüente redução destes resíduos no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Energia. Plásticos.

## **ABSTRACT**

This work aims to discuss many benefits, such as environmental, economical and social ones that can be obtained from a pollutant found in the entire world which holds a enormous energetic potential: the solid waste. Some methods of production of energy are discussed. They can be carried out either by indirect way, such as recycling and conservation of energy, as through out direct way, that includes composting, incineration, gasification and uses of these gases in landfills. Advantages and disadvantages of these processes are discussed as well. Finally, a study about some industrial processes that obtain energy from plastic waste is presented. In order to increase the recycling rate of these materials, many difficulties must be faced. Plastic waste is considered the worst villain due to the serious environmental impacts caused and, therefore some alternatives using these materials as energy source must be taken in order to reduce its impact.

**Key-words:** Solid waste. Energy. Plastics.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	A fórmula dos 3R's.....	10
Figura 2 -	Planta de um aterro sanitário.....	13
Figura 3 -	Planta de um processo de compostagem.....	15
Figura 4 -	Planta de incineração.....	15
Figura 5 -	Planta de gaseificação.....	16
Figura 6 -	Simbologia de reciclagem dos materiais plásticos.....	21
Figura 7 -	Reações químicas fundamentais num alto-forno siderúrgico.....	25
Figura 8 -	Extração de cloro da sucata de PVC, permitindo seu uso como material para injeção em altos-fornos.....	27

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>A RECICLAGEM DE RESÍDUOS.....</b>	<b>10</b>
2.1	O CAMINHO DOS RESÍDUOS.....	11
2.2	TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO E ELIMINAÇÃO DE RESÍDUOS COM GERAÇÃO DE ENERGIA.....	12
2.2.1	Aterros Sanitários.....	12
2.2.2	Compostagem.....	14
2.2.3	Incineração.....	15
2.2.4	Gaseificação.....	16
2.2.5	Gás do Lixo (GDL).....	17
2.3	BENEFÍCIOS AMBIENTAIS, ENERGÉTICOS E ECONÔMICOS.....	17
2.4	OS MALEFÍCIOS AMBIENTAIS, ENERGÉTICOS E ECONÔMICOS.....	19
<b>3</b>	<b>UM DESAFIO: OS RESÍDUOS PLÁSTICOS.....</b>	<b>20</b>
3.1	A RECICLAGEM DE PLÁSTICOS.....	20
3.2	POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS.....	23
3.3	O USO DE SUCATA PLÁSTICA EM ALTOS-FORNOS.....	25
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Dicionário Aurélio (1980) lixo é: “O que se varre da casa, do jardim, da rua, e se joga fora; entulho. Tudo que não presta e se joga fora, sujeidade, imundice; coisas inúteis, velhas, sem valor.”

Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas e Técnicas – NBR 10004, 2004) resíduos sólidos são aqueles: “ (...) nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. [...]”

Diferentemente do significado de lixo, o termo resíduo refere-se a todo material que perdeu sua utilidade ou teve o prazo destinado de uso vencido. Parte dos resíduos gerados, ainda apresentam um grande valor comercial se utilizado adequadamente, isto é, pode ser considerado uma matéria-prima potencial. Somente após esgotar todas as possibilidades de utilização desse resíduo em outros processos é que podemos designar o material descartado como lixo. Estes materiais podem ser reutilizados de diversas formas como reciclagem, compostagem ou incineração, sendo de grande importância quando considerados sob aspectos ambientais, sociais, energéticos e econômicos.

Os resíduos podem ser classificados conforme sua composição, isto é, da maneira como ele é produzido e sua constituição química, e também recebe uma classificação de acordo com a origem de formação.

Segundo Riehl et al (2005) o resíduo é classificado, conforme composição como:

**Orgânico:** é decomposto pela natureza e provém de atividades humanas ou de animais.

**Inorgânico:** é dificilmente decomposto pela natureza, podendo levar anos para tal acontecimento; é resultante de materiais sem vida gerados por atividades industriais, domésticas, comercial, geralmente formado por plásticos, vidros, papéis entre outros.

Quanto à sua origem:

**Resíduos Urbanos:** vindo de residências, indústrias, comércio e varrição de ruas.

**Resíduos Industriais:** formado no processo de transformação e obtenção de outros materiais.

**Resíduos Agrícolas:** embalagens de produtos utilizados na agricultura e pecuária.

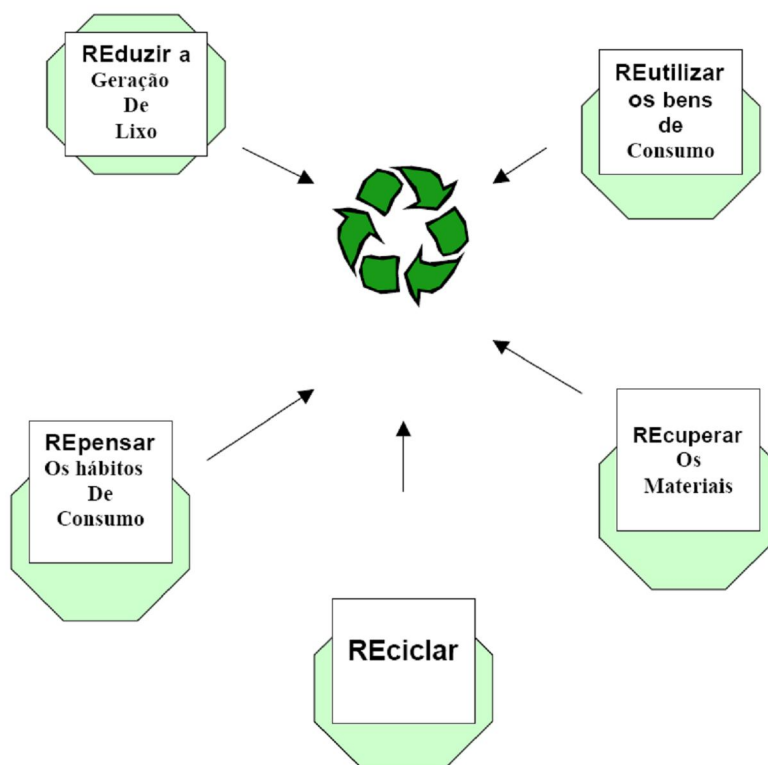
**Resíduos Hospitalares:** material utilizado como seringas, agulhas e curativos.

## 2 A RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Considerado um problema social e com grande interferência na área ambiental, o destino a ser dado a resíduos sólidos urbanos, produzidos em grandes quantidades e de modo quase incontrolável, levou a criação de uma nova política ambiental, a dos 3R's. O primeiro "R" é de REDUZIR, isto é, diminuir o consumo de produtos, utilizando produtos reutilizáveis e mais duráveis, produzindo menos resíduos. O segundo "R" é de REUTILIZAR, reaproveitar tudo que é possível, e por último, o "R" de RECICLAR, que consiste em transformar os resíduos em materiais úteis novamente.

Ligados a essa política, ainda podem ser considerados mais 2R's, REPENSAR os hábitos de consumo e os processos produtivos e RECUPERAR os materiais antes de virarem resíduos.

Abaixo está representado o ciclo da política dos 3R's:



**Figura 1** – A fórmula dos 3R's  
Fonte: Riehl et al, 2005, p. 13.

Segundo Calderoni (2003), o termo “reciclagem”, designa o reprocessamento de materiais permitindo novamente sua utilização, dando uma nova vida aos descartes. Significa “ressuscitar” materiais permitindo seu aproveitamento mais uma vez.

Franchetti e Marconato (2006) descrevem reciclagem como o reaproveitamento de resíduos, por fusão e transformação destes em outros materiais utilizáveis comercialmente, apresentando como vantagens a redução de resíduos, economia de matéria-prima e de energia aumento da vida útil dos aterros.

Para a população em geral, reciclar significa apenas fazer a separação de materiais recicláveis, lembrando que esta é apenas uma parte de todo o processo.

Atualmente, o consumo de diversos tipos de produtos e a falta de conscientização da população em reduzir resíduos gera, principalmente nos grandes centros urbanos, um enorme volume de resíduos sólidos que são descartados e dispostos de maneira incorreta, trazendo sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

Sendo assim, a remoção, redução ou eliminação destes resíduos são metas que devem ser buscadas com todo empenho. A disposição incorreta, além de trazer problemas em relação ao espaço físico, acaba prejudicando o ambiente gerando poluição do mesmo, aumentando a proliferação de doenças entre a população, principalmente as que residem próximos aos aterros ou lixões.

O processo de reciclagem e a minimização de resíduos, apesar deste último ser considerado um fator interferente na reciclagem, ambos são de extrema importância tanto econômica quanto ambiental. Do ponto de vista econômico, devido à escassez e os custos crescentes de energia, o esgotamento de matérias-primas e o alto custo operacional de incineradores. Já do ponto de vista ambiental, por favorecer a redução de gases produzidos em aterros, contaminações de lençóis freáticos causados pelas infiltrações de substâncias tóxicas resultantes da degradação do lixo ocorridas em locais inadequados, economia das fontes de energias não renováveis e diminuição dos gases emitidos na queima dos combustíveis fósseis, fontes de energia em muitas indústrias. Sendo, portanto, considerados procedimentos altamente viáveis.

## 2.1 O CAMINHO DOS RESÍDUOS

Segundo Oliveira (2006), os resíduos sólidos vindos dos setores industrial, comercial e residencial, passam por um refino e de acordo com suas características são destinados para a reciclagem. Esses resíduos podem ser reciclados através de processos como a compostagem e

utilizados para geração de energia através da queima, gaseificação ou pelo biogás gerado em aterros energéticos, ainda podem ser encaminhados para um aterro sanitário.

O quadro abaixo descreve os destinos que podem ser dados aos resíduos sólidos:

Destinação	Descrição
Reciclagem	Aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir como insumo na fabricação de novos materiais.
Compostagem	Aproveitamento dos restos alimentares e componentes orgânicos (papéis, madeira, poda de jardins) para produção de adubo natural.
Recuperação Energética	Forma de aproveitar os resíduos e reduzir seus impactos.
Aterro Sanitário	Local de disposição final dos resíduos imprestáveis, com garantias sanitárias.

**Quadro 1** – Destinação recomendadas pelo SIGRS ( Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos).  
Fonte: (EPA, 1998, apud OLIVEIRA, REIS E PEREIRA, 2000, p. 3).

## 2.2 TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO E ELIMINAÇÃO DE RESÍDUOS COM GERAÇÃO DE ENERGIA

### 2.2.1 Aterros Sanitários

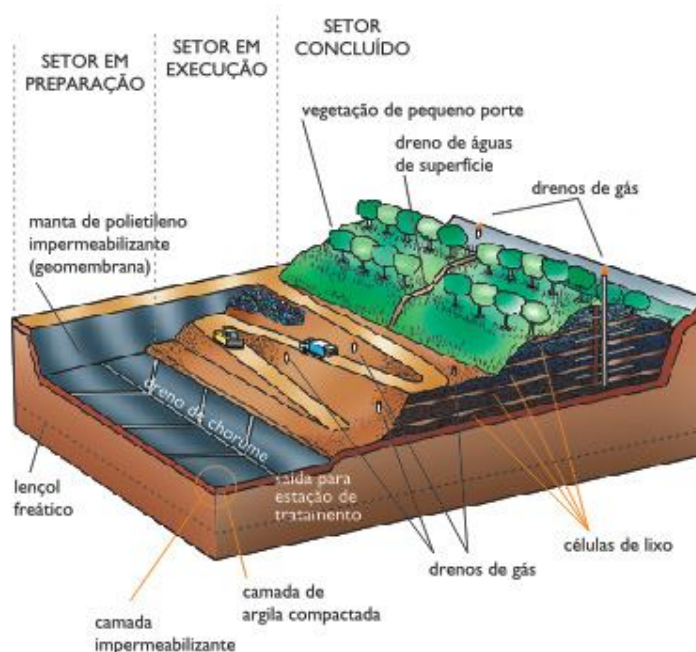
A deposição pura e simples de resíduos ainda é utilizada pelo homem, sendo considerada a técnica mais antiga. Outra técnica mais aceitável, é a aterragem, entretanto, segundo Figueiredo (1995), existem muitos problemas relacionados aos aterros, entre eles a falta de critérios operacionais, de projeto e a escassez de áreas disponíveis nas proximidades dos centros urbanos.

Antigamente os aterros eram feitos de maneira irregular, de forma que causavam graves problemas ao meio ambiente. Em especial, os aterros feitos por fossas de areia eram os que causavam maiores vazamentos e contaminações de aquíferos, não havendo também controle em relação a resíduos tóxicos.

Segundo Baird (2002), em um aterro sanitário, o lixo é compactado e coberto com cerca de 20 cm de solo ao final de cada dia; assim, o aterro é formado por muitas células adjacentes até total preenchimento de uma cavidade, e por fim ele é coberto por um metro ou

mais de solo de preferência argila por ser um material razoavelmente impermeável a chuva. Para se ter uma proteção adicional, pode ser colocada sobre a superfície da argila uma geomembrana de material plástico.

A figura abaixo apresenta a planta de um aterro sanitário:



**Figura 2** – Planta de um aterro sanitário  
Fonte: <www.urbam.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2009.

Os resíduos depositados em aterros sofrem decomposição inicialmente por processos aeróbicos seguidos pelos anaeróbicos por um determinado período. Dá-se o nome de chorume, ao líquido formado pelo próprio lixo junto das águas pluviais e subterrâneas. De acordo com Baird (2002), o chorume possui contaminantes dissolvidos, em suspensão e microbianos, extraídos dos resíduos sólidos, contendo ainda ácidos orgânicos voláteis, bactérias e metais pesados. O dióxido de carbono liberado na decomposição da matéria orgânica torna o chorume mais ácido aumentando a lixiviação dos metais presentes nos resíduos.

O chorume pode contaminar o ambiente de duas maneiras, sendo uma delas através da má elaboração do aterro, levando o líquido contaminante percolar o solo chegando a águas subterrâneas. A outra, acontece quando o solo não é poroso, ocorrendo o transbordamento desse líquido, que atinge as águas superficiais próximas aos aterros.

Algumas medidas são tomadas para o controle do chorume, como a remoção e tratamento do líquido, e o revestimento das paredes dos aterros com materiais sintéticos impermeáveis.

Recentemente, foram desenvolvidos revestimentos que consistem em argilas do tipo bentonita – que é um selante excelente e liga-se eficientemente com metais pesados, impedindo sua migração do aterro – formando um sanduíche entre duas camadas de plástico, como polipropileno. (BAIRD, 2002, p. 536).

### **2.2.2 Compostagem**

Consiste na produção de compostos orgânicos denominados “adubos”, através da degradação de resíduos orgânicos feita por microorganismos (bactérias anaeróbicas e aeróbicas) produzindo compostos ricos em nutrientes essenciais para o desenvolvimento de vegetais.

Os compostos orgânicos, além de fornecerem nutrientes importantes e indispensáveis à produção vegetal, são ainda indicados na prevenção da erosão, na retenção de umidade, no aumento da permeabilidade e na melhoria das propriedades biológicas dos solos. Favorecem também o aperfeiçoamento da microestrutura do solo, o fornecimento de alimento-tração balanceado com a ação do húmus presente e a prevenção da lixiviação do nitrogênio orgânico, sem contar com sua aplicação como cobertura e estabilização ecológica de terras exauridas pela utilização indiscriminada de fertilizantes químicos. (FIGUEIREDO, 1995, p. 62).

Segundo Pereira Neto (1996), compostagem é definida como um processo biológico aeróbico controlado de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para produção de húmus. O processo é desenvolvido por uma diversidade de microorganismos envolvendo duas fases, a primeira de degradação ativa (termofílica) e a segunda de maturação.

Esse processo é considerado do ponto de vista ambiental, o mais consistente, com o retorno dos elementos naturais ao meio ambiente após o uso.

Os compostos formados exercem profundos efeitos nas propriedades do solo, resultando no aumento da produtividade vegetal, sendo aplicados em diversas atividades como:

- Horticultura
- Jardins
- Reflorestamento
- Recuperação de solos esgotados



- Controle de erosão, etc.

Abaixo está ilustrado como ocorre o processo de compostagem:

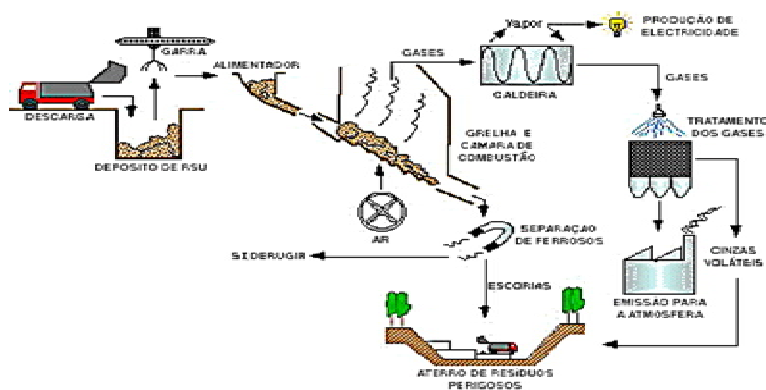


**Figura 3** – Planta de um processo de compostagem  
Fonte: <www2.portoalegre.rs.gov.br>. Acesso em: 06 jul. 2009.

### 2.2.3 Incineração

O processo de incineração é uma outra técnica de processamento de resíduos, que visa, através da combustão controlada, transformar os resíduos em substâncias simples mineralizadas. Vale ressaltar que esse processo não elimina o resíduo, e sim reduz significativamente em peso e volume os produtos resultantes do processo a serem encaminhados posteriormente aos aterros.

Abaixo é mostrado um esquema do processo de incineração:

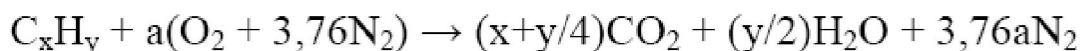


**Figura 4**– Planta de incineração  
Fonte: <www.sobiologia.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2009.

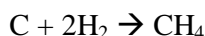
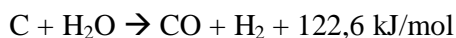
## 2.2.4 Gaseificação

Neste processo utilizam-se resíduos ricos em carbono, procurando realizar uma combustão completa através da inserção de oxigênio insuficiente, para que os gases produzidos sirvam como combustível. Conforme Oliveira, Reis e Pereira (2000), é fornecido calor para a desintegração das cadeias poliméricas do resíduo e são formados gases simples como CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, que são coletados e aproveitados, diretamente para aquecimento em motores a combustão interna ou em turbinas, ou distribuído em gasodutos.

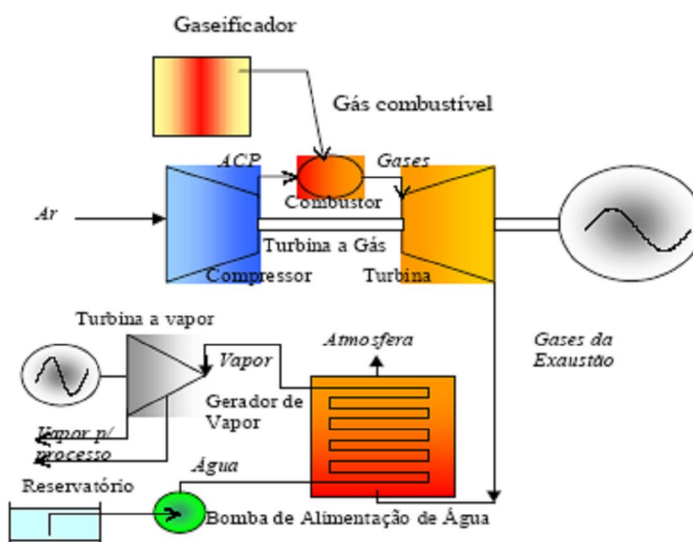
As principais reações de oxidação que ocorrem na gaseificação estão apresentadas abaixo:



Na gaseificação o objetivo principal é maximizar a produção de CO, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, constituintes do gás combustível produzido, ocorrendo as principais reações de redução:



O esquema mostrado na figura abaixo representa o que ocorre no processo de gaseificação.



**Figura 5**– Planta de gaseificação  
Fonte: Oliveira, Reis e Pereira, 2000, p. 8.

### 2.2.5 Gás do Lixo (GDL)

O objetivo principal da utilização do GDL é transformá-lo em energia que poderá ser utilizada na geração de eletricidade, como combustível para veículos e para aquecimento de caldeiras entre outras finalidades.

O GDL é um gás constituído por metano, dióxido de carbono e nitrogênio com um poder calorífico eficiente. De acordo com Oliveira, Reis e Pereira (2000), o GDL é considerado uma fonte de energia renovável, confiável e pode ser aplicada de maneira direta, com as vantagens de diminuir os gases de efeito estufa e ser uma forma de descarte de resíduo de baixo custo.

O GDL contém compostos orgânicos voláteis, que são os principais contribuintes para queda do nível de ozônio e que incluem em seu escopo poluentes tóxicos. Quando pouco ou nada é feito para controlá-los, estes compostos são lenta e continuamente lançados na atmosfera como produto da decomposição do lixo. Já quando o GDL é coletado e queimado em um sistema de geração de energia, estes são destruídos, evitando essa perda ambiental. (OLIVEIRA, REIS, PEREIRA, 2000, p.10).

### 2.3 BENEFÍCIOS AMBIENTAIS, ENERGÉTICOS E ECONÔMICOS

Com a utilização de matérias recicláveis, diminui o consumo de matéria-prima natural, aumentando o período de vida principalmente das fontes de materiais não renováveis. Conforme mostra tabela abaixo, o Brasil perde bilhões de reais por ano, por possuir um índice baixo de reciclagem – com exceção das latas de alumínio -, em materiais como vidros, papéis e resinas termoplásticas.

**Tabela 1** – Economia de matéria prima perdida no Brasil em 1996.

Recicláveis	Produção Ton/ano	(Mil (%)	Índice de Reciclagem (%)	Custo por tonelada (R\$)	Economia Perdida (R\$ mil)
Lata de Alumínio	66		70,00	12,00	1188
Vidro	800		35,09	97,42	50590
Papel	5798		31,70	184,22	729514
Plástico	2250		12,00	1310,00	2593800
Lata de aço	600		18,00	122,00	60024
Total	9514				3465116

Fonte: Calderoni, 2003, p. 286.

A transformação de resíduos em produto com alto poder calorífico pode ser explicada abaixo:

(...) a cana-de-açúcar, por exemplo, quando é transformada em álcool é consumida como combustível, emite dióxido de carbono. A diferença em relação aos combustíveis fósseis é que a própria planta cana-de-açúcar, quando cresce absorve o CO<sub>2</sub> da atmosfera, transformando-se assim num ciclo contínuo e de emissão nula. O mesmo ocorre com a fração orgânica do lixo, quando usado para geração de energia. Além disso, o aproveitamento de resíduos como combustível reduz o material depositado em aterros sanitários, cuja decomposição produz metano, um gás 21 vezes mais prejudicial à atmosfera que o próprio dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerado o vilão do efeito estufa. (FAPERJ, 2002).

Ao contrário do que acontece em outros países, nem todo GDL produzido no Brasil é coletado. Para o que é coletado há duas opções de destino, a queima do gás ou a produção de energia. De acordo com Oliveira, Reis e Pereira (2000) as duas maneiras são soluções que diminuem a poluição, mas apenas com a queima é que se recupera o custo de capital pelo valor da energia e pela substituição do uso de combustíveis fósseis.

Embora o principal objetivo do processo de incineração seja reduzir o peso e o volume dos resíduos, segundo Oliveira, Reis e Pereira (2000), há outras vantagens na aplicação desta técnica como o uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica e a alimentação contínua de resíduos.

O aproveitamento energético é feito de maneira direta e indireta, sendo a primeira através da conversão térmica e a segunda pela reciclagem ou reutilização de elementos evitando os desperdícios energéticos através da energia que pode ser produzida.

De forma direta, a energia é obtida por conversão através da queima de resíduos com boas qualidades para esse destino, que será utilizada em centrais térmicas. No aproveitamento indireto, o processo está ligado à reciclagem de alguns componentes presentes nos resíduos ou na reutilização de outros. Deve-se ressaltar que ambos os casos não são soluções definitivas para a questão dos resíduos.

Como um dos benefícios econômicos, com a implantação de usinas de lixo, além da diminuição dos aterros sanitários, o Brasil pode vir a ter uma receita da ordem de R\$ 9 bilhões por ano, vindos da conservação de energia, da venda de recicláveis e da comercialização das emissões de gases evitadas, como monóxido de carbono e metano, na forma de créditos de carbono com valor financeiro, conforme Protocolo de Kyoto. (FAPERJ, 2002).

[...] o reaproveitamento pode ser visto como uma contribuição ao “rendimento global” das várias atividades humanas relacionadas ao seu ambiente natural, reduzindo as perdas e ao mesmo tempo substituindo parcialmente as necessidades de extração e/ou utilização de recursos naturais, isso sem contar com as contribuições no campo social, da saúde pública, e outros. (FIGUEIREDO, 1995, p. 65).

Além de todos os benefícios ambientais e econômicos obtidos com o aproveitamento energético dos resíduos, podemos ressaltar a importância no setor social, pela geração de empregos relacionados com a coleta, operação e fabricação do produto final.

#### 2.4 OS MALEFÍCIOS AMBIENTAIS, ENERGÉTICOS E ECONÔMICOS

Fatores negativos ainda são encontrados em relação ao aproveitamento energético dos resíduos. De forma indireta, devem-se analisar os gastos obtidos com o reuso ou utilização de resíduos na obtenção de energia, pois muitas vezes os resíduos formados encontram-se longe dos locais de processamento, elevando o custo com transporte, coleta, seleção. Da mesma maneira, reutilizar um resíduo requer uma rigorosa avaliação do conteúdo energético desse componente, para que se possa comparar os ganhos reais, pois para um resíduo ser reutilizado é necessário ser feita uma separação, pré-processamento com lavagem, descontaminação e preparação para novo uso, tudo isso envolvendo gastos energéticos, que podem ser maiores do que a fabricação de um produto novo.

Outro fator relevante é o grau de agressão ambiental, causando impactos mais graves com um material reciclável, porém alguns resíduos devem ser reciclados não em função do seu poder energético, mas por serem resíduos contaminantes se forem utilizados em outras técnicas de processamento.

A utilização de incineradores, apesar de alguns benefícios, também causam impactos ambientais, pois podem produzir compostos altamente tóxicos como dioxinas e furanos presentes nas cinzas obtidas no final do processo que se não forem tratadas e despejadas no ar ou nas águas, poluem o ambiente e prejudicam principalmente a população ao redor das regiões próximas aos incineradores. Outra desvantagem é o alto custo de operação e manutenção.

### 3 UM DESAFIO: OS RESÍDUOS PLÁSTICOS

Palavra originada do grego *plastikós*, que significa adequado à moldagem. “Plásticos são materiais poliméricos, constituídos por substâncias orgânicas sintéticas, e que podem ser moldados com o auxílio de calor e pressão.” (SANTOS, MOL, 2005, p. 566).

Este resíduo é o mais preocupante, sendo objeto de estudos devido à enorme quantidade presente no dia-a-dia, e que por possuírem grande variabilidade de composição, formatos, utilização, resistência e durabilidade, levam muito tempo para sofrer degradação natural. Ao serem dispostas em aterros ou lixões, as embalagens plásticas acumulam-se de maneira incontrolável trazendo grandes problemas ao meio ambiente. Quando a disposição é feita em aterros, os plásticos dificultam a compactação dos resíduos e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica.

Diante da situação, diversos processos de reciclagem de materiais plásticos estão sendo utilizados, de maneira que, além de diminuir as quantidades desses resíduos no ambiente, estes processos possam aproveitar o grande potencial energético obtido a partir destes materiais.

Segundo Gimenez (2002 apud SANTOS, AGNELLI E MANRICH, 2004) a maior parte do suprimento de resíduos do setor produtivo é proveniente da atividade de catadores. Dessa forma, a legalização, o incentivo e profissionalização dos catadores pela formação de cooperativas, além de inserirem essa parcela da população no âmbito da sociedade economicamente ativa, podem contribuir como uma forma de viabilização da coleta seletiva em âmbito nacional.

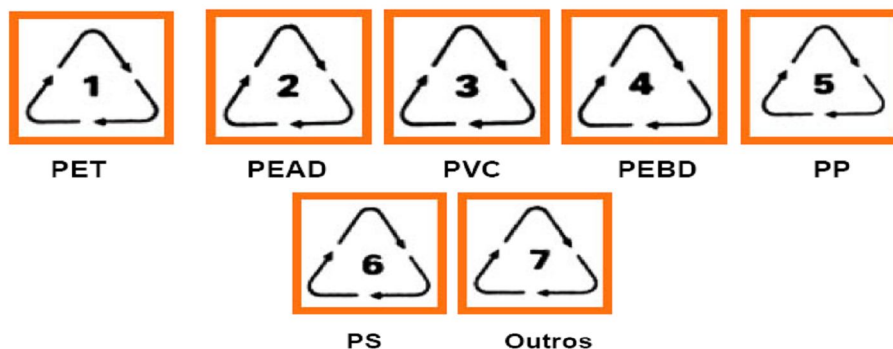
#### 3.1 A RECICLAGEM DE PLÁSTICOS

Os plásticos são formados por moléculas orgânicas geralmente com cadeias longas denominadas polímeros, formadas por unidades repetitivas denominadas monômeros.

Os polímeros são formados a partir de reações de polimerização, obtendo-se moléculas maiores ou menores através do controle das condições nas quais ocorrem as reações.

O polímero mais simples é o polietileno que é constituído pela união de centenas de moléculas do eteno. Dependendo do local na cadeia carbônica em que ocorre a polimerização ou conforme se altera o grupo substituinte nos átomos de carbono é formado um determinado

tipo de plástico com características diferentes em relação à reciclagem, variando de 1 a 6 (NBR 13230, 1994) conforme apresentado:



**Figura 6** - Simbologia de reciclagem dos materiais plásticos.  
Fonte: Riehl, 2005, p. 23.

Abaixo estão listadas algumas utilizações dos plásticos originais e dos plásticos reciclados, ressaltando que o uso desses polímeros é grande na fabricação de embalagens.

N.º do plástico para reciclagem	Nome do polímero	Usos do plástico original	Usos do plástico reciclado
1	PET Poli (etileno tereftalato)	Garrafas para bebidas, frascos para alimentos e produtos de limpeza	Fibras de carpete, recipientes de uso não-alimentar
2	HDPE Polietileno de alta densidade	Garrafas para leite, suco e água, sacolas (flexíveis)	Frascos de óleo e sabão, canecas, sacolas, canos de drenagem
3	PVC (ou V) Poli (cloreto de vinila)	Frascos para comida e água, filme para envolver alimentos, <i>blisters</i> para embalagem, materiais de construção	Canos de drenagem, telhas, cones de trânsito
4	LDPE Polietileno de baixa densidade	Sacolas flexíveis para lixo, pão, leite, cereais; filmes flexíveis e recipientes	Sacos de lixo; canos para irrigação; garrafas de óleo
5	PP polipropileno	Alças, tampinhas de garrafa, tampas, filmes, garrafas	Peças automotivas, fibras, baldes, lixeiras
6	PS poliestireno	Copos de espuma, embalagem; talheres; móveis; utensílios	Isolantes, brinquedos, bandejas, embalagens rígidas
7	Outros	Vários	Postes, cercas, pastilhas

**Quadro 2** – Plásticos comumente reciclados  
Fonte: Baird, 2002, p.549.

Ainda há algumas resistências em relação à reciclagem de plásticos. Segundo Baird (2002), as indústrias de plásticos se opõem ao processo, argumentando que os plásticos virgens são materiais de baixo custo fabricado a partir de matéria prima barata, e que a energia gasta no processo de fabricação é menor em relação à fabricação, por exemplo, do alumínio e aço ou até mesmo no processo de reciclagem do próprio plástico, dando como alternativa a simples queima para o aproveitamento calorífico. Por outro lado, os ambientalistas avaliam que se fosse adicionado o impacto ambiental causado na determinação dos custos das matérias virgens, a reciclagem seria mais barata, e também porque a simples queima de alguns plásticos, principalmente os que contem PVC, produz compostos altamente tóxicos como dioxinas e furanos e emite cloreto de hidrogênio gasoso.

Na opinião de Santos, Agnelli e Manrich (2004),

[...] as principais dificuldades do mercado do plástico reciclado são a ausência de comprometimento entre a demanda e o fornecimento de matérias-primas, o baixo custo das resinas virgens e a alta contaminação do resíduos. Esses fatores, na maioria, são responsáveis pela menor competitividade e qualidade final do plástico reciclado.

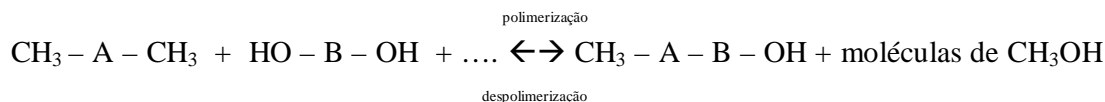
Para Gorni (2006), devem-se considerar vários fatores para solucionar o problema do plástico pós-consumo, que depende do produto e da resina com que o plástico foi feito, considerando aspectos ligados à viabilidade técnica e comercial, logística e de legislação sanitária.

O caso das embalagens é particularmente crítico, dado seu baixo valor agregado, alto volume e qualidade geralmente inaceitável do material reciclado a partir dela, pois boa parte desse plástico recolhido é constituído de resinas muito baratas, tais como PP (polipropileno), PS (poliestireno), cujo reaproveitamento como material tende a ser inviável economicamente, dado o preço extremamente baixo da resina virgem a qual, além disso, apresenta melhores propriedades. (GORNI, 2006).

As quatro formas básicas de reciclagem do plástico são:

- Reprocessamento: os plásticos são separados, lavados e triturados para que possam ser fabricados novos produtos a partir deles;
- Despolimerização: através de processos químicos ou térmicos se obtém as unidades formadoras, os monômeros, para que possam ser transformados em polímeros novamente; É usado no caso do PET e polímeros do tipo – A – B – A – B – (Copolímero).





- Transformação: a partir de substância de baixa qualidade são feitos outros materiais;
- Queima: aproveitamento do poder calorífico, obtendo energia.

A recuperação de energia através da queima de plásticos reduz o consumo de combustível e gás nos processos de fabricação de plásticos virgens.

Segundo Santos, Agnelli e Manrich (2004) esse processo contribui para o não esgotamento dos aterros sanitários, preservam os recursos naturais, educa e conscientiza ambientalmente a população, além de, no caso das embalagens plásticas, diminuir a imagem de vilão ambiental causada por poluição visual nos grandes centros urbanos e também nos aterros.

Uma das contribuições para diminuir a quantidade de embalagens plásticas seria a fabricação das mesmas com o menor número de resinas diferentes, pois assim facilitaria a separação destas resinas antes do processo de reciclagem ou queima.

O processo mais utilizado na obtenção de energia é a incineração direta que consiste em obter energia através da queima dos resíduos gerando vapores ou energia elétrica, procurando utilizar os que possuem maior poder calorífico, entre eles, o plástico.

Independente da técnica de processamento para aproveitamento do poder calorífico dos plásticos, essas são aprovadas pelas indústrias e por órgãos ambientalistas, pois na indústria com o aproveitamento energético há uma redução dos custos da empresa e benefícios como créditos de carbono por diminuir o uso de combustíveis fósseis, grandes emissores de gases de efeito estufa ao sofrerem combustão.

“Assim, a reciclagem evita emissões e, por isto, é merecedora de créditos de carbono. [...] a reciclagem economiza energia elétrica, a qual é produzida, em parte, por combustíveis fósseis, o que confere outra quantidade de créditos de carbono [...]”. (OLIVEIRA, 2006).

### 3.2 POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

Devido aos preços acessíveis, à versatilidade e à ampla variedade de aplicações, até tempos atrás era de grande importância a descoberta de plásticos mais resistentes para serem utilizados no dia a dia. Porém com o consumo incontrolável desses materiais e, em consequência, a grande quantidade desses resíduos descartados no ambiente, os plásticos

sintéticos, denominados polímeros, se tornarem uma grande preocupação. Estes resíduos levam muito tempo para total degradação, alguns até mais de 100 anos e, por serem constituídos de alta massa molar e grandes cadeias carbônicas apolares, absorvem pouca umidade o que dificulta a ação de microorganismos para degradação desses polímeros. Diante disto novas técnicas estão sendo utilizadas para solução deste problema.

Além dos processos já citados em relação à reciclagem de resíduos, no caso das embalagens plásticas outro processo é utilizado, o de biodegradação.

É um processo que consiste na modificação física ou química, causada pela ação de microorganismos, como fungos, bactérias e algas sob certas condições de calor, umidade, luz, oxigênio, nutrientes orgânicos e minerais adequados, formando dióxido de carbono, água e biomassa através da ação desses organismos. (FRANCHETTI E MARCONATO, 2006, p. 811).

Segundo Flemming (1998, apud FRANCHETTI E MARCONATO, 2006), biodeterioração de materiais poliméricos, refere-se ao processo em que microorganismos colonizam a superfície destes materiais, formando biofilmes, que são microorganismos embebidos em uma matriz de biopolímeros excretados por eles, que em contato com os polímeros, causam mudanças estruturais e morfológicas.

Esses polímeros apresentam propriedades semelhantes aos polímeros sintéticos, mas a grande vantagem apresentada por eles é de serem degradados por microorganismos do próprio meio ambiente em pouco tempo após seu descarte.

Existem dois tipos de polímeros biodegradáveis, os naturais e os sintéticos.

Polímeros formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos são, então, denominados polímeros naturais. Sua síntese envolve, geralmente, reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento de cadeia a partir de monômeros ativados, que são formados dentro das células por processos metabólicos complexos. Polímeros sintéticos são ésteres alifáticos biodegradáveis, por possuírem cadeias carbônicas hidrolizáveis. (FRANCHETTI, MARCONATO, 2006, p.812).

Segundo Franchetti e Marconato (2006), apesar dessa vantagem em relação à preservação do meio ambiente, os plásticos biológicos, como são chamados, possuem preços mais caros e aplicações mais limitadas por serem menos flexíveis.

Os polímeros biodegradáveis naturais ou sintéticos, geram resíduos de curta duração, em relação aos plásticos sintéticos, por sofrerem mais facilmente a ação de microorganismos, e por possuírem em suas estruturas funções orgânicas como carbonilas, hidroxilas e ésteres

que são mais suscetíveis a ação de microorganismos, ressaltando que essa ação depende de fatores como o tipo de microorganismo, condições do meio como temperatura, pH, luz, assim como as propriedades, o que eleva o crescimento significativamente do uso destes plásticos.

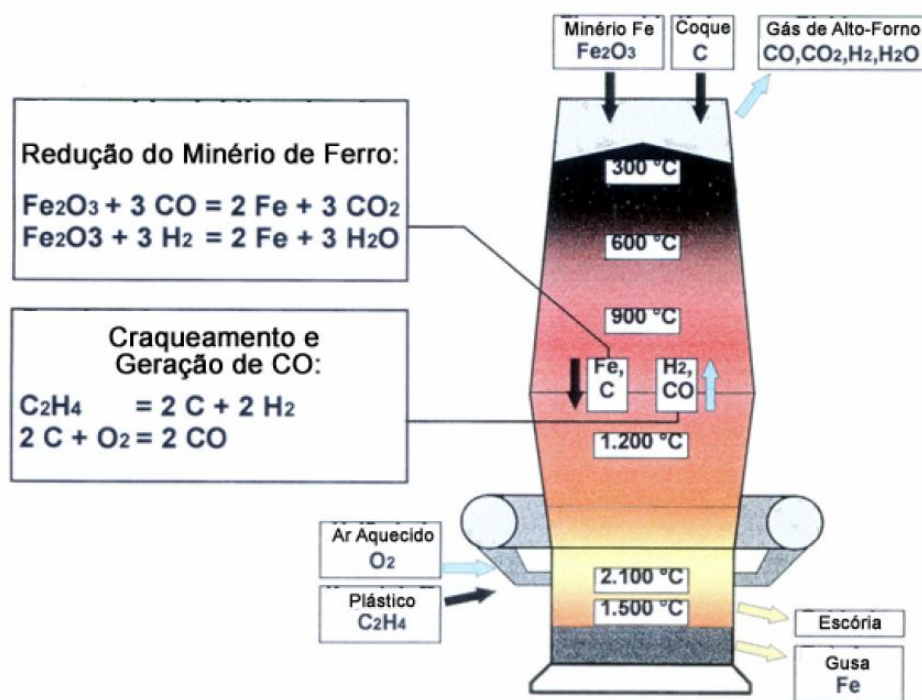
### 3.3 O USO DE SUCATA PLÁSTICA EM ALTOS-FORNOS

De acordo com Gorni (2006), há ainda outras alternativas para reciclagem do material plástico a partir do reprocessamento químico ou queima como combustível, sendo este último o mais vantajoso do ponto de vista ambiental e energético, pois utiliza o plástico como combustível e meio redutor em altos-fornos siderúrgicos.

O objetivo de um alto-forno é extrair o ferro metálico a partir de minérios de ferro:

O ar aquecido é insuflado na região inferior do forno. O carbono presente no coque combina-se com o oxigênio do minério, liberando o ferro metálico e gerando o calor necessário para as reações metalúrgicas e a fusão do metal obtido. O ferro assim extraído deposita-se no estado líquido no fundo do alto-forno, na forma de ferro-gusa, ou seja, ferro contendo 4% de carbono e outros elementos. (GORN, 2006).

Abaixo segue a ilustração do processo descrito acima:



**Figura 7** - Reações químicas fundamentais num alto-forno siderúrgico.  
Fonte: (LINDENBERG,1996 apud GORNI, 2006).

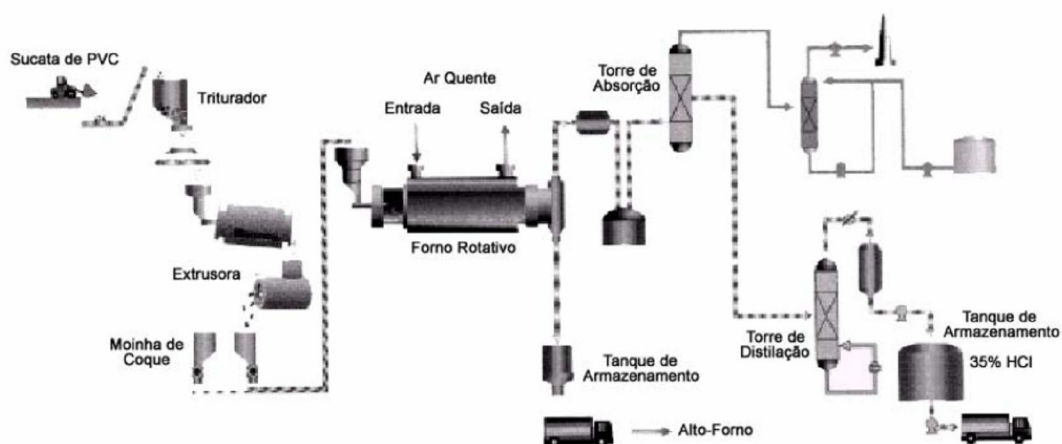
Uma das maneiras de aumentar o desempenho destes alto-fornos é injetar materiais ricos em carbono no local onde é insuflado ar quente. Segundo Gorni (2006), a comparação feita entre a injeção de carvão ou óleo foi bastante similar à injeção de sucata plástica, depois de feitas as análises químicas e comprovado o poder calorífico do uso destes materiais na redução do minério.

Apesar deste processo ser bastante interessante, diversos obstáculos são encontrados, sendo o primeiro deles, o receio das siderúrgicas em processar os resíduos plásticos nos altos-fornos. No Japão e na Alemanha o sucesso foi alcançado devido a incentivos a siderúrgicas que se propuseram a utilizar sucata plástica, como concessão de créditos ambientais e melhoria da imagem pública. Outro aspecto muito importante está em garantir o fornecimento consistente de sucata plástica às siderúrgicas que se disponham a consumí-la. Portanto é necessário criar toda uma estrutura logística que agilize a coleta e transporte dos resíduos plásticos desde os pontos de sua geração até as usinas siderúrgicas, minimizando também os seus custos.

O plástico pós-consumo pode apresentar composição química variável que influencia no seu poder calorífico, portanto, deve haver uma certa garantia de qualidade do material descartado em relação a composição e tamanho de partícula, evitando assim problemas na operação do forno.

O consumo de plásticos em altos-fornos é considerado a alternativa mais econômica para a solução do problema de resíduos plásticos, superando outras abordagens clássicas, como a reciclagem do material, conversão em óleo combustível ou gaseificação, contudo, essa nova abordagem também apresenta seus problemas, sendo um deles, a presença dos plásticos clorados, como o PVC, que não podem ser diretamente injetados nos altos-fornos, pois o cloro neles contido danifica o revestimento refratário do equipamento. Segundo Janz (1996 apud GORNI, 2006) na Alemanha optou-se por se trocar os equipamentos que entram em contato direto com o gás de alto-forno, tornando-os mais resistentes à corrosão por HCl. Já nas usinas japonesas decidiu-se banir o uso de PVC nos altos-fornos, sendo essa resina separada dos rejeitos plásticos através de flotação.

O plástico contendo cloro sofre um processo de carbonização na ausência de oxigênio, eliminando o cloro da resina, formando HCl, que pode ser recuperado e vendido, conforme mostra a seguir.



**Figura 8** – Extração de cloro da sucata de PVC, permitindo seu uso como material para injeção em altos-fornos. Fonte: (HOTTA, 2003 apud GORNI, 2006).

Embora este método apresente algumas desvantagens, os benefícios são maiores. O rendimento energético é maior, há um aproveitamento dos átomos de carbono presente nos plásticos, sendo incorporados ao ferro-gusa que dará origem ao aço e a minimização da geração de  $\text{CO}_2$ .

Do ponto de vista econômico, ainda não é viável no Brasil a utilização desse método, pois mesmo a sucata plástica mais barata custa quase o dobro do valor do carvão pulverizado, mas a grande vantagem é que como são aceitos vários tipos de rejeitos para ser usados nesses altos-fornos, cabe apenas ao governo diminuir esse custo elevado, que está relacionado a sua coleta, transporte e preparação. Uma vez acertado esse fator, cabe também o convencimento e incentivo às siderúrgicas a adotarem o processo através de compensações, inclusive financeiras, assim como ocorre com as siderúrgicas no exterior. Também deve haver uma logística que viabilize e garanta o fornecimento necessário de rejeitos plásticos para essas indústrias.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O gerenciamento de resíduos sólidos é de grande importância pelos vastos benefícios ambientais, econômicos e sociais obtidos. Como o volume produzido é incontrolável é necessário saber o destino final, pois parte destes resíduos gerados não é coletado ou é disposto no ambiente de forma inadequada, de forma que se aproveitado o enorme potencial energético presente nestes resíduos, vários problemas podem ser evitados.

Diante dos fatos apresentados, um dos caminhos a ser seguido, seria a modificação dos padrões de produção e consumo, isto é, procurar eliminar o problema partindo de sua origem, e o outro seria adotar medidas que contribuam para reduzir o volume produzido.

Em relação aos resíduos plásticos, por serem materiais aceitos pela ampla variedade de aplicação e pelas propriedades, tanto os produtores como consumidores, devem procurar uma solução para o destino destes materiais pós-consumo, de forma que todos tenham benefícios.

O objetivo maior poderá ser alcançado à longo prazo, pois é necessário haver grandes transformações culturais, econômicas, sociais e preocupação de manter com qualidade o ambiente em que se vive.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Simbologia identificativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos - procedimento**. NBR 13230. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Utilização de resíduos sólidos**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanitas FFLCH/USP, 2003.
- DICIONÁRIO da Língua Portuguesa. Lixo. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1980.
- FAPERJ. Lixo que vale ouro. Rio de Janeiro, ago. 2002. Disponível em: <[http://www.faperj.br/boletim\\_interna.phtml?obj\\_id=352](http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=352)>. Acesso em: 7 mar. 2009.
- FIGUEIREDO, P. J. M. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. 2. ed. Piracicaba: UNIMEP, 1995.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros Biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n4/30263.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2009.
- GORNI, A. A. Aproveitamento de plástico pós-consumo na forma de combustível para altos-fornos e coquearias. **Revista Plástico Industrial**, p. 84-100, jan. 2006. Disponível em: <[http://www.gorni.eng.br/Gorni\\_PlastInd\\_Jan2006.pdf](http://www.gorni.eng.br/Gorni_PlastInd_Jan2006.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2009.
- OLIVEIRA, L. B. A energia do lixo no Brasil: barata, limpa, empregatícia, representativa, confiável e imediata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 11, 2006. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.kompac.com.br/solucoes/A%20energia%20do%20lixo%20no%20Brasil%20Luciano%20Bastos.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2009.
- OLIVEIRA, L. B.; REIS, M. M.; PEREIRA, A. S. Resíduos sólidos urbanos: lixo ou combustível. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000. Fortaleza. Disponível em: <[http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/publicacoes-cientificas/artigos-sobre-biocombustiveis-energia...e.../artigo\\_RSU.pdf](http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/publicacoes-cientificas/artigos-sobre-biocombustiveis-energia...e.../artigo_RSU.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2009.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.
- RIEHL, L. A. S. R. et al. Reciclagem de lixo e química verde. 2005. 71f. Trabalho de formação continuada – Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em:

<[http://www.ccmn.ufrj.br/curso/trabalhos/pdf/quimica-trabalhos/quimica\\_meioambiente/quimicaeamb2.pdf](http://www.ccmn.ufrj.br/curso/trabalhos/pdf/quimica-trabalhos/quimica_meioambiente/quimicaeamb2.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2009.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Revista Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 14, n. 5, p. 307-312, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. **Química e sociedade**. São Paulo: Nova geração, 2005.