



Cadernos de Educação Ambiental

# RESÍDUOS SÓLIDOS



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

6

# 6

Cadernos de Educação Ambiental

## RESÍDUOS SÓLIDOS

2ª Edição

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
SÃO PAULO  
2014



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador

*Geraldo Alckmin*

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretário

*Rubens Rizek Jr.*

COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

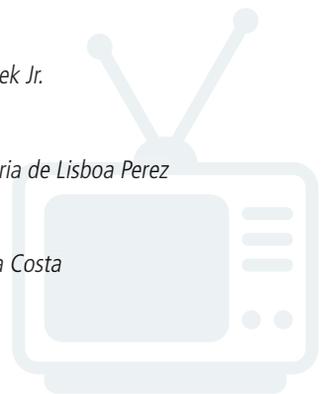
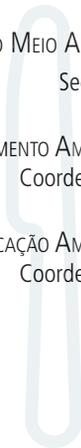
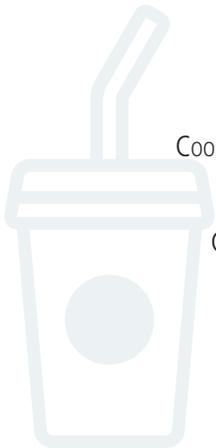
Coordenadora

*Zuleica Maria de Lisboa Perez*

COORDENADORIA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Coordenadora

*Yara Cunha Costa*





O crescimento demográfico e o estilo de vida decorrente do nosso sistema produtivo são responsáveis pela geração diária de volumes incomensuráveis de resíduos sólidos em nosso planeta. A gestão desses resíduos é um grande desafio no âmbito das políticas ambientais.

Uma imensa parte do que é descartado e considerado pelas pessoas como “lixo” tem grande valor econômico e ambiental e pode ser reciclado, recuperado ou reutilizado, transformado em algo novo ou com utilidade. O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos ajuda a diminuir a pressão sobre os recursos naturais, uma vez que se reaproveita a matéria-prima para a produção de novos itens industrializados; e, ao mesmo tempo, diminui o volume dos resíduos que antes seriam destinados a aterros.

O descarte inadequado de resíduos pode resultar em riscos para a qualidade de vida, criar problemas de saúde pública, contaminar o solo e os recursos hídricos, entre outros fatores de degradação ambiental.

Porém, a gestão adequada dos resíduos sólidos demanda um esforço conjunto entre sociedade, governo e setor produtivo. É necessário o envolvimento de todos os elos dessa cadeia. Isso exige, acima de tudo, uma verdadeira mudança de comportamento e de estilo de vida. No tocante ao papel da sociedade, as pessoas precisam transformar a maneira como enxergam os resíduos que descartam todos os dias. Precisam tornar um hábito do dia a dia a separação adequada do resíduo reciclável.

Este Caderno de Educação Ambiental cumpre o papel de informar sobre a gestão dos resíduos sólidos. Aborda os 4 Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar), apresenta dicas para a correta destinação de resíduos, introduz a temática da logística reversa, entre outros assuntos ligados à temática.

Esperamos, com essa publicação, informar e sensibilizar a população sobre a relevância da gestão adequada dos resíduos sólidos e fazê-la entender que ela é protagonista nesse processo. Cabe a todos nós, juntos, construirmos um ambiente cada vez mais saudável e com mais qualidade de vida para a população paulista.

**RUBENS RIZEK JR.**

Secretário de Estado do Meio Ambiente



# SUMÁRIO

## 01. Introdução • 10

- 1.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos • 11
  - 1.1.1. Princípios e Objetivos • 12
  - 1.1.2. Instrumentos • 13
  - 1.1.3. Categorias de classificação de resíduos sólidos • 14
- 1.2. Política Nacional de Saneamento Básico • 15
- 1.3. Política Estadual de Resíduos Sólidos • 16
  - 1.3.1. Instrumentos • 17
  - 1.3.2. Categorias de classificação de resíduos sólidos • 17

## 02. Gestão de Resíduos Sólidos • 22

- 2.1. Os Eixos da Gestão • 22
  - 2.1.1 Não Geração • 22
  - 2.1.2. Redução • 23
  - 2.1.3. Reutilização • 24
  - 2.1.4. Reciclagem • 25
  - 2.1.5. Disposição Final • 26
  - 2.1.6. Recuperação de energia • 26
- 2.2. Aspectos Inovadores na Gestão • 27
  - 2.2.1. Logística Reversa • 27
    - 2.2.1.1. Termos de Compromisso já existentes • 28
    - 2.2.2. Análise do Ciclo de Vida • 32

## 03. Gerenciamento de resíduos sólidos • 36

- 3.1. Resíduos Sólidos Urbanos • 36
  - 3.1.1. Coleta Regular e Seletiva • 37
  - 3.1.2. Tratamento e Disposição Final • 40
- 3.2. Resíduos da Construção Civil • 58
- 3.3. Resíduos de Serviços de Saúde • 64

## 04. A Indústria da Reciclagem – Processos e Tecnologias • 74

- 4.1. Pneus • 75
- 4.2. Metais • 81
- 4.3. Plásticos • 88
- 4.4. Papéis • 96
- 4.5. Lâmpadas • 100
- 4.6. Eletroeletrônicos • 110
- 4.7. Pilhas e Baterias • 115
- 4.8. Vidros • 126

## 05. Considerações finais • 134

Glossário • 135

Bibliografia • 140

Legislação e Normas Técnicas – Legislação Federal e do Estado de São Paulo • 149



# Introdução



## 1. Introdução

Ao longo das últimas décadas, a humanidade vem passando por um rápido e maciço processo de crescimento populacional e urbanização, o que levou a grande maioria da população a viver em cidades.

Apesar do Brasil já ser um país com mais de 80% da população vivendo em áreas urbanas, as infraestruturas e os serviços não acompanharam o ritmo de crescimento das cidades. Os impactos do manejo inadequado de resíduos sólidos e da limpeza urbana deficiente são enormes sobre o dia a dia da população, quer seja em relação à saúde pública e à qualidade ambiental, quer seja em relação aos aspectos estéticos e de turismo.

Com a conscientização da importância do saneamento ambiental, hoje a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos são marcas da qualidade da administração pública e do desenvolvimento das populações.

O crescimento demográfico, a intensificação das atividades humanas e a melhoria do nível de vida são responsáveis pelo aumento exponencial das quantidades de resíduos sólidos geradas, bem como pela alteração das suas características, constituindo um grande problema para as administrações públicas. Como fator agravante, o manejo inadequado dos resíduos sólidos, desde a geração até a destinação final (por exemplo, em lixões a céu aberto ou até em cursos d'água), pode resultar em riscos ambientais, sociais, econômicos e à saúde pública.

Para enfrentar estas questões, o Governo Federal, os Governos Estaduais e Municipais têm formulado políticas e adotado práticas de gestão com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade ambiental e à promoção da saúde pública.

Dentre estas políticas, estão a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Política Nacional de Saneamento Básico e a Política Estadual de Resíduos Sólidos, do Estado de São Paulo.



## 1.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos

Recentemente aprovada, após mais de 20 anos de discussão no Congresso, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS no país.

Regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, a referida lei apresenta diversos pontos importantes para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos dentro do país, respeitando-se, prioritariamente, a seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e por fim a disposição final ambientalmente adequada (em aterros, por exemplo).

Dentre as exigências previstas na lei, podemos destacar a extinção dos “lixões” no Brasil até 2014, a disposição final ambientalmente adequada somente dos rejeitos (resíduos que não podem ser reutilizados, reciclados, etc.) em aterros; a proibição da catação, criação de animais e instalação de moradias nos aterros.

Além disso, a Lei previu a expansão da coleta seletiva de materiais recicláveis às moradias, com a inserção prioritária das cooperativas ou associações de catadores (formadas por pessoas físicas de baixa renda, dispensando-se a licitação para sua contratação) e determinou que as prefeituras fizessem a compostagem dos resíduos orgânicos.

A PNRS também visa à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto entre fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, cada um com sua parcela de participação no processo, desde a obtenção da matéria-prima até seu correto descarte após o uso. A participação de cada um é fundamental para o devido cumprimento da Lei.

Nesse contexto é que se insere a logística reversa, que é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que visa à coleta e à restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para que estes possam ser reaproveitados de diversas maneiras ou retornem ao ciclo produtivo.

A princípio, apenas alguns produtos se enquadram na logística reversa, são eles:

- Resíduos e embalagens de agrotóxicos;
- Pilhas e baterias;
- Pneus;
- Resíduos e embalagens de óleos lubrificantes;
- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, mercúrio e de luz mista;
- Produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
- Embalagens em geral.

Vale ressaltar que a logística reversa também pode ser estendida a outros produtos e embalagens que não estão citados na lista acima, quando for detectado risco à saúde ou ao meio ambiente.

Nesse sentido, considerando que a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos é compartilhada, os consumidores também devem fazer a sua parte, separando, armazenando corretamente e devolvendo o produto após o uso, para que possa ser reutilizado, reciclado, destinado à compostagem ou, em último caso, ser disposto em aterros.

Para que a PNRS seja melhor compreendida, mister se faz a exposição de seus princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, bem como de suas categorias de classificação de resíduos sólidos.

### **1.1.1. Princípios e Objetivos**

Destacam-se como princípios da PNRS:

- A prevenção e a precaução;
- O princípio do poluidor-pagador e do protetor-recebedor;
- O desenvolvimento sustentável;
- A ecoeficiência;
- A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- O reconhecimento de que o resíduo sólido reutilizável e reciclável é um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda, e promotor de cidadania e respeito às diversidades locais e regionais.



A PNRS tem como objetivos: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; a adoção, o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; o incentivo à indústria da reciclagem, para fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; a gestão integrada de resíduos sólidos; a articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; a capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos; a regularidade, a continuidade, a funcionalidade e a universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos; a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; o estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

### 1.1.2. Instrumentos

Dentre os instrumentos previstos na Lei 12.305/2010, verificam-se os planos de resíduos sólidos em âmbito Nacional, Estadual, Microrregional de regiões metropolitanas, intermunicipais e municipais, que são condição para o Distrito Federal e os municípios terem acesso a recursos da União que são destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos.

São também instrumentos da PNRS, os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos; os Inventários e o Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos; a coleta seletiva; a logística reversa; os acordos setoriais; os termos de compromisso; o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; e os Sistemas de Informação Ambiental.

### 1.1.3. Categorias de classificação de resíduos sólidos

A PNRS diferencia os resíduos sólidos segundo as seguintes classificações:

#### **I – Quanto à origem:**

- a) Resíduos Domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de Limpeza Urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos Sólidos Urbanos:** os englobados nas classificações a e b;
- d) Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços:** os gerados nessas atividades, excetuando-se as classificações b, e, g, h e j\*;
- e) Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na classificação c;
- f) Resíduos Industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de Serviços de Saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;
- h) Resíduos da Construção Civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) Resíduos Agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e nas silviculturas, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) Resíduos de Serviços de Transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos de Mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;



\*Os resíduos referidos na classificação “d”, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

### **II - Quanto à periculosidade:**

**a) Resíduos Perigosos:** aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com a lei, regulamento ou norma técnica;

**b) Resíduos Não Perigosos:** aqueles não enquadrados na classificação acima.

## **1.2. Política Nacional de Saneamento Básico**

A Lei Federal nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico, estabelece que os serviços públicos de saneamento básico sejam prestados com base em vários princípios fundamentais, entre eles a universalização do acesso, a segurança, a qualidade, a regularidade e a articulação com as políticas de promoção da saúde, de proteção ambiental e outras de relevante interesse social, voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante.

A política define por saneamento básico o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

**a)** abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

**b)** esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

**c)** limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

**d)** drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Cumprir destacar que a política também especifica que é necessária a elaboração de UM plano de saneamento básico, no qual o serviço público de saneamento básico se fundamentará, e, desde que respeitado seu conteúdo mínimo previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos poderá estar inserido no mesmo.

### 1.3 Política Estadual de Resíduos Sólidos

O Estado de São Paulo conta, desde 2006, com um amplo conjunto de princípios, diretrizes e instrumentos de gestão dos resíduos sólidos, estabelecidos pela Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos – PERS, regulamentada pelo Decreto nº 54.645, de 5 de agosto de 2009.

A minimização dos resíduos sólidos que, na prática, muitas entidades públicas e empresas privadas já realizam, especialmente nos grandes centros urbanos, é um dos princípios da Política Estadual, que aponta responsabilidades a todos os agentes envolvidos, tais como produtores/ importadores, consumidores e administradores públicos.

A combinação dos princípios da responsabilidade pós - consumo, do poluidor-pagador e do reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, gerador de trabalho e renda, constitui um



grande passo da PERS para a sustentabilidade, na estruturação das cadeias de produtos. As práticas ambientalmente adequadas de redução, reutilização, reciclagem e recuperação da energia existente nos resíduos sólidos deverão ser incentivadas com vistas à sua minimização.

Outros princípios trazidos pela PERS são tradicionais na política ambiental, como o da visão sistêmica na gestão, que leva em consideração as variáveis sociais, econômicas, tecnológicas, culturais, ambientais e de saúde pública; o princípio da prevenção da poluição mediante práticas que promovam a redução ou eliminação de resíduos na fonte geradora; a promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo; a gestão integrada e compartilhada dos resíduos sólidos; e a articulação com as demais políticas de meio ambiente, recursos hídricos, saúde, educação, saneamento e desenvolvimento urbano.

### 1.3.1. Instrumentos

A PERS define instrumentos de planejamento fundamentais para estruturar a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, tais como: os Planos de Resíduos Sólidos, o Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos, o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos e o monitoramento dos indicadores da qualidade ambiental. Estes instrumentos darão suporte à elaboração de políticas públicas que promovam a minimização dos resíduos gerados, ou seja, a redução, ao menor volume, quantidade e periculosidade possíveis, dos materiais e substâncias, antes de descartá-los no meio ambiente.

### 1.3.2. Categorias de classificação de resíduos sólidos

A PERS define as seguintes categorias de resíduos sólidos para fins de gestão e gerenciamento:

- I. **Resíduos urbanos:** os provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e

da limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana passíveis de contratação ou delegação a particular, nos termos de lei municipal;

- II. Resíduos industriais:** os provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias e similares, inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água - ETAs e Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs;
- III. Resíduos de serviços de saúde:** os provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal; os provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde; medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados; os provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e os provenientes de barreiras sanitárias;
- IV. Resíduos de atividades rurais:** os provenientes da atividade agropecuária, inclusive os resíduos dos insumos utilizados;
- V. Resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares:** os resíduos sólidos de qualquer natureza, provenientes de embarcação, aeronave ou meios de transporte terrestre, incluindo os produzidos nas atividades de operação e manutenção, os associados às cargas e aqueles gerados nas instalações físicas ou áreas desses locais;



**VI. Resíduos da construção civil:** os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, compensados, forros e argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fios elétricos, comumente denominados entulhos de obras, caliça ou metralha (SÃO PAULO, 2006).



# Gestão de Resíduos Sólidos

2

## 2. Gestão de Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos compreende o conjunto das decisões estratégicas e das ações voltadas à busca de soluções para resíduos sólidos, envolvendo políticas, instrumentos e aspectos institucionais e financeiros. A gestão é atribuição de todos, sendo, no caso do Estado, executada pelas esferas do governo estadual e municipal.

### 2.1. Os Eixos da Gestão

A gestão de resíduos, com vistas ao desenvolvimento sustentável, requer o envolvimento de toda a sociedade, sendo pautada na não geração, seguida pela redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por fim, disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. A recuperação de energia dos resíduos sólidos urbanos também poderá ser usada, desde que se comprove sua viabilidade técnica e ambiental e seja implantado programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental – CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Tais medidas estão previstas na PNRS para a diminuição de resíduos sólidos encaminhados aos aterros, tendo em vista apenas a destinação dos rejeitos para estes. Para que isso possa ser cumprido, estabeleceram-se medidas a serem descritas nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, como a inserção de programas de educação ambiental, entre outros.

Como consequência, agrega-se valor aos resíduos que podem ter alguma forma de destinação ambientalmente adequada, minimizam-se os fluxos encaminhados para disposição final, bem como a periculosidade dos resíduos a serem dispostos.

#### 2.1.1. Não Geração

A não geração de resíduos pressupõe a mudança do padrão de consumo da sociedade, comprando-se e descartando-se somente o necessário;

aumento da vida útil dos produtos por parte dos produtores, inserção de programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração dos resíduos nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, entre outros.

### 2.1.2. Redução

A redução na fonte (ou prevenção da poluição) é definida como a utilização de processos, práticas, materiais, produtos ou energia que evitem ou minimizem a geração de resíduos na fonte (no próprio local de geração) e reduzam os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente.

Medidas de redução devem ser adotadas no próprio local de geração, tais como a residência, o escritório ou a indústria, limitando o uso de materiais e diminuindo a quantidade de resíduos gerados. Num escritório, por exemplo, o correio eletrônico pode substituir memorandos e dados impressos, e os relatórios podem ser copiados em ambos os lados do papel; produtos podem ser comprados em tamanhos maiores ou a varejo, para reduzir a quantidade de embalagens, ou em embalagens menores com fórmulas mais concentradas; pode-se, ainda, comprar o refil, disponível para inúmeros produtos, o que reduz a necessidade de comprar o produto com embalagem igual à original, a qual é maior, mais cara e despende uma quantidade maior de material em sua fabricação.

Metas de redução de resíduos sólidos devem estar contidas nos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada. O Poder Público também poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento às iniciativas que contenham prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo.

A produção per capita anual de resíduos sólidos aumenta progressivamente e esse aumento é devido, principalmente, aos resíduos de embalagens; portanto, estabeleceu-se que as embalagens devem ser fabricadas de forma

a permitir sua reutilização ou reciclagem, restringindo-as em volume e peso, sem que isso prejudique o produto.

No que tange à população, de um modo geral, a adesão à redução na fonte significa priorizar a aquisição de materiais/produtos elaborados com esta concepção, bem como repensar os padrões de consumo e descarte corriqueiramente praticados.

### 2.1.3. Reutilização

A reutilização é baseada no emprego direto de um resíduo com a mesma finalidade para a qual foi originalmente concebido, sem a necessidade de tratamento que altere suas características físicas ou químicas. Exemplos são a reutilização das garrafas de vidro, *pallets*, barris e tambores reconicionados (Figura 1).



**FIGURA 1** – PALLETS ARMAZENADOS – EXEMPLO DE REUTILIZAÇÃO.  
Fonte: Acervo CPLA, 2010

### 2.1.4. Reciclagem

A reciclagem é baseada no reaproveitamento dos materiais que compõem os resíduos. A técnica da reciclagem consiste em transformar estes materiais, por meio da alteração de suas características físico-químicas, em novos produtos, o que a diferencia da reutilização. Considerando as suas características e composição, o resíduo pode ser reciclado para ser posteriormente utilizado na fabricação de novos produtos, concebidos com a mesma finalidade ou com finalidade distinta da original. Como exemplo, tem-se a reciclagem de garrafas plásticas para produzir novas garrafas ou cordas e tecidos, o processamento de restos de podas (Figura 2) para posterior utilização como substrato de jardinagem, a compostagem (Figura 3) e o beneficiamento de óleos usados.



**FIGURA 2** - EQUIPAMENTO PARA PICAR GALHOS RESULTANTES DE PODAS DE ÁRVORES.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.



**FIGURA 3** - COMPOSTAGEM.

Fonte: Arquivo Fundação Parque Zoológico, 2010

### 2.1.5. Disposição Final

A disposição final deve se restringir somente ao rejeito, isto é, à parte inaproveitável dos resíduos sólidos, e ela deve ser feita apenas em aterros sanitários regulares.

### 2.1.6. Recuperação de Energia

Este caderno refere-se, especificamente, à recuperação de energia térmica gerada pela combustão dos resíduos sólidos urbanos, por processos de tratamento por oxidação térmica, pirólise e gaseificação, entre outros.

Como citado anteriormente, a PNRS estabelece que este tipo de tecnologia poderá ser utilizada, desde que se comprove sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de um programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

A recuperação de energia a partir de resíduos sólidos urbanos já é adotada em países da Europa, como a Alemanha e Portugal. Também é adotada no Japão e Estados Unidos. A adoção desta tecnologia no Brasil é dispendiosa, pois depende de sua importação, as instalações requerem controladores de processo “on-line” e filtros que garantam que os níveis de emissão de gases e materiais particulados obedeçam aos padrões estabelecidos por legislação específica. O desenvolvimento de tecnologia nacional ainda é incipiente. A recuperação de gás metano de aterros sanitários é, também, exemplo de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos.

## 2.2. Aspectos Inovadores na Gestão

A gestão de resíduos sólidos envolve inúmeras questões que exigem uma busca permanente por soluções que contemplem os aspectos técnicos, socioambientais e econômicos.

Entre as novas propostas para tratar estas questões está a corresponsabilização de toda a sociedade pelo gerenciamento dos resíduos gerados.

Uma maneira de concretizar esta responsabilização é aplicar a logística reversa, uma importante ferramenta. Outra ferramenta inovadora, de auxílio à tomada de decisão, porém com aplicação ainda incipiente, é a Análise do Ciclo de Vida - ACV.

### 2.2.1. Logística Reversa

A logística reversa é definida como um instrumento de desenvolvimento socioeconômico e de gerenciamento ambiental, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a facilitar a coleta e restituição dos resíduos sólidos aos seus produtores, para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, na forma de novos insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando a não geração de rejeitos.

No Estado de São Paulo, esse importante instrumento tem sido muito utilizado em diversos setores produtivos, estando contido na responsabilidade pós-consumo, que pode ser assim explicada (RIBEIRO, 2012):

Importante ressaltar que ao se discutir este conceito não se está apenas tratando da logística reversa. Enquanto esta [logística reversa] diz respeito apenas ao retorno dos materiais ao ciclo produtivo, a responsabilidade pós-consumo vai além – pois enquanto estratégia regulatória traz exigências que se traduzem em sinalizações econômicas aos mercados, que se espera induzam investimentos em inovação no projeto de produtos (*ecodesign*), redução de embalagens e otimização dos sistemas de distribuição, promovendo a prevenção da geração dos resíduos, foco inicial da hierarquia de sua gestão. Na verdade, admite-se que a logística reversa é apenas uma das formas de se exercer a responsabilidade pós-consumo, essencial naqueles casos em que não houve meios de se evitar a geração do resíduo.

### 2.2.1.1. Termos de Compromisso já existentes

Para cumprimento da responsabilidade pós-consumo estabelecida na PERS, a Resolução SMA nº 38/2011 estabeleceu a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, que devem possuir seus sistemas de logística reversa dentro do contexto da responsabilidade pós-consumo. São eles:

I – Produtos que após o consumo resultam em resíduos considerados de significativo impacto ambiental:

- a) Óleo lubrificante automotivo;
- b) Óleo Comestível;
- c) Filtro de óleo lubrificante automotivo;
- d) Baterias automotivas;

- e) Pilhas e Baterias;
- f) Produtos eletroeletrônicos;
- g) Lâmpadas contendo mercúrio;
- h) Pneus;

II – Produtos cujas embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, após o consumo, são consideradas resíduos de significativo impacto ambiental:

- a) Alimentos;
- b) Bebidas;
- c) Produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos;
- d) Produtos de limpeza e afins;
- e) Agrotóxicos;
- f) Óleo lubrificante automotivo.

Os fabricantes e importadores dos produtos relacionados na resolução devem apresentar propostas para serem analisadas pela SMA, para depois firmarem-se os Termos de Compromisso entre proponentes e Governo Estadual.

Já existem alguns termos de compromisso firmados entre o Governo do Estado de São Paulo e setores produtivos. São eles:

- PILHAS E BATERIAS PORTÁTEIS  
Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE).
- EMBALAGENS DE PRODUTOS DE HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA, COSMÉTICOS, DE LIMPEZA E AFINS  
Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC) e Associação Brasileira da Indústria de Produtos de Limpeza e Afins (ABIPLA).

- EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS

Instituto Nacional de Processamentos de Embalagens Vazias (INPEV) e Associação Nacional de Distribuidores de Insumos Agrícolas e Veterinário (ANDAV).

- EMBALAGENS PLÁSTICAS USADAS DE LUBRIFICANTES

Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM); Sindicato Interestadual das Indústrias Misturadoras e Envasilhadoras de Produtos Derivados de Petróleo (SIMPETRO); Sindicato Interestadual do Comércio de Lubrificantes (SINDILUB); Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo do Estado de São Paulo (SINCOPEPETRO); Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo de Campinas e Região (RECAP); Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo, Lava rápidos e Estacionamentos de Santos e Região (RESAN); Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo do A.B.C.D.M.R-SP (REGRAN) e Sindicato Nacional do Comércio Transportador, Revendedor, Retalhista de Combustíveis (SINDITRR).

- **Pneus Inservíveis**

Associação RECICLANIP.

- **Aparelhos de Telefonia Móvel Celular e seus respectivos Acessórios**

Vivo S/A; Tim Celular S/A; Claro S/A; Nextel Telecomunicações LTDA e TNL PCS S/A.

- **Óleos Lubrificantes**

Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM); Sindicato Interestadual das Indústrias Misturadoras e Envasilhadoras de Produtos Derivados de Petróleo (SIMEPETRO); Sindicato Interestadual do Comércio de Lubrificantes (SINDILUB); Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado de São Paulo (SINDIREPA) e Sindicato Nacional da Indústria do Refino de Óleos Minerais (SINDIRREFINO).

- **Óleo Comestível**

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Cargill Agrícola S/A.

Os Termos de Compromisso tiveram seu conteúdo padronizado, e este consiste em: definição de qual resíduo pós-consumo em questão; definições gerais com os termos a serem usados no documento; descrição do sistema com as principais operações que o compõe; responsabilidades das partes, seja do setor produtivo, governo e eventuais outros partícipes; metas do sistema; acompanhamento da implantação e disposições finais.

Cada sistema possui suas metas, que dependem de diversos aspectos, como a dificuldade inerente à gestão do resíduo, ou por que alguns sistemas já estavam em operação, independente de sua escala de funcionamento. Sendo assim, a SMA e a CETESB optaram por estabelecer metas iniciais para a cobertura geográfica, e após a revisão dos dados iniciais de operação, poderem negociar a evolução de cada um destes quanto à quantidade de resíduos coletada.

É importante destacar que outras propostas de responsabilidade pós-consumo estão sendo analisadas pela SMA, a fim de que sejam assinados outros Termos de Compromisso com mais setores produtivos.

## 2.2.2. Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida - ACV é uma ferramenta concebida com o objetivo de viabilizar melhorias ambientais de produtos, processos ou atividades econômicas, considerando os impactos de todas as etapas de seu ciclo de vida, ou seja, da extração da matéria-prima da natureza até o seu retorno ao meio ambiente como resíduo (Figura 4).

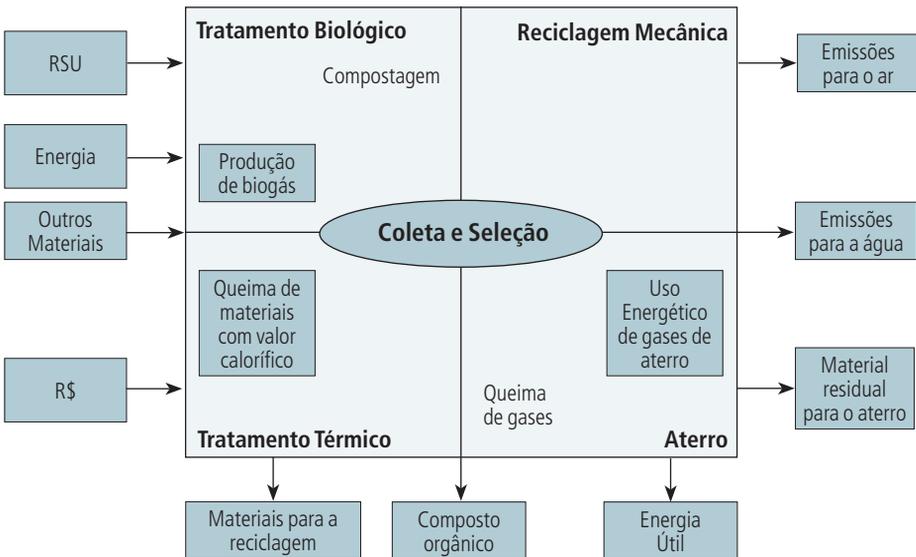


**FIGURA 4 - CICLO DE VIDA DE PRODUTOS.**  
Fonte: Adaptado de UGAYA (2001).

O seu maior uso tem se dado no setor industrial, principalmente no desenvolvimento de produtos. Contudo, é uma importante ferramenta de planejamento dos sistemas ambientais e pode ser aplicada a todos os setores da economia.

Na gestão de resíduos sólidos, a ACV pode ser uma importante ferramenta de planejamento, tomada de decisões e otimização do sistema.

Neste aspecto, a ACV gera dados para orientação do gerenciamento, listando o consumo de energia e emissões para o ar, água e solo e prevendo a quantidade de produtos que podem ser gerados a partir do resíduo sólido (composto orgânico, materiais secundários para a reciclagem mecânica e energia utilizável). Por meio da ACV é possível avaliar as diversas atividades envolvidas com o manejo de resíduos (segregação, coleta, transporte, tratamentos, disposição) e escolher o conjunto de atividades que minimizem os impactos ambientais (figura 5).



**FIGURA 5** - VISÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS SEGUNDO A TÉCNICA DE ACV.

Fonte: Adaptada de QUEIROZ e GARCIA (2007).



# Gerenciamento de Resíduos Sólidos

3

### 3. Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O gerenciamento é o componente operacional da gestão de resíduos sólidos e inclui as etapas de segregação, coleta, transporte, tratamentos e disposição final. O gerenciamento integrado é feito ao se considerar uma variedade de alternativas para atingir, entre outros propósitos, a minimização dos resíduos sólidos.

Este Capítulo apresentará, de forma sucinta, aspectos do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos, resíduos da construção civil e resíduos de serviços de saúde. Os resíduos de atividades rurais, industriais e aqueles provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares não serão abordados neste Caderno.

#### 3.1. Resíduos Sólidos Urbanos

No caso dos resíduos sólidos urbanos, o gerenciamento integrado envolve diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil. A Prefeitura, como gestora urbana, é a principal responsável pelo gerenciamento de resíduos do município. Cabe a ela organizar o sistema de limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos e definir de que forma o gerenciamento vai funcionar por meio do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, considerando as atividades de coleta domiciliar (regular e seletiva), transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento (inclusive por compostagem), disposição final, varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos, e outros eventuais serviços.

Como vimos, os resíduos sólidos urbanos são os resíduos gerados nas residências, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos, comércio e serviços locais, que contêm normalmente matéria orgânica, embalagens, material de escritório, resíduos descartados em banheiros, etc. Para que haja um bom gerenciamento destes resíduos, sua caracterização qualitativa e quantitativa é necessária.

Três etapas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos serão aqui discutidas: coleta, tratamento e disposição final.

### 3.1.1 Coleta Regular e Seletiva

A coleta e o transporte dos resíduos sólidos domiciliares produzidos em imóveis residenciais, em estabelecimentos públicos e no pequeno comércio são, em geral, efetuados pelo órgão municipal encarregado da limpeza urbana, com veículo próprio para isso (Figura 6).

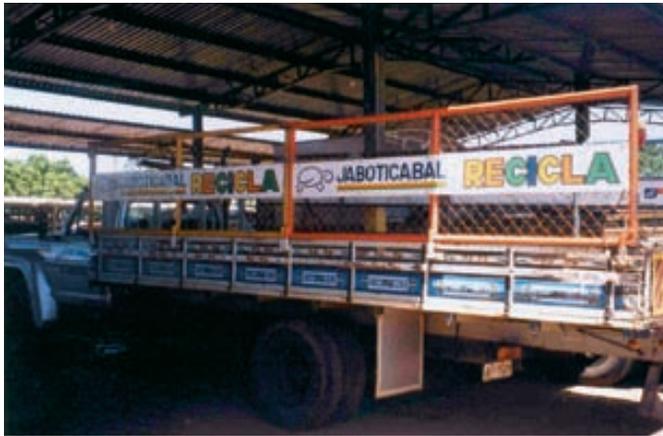


**FIGURA 6** - VEÍCULO PARA COLETA REGULAR, TIPO COMPACTADOR.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.

Grandes geradores de resíduos sólidos, definidos de acordo com lei municipal, devem contratar empresas particulares, cadastradas e autorizadas pela prefeitura, para realização da coleta e transporte. Pode-se, então, conceituar como coleta domiciliar comum ou regular o recolhimento dos resíduos sólidos

urbanos produzidos nas edificações residenciais, públicas e comerciais, desde que não sejam considerados grandes geradoras.

A coleta diferenciada de materiais recicláveis, triados na fonte, feita de forma complementar à coleta regular, é denominada coleta seletiva, e pode ser realizada porta a porta ou por entrega voluntária (Figuras 7 e 8).



**FIGURA 7** - VEÍCULO PARA A COLETA SELETIVA DE MATERIAIS RECICLÁVEIS.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.



**FIGURA 8** - VEÍCULO MISTO PARA COLETA REGULAR E SELETIVA.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.

A entrega voluntária é realizada pelos cidadãos em postos específicos, chamados de Postos de Entrega Voluntária (PEVs) localizados em áreas pre-determinadas (Figura 9). A ampla divulgação da importância da participação de cada cidadão, bem como dos dias de coleta, é fundamental para o sucesso da coleta seletiva.



**FIGURA 9** - PONTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA.  
Fonte: Acervo SMA, 2010

Os materiais recolhidos pela coleta seletiva e aqueles entregues nos PEVs são encaminhados às centrais de triagem (Figura 10). As unidades de triagem podem contemplar desde uma mesa simples até equipamentos mais complexos como esteiras, balanças, elevadores. Os materiais não recicláveis ou não reutilizáveis são denominados rejeitos, e devem ser encaminhados da central de triagem para aterros sanitários.



**FIGURA 10** – GALPÃO DE TRIAGEM  
Fonte: CPLA / SMA, 2009.

### 3.1.2. Tratamento e Disposição Final

Até recentemente, era prática comum a simples coleta e deposição do resíduo sólido urbano no solo, sem critérios técnicos, em locais inadequados, como manguezais, fundos de vale próximo a rios e córregos e terrenos abandonados, provocando grandes impactos sobre o meio ambiente e a saúde pública.

Nas últimas duas décadas, com a escalada da urbanização, foram desenvolvidas e implementadas técnicas de engenharia sanitária e ambiental para dar um destino ambientalmente seguro aos resíduos sólidos domiciliares. Porém, a disposição final ambientalmente adequada deve ser limitada aos rejeitos, e o que for passível de outra forma de tratamento, como a reciclagem ou compostagem, deve ser tratado desta forma. Ainda assim, são necessários aterros sanitários que recebam os rejeitos desses tratamentos.

É praticamente impossível recuperar todos os materiais utilizados atualmente, seja por motivos de ordem técnica ou econômica. Os métodos de acondicionamento e coleta adotados pela maioria dos municípios resultam em uma mistura de materiais de difícil separação pelos processos de triagem utilizados atualmente. Como consequência, tanto as usinas de compostagem como as técnicas de coleta seletiva geram rejeitos que obrigatoriamente devem ser descartados. Mesmo os incineradores, que reduzem o volume dos resíduos a 5 - 15% do volume original, geram escórias e cinzas que precisam ser descartadas.

Verifica-se, contudo, que fatores como a diminuição de áreas para a disposição, o aumento da geração de resíduos sólidos e a obrigação legal de destinar somente os rejeitos aos aterros podem tornar as formas alternativas de tratar os resíduos mais interessantes economicamente.

Levando-se em conta as restrições em legislação específica e considerando-se que essa não é a primeira opção a ser levada em consideração no gerenciamento dos resíduos sólidos, ressurge, atualmente, uma dis-

cussão nos meios governamentais e acadêmicos sobre a possibilidade de recuperação energética dos resíduos. São os casos da recuperação de gás metano de aterros sanitários, com alguns exemplos implantados no Brasil, e da recuperação de energia térmica gerada pela combustão dos resíduos sólidos, prática que vem sendo adotada nos países em que as áreas para disposição de resíduos já são um fator limitante.

Além disso, com a PNRS, criou-se um grande incentivo para as associações e cooperativas de catadores no processo de reciclagem, tornou-se necessária a expansão da coleta seletiva e compostagem por parte dos gestores da limpeza urbana, dentre outras medidas.

De um modo geral, a decisão sobre os tipos de tratamento dos resíduos sólidos urbanos a serem adotados depende de vários fatores: a diretriz da gestão municipal, os tipos de materiais contidos no resíduo, o mercado potencial para os materiais extraídos do resíduo e os recursos financeiros disponíveis. Contudo, antes de se tornarem aptos a serem utilizados como matérias-primas ou insumos, os materiais contidos no resíduo precisam passar por processos de tratamento ou reciclagem, que tornarão possível a sua inserção na cadeia produtiva. Alguns destes processos de tratamento serão abordados no Capítulo 4. Os métodos de tratamento e disposição final tradicionais estão descritos a seguir.

### **i) Aterros Sanitários**

Aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e à segurança públicas, utilizando-se princípios de engenharia, de tal modo a confinar o rejeito no menor volume possível, cobrindo-o com uma camada de terra ao fim do trabalho de cada dia, ou conforme o necessário (NBR 8419:1992).

Os aterros sanitários apresentam uma série de vantagens e desvantagens com relação a outras formas de destinação de resíduos sólidos, conforme tabela abaixo (Tabela 1).

| VANTAGENS   | DESvantagens   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo de investimento é muito menor que o requerido por outras formas de tratamento de resíduos.</li> <li>• Custo de operação muito menor que o requerido pelas instalações de tratamento de resíduos.</li> <li>• Apresenta poucos rejeitos ou refugos a serem tratados em outras instalações.</li> <li>• Simplicidade operacional.</li> <li>• Flexibilidade operacional, sendo capaz de operar bem mesmo ocorrendo flutuações nas quantidades de resíduos a serem aterradas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não trata os resíduos, consistindo em uma forma de armazenamento no solo.</li> <li>• Requer áreas cada vez maiores.</li> <li>• A operação sofre ação das condições climáticas.</li> <li>• Apresenta risco de contaminação do solo e da água subterrânea.</li> </ul> |

**TABELA 1** - VANTAGENS E DESvantagens DOS ATERROS SANITÁRIOS

Fonte: Modificado de CETESB, 1997.

Vale lembrar que esta forma de destinação final só deve ser aplicada aos rejeitos, ou seja, quando não houver nenhuma outra forma de tratamento do resíduo, como a reutilização, reciclagem, compostagem, etc.

Um aterro sanitário deve ter:

- **Sistema de impermeabilização:** elemento de proteção ambiental do aterro sanitário destinado a isolar os rejeitos do solo natural subjacente, de maneira a minimizar a percolação de lixiviados e de biogás (Figura 11);

- **Sistema de drenagem de lixiviados:** conjunto de estruturas que tem por objetivo possibilitar a remoção controlada dos líquidos gerados no interior dos aterros sanitários. Esse sistema é constituído por redes de drenos horizontais, situados na base ou entre as camadas de resíduos do aterro;
- **Sistema de tratamento de lixiviados:** instalações e estruturas destinadas à atenuação das características dos líquidos percolados dos aterros que podem ser prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde pública;
- **Sistema de drenagem de gases:** estrutura que tem por objetivo possibilitar a remoção controlada dos gases gerados no interior dos aterros, como decorrência dos processos de decomposição dos materiais biodegradáveis presentes nos resíduos (Figura 12);
- **Sistema de tratamento de gases:** instalações e estruturas destinadas à queima, em condições controladas, dos gases drenados dos aterros sanitários, podendo ou não resultar no aproveitamento da energia térmica obtida desse processo;
- **Sistema de drenagem de águas pluviais:** conjunto de canaletas, revestidas ou não, localizadas em diversas regiões dos aterros, que têm como objetivo captar e conduzir, de forma controlada, as águas de chuva precipitadas sobre as áreas aterradas ou em seu entorno (Figura 13);
- **Sistema de cobertura (operacional e definitiva):** camada de material terroso, aplicada sobre os resíduos compactados, destinada a dificultar a infiltração das águas de chuva, o espalhamento de materiais leves pela ação do vento, a ação de catadores e animais, bem como a proliferação de vetores;
- **Sistema de monitoramento:** estruturas e procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal do comportamento dos aterros, bem como sua influência nos recursos naturais existentes em sua área de influência, podendo consistir em:

- a) **Sistema de monitoramento das águas subterrâneas:** estruturas e procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal das alterações da qualidade das águas subterrâneas, por meio da coleta de amostras em poços de monitoramento instalados a montante e a jusante da área de disposição de resíduos.
- b) **Sistema de monitoramento das águas superficiais:** procedimentos que têm por objetivo a avaliação sistemática e temporal das alterações da qualidade das águas superficiais, por meio da coleta de amostras em corpos d'água existentes na área de influência dos aterros.
- c) **Sistema de monitoramento geotécnico:** conjunto de equipamentos e procedimentos destinados ao acompanhamento do comportamento mecânico dos maciços, visando à avaliação das suas movimentações e condições gerais de estabilidade.
- **Sistema de isolamento físico:** dispositivos que têm por objetivo controlar o acesso às instalações dos aterros, evitando, desta forma, a interferência de pessoas e animais em sua operação ou a realização de descargas de resíduos não autorizados;
  - **Sistema de isolamento visual:** dispositivos que têm por objetivo dificultar a fácil visualização do aterro e suas instalações, bem como diminuir ruídos, poeira e maus odores no entorno do empreendimento;
  - **Sistema de tratamento de líquidos percolados:** o chorume, gerado na decomposição dos resíduos, deve ser coletado e tratado para que possa ser lançado no corpo receptor. No Estado de São Paulo, o chorume gerado na maioria dos aterros sanitários é conduzido para tratamento conjunto em estações de tratamento de esgoto. (Figura 14)



**FIGURA 11** - GEOMEMBRANA DE PEAD  
Fonte: Acervo SMA, 2010.



**FIGURA 12** - DRENO DE GÁS.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.



**FIGURA 13** - DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM ATERRO SANITÁRIO.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.

A garantia do controle e minimização dos impactos ambientais de aterros sanitários começa pela escolha de uma área apropriada. Os critérios básicos para escolha da área são:

- **Tipo de solo:** deve ter composição predominantemente argilosa e ser o mais impermeável e homogêneo possível;
- **Topografia:** as áreas devem apresentar declividades situadas entre 1% e 30%;
- **Profundidade do lençol freático (ou nível d'água):** a cota máxima do lençol deve estar situada o mais distante possível da superfície do terreno. Para solo argiloso, recomenda-se uma profundidade de 3 metros e para solo arenoso profundidades superiores a esta;
- **Distância das residências:** devem ser mantidas distâncias mínimas de 500 metros de residências isoladas e 2000 metros de áreas urbanizadas;
- **Distância de corpos d'água:** deve ser mantida uma distância mínima de 200 metros.

### Métodos de Aterramento

Dependendo da quantidade de rejeito a ser aterrado, das condições topográficas do local escolhido e da técnica construtiva, os aterros sanitários podem ser classificados em três tipos básicos:

- Aterros sanitários convencionais ou construídos acima do nível original do terreno;
- Aterros sanitários em trincheiras;
- Aterros sanitários em valas.

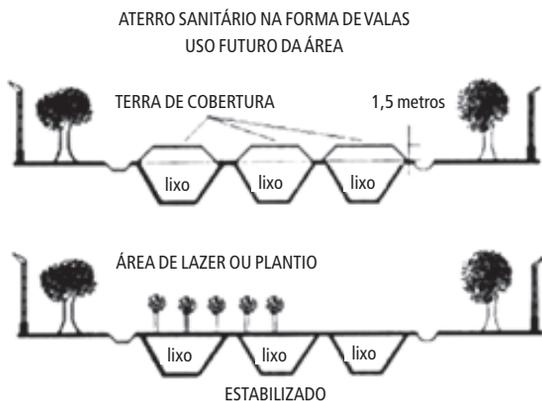
Os **aterros sanitários convencionais**, que são construídos acima do nível original do terreno, são formados por camadas de rejeitos que se sobrepõem, de modo a se obter um melhor aproveitamento do espaço, resultando numa configuração típica, com laterais que se assemelham a uma escada ou uma pirâmide, sendo facilmente identificáveis pelo aspecto que assumem. (Figura 15)



**FIGURA 14** – TANQUE DE ACUMULAÇÃO DE CHORUME EM ATERRO SANITÁRIO.  
 Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.



**FIGURA 15** - ATERRO SANITÁRIO CONVENCIONAL.  
 Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.



**FIGURA 16** - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM ATERRO EM VALA.  
 Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.

Os **aterros sanitários em trincheiras** são construídos no interior de grandes escavações, especialmente projetadas para a recepção de rejeitos. Teoricamente, podem ser recomendados para qualquer quantidade de rejeitos; porém, como apresentam custos relativamente maiores que as outras técnicas construtivas existentes, devido à necessidade da execução de grandes volumes de escavações, **são mais recomendados para comunidades que geram entre 10 e 60 toneladas de rejeitos por dia**. As rotinas operacionais são basicamente as mesmas dos aterros convencionais, isto é, os rejeitos são compactados e cobertos com terra, formando células diárias que, paulatinamente, vão preenchendo a escavação e reconstituindo a topografia original do terreno.

Para pequenas quantidades de rejeitos, a utilização de tratores de esteiras, equipamento indispensável à construção dos aterros convencionais e em trincheiras, resulta em ociosidades e dificuldades operacionais que, com o passar do tempo, causam um desvirtuamento da técnica construtiva, transformando os aterros em simples lixões.

Assim, **para os municípios que geram até 10 toneladas de rejeitos por dia**, são recomendados os **aterros sanitários em valas**, que se constituem em obras simples, ou seja, basicamente são construídas valas estreitas e compridas, feitas por retroescavadeiras, onde os resíduos são depositados sem compactação e cobertos com terra diariamente. (Figura 16)

### **Plano de Encerramento de Aterro**

Todo projeto de aterro sanitário deve prever um Plano de Encerramento e Uso Futuro da Área. Esse plano deverá contemplar o tempo de monitoramento e o controle ambiental, após o encerramento das descargas de resíduos no local.

Com o término da vida útil, após os recalques e estabilização do terreno, a área utilizada para aterros em valas poderá ser aproveitada em outras atividades, desde que haja um projeto adequado. Para o caso de aterro em trincheira, após a vida útil, recalque e estabilização do terreno,

fim das emissões de gases e da produção de chorume, pode-se utilizar o terreno para atividades de lazer, como parques e centro poliesportivos, sem edificações, desde que previamente aprovados pelos órgãos ambientais. No caso de aterros em camadas ou convencional, em que a altura final pode ser elevada devido à grande quantidade de resíduo disposto, é muito difícil a reutilização ou aproveitamento para outra atividade após o encerramento.

### Situação da Disposição de Resíduos em Aterro no Estado de São Paulo

Para avaliar e melhorar a situação da disposição de resíduos sólidos domiciliares no Estado de São Paulo, a Companhia Ambiental de São Paulo – CETESB – elaborou o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos – IQR. As notas IQR de todos os municípios paulistas são divulgadas anualmente, desde 1997, no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares.

O IQR classifica-se conforme a tabela 2.

| IOR  | ENQUADRAMENTO   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,0 a 0,6</li> <li>• 6,1 a 8,0</li> <li>• 8,1 a 10,0</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições Inadequadas (I) </li> <li>• Condições Controladas (C) </li> <li>• Condições Adequadas (A) </li> </ul> |

**TABELA 2 - ENQUADRAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES**  
Fonte: CETESB, 2012.

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2011, publicado em 2012, houve uma significativa melhora na situação do aterramento de resíduos no Estado de São Paulo. O IQR médio do Estado passou de 4,0, em 1997, para 8,3, em 2011. A quantidade de resíduos dispostos adequadamente passou, no mesmo período, de 10,9% para 82,8% do total disposto.

Essa evolução pode ser observada nas Figuras 17 e 18.

Em 2011, 422 municípios - 65,4% - do Estado contavam com instalações de disposição final e tratamento de resíduos domiciliares enquadradas na condição adequada, e somente 23 municípios - 3,6% - encontravam-se em condições inadequadas. (CETESB, 2012)

## **ii) Recuperação de Energia dos Resíduos Sólidos**

### **a) Gases de aterro**

O biogás - gerado na decomposição anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários - é composto de vários gases. Os principais são o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que, juntos, constituem, aproximadamente, 99% do total do biogás.

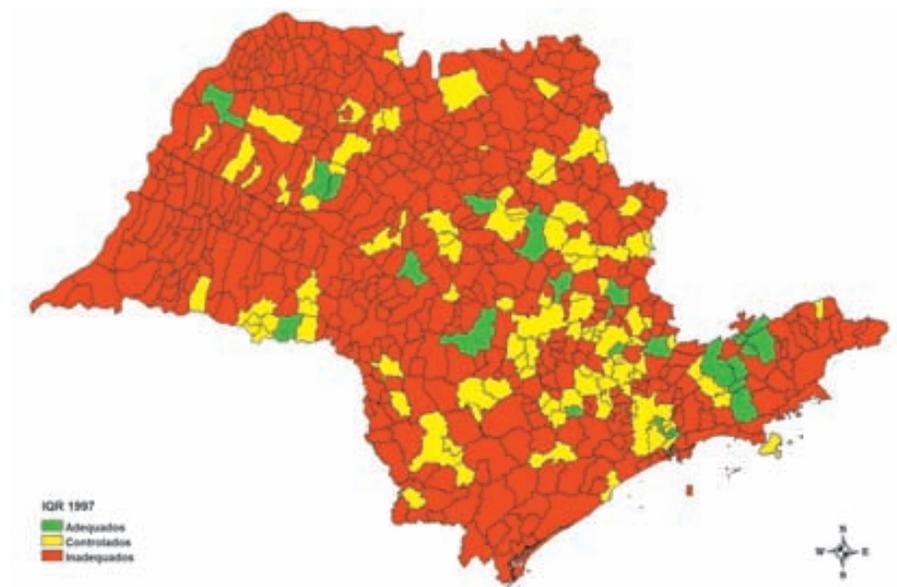
O metano é um gás combustível que, se adequadamente captado, pode ser utilizado para obtenção de energia. Sua combustibilidade faz com que, em certas concentrações, represente risco de explosões nos aterros sanitários. A geração de metano inicia-se logo após a disposição dos resíduos e continua por um período de 20 a 30 anos, ou até mais, após o encerramento do aterro.

De acordo com a ABRELPE (2008), para que o metano do biogás possa ser explorado comercialmente, por meio de recuperação energética, o aterro sanitário deverá receber, no mínimo, 200 toneladas de resíduos por dia e ter altura mínima de carregamento de 10 metros.

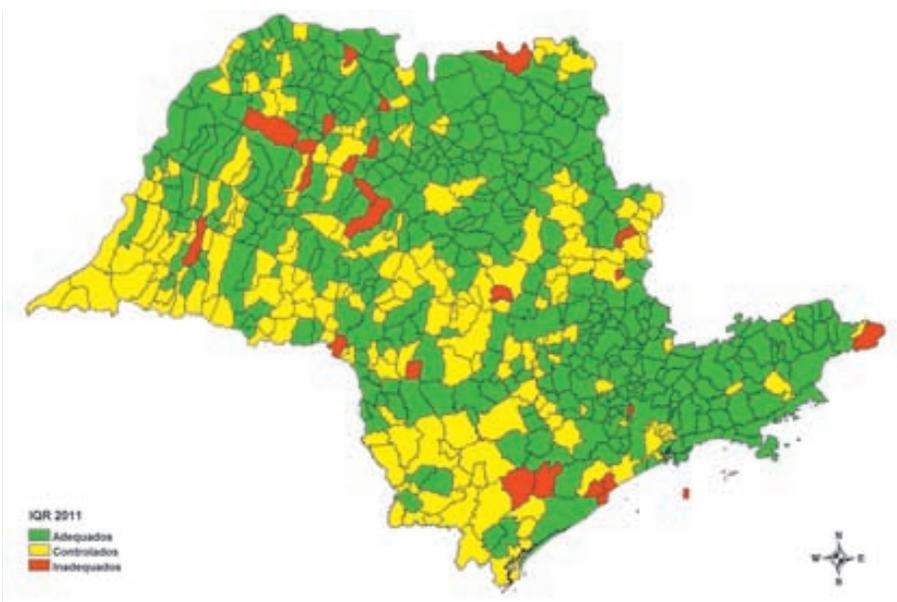
O gás recuperado pode ser direcionado para a produção de calor e energia (a serem utilizados, por exemplo, em indústrias próximas), ou utilizado diretamente como combustível da frota pública de veículos.

O metano é um contribuinte significativo às emissões de gases de efeito estufa, que provocam o aquecimento global, sendo, em um horizonte de 100 anos, 21 vezes mais ativo na retenção de calor da estratosfera do que o dióxido de carbono.

Algumas estimativas indicam que cerca de 20% das emissões de metano liberadas na atmosfera são oriundas da decomposição de matéria orgânica em aterros sanitários e de esgotos.



**FIGURA 17** - MAPA DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1997.  
 Fonte: CETESB, 2012.



**FIGURA 18** - MAPA DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO EM 2011  
 Fonte: CETESB, 2012.

Com o advento do Protocolo de Kyoto e a criação do mercado de carbono regulado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, configurou-se uma oportunidade real para a geração de recursos a partir do correto manejo dos sistemas de disposição de resíduos sólidos urbanos, por meio do tratamento do biogás dos aterros sanitários. (Figura 19)

### **b) Usinas de Recuperação de Energia**

No Brasil, a quase totalidade dos resíduos sólidos domiciliares é disposta no solo, sem nenhum tratamento prévio, porém esta realidade deverá mudar, porque nem todo o resíduo pode continuar sendo disposto no solo como anti-gamente. Outros métodos deverão ser utilizados no gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo, em alguns casos, a recuperação de energia feita nas chamadas Usinas de Recuperação de Energia - URE, muito utilizadas na Europa.

A Resolução CONAMA nº 316/2002, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, define tratamento térmico como sendo “[...] qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de oitocentos graus Celsius.”

No caso das UREs, os resíduos são tratados termicamente (incinerados) com a recuperação energética. É importante ressaltar que neste tipo de tratamento de resíduos sólidos é imprescindível a instalação de equipamentos filtrantes/ lavadores, para que os gases e materiais particulados gerados no processo sejam retidos e os padrões de emissão estabelecidos em legislação sejam obedecidos. O processo de incineração gera, também, resíduos sólidos (cinzas e escória), que precisam ser destinados adequadamente.

Comparando-se este método com a disposição dos resíduos no solo, o volume dos resíduos a serem dispostos, após a incineração, é bem inferior (de 5 a 15% do volume original e, aproximadamente, 25% da massa original); além desta diferença, outras podem ser enumeradas:

- promoção da oxidação completa dos componentes orgânicos, com conversão em substâncias simples como, por exemplo, dióxido de carbono e água, principalmente;



**FIGURA 19-** SISTEMA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE GÁS DE ATERRO  
Fonte: Biogás, 2010



**FIGURA 20 -** COMPOSTAGEM.  
Fonte: Arquivo Fundação Parque Zoológico, 2010

- redução das quantidades de resíduos perigosos, promovendo a concentração de poluentes e metais pesados, permitindo a sua disposição em separado;
- pouca produção de escória, a qual pode ser reutilizada e
- possibilidade de máxima utilização da energia liberada para a geração de eletricidade ou vapor, entre outros propósitos.

### c) Compostagem

A compostagem, que também deve ser inserida no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, é um método de tratamento de resíduos sólidos no qual a matéria orgânica presente - em condições adequadas de temperatura, umidade e aeração - é transformada num produto estável, denominado composto orgânico, que tem propriedades condicionadoras de solo, sendo, portanto, de grande aplicabilidade na agricultura. (Figura 20)

Para um melhor tratamento dos resíduos, os diversos materiais que o compõem são separados, obtendo-se, no final do processo, composto orgânico, materiais recicláveis e rejeitos. Assim, este é um método que possibilita sensível redução da quantidade de resíduos a serem destinados ao solo, além da devolução à natureza de parte dos materiais dela retirados, fato que se constitui em grande vantagem ambiental.

Existem, basicamente, dois métodos de compostagem: o **método natural** e o **método acelerado**.

- Método Natural: consiste, inicialmente, numa separação manual dos materiais recicláveis, que tenham possibilidade de absorção pelo mercado, dos que possam ser prejudiciais aos equipamentos ou ao processo, como pedras e pedaços de madeira de grande volume, artigos eletroeletrônicos e outros. O material remanescente, constituído fundamentalmente por matéria orgânica, passa por um equipamento para redução do tamanho das partículas, que pode ser um moinho ou uma peneira e é, então, disposto em montes ou leiras num pátio de cura. Neste pátio as leiras são, periodicamente, revolvidas, visando a aeração e o controle

de temperatura, pH e umidade, até que se obtenha a estabilização biológica da matéria orgânica, que ocorre após 90 a 120 dias.

- Método Acelerado: difere do método natural por possuir, após a mesa de triagem, um biodigestor, que atua como um acelerador da degradação da matéria orgânica. Os materiais remanescentes da triagem permanecem nesses biodigestores por um período de 2 a 3 dias, em ambiente aeróbio, que acelera a estabilização. Em seguida, são encaminhados para um pátio de cura onde ocorre a finalização do processo, num prazo mais curto que aquele do método natural (30 a 60 dias). Há tecnologias em que o sistema de biodigestão nada mais é do que um galpão fechado, contendo um sistema de baias internas por onde a matéria orgânica preparada (triada e moída) é transportada em direção à saída, por meio de tombamentos sucessivos, efetuados por um equipamento móvel apropriado (por exemplo, tipo elevador de canecas ou rosca-sem-fim). Nesses tombamentos, a matéria orgânica é aerada, acelerando o processo da biodigestão, que dura cerca de 30 dias e dispensa a finalização em pátio aberto.

Independentemente do método de compostagem utilizado, os produtos gerados são sempre os mesmos, ou seja, materiais recicláveis e composto orgânico.

### **Parâmetros de Controle da Compostagem**

Por ser um processo biológico, a compostagem requer a manutenção de determinadas condições físicas e químicas para que a degradação da matéria orgânica ocorra da forma desejada. As principais condições físicas e químicas a serem controladas para formação do composto são:

- Aerobiose: a condição aeróbia, necessária ao processo, é mantida pelo revolvimento periódico da leira/ pilha ou pela introdução de ar no sistema, ou ainda, por ambas as formas. Os revolvimentos podem ser feitos quando a temperatura estiver muito elevada (acima de 70°C),

quando a umidade estiver acima de 55 ou 60% e quando detectada presença de moscas ou odores ou em períodos pré-fixados;

- Temperatura: alguns autores julgam que a faixa ótima de temperatura para a ocorrência da degradação aeróbia da matéria orgânica, pela atividade dos micro-organismos no processo de compostagem, é de 50°C a 70°C. No entanto, a manutenção de temperaturas superiores a 65°C por longo tempo, elimina os micro-organismos bioestabilizadores, responsáveis pela transformação do material bruto em húmus. Por outro lado, a elevação da temperatura é necessária e interessante à eliminação de micro-organismos patogênicos. O controle da temperatura pode ser feito pelo revolvimento periódico das leiras;
- Umidade: o teor de umidade adequado das leiras de compostagem é em torno de 55%. Teores de umidade superiores a 60% podem levar à anaerobiose e inferiores a 40%, a uma redução significativa da atividade microbiana, o que torna a degradação lenta. O excesso de umidade pode ser facilmente percebido pela exalação de odor característico da degradação anaeróbia, em que ocorre a liberação de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). Para controlar o excesso de umidade, deve-se garantir o suprimento de ar pelo revolvimento periódico, injeção de ar ou controle do tamanho da leira. Quando o material a ser compostado possui baixa umidade, é conveniente adicionar algum tipo de material que eleve essa umidade;
- Teor de Nutrientes: como a compostagem é um processo de decomposição por meio da ação de micro-organismos, a presença de nutrientes necessários a eles é imprescindível. A composição do material destinado à compostagem irá definir a velocidade do processo. A relação carbono e nitrogênio (C/N) disponível é a variável mais importante. A relação C/N entre 25:1 e 50:1 é a ideal à compostagem; a composição do material deve observar essa relação.

### **Benefícios e Dificuldades da Compostagem**

A compostagem permite a reciclagem da matéria-prima existente nos resíduos e reduz a quantidade de resíduos a serem dispostos, a um custo de operação menor que o da incineração. Além disso, possibilita o uso do resíduo compostado como condicionador do solo.

A qualidade do composto está diretamente relacionada ao processo de separação dos constituintes dos resíduos a serem encaminhados à compostagem. A separação ideal é a aquela que ocorre na fonte geradora. Dessa forma, garante-se uma separação mais eficiente e uma menor contaminação do material.

Na maioria dos casos, os resíduos não são separados de forma conveniente e acabam por conter materiais indesejáveis como pilhas, plásticos, vidros e metais, o que reduz a qualidade do composto. É comum no Brasil a separação dos resíduos na própria usina de compostagem, após a coleta regular (não seletiva). O processo de coleta seletiva dos resíduos e a educação ambiental são fundamentais para a viabilidade da compostagem.

Outro inconveniente da compostagem é ser um método parcial; aproximadamente 50% dos resíduos não são aproveitados para a produção de composto, sendo, portanto, necessárias instalações complementares, como, por exemplo, aterro sanitário ou incinerador. A coleta e separação adequadas também reduziriam a quantidade de rejeitos e serem tratados ou dispostos.

Um grande problema da compostagem é sua etapa final, ou seja, a venda do composto. A falta de padronização e de normas que orientem quanto à qualidade do composto comprometem o mercado para o produto. A implantação de usinas de compostagem deve levar em conta todos estes fatores apontados: sistemas de coleta dos resíduos, implementação de campanhas de educação ambiental, padronização e análise do mercado para o composto.

### 3.2. Resíduos da Construção Civil - RCC

Apesar de não apresentar tantos riscos diretos à saúde humana quanto os resíduos domésticos e os de serviços de saúde, os resíduos da construção civil (RCC), se não gerenciados adequadamente, podem causar diversos impactos ambientais. (Figura 21 e 22)

Uma das características das atividades da construção civil é o consumo de materiais e a geração de resíduos “pulverizados”, em diversos pontos das cidades, o que dificulta o gerenciamento dos RCCs. Outra dificuldade é a informalidade de grande parte das obras. Praticamente, 75% dos resíduos gerados por esta atividade provêm de eventos informais (obras de construção, reformas e demolições, geralmente realizadas pelos próprios moradores dos imóveis).

Cabe ao poder público municipal um papel fundamental no disciplinamento do fluxo dos resíduos, utilizando instrumentos específicos para regular e fiscalizar a sua movimentação, principalmente aqueles gerados em obras informais.

O gerenciamento adequado dos resíduos da construção civil conta, em nível federal, com apoio da legislação ambiental, por intermédio da Política Nacional de Resíduos Sólidos – por meio do Plano Estadual e do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – e Resolução CONAMA nº 307, de 2002 – alterada pelas Resoluções nº 448/12, Resolução nº 431/11 e Resolução nº 348/04 – que estabelecem as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCCs, disciplinando as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais. Além da Resolução CONAMA, devem ser observadas as legislações estaduais e municipais, quando houver.

É importante salientar que, segundo a Política Estadual de Resíduos Sólidos, todos os geradores, pessoas físicas e jurídicas, são responsáveis pelos seus resíduos, seja na execução de uma pequena reforma residencial ou na construção de um edifício.



**FIGURA 21** - PROLIFERAÇÃO DE AGENTES TRANSMISSORES DE DOENÇAS POR GERENCIAMENTO INADEQUADO DE RESÍDUOS.  
Fonte: Acervo SMA, 2010.



**FIGURA 22** – DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR DESPEJO DE RESÍDUOS EM VIAS E LOGRADOUROS PÚBLICOS POR GERENCIAMENTO INADEQUADO DE RESÍDUOS.  
Fonte: Acervo SMA, 2010.

### **Classificação dos Resíduos da Construção Civil - RCC**

A Resolução CONAMA nº 307/2002 (com suas referidas alterações), em seu artigo 3º, classificou os resíduos da construção civil em quatro classes, facilitando a separação dos resíduos segundo as destinações previstas:

- **Classe A:** resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos de terraplanagem; de edificações com componentes cerâmicos – tijolos, blocos, telhas, etc., argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, produzidas nos canteiros de obras;
- **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel e papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- **Classe C:** resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para reciclagem/ recuperação, tais como os restos de produtos fabricados com gesso, que deverão ser armazenados, transportados e receber destinação final adequada, em conformidade com as normas técnicas específicas;
- **Classe D:** resíduos perigosos oriundos da construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles efetiva ou potencialmente contaminados, oriundos de demolições, reformas e reparos em clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde, que deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

As diretrizes para projeto, implantação e operação das Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos podem ser encontradas na NBR 15.112:2004.

### **Reciclagem dos Resíduos da Construção Civil - RCC**

Além dos benefícios ambientais obtidos pelo gerenciamento adequado dos RCCs, destacam-se, também, os ganhos econômicos resultantes das múlti-

plas aplicações práticas dos produtos da sua reciclagem, a partir da utilização de tecnologias relativamente simples, amplamente disponíveis no mercado.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, após a triagem, os resíduos deverão:

- **Classe A:** ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A, de reservação de material para usos futuros;
- **Classe B:** ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Portanto essas duas classes são passíveis de reciclagem e devem ser destinadas para tais fins, sendo que resíduos da Classe B são os da coleta seletiva. Os resíduos classificados como classe A podem ser reciclados em unidades de tratamento apropriadas, chamadas de usinas de beneficiamento de RCC. (Figura 23)



**FIGURA 23** - Usina de Beneficiamento de RCC.  
Fonte: WOLMER / CETESB, 2008.

Na usina de beneficiamento, os resíduos passam por processo de trituração e peneiramento. Essas usinas podem ser projetadas com vários equipamentos de acordo com os produtos que se deseja fabricar, desde trituradores de grande porte, acoplados a uma série de peneiras para separação dos agregados por tamanho, até equipamentos de fabricação de tijolos, blocos e tubos de concreto, guias de calçadas, etc.

A seguir descrevem-se alguns equipamentos utilizados num sistema de “britagem” dos resíduos da construção civil:

- Britador de mandíbulas: este tipo de britador é indicado quando são focadas grandes produções e custo total baixo. Nesse equipamento, o processo de fragmentação dos resíduos ocorre por compressão. É geralmente utilizado como britador primário por gerar maior quantidade de grãos graúdos, havendo em geral a necessidade de britagem secundária. O agregado produzido por este tipo de britador apresenta baixa quantidade de finos. O britador de mandíbulas é pouco resistente à umidade, necessitando que o teor de umidade do material a ser britado seja menor que 10%; no entanto, tende a fornecer distribuições granulométricas constantes.
- Britador de impacto: este tipo de britador é apropriado para britagem primária, britagem secundária e reciclagem. Seu processo de fragmentação ocorre pelo impacto do rotor mais o do lançamento contra o revestimento, permitindo significativa redução das dimensões do material, produção de grãos mais cúbicos e de maior quantidade de finos. O britador de impacto possui elevada produtividade e alto grau de redução do material a ser beneficiado. Contudo, o custo de manutenção é alto e o desgaste elevado (não sendo aconselhável no caso de rochas abrasivas e de materiais com mais de 15% de sílica).

As diretrizes para Projeto, Implantação e Operação de Áreas de Reciclagem de Resíduos Sólidos de Construção Civil podem ser encontradas na NBR 15.114:2004.

Uma das opções de uso dos resíduos da construção civil, principalmente em municípios de pequeno porte, com geração reduzida de RCCs, é a utilização direta, sempre após uma triagem, em pavimentação de estradas vicinais, dispensando as usinas de beneficiamento e equipamentos dispendiosos.

As diretrizes para Utilização de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural podem ser encontradas na NBR 15.116:2004.

### **Fabricação de Artefatos dos Resíduos Beneficiados**

A fabricação de artefatos a partir de resíduos da construção civil Classe A (Resolução CONAMA nº 307/2002), beneficiados, divide-se em três etapas, segundo o processo de fabricação:

- primeira etapa: ocorre a mistura e homogeneização dos materiais beneficiados;
- segunda etapa: os artefatos serão moldados de acordo com o tipo de mistura da etapa anterior;
- terceira etapa: os produtos moldados serão secos, curados e estocados para o posterior uso ou comercialização.

Atualmente, multiplicam-se as pesquisas tecnológicas sobre o aproveitamento dos resíduos da construção civil, por exemplo, há um núcleo de pesquisa na Escola Politécnica da USP (SP) atuando em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT.

### **Disposição Final**

Observando-se a ordem da não geração de resíduos, seguida da redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos, em última opção, deve-se fazer a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos da construção civil, em áreas devidamente licenciadas por órgão ambiental – no caso de São Paulo, a CETESB.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos das classes C e D deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas, sendo que não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

### 3.3. Resíduos de Serviços de Saúde

Os resíduos sólidos enquadrados na categoria de resíduos de serviços de saúde (RSS) são aqueles provenientes de:

- Qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal, como, por exemplo, os hospitais;
- Centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde, como, por exemplo, aqueles inseridos nas universidades;
- Necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e
- Barreiras sanitárias.

Além destes, os medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados são, também, classificados como RSS.

A complexidade dos RSS exige uma ação integrada entre os órgãos federais, estaduais e municipais de meio ambiente, de saúde e de limpeza urbana, com o objetivo de regulamentar seu gerenciamento.

O gerenciamento inadequado dos RSS impõe riscos ocupacionais nos ambientes de trabalho, bem como à população em geral. Com vistas a minimizar estes riscos, preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, há um conjunto de leis, resoluções, normas e outros documentos legais, expedidos por órgãos oficiais, especialmente de saúde e de meio ambiente, tanto na esfera federal, quanto estadual e municipal, que regulam o gerenciamento dos RSS. Os principais documentos legais sobre RSS estão listados em Legislação e Normas Técnicas.

Em relação à geração per capita de RSS, considera-se que seja equivalente em peso de 1 - 3% dos resíduos sólidos domiciliares gerados, supondo-se uma geração na área urbana de 1 Kg/hab.dia. O gerenciamento inadequado dos RSS pode levar à ocorrência de:

- Lesões infecciosas provocadas por manejo de objetos perfurocortantes e materiais contaminados;
- Riscos de infecções dentro das próprias instalações em que são gerados os RSS, onde normalmente ocorrem o manejo e/ou acondicionamento;
- Riscos de infecções fora das instalações em que são gerados os RSS, onde normalmente ocorrem o tratamento e/ou disposição final.

Como medidas de prevenção, precaução e segurança, todas as pessoas envolvidas com o manejo de RSS devem estar, obrigatoriamente, vacinadas contra hepatite, tétano, entre outros; e devem, obrigatoriamente, utilizar equipamentos de proteção individual – EPI – adequados para cada grupo de RSS.

Os RSS, por serem muito diversos em composição e níveis de risco oferecido, foram classificados por legislação federal em função de suas características, nos grupos A, B, C, D e E (Resolução CONAMA nº 358/2005).

Um resumo da classificação dos RSS em grupos - para fins de cumprir a obrigatoriedade da segregação no momento e local de geração, e direcionar para o tratamento e disposição final adequados - é apresentado na Tabela 3.

| GRUPO   | CATEGORIA                | DESCRIÇÃO  | ACONDICIONAMENTO   |
|---|--------------------------|--|--|
| <b>A*</b>                                       | <b>Biológicos</b>        | Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.  | Sacos plásticos brancos leitosos, identificados com símbolo universal de substâncias infectantes.  |
| <b>B</b>  | <b>Químicos</b>          | Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.   | Sacos plásticos brancos leitosos, identificados com símbolo universal de substâncias inflamáveis, tóxicas, corrosiva                                     |
| <b>C</b>  | <b>Radiativos</b>        | Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos, como os rejeitos radiativos provenientes de laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia, etc... que contenham radionuclídeos em quantidade superior aos limites de eliminação.  | Recipientes blindados, identificados com símbolo universal de substâncias radiativas e tempo de decaimento.  |
| <b>D</b>  | <b>Comuns</b>            | Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.  | Sacos plásticos de resíduos domiciliares (lixo), segregados os recicláveis.  |
| <b>E</b>  | <b>Perfuro cortantes</b> | Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, tubos capilares, micropipetas, lâminas e lamínulas, espátulas,, todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares. | Recipientes rígidos (caixas de papelão amarelas, padronizadas ou bombonas de PVC, identificados com o símbolo universal de substâncias perfurocortantes. |
| *O grupo A é subdividido em 5 grupos (A1 a A5). |                          |  |  |

**TABELA 3** – GRUPOS DOS RSS CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA Nº 358, DE 29 DE ABRIL DE 2005. Fonte: Adaptado de WOLMER, F. Apostila de Resíduos de Serviços de Saúde, 2008.

| SÍMBOLOS DE IDENTIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE RESÍDUOS                                    | DESCRIÇÃO DO SÍMBOLO  |
|---|---|
|    | <p>Os resíduos do grupo A são identificados pelo símbolo de substância infectante, com rótulos de fundo branco, desenho e contornos pretos.</p>   |
|    | <p>Os resíduos do grupo B são identificados por meio do símbolo de risco associado e com discriminação de substância química e frases de risco.</p>   |
|    | <p>Os rejeitos do grupo C são representados pelo símbolo internacional de presença de radiação ionizante (trifólio de cor magenta) em rótulos de fundo amarelo e contornos pretos, acrescido da expressão MATERIAL RADIOATIVO.</p>            |
|   | <p>Os resíduos do grupo D podem ser destinados à reciclagem ou à reutilização. Quando adotada a reciclagem, sua identificação deve ser feita nos recipientes e nos abrigos de guarda de recipientes.</p>                                      |
|  | <p>Os produtos do grupo E são identificados pelo símbolo de substância infectante, com rótulos de fundo branco, desenho e contornos pretos, acrescido da inscrição de RESÍDUO PERFUROCORTANTE, indicando o risco que apresenta o resíduo.</p> |

**TABELA 4** – SÍMBOLOS DE IDENTIFICAÇÃO DOS GRUPOS DE RSS.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006 – por CPLA, 2012.



**FIGURA 24** - COLETA DE MATERIAL INFECTANTE

Fonte: Acervo SMA, 2010

Os sistemas de tratamento de RSS compreendem um conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, físico-químicas, químicas ou biológicas dos resíduos, podendo promover a sua descharacterização, visando:

- Minimização do risco à saúde pública;
- Preservação da qualidade do meio ambiente; e
- Segurança à saúde do trabalhador.

O encaminhamento de resíduos de serviços de saúde para disposição final em aterros, sem submetê-los previamente a tratamento específico, que neutralize sua periculosidade, é proibido no Brasil e no Estado de São Paulo. Porém, em situações excepcionais de emergência sanitária e fitossanitária, os órgãos de saúde e de controle ambiental competentes podem autorizar a queima de RSS a céu aberto ou outra forma de tratamento que utilize tecnologia alternativa. A Tabela 5 mostra os métodos mais usuais recomendados para o tratamento dos RSS.

| GRUPO | CATEGORIA                | TRATAMENTO   |
|-------|--------------------------|--|
| A     | <b>Biológicos</b>        | Incinerador, autoclave, hidroclave, micro ondas.   |
| B     | <b>Químicos</b>          | Incinerador  |
| C     | <b>Radiativos</b>        | Armazenagem  |
| D     | <b>Comuns</b>            | Se passível de reutilização, recuperação ou reciclagem, devem atender às normas legais de higienização e descontaminação |
| E     | <b>Perfuro-cortantes</b> | Incinerador  |

**TABELA 5** – MÉTODOS RECOMENDADOS PARA O TRATAMENTO DOS RSS.  
 Fonte: Adaptado de WOLMER, F. Apostila de Resíduos de Serviços de Saúde, 2008.

Os RSS são compostos, em média, de 10-25% em peso pelos grupos A, B, C e E, e de 75-90% em peso pelo grupo D. O tratamento dos RSS pode ser feito no estabelecimento gerador ou em outro local, observadas, nestes casos, as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento gerador e o local do tratamento.

### **Incineração**

Incineração é o processo de combustão controlada, que ocorre em temperaturas da ordem de 800° a 1000°C. A queima controlada dos resíduos converte o carbono e o hidrogênio presentes nos RSS em gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e água. Entretanto, a porcentagem dessas substâncias pode variar significativamente nos gases emitidos pela incineração, pois os RSS podem conter diversos outros elementos, em geral halogênios, enxofre, fósforo, metais pesados (tais como chumbo, cádmio e arsênio) e metais alcalinos, que levam à produção de: HCl (ácido clorídrico), HF (ácido fluorídrico), cloretos, compostos nitrogenados,

óxidos de metais e outros subprodutos da combustão, os quais podem ser prejudiciais à saúde e ao meio ambiente.

Os efluentes líquidos e gasosos gerados pelo sistema de incineração devem atender aos limites de emissão de poluentes estabelecidos na legislação ambiental vigente.

### **Micro-ondas**

Neste sistema de tratamento, os RSS são colocados num contêiner de carga e, por meio de um guincho automático, descarregados numa tremonha localizada no topo do equipamento de desinfecção. Durante a descarga dos resíduos, o ar interior da tremonha é tratado com vapor a alta temperatura que, em seguida, é aspirado e filtrado com o objetivo de se eliminar potenciais germes patogênicos.

A tremonha dá acesso a um triturador, onde ampolas, seringas, agulhas hipodérmicas, tubos plásticos e demais materiais são transformados em pequenas partículas irreconhecíveis. O material triturado é automaticamente encaminhado a uma câmara de tratamento, onde é umedecido com vapor a alta temperatura e movimentado por uma rosca-sem-fim, enquanto é submetido a diversas fontes emissoras de micro-ondas. As micro-ondas desinfetam o material por aquecimento, em temperaturas entre 95°C e 100°C, por cerca de 30 minutos.

### **Autoclave**

A autoclavagem é um processo em que se aplica vapor saturado, sob pressão, superior à atmosférica, com a finalidade de se obter esterilização. Pode ser efetuada em autoclave convencional, de exaustão do ar por gravidade, ou em autoclave de alto vácuo, sendo comumente utilizada para esterilização de materiais, tais como: vidrarias, instrumentos cirúrgicos, meios de cultura, roupas, alimentos, etc.

Os valores usuais de pressão são da ordem de 3 a 3,5 bar e a temperatura atinge os 135°C. Este processo tem a vantagem de ser familiar aos técnicos

de saúde, que o utilizam para processar diversos tipos de materiais hospitalares. Os efluentes líquidos gerados pelo sistema de autoclavagem devem ser tratados, se necessário, para atender aos limites de emissão dos poluentes estabelecidos na legislação ambiental vigente.

As ações preventivas - que implicam na adoção do correto gerenciamento dos RSS - são menos onerosas do que as ações corretivas e minimizam com mais eficácia os danos causados à saúde pública e ao meio ambiente.

Devido aos altos custos de tratamento dos RSS, soluções consorciadas, para fins de tratamento e disposição final são especialmente indicadas para pequenos geradores e municípios menores.

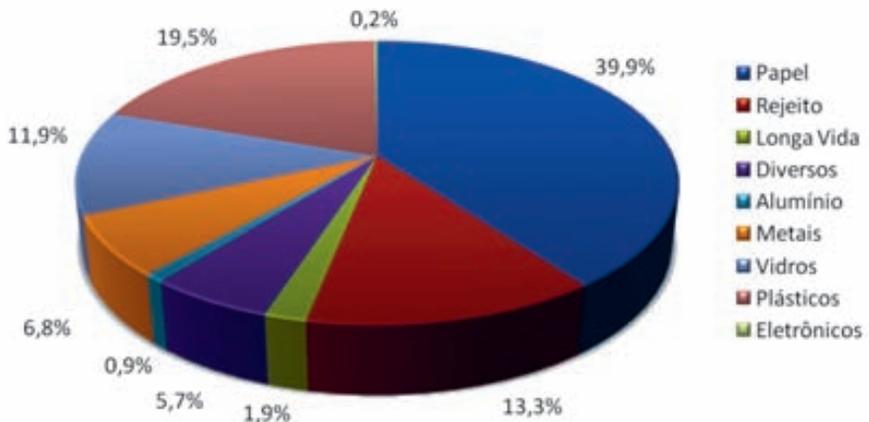


# A Indústria da Reciclagem – Processos e Tecnologias

4

## 4. A Indústria da Reciclagem – Processos e Tecnologias

As publicações existentes sobre o tema resíduos sólidos domiciliares, normalmente, focalizam a coleta seletiva e a triagem, porém pouco explicitam as tecnologias e processos que tornam possível a reciclagem dos inúmeros produtos e materiais triados. A composição dos resíduos triados, após a coleta seletiva, é diversificada. Como demonstra a Figura 25, o papel tem grande participação na composição do resíduo sólido urbano brasileiro, sendo o item mais significativo na coleta seletiva, seguido pelo plástico.



**FIGURA 25** - COMPOSIÇÃO DA COLETA SELETIVA MÉDIA NO BRASIL (EM PESO).

Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2009

Há produtos e materiais que são considerados simples, tanto no processo de produção e na composição, quanto nos processos de beneficiamento de que necessitam para serem reinseridos na cadeia produtiva. Outros são considerados mais complexos, tanto em composição, pela mistura de diferentes materiais e tecnologias necessárias para produção, quanto pelos processos de beneficiamento mais elaborados e variados de que necessitam para reinserção na cadeia produtiva.

A seguir, serão apresentados alguns processos e tecnologias que vêm sendo aplicados na reciclagem para reaproveitamento de diversos produtos e materiais triados dos resíduos sólidos domiciliares, tais como pneus, pilhas e baterias, metais, plásticos, papéis, lâmpadas, resíduos eletroeletrônicos e vidros. Porém, é necessário ressaltar que esta lista não esgota os materiais e os processos de beneficiamento a eles aplicados.

Vale lembrar que para todos os materiais referidos neste capítulo (com exceção do papel, existe amparo legal quanto a sua destinação ambientalmente adequada. A Política Nacional de Resíduos Sólidos determina que agentes o recolham para que retornem ao ciclo produtivo (ver item 1.1), e no Estado de São Paulo, a Política Estadual de Resíduos Sólidos instituiu a responsabilidade pós-consumo dos produtores e importadores destes produtos - conforme Resolução SMA nº 38, de 2 de agosto de 2011 (ver item 2.2.1). Portanto, a escolha do processo de reciclagem destes produtos deve ser fruto de acordo entre o poder público e responsável pela logística reversa. Porém, para conhecimento, apresentaremos alguns processos de reciclagem a seguir.

#### 4.1. Pneus

Existem diversos tipos de pneus destinados aos diferentes tipos de veículos, sendo os pneus para automóveis os mais comuns. Há, ainda, pneus maciços, em borracha sólida, com aplicação exclusiva em alguns veículos industriais, agrícolas e militares.

Um pneu típico é constituído, basicamente, de uma mistura de borracha natural e sintética, negro de fumo, aço e nylon.

A cada ano, dezenas de milhões de pneus novos são produzidos no Brasil e o crescimento desta produção acompanha proporcionalmente o crescimento

da produção de automóveis. A produção de pneus vem crescendo gradativamente, desde 2007, ano em que a produção era de 57,3 milhões de pneus mais 19,8 milhões de exportações, sendo que, em 2011, a produção foi de 66,9 milhões de pneus mais 17,4 milhões que foram exportados (ANIP, 2012).

Inevitavelmente, todo pneu se tornará inservível, transformando-se em um resíduo com potencial de causar danos ao meio ambiente e à saúde pública, pois sua principal matéria-prima, a borracha vulcanizada, é de difícil degradação. Quando queimados a céu aberto, contaminam o meio ambiente pela emissão de gases como carbono, enxofre e outros poluentes - podendo constituir risco à saúde pública. Quando abandonados em cursos d'água, terrenos baldios e beiras de estradas (Figura 26), favorecem a proliferação de mosquitos e roedores. Para encontrar uma solução adequada à sua destinação final, vêm sendo realizadas pesquisas em busca do desenvolvimento de novas tecnologias de reutilização e reciclagem.



**FIGURA 26** – PNEUS ABANDONADOS EM TERRENO BALDIO.  
Fonte: Acervo SMA, 2010

No Brasil, em 2009, o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - aprovou a Resolução nº 416, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada (logística reversa).

## **Tecnologias de Reciclagem**

### **a) Incorporação na Massa Asfáltica de Pavimentos**

Uma das tecnologias para reciclagem de pneus inservíveis é a adição à mistura asfáltica para pavimentação de estradas, que pode ser realizada por dois processos:

- **Processo Seco** - os pneus previamente triturados e secos, denominados de agregados-borracha, são adicionados aos agregados minerais pré-aquecidos (pedriscos) e ao ligante (asfalto) durante a usinagem da massa asfáltica. O produto resultante deste processo é denominado concreto asfáltico modificado pela adição da borracha;
- **Processo Úmido** - o ligante asfáltico é aquecido a aproximadamente 180°C e misturado ao pó resultante da moagem dos pneus, produzindo um novo tipo de ligante. Posteriormente, são adicionados agregados minerais a esse novo ligante que, após ser usinado, transforma-se no Asfalto Ecológico.

A aplicação do asfalto-borracha na pavimentação de rodovias tem inúmeras vantagens, entre elas: redução no ruído e na manutenção do pavimento, com um aumento em 30% da vida útil deste; retardo no aparecimento de trincas e selagem das já existentes; redução de até 50% na espessura da camada do pavimento. Segundo alguns estudos, o potencial para utilização de pneus inservíveis por essas tecnologias é de, aproximadamente, 4.000 pneus para um quilômetro de rodovia.

### **b) Pirólise de Pneus (retortagem) com Xisto Betuminoso**

A pirólise de pneus é outra tecnologia utilizada na reciclagem de pneus. A pirólise é o processo no qual materiais de composição química complexa são submetidos à temperatura e pressão apropriadas (sem que ocorra com-

bustão) para que aconteça a transformação destes em hidrocarbonetos na forma de óleo e gás.

No Brasil, o processo pirolítico para “reciclagem” de pneus vem sendo utilizado pela Petrobrás em sua unidade de industrialização de xisto betuminoso, em São Mateus do Sul, no Estado do Paraná. O processo denominado Petrosix foi desenvolvido com tecnologia própria, há mais de 20 anos, inicialmente a partir do processamento exclusivo dos xistos pirobetuminosos, para a extração de óleo, Gás Liquefeito de Petróleo - GLP, gás combustível e enxofre.

Em 2001, uma das unidades da planta industrial da Petrobrás, em São Mateus do Sul, foi modificada para o coprocessamento e aproveitamento adequado do conteúdo energético de pneus usados e inservíveis. O aproveitamento dos pneus permitiu um incremento na produção da unidade, uma vez que cada pneu retornado fornece 52% de óleo combustível, 3,6% de gás e 42% de resíduo que, misturado ao xisto já beneficiado, serve de insumo para termelétricas.

Os produtos gerados pelo processamento do xisto com adição de pneus picados são: óleo, gás combustível e enxofre. O aço dos pneus é reciclado em indústrias siderúrgicas.

A capacidade atual desta unidade de processamento é de, aproximadamente, 140 mil toneladas de borracha anualmente, o que equivale a cerca de 5 milhões de pneus, com a possibilidade de ser ampliada para 27 milhões de pneus por ano. Em 2009, 11 milhões de pneus foram reaproveitados nesta unidade.

**Processamento:** Os pneus inservíveis chegam à Unidade de Industrialização cortados, normalmente, em tiras ou pedaços de oito por oito centímetros, sendo armazenados na Unidade de Pneus, que faz a dosagem de 5% em peso de pneus picados à carga do minério (xisto pirobetuminoso). A mistura, levada por uma correia para a retorta, é aquecida a uma temperatura de, aproximadamente, 500°C. Por meio da vaporização ocorre extração da matéria orgânica contida no xisto e nos pneus, gerando, ao final, gás e óleo. Após a retirada do óleo e da água de retortagem, o gás segue para a unidade

de tratamento de gases, onde são produzidos os gases combustíveis, o gás liquefeito de xisto e onde será processado o enxofre.

### **c) Coprocessamento em Fornos de Cimenteiras**

O coprocessamento dos pneus em fornos de clínquer (cimento) é uma atividade que proporciona o aproveitamento térmico dos pneus, reduzindo a queima de combustíveis fósseis não renováveis. Além disso, incorpora ao clínquer o aço contido nos pneus.

A tecnologia de coprocessamento em fornos de cimenteiras consiste em eliminar resíduos inservíveis a altas temperaturas em fornos de cimento. Entre as principais vantagens do uso desta tecnologia encontram-se:

- A eliminação de resíduos perigosos de forma ambientalmente adequada;
- A transformação dos pneus inservíveis em combustível alternativo que pode ser utilizado na fabricação do cimento reduzindo o seu custo; e
- A melhoria das condições de saúde da população, com a eliminação dos possíveis focos de dengue presentes em pneus velhos.

Em 2009, no Brasil existiam 35 plantas licenciadas para o coprocessamento e 9 em processo de licenciamento. A capacidade, em 2008, de coprocessamento de pneus era de, aproximadamente, 1 milhão de toneladas por ano, com potencial para atingir 2,5 milhões de toneladas por ano. Até 2007, foram usados 32 milhões de pneus inservíveis na indústria do cimento. (KIHARA, 2009)

### **d) Desvulcanização**

O processo de desvulcanização da borracha dos pneus envolve a trituração e a quebra de ligações químicas. A borracha desvulcanizada tem os mais variados usos, tais como cobertura de áreas de lazer e quadras esportivas, isolantes acústicos, tapetes para automóveis, passadeiras, solados de sapatos, tintas industriais e impermeabilizantes, colas e adesivos, vedantes industriais, câmaras de ar, paletes, estrados, sinalizadores de trânsito, rodízios para móveis, correias e outros. Resumidamente, pode-se descrever o processo de desvulcanização em duas etapas:

1. O pneu é triturado, podendo-se retirar ou não o aço e o nylon nesta etapa – isso dependerá de como a empresa recicladora trabalha, pois algumas compram os pneus já triturados e limpos, enquanto outras os trituram elas próprias;
2. A seguir, o material passa para um reator ou autoclave onde é submetido ao contato com vapor de produtos químicos, como solventes, álcalis, óleos minerais e oxigênio, a uma temperatura de 180°C e pressão de 15 bar, para que ocorra o rompimento das pontes de [enxofre-enxofre] e [carbono-enxofre] entre as cadeias poliméricas, ou seja, a desvulcanização. A borracha segue para um tanque de secagem onde o solvente é recuperado, retornando ao processo. Como resultado, obtém-se uma borracha apta a receber nova vulcanização, mas que não tem as mesmas propriedades mecânicas da borracha crua, sendo, geralmente, misturada a ela, na formulação da matéria-prima para a fabricação de novos artefatos. O teor de borracha desvulcanizada a ser utilizada como matéria-prima pode variar de um pequeno percentual até 100%; o teor médio é de 5% a 15%.

#### **e) Outras Tecnologias**

Há vários outros processos disponíveis para desvulcanização da borracha dos pneus, permitindo sua regeneração, e novos processos estão em fase de desenvolvimento, com técnicas e custos bem diferenciados. Contudo, ainda é pequeno o número de processos aptos à utilização comercial.

No Brasil, já existe tecnologia para regeneração da borracha vulcanizada, por processo a frio (máximo de 80°C), dispensando o uso de óleos ou resinas plastificantes. A técnica usa dissulfeto e dibenzotiazila como solventes e proporciona uma borracha regenerada, com custo inferior e com características semelhantes às do material virgem. Além disso, essa técnica usa solventes capazes de separar o tecido e o aço dos pneus, permitindo seu reaproveitamento, bem como do agente de regeneração.

## 4.2. Metais

### Histórico e Caracterização

Os metais são materiais de elevada durabilidade, resistência mecânica e facilidade de conformação. Os primeiros metais utilizados pelo homem foram o cobre e o ferro, encontrados em vestígios de civilizações pré-históricas.

Entre os metais de maior abundância na natureza, destacam-se o alumínio e o ferro. O ferro obteve tanta importância na história da humanidade, que, após a sua descoberta em 1200 a.C., houve um período histórico denominado Idade do Ferro. O alumínio na forma que conhecemos hoje só foi isolado em 1825, pelo dinamarquês Hans Christian Oersted. Suas excelentes propriedades físico-químicas, como a baixa densidade (é um dos metais mais leves), resistência mecânica e à oxidação, entre outras, levaram a uma utilização crescente pelo homem.

O aço foi desenvolvido a partir do ferro, em 1856, e por ser mais resistente à corrosão que o ferro fundido, obteve grande aprovação no meio industrial, sendo produzido hoje em grandes quantidades, como fonte de matéria-prima para muitas indústrias.

Poucos metais, como o ouro e o cobre, são encontrados na forma nativa, ou seja, em estado metálico, na natureza. Portanto, a obtenção de metais e suas ligas depende da extração e processamento de minérios extraídos de solos e rochas. São, geralmente, processos altamente intensivos em termos de consumo de energia e, na maioria dos casos, a produção de metais gera grande quantidade de resíduos e emissões. Entretanto, os benefícios da utilização dos metais e ligas superam largamente estes problemas ligados à sua extração e produção.

O uso de metais na sua forma pura é bastante restrito atualmente, já que as ligas metálicas (misturas de diferentes metais ou metais contendo uma pequena quantidade de elementos não metálicos) apresentam algumas vantagens em relação ao metal puro. Por exemplo, o que chamamos de “aço” compreende, na verdade, uma grande variedade de ligas em que o ferro é

o principal componente. Cada tipo de aço tem uma composição diferente, dependendo da aplicação a que se destina. Por exemplo, o aço rápido, usado em ferramentas de corte, tem em sua composição, além do ferro (componente principal), cerca de 0,7 a 1,3% de carbono; 5 a 12% de cobalto; 3,8 a 4,5% de cromo; 0,3% de manganês; 4 a 9% de molibdênio; 2 a 20% de tungstênio e 1 a 5% de vanádio.

Outros metais também são capazes de formar ligas úteis. Exemplos de ligas de cobre são:

- Latão = cobre + zinco;
- Bronze = cobre + estanho + pequenas porcentagens de outros metais como alumínio, zinco, fósforo.

A predominância atual do uso dos metais à base de ferro, principalmente o aço, justifica a classificação dos metais em ferrosos (ferro e aço) e não ferrosos (alumínio, chumbo, cobre e suas ligas).

### **Produção e Reciclagem de Metais**

Para a obtenção dos metais a partir dos minérios, primeiro faz-se uma redução química, isolando o metal dos demais componentes do solo ou da rocha. Este processo primário é feito a altas temperaturas, com elevado consumo energético.

No caso do ferro, por exemplo, a redução do minério é feita com monóxido de carbono proveniente da oxidação do coque (um tipo de carvão):

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematita) + CO (monóxido de carbono) Ferro metálico +  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono)

Neste processo, realizado entre 700 e 2000°C em alto-forno, cada unidade de hematita produz três unidades de dióxido de carbono, um gás causador de efeito estufa.

Na metalurgia, geralmente as sucatas são as matérias-primas mais utilizadas na fundição, porque não há perdas de qualidade no processo. As sucatas são separadas magneticamente em ferrosas e não ferrosas, sendo também classificadas em:

- Sucatas pesadas - vigas, equipamentos, chapas, grelhas etc.;
- Sucatas de processo - cavacos, limalhas e rebarbas, além de peças defeituosas que voltam ao processo industrial e
- Sucatas de obsolescência - materiais destinados ao descarte após o uso.

As principais sucatas descartadas são as latas de folhas de flandres (aço revestido com estanho) e as latas de alumínio, que podem ser recuperadas em grandes quantidades pela coleta seletiva.

Devido ao maior valor comercial, os metais não-ferrosos despertam mais interesse em relação à reciclagem. Porém, é muito grande a procura pela sucata de ferro e de aço, principalmente nas usinas siderúrgicas e fundições, onde a sucata de metais ferrosos é fundida a 1550°C em fornos elétricos e retorna ao ciclo produtivo.

A reciclagem dos metais apresenta os seguintes benefícios:

- Economia de minérios, de energia e de água;
- Aumento da vida útil dos aterros;
- Redução da emissão de CO<sub>2</sub>;
- Diminuição da poluição; e
- Diminuição das áreas degradadas pela extração do minério.

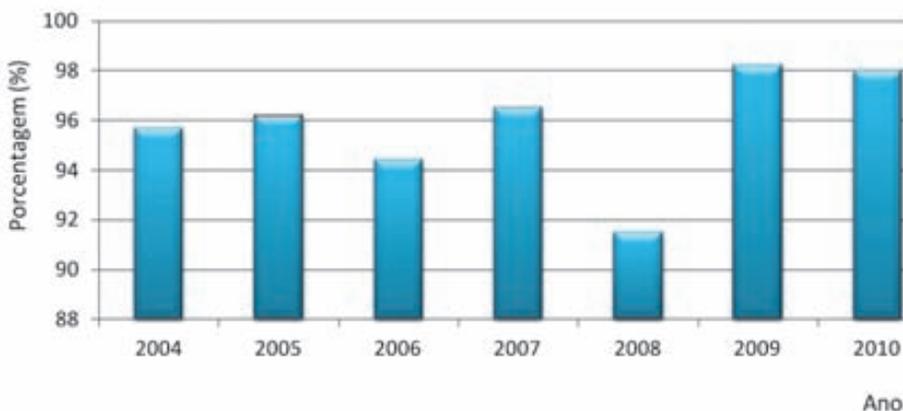
#### **a) Alumínio**

Para obtenção do alumínio a partir da bauxita, esta passa por um processo de refino químico (chamado de processo Bayer) que separa o óxido de alumínio (alumina) dos demais componentes do minério (principalmente óxido de ferro e silicatos). Em seguida, a alumina é misturada com criolita (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), essa mistura é fundida (a função da criolita é abaixar o ponto de fusão da mistura, economizando energia) e transformada em alumínio, por meio de um processo eletrolítico conhecido como processo Hall-Héroult, com um consumo aproximado de 13.000 kWh por tonelada de alumínio produzido.

Este metal é 100% reciclável. Quando se recicla o alumínio, são economizados 95% da energia que foi necessária para sua primeira produção. Uma grande porcentagem do alumínio destinado à reciclagem é proveniente das embalagens, em especial latas de bebidas. São necessárias, em média, 60 latas para se obter um 1 kg de sucata (Figura 28). A Figura 29 ilustra a porcentagem de latas de alumínio recicladas no Brasil.



**FIGURA 27** - LATAS DE ALUMÍNIO.  
Fonte: ABAL, 2010



**FIGURA 28** – PORCENTAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO RECICLADAS NO BRASIL.  
Fonte: Adaptado de Recicloteca, 2009 - por CPLA/SMA 2010.

Verifica-se que a porcentagem de reciclagem, no Brasil, desde 2004, sempre esteve acima de 90%. Atualmente, o Brasil é o país que mais recicla latas de alumínio no mundo. O alumínio é encaminhado para a fundição, obedecendo a parâmetros específicos de processamento. As latas coletadas após o consumo são transformadas em lingotes, que posteriormente são empregados na fabricação de novas latas, na indústria de autopeças, na fabricação de novas embalagens e em inúmeros outros produtos. A Figura 30 ilustra o ciclo de vida e reciclagem das latas de alumínio.



**LEGENDA**

- ETAPA 1.** COMPRA
- ETAPA 2.** CONSUMO
- ETAPA 3.** COLETA
- ETAPA 4.** PRENSAGEM
- ETAPA 5.** FUNDIÇÃO
- ETAPA 6.** LINGOTAMENTO

- ETAPA 7.** LAMINAÇÃO
- ETAPA 8.** FABRICAÇÃO DE NOVAS LATAS
- ETAPA 9.** PROCESSO DE ENCHIMENTO
- ETAPA 10.** DISTRIBUIÇÃO AOS POSTOS DE VENDA

**FIGURA 29** - CICLO DE VIDA E RECICLAGEM DO ALUMÍNIO.  
 Fonte: ABAL, 2009.



**FIGURA 30** - LATAS DE AÇO.  
Fonte: ABEAÇO, 2010.

A reciclagem do alumínio pode ter fluxos diferentes, a depender do tipo de sucata. As fases se modificam na coleta e no retorno da sucata ao mercado, dependendo do produto a ser reciclado. (ABAL, 2012)

### **b) Aço**

Pelo processo químico de redução de hematita (minério de ferro) com o carvão vegetal ou coque, seguido da adição de outros elementos formadores de ligas, obtém-se o aço, que é, normalmente, moldado em forma de chapas. Estas chapas podem ser recobertas com uma camada de estanho, cobre ou cromo, formando um material conhecido como folhas de flandres, largamente usado na fabricação das latas de aço. (Figura 30)

O aço reciclado mantém propriedades como dureza, resistência e versatilidade. As latas de aço descartadas após processamento podem retornar na forma de novas latas ou vários utensílios, como arames, peças de automóveis, dobradiças, maçanetas e outros.

Após a coleta, as latas de aço são prensadas para otimizar as condições de transporte e são enviadas às indústrias siderúrgicas junto com as demais sucatas metálicas, para serem transformadas em tarugos ou folhas de flandres. Quando lançadas na natureza, as latas de aço sofrem oxidação num prazo médio de três anos, transformando-se em óxidos ou hidróxidos de ferro. Se, ao invés de descartadas, as latas de aço forem coletadas após o uso, podem ser recicladas infinitamente.

Em 2010, 49% do total das latas de aço consumidas no Brasil foram recicladas. Porém, se forem considerados os diversos produtos que contêm aço, tais como carros, eletrodomésticos, resíduos de construção civil, embalagens em geral, latas de alimentos e latas de tintas, o Brasil recicla cerca de 70% de todo o aço produzido anualmente.

Cada tonelada de aço que é reciclado equivale a uma economia de 1.140 kg de minério de ferro, 154 kg de carvão vegetal e 18 kg de cal (CaO). Poupa-se a quantidade de carvão vegetal equivalente a uma árvore a cada 75 embalagens médias de aço recicladas. Outra vantagem é a redução da emissão de  $\text{CO}_2$  já que, como vimos, o processo de produção do aço envolve a emissão de  $\text{CO}_2$  numa proporção  $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{CO}_2$  de 1:3.

No reprocessamento do aço, após atingir o ponto de fusão e chegar ao estado líquido, o material é moldado em tarugos e placas metálicas, que serão cortados na forma de chapas de aço, usadas por vários setores industriais – das montadoras de automóveis às fábricas de latas em conserva. A Figura 31 ilustra o ciclo de produção e de reciclagem do aço.



**FIGURA 31** - CICLO DE PRODUÇÃO E RECICLAGEM DO AÇO.  
 Fonte: ABEAÇO, 2010.

### 4.3. Plásticos

#### Histórico e Caracterização

O inglês Alexander Parkes criou, em 1862, o plástico, um material orgânico, à base de celulose, que ao ser aquecido podia ser moldado das mais diferentes formas - a *parkesina*. A palavra "plástico" tem origem grega, *plastikós*, e significa adequado à moldagem. O uso industrial do plástico iniciou-se, aproximadamente, em 1920.

O plástico é um polímero - material obtido pela junção de moléculas menores denominadas monômeros, interligadas quimicamente. De acordo com sua origem, os polímeros podem ser divididos em naturais ou sintéticos. Os polímeros naturais são comuns em plantas e animais e os sintéticos são obtidos por meio de reações químicas de polimerização.

Os plásticos podem ser classificados de acordo com suas características térmicas em termorrígidos (ou termofixos) e termoplásticos. Essas características dependem do tamanho e estrutura da molécula formadora.

Termofixos são os plásticos que não se fundem e quando moldados e endurecidos, não possibilitam a reciclagem. São apresentados na forma de mistura em pó e podem ser moldados quando submetidos à determinada temperatura e pressão. Como exemplo, temos as telhas transparentes, revestimento de telefone de orelhões e inúmeras peças de indústrias - principalmente da indústria automobilística.

Termoplásticos são os plásticos que amolecem ao serem aquecidos, portanto podem ser moldados. Como o processo pode ser repetido várias vezes, eles são passíveis de reciclagem. Como exemplo, existem sacolas plásticas, baldes, filmes para embalar alimentos, mangueiras, sacos de lixo, embalagens de bebidas e óleos vegetais, engradados de bebidas, brinquedos, potes de iogurte, pratos e copos descartáveis, aparelhos de barbear descartáveis, etc. Entre os termoplásticos estão (PARANÁ, 2006):

- **PVC** - cloreto de polivinila - um tipo de plástico de alta densidade (afunda na água), amolece a baixa temperatura (de 80 a 100°C), queima

com grande facilidade e é soldável, com o uso de solventes como a acetona. É um plástico rígido, transparente e impermeável, resistente à temperatura e inquebrável. É utilizado em sacolas, filmes para embalagem de leite e outros alimentos, sacaria industrial, filmes para fraldas descartáveis, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo, lonas, tubulação de água e esgoto, etc.

- **PET** - polietileno tereftalato - um tipo de plástico de alta densidade, muito resistente, amolece, também, a baixa temperatura, e é utilizado no Brasil em embalagens de bebidas gasosas, óleo vegetal, etc. É transparente, inquebrável, impermeável e leve. É utilizado na produção de frascos e garrafas para usos alimentícios, cosméticos e hospitalares; bandejas para micro-ondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis (sintéticas), etc.;
- **PEAD** - polietileno de alta densidade - muito utilizado para produção de embalagens de detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, tampas, tambores de tintas, engradados de bebidas, filmes, etc. É inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve, impermeável, resistente quimicamente e rígido;
- **PEBD** - polietileno de baixa densidade - amolece a baixas temperaturas, queima como vela, e tem a superfície lisa e “cerosa”. É flexível, leve, transparente e impermeável. Os principais produtos fabricados com este material são sacolas, filmes para embalar alimentos, sacaria industrial, sacos de lixo, etc.;
- **PP** - polipropileno - tem baixa densidade, amolece a baixa temperatura, queima como vela e faz barulho semelhante ao celofane quando apertado nas mãos. É inquebrável, transparente, brilhante, rígido; resiste a mudanças de temperatura e conserva o aroma. É utilizado principalmente na fabricação de filmes para embalagens de alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, autopeças, fibras para tapetes, utilidades domésticas, etc.;
- **PS** - poliestireno - possui alta densidade, é quebradiço, amolece a baixas temperaturas, queima relativamente fácil, liberando cheiro de “estireno”,

e é alterado por muitos solventes. É impermeável, inquebrável e rígido, leve e muito brilhante. É muito utilizado na fabricação de potes de iogurtes e sorvetes, frascos, pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos, copos descartáveis, isopor (poliestireno expandido), etc.

### **Produção dos Plásticos**

A origem de praticamente todo o plástico que se utiliza hoje é o petróleo, um combustível fóssil, não renovável, composto por várias substâncias com diferentes pontos de ebulição, separadas normalmente pelo processo de craqueamento. A fração nafta resultante do craqueamento é fornecida para as centrais petroquímicas e passa por uma série de processos, dando origem aos principais monômeros formadores dos plásticos. Após o processo de polimerização, a resina plástica gerada é enviada para as indústrias transformadoras em forma de grânulos, também conhecidos como *pellets*.

O processo de transformação pode ser feito por (PARANÁ, 2006):

- **Compressão** - a resina é introduzida em um molde aquecido, que é, então, comprimido até tomar a forma desejada;
- **Injeção** - a resina é pressionada para o interior de moldes diversos das peças a serem fabricadas;
- **Extrusão** - a resina é progressivamente aquecida, plastificada e comprimida, sendo forçada através do orifício com o formato da seção da peça a ser fabricada, depois é resfriada. Este processo só pode ser utilizado para a obtenção de termoplásticos;
- **Laminação** - a resina é impregnada em papel ou tecido, que funciona como carga ou enchimento. Essas folhas são sobrepostas e comprimidas e, por aquecimento, o plástico laminado é produzido.

### **Reciclagem dos Plásticos**

Os plásticos levam muito tempo para se decompor, uma vez descartados como resíduos sólidos domésticos. São, em média, 500 anos para a decomposição de sacolas plásticas, 450 anos para fraldas descartáveis, 400 anos para

embalagens de bebidas (PET), 150 anos para tampas de garrafas, 50 anos para copos plásticos, 150 anos para isopor (poliestireno expandido ou EPS). Os tipos de plásticos mais encontrados nos resíduos sólidos domiciliares são: PVC, PET, PEAD, PEBD, PP e PS.

Estima-se que o mundo utilize um milhão de sacolas plásticas por minuto. Uma forma de diminuir o volume de resíduos plásticos gerados é realizar a Educação Ambiental, voltada à minimização, com foco especial na redução de resíduos na fonte, propondo, por exemplo, substituir as sacolas plásticas distribuídas nos mercados por sacolas de tecido trazidas pelo próprio consumidor – o que significa aderir ao consumo sustentável. A fabricação de plásticos mais resistentes e retornáveis também é apresentada como alternativa para a redução do uso.

Uma das principais questões na reciclagem de resíduos plásticos é o sistema de coleta seletiva e triagem (considerando abrangência e eficiência), pois uma das dificuldades técnicas em se reciclar os resíduos plásticos pós-consumo está no fato dos diferentes tipos de resinas se encontrarem misturados. Uma das formas de fazer essa separação leva em conta características físicas e de degradação térmica dos plásticos. Plásticos com mesmas características são reciclados conjuntamente.

Outro ponto importante é a composição das embalagens, pois para uma eficiência do sistema de reciclagem é interessante que se usem embalagens compostas pelo menor número possível de resinas diferentes, bem como que se evite uso excessivo de materiais com rótulos adesivos, aditivos, dentre outros contaminantes.

Por fim, o investimento em tecnologias de reciclagem mais avançadas, que possibilitem o processamento de vários tipos de plásticos e de embalagens compostas por várias camadas de resinas distintas, é um item a se considerar quando se objetiva processar os resíduos plásticos coletados e diminuir a quantidade desses resíduos encaminhados aos aterros sanitários.

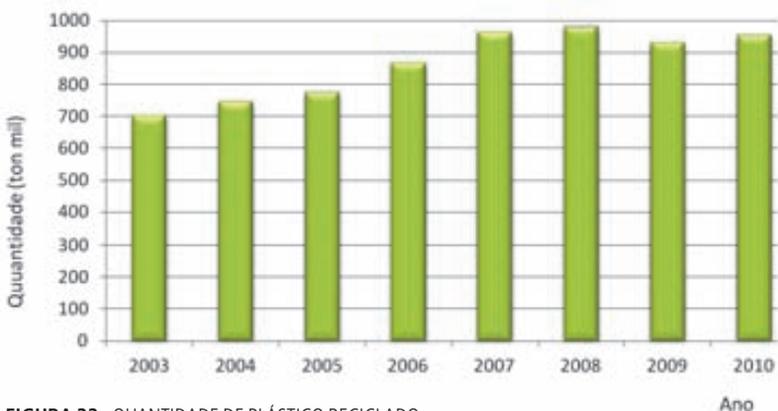
A reciclagem do plástico triado pode ser feita hoje por processo mecânico ou químico:

### a) Reciclagem Mecânica

É o processo em que há conversão do resíduo plástico novamente em grânulos, para serem usados na fabricação de outros produtos, compostos somente por um ou por diversos tipos de resina. As etapas deste processo são:

- Moagem dos plásticos (após passarem por coleta seletiva e triagem);
- Lavagem com água, contendo ou não detergente;
- Aglutinação (ou aglomeração) - secagem e compactação do material, com redução do volume direcionado à extrusora. O atrito do material com a máquina rotoativa faz com que haja um aumento na temperatura, levando à formação de uma massa plástica;
- Extrusão - fundição e homogeneização do material, tendo como produto final os *spaghettis*, tiras de plásticos a serem enviadas para fábricas de artefatos plásticos.

Segundo o Plastivida (2010), em 2010, São Paulo contava com 324 empresas de reciclagem mecânica de plástico, de um total de 738 empresas, no Brasil. O gráfico abaixo (Figura 33) apresenta os dados referentes à quantidade de plástico reciclado por reciclagem mecânica, no Brasil. Vale ressaltar que o PET é o que apresenta maior representatividade na indústria da reciclagem (54%). Apesar das dificuldades de gestão, especialmente na triagem e descontaminação dos resíduos, há um crescimento da indústria de reciclagem de plástico no Brasil.



**FIGURA 32** - QUANTIDADE DE PLÁSTICO RECICLADO.  
Fonte: Plastivida, 2010.

## **b) Reciclagem Química**

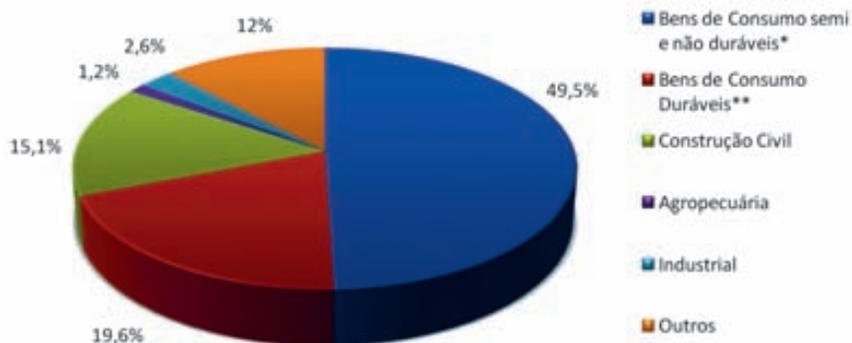
É o processo em que há utilização de compostos químicos para recuperar as resinas que compõem o resíduo plástico, mas ainda não está implantado no Brasil (Miller, 2008).

### **Usos do Plástico Reciclado**

**Resíduos de Atividades Rurais** - O desenvolvimento crescente da cadeia de reciclagem dos resíduos plásticos ajuda a tornar ambientalmente mais sustentável o uso tão intenso deste material. Apesar de serem considerados resíduos de atividades rurais, e não resíduos sólidos urbanos (ver itens 1.1.3 e 1.3.2. – categorias), as embalagens vazias de defensivos agrícolas, cujo recolhimento é exigido por lei no Brasil (Lei Federal nº 7.802, de 1989; Lei Federal nº 9.974, de 2000 e Decreto Federal nº 4.074, de 2002), é um excelente exemplo da dimensão e importância do desenvolvimento da cadeia de reciclagem dos plásticos.

O total de embalagens vazias de defensivos agrícolas recolhidas no Brasil, em 2011, correspondeu a 94% das embalagens primárias, o que o torna referência mundial. Esta porcentagem equivale a, aproximadamente, 34.202 toneladas de plástico pós-consumo, das quais cerca de 92% foram recicladas. (INPEV, 2012) São recicladas somente aquelas embalagens que passaram pelo processo de tríplex lavagem na origem. As embalagens que não passaram pelo referido processo não podem ser recicladas.

**Resíduos Sólidos Urbanos** - O setor de fabricação de bens de consumo semi e não duráveis é o maior consumidor de reciclados de plástico, no Brasil, com um índice de 49,5%. Em seguida, vem o setor de produção de bens de consumo duráveis, com 19,6% e o de Construção Civil, com 15,1%. A Figura 34 ilustra a Distribuição dos Segmentos de Mercado da Pesquisa IRMP - Índice de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil - de 2010.



**FIGURA 33** - DISTRIBUIÇÃO DOS SEGMENTOS DE MERCADO DA IRMP NO BRASIL.

Fonte: Adaptado de PLASTIVIDA, 2010 - por CPLA/SMA, 2012.

\*Utilidades domésticas, Têxtil, Brinquedos, Descartáveis, Limpeza doméstica, Calçados e Acessórios.

\*\*Automobilístico, Eletroeletrônico e Móveis.

Quanto às embalagens de produtos alimentícios, o uso de material reciclado deve seguir as normas da ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Em 2008, a ANVISA aprovou a Resolução RDC nº 20, de 26 de março de 2008 que permite o uso de PET reciclado para fins de embalagem de produtos alimentícios.

### Novos plásticos

Conforme afirmado anteriormente, a origem de praticamente todo o plástico que se utiliza hoje é o petróleo, além do gás natural, ambos combustíveis fósseis não renováveis. Portanto, a busca por soluções ambientalmente sustentáveis para a cadeia do plástico passa, necessariamente, por considerar novas opções de matéria-prima de fabricação, de fontes renováveis (cana-de-açúcar, mandioca, milho e outros), bem como pelo desenvolvimento de plásticos com propriedades de (bio) degradabilidade e possibilidade de reciclagem. Algumas das características destes novos plásticos estão comparadas na Tabela 6. Cabe aqui ressaltar que este é um segmento promissor, porém em plena evolução, com muitas pesquisas, sendo desenvolvidas no momento e poucas soluções comercialmente acessíveis.

| NOMENCLATURA                                      | CARACTERÍSTICAS  | VANTAGEM / DESVANTAGEM   |
|---|--|--|
| <b>Bioplásticos biodegradáveis e compostáveis</b> | Fabricado a partir de matéria-prima de fonte renovável ou blenda de matéria-prima de fonte renovável e não-renovável; 100% biodegradável e compostável. Exemplo: polietileno para aplicação em embalagem e na agricultura.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• por ser biodegradável, pode contaminar os resíduos de plástico pós-consumo que serão triados para a reciclagem, o que é uma desvantagem em relação aos bioplásticos recicláveis;</li> <li>• se for fabricado a partir de blenda, a dependência de fonte não-renovável é uma desvantagem em relação aos bioplásticos de fonte renovável;</li> <li>• a propriedade de biodegradabilidade, que implica no consumo integral dos fragmentos por microorganismos no meio ambiente, decompondo-os em água e gás carbônico num curto período de tempo, é uma vantagem para algumas aplicações específicas.</li> </ul> |
| <b>Bioplásticos recicláveis</b>                   | Fabricado a partir de matéria-prima de fonte renovável; reciclável e 100% compatível com polietileno produzido a partir de outras fontes. Exemplo: polietileno para aplicação em embalagem plástica.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• a matéria-prima de fonte renovável (p.e. cana-de-açúcar ou milho) é uma vantagem em relação ao bioplástico fabricado a partir de blenda com fonte não renovável (petróleo e gás natural);</li> <li>• a compatibilidade com os plásticos fabricados a partir de fonte não renovável é uma vantagem no processo de reciclagem.</li> </ul>   |
| <b>Plástico oxibio-degradável</b>                 | Fabricado a partir de matéria-prima de fonte não renovável; não é biodegradável - a tecnologia de fabricação emprega aditivos químicos que somente aceleram a fragmentação dos polímeros que compõem os plásticos. Exemplo: PEAD para aplicação em embalagens plásticas. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• pode contaminar os resíduos de plástico pós-consumo que serão triados para a reciclagem;</li> <li>• embora as pequenas partículas do plástico desapareçam a olho nu, o plástico continua presente na natureza; os catalisadores empregados, contendo metais pesados como níquel, cobalto e manganês, e os pigmentos de tintas utilizados nos rótulos, se misturam ao solo e o contaminam, o que é uma desvantagem;</li> <li>• não é reciclável, o que é uma desvantagem em relação ao bioplástico reciclável.</li> </ul>  |

**TABELA 6** – COMPARAÇÃO ENTRE PLÁSTICOS PRODUZIDOS COM NOVAS TECNOLOGIAS.  
 Fonte: CPLA/SMA, 2009

## 4.4. Papéis

### Histórico e Caracterização

O papel foi fabricado pela primeira vez na China, em 105, por Ts’AiLun. Sua fabricação foi feita por desintegração de fibras de diversos materiais. Hoje, o papel é fabricado a partir da extração da celulose de árvores e, até mesmo, a partir de aparas, por meio do processo de reciclagem. (Paraná, 2006) A celulose pode ser obtida a partir de qualquer material fibroso, porém somente algumas espécies de árvores têm a qualidade e a pureza adequadas. No Brasil, as espécies apropriadas para a produção do papel são eucalipto, pinho e gmelina.

A indústria de papel e celulose tem grande importância no Brasil, sendo responsável por, aproximadamente, 1% do PIB do país. A primeira fábrica de papel foi instalada no país em 1852; porém, somente em 1956, ocorreram investimentos governamentais significativos para o setor. Em 1968, com o investimento de uma empresa norueguesa no Rio Grande do Sul, iniciou-se a descoberta da potencialidade da estrutura brasileira na produção de papel.

Na década de 70, houve o crescimento do setor no Brasil, com o incentivo do governo à produção de papel para a exportação. No entanto, a produção que se consolidara nos anos 80 teve uma queda nos anos 90, provocada pela crise nacional dos Planos Collor I e II. Somente em fins do século XX e início do XXI, houve um restabelecimento do setor no Brasil.

De acordo com os dados da BRACELPA (2011), a produção de celulose, em 2010, foi de 14.164.339 toneladas, o que significou um aumento de 6,4% em relação a 2009. Já, o consumo cresceu em torno de 1,5% no mesmo período. A produção de papel foi de 9.843.747 toneladas, em 2010, com aumento de 4,4% em relação a 2009.

### Produção de Papéis

Os impactos da produção do papel são maiores que os de sua disposição pós-consumo. Como o papel é biodegradável, a maior preocupação está na

derrubada de árvores e plantio de “monoculturas” para sua produção e nos resíduos gerados durante seu processo de fabricação. A diminuição da biodiversidade é uma das causas de aumento da probabilidade de desequilíbrios ecossistêmicos. Desta forma, incentivos para a reciclagem abrangem não só aspectos econômicos como, também, de sustentabilidade.

A produção brasileira de papel, em 2010, por tipo, está na Tabela 7.

| TIPO DE PAPEL       | PRODUÇÃO (1000 TONELADAS) |
|---------------------|---------------------------|
| Embalagem           | 4.862                     |
| Imprimir e Escrever | 2.704                     |
| Imprensa            | 124                       |
| Fins sanitários     | 905                       |
| Papel cartão        | 786                       |
| Outros              | 463                       |

**TABELA 7** – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE PAPÉIS POR TIPO EM 2010.

Fonte: Adaptada de BRACELPA, 2011 – por CPLA/SMA, 2012.

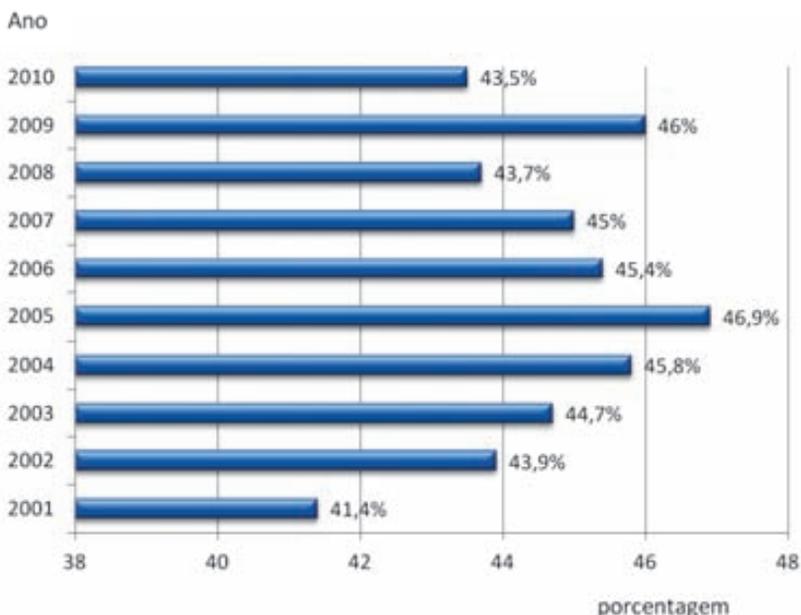
De um modo geral, o aumento do consumo de papel contribuiu para um incremento do uso de aparas na reciclagem. As cidades de São Paulo e Santa Catarina concentram boa parte (cerca de 80%) do consumo de aparas no Brasil.

### **Reciclagem de Papéis**

A reciclagem é fundamental na busca pela sustentabilidade. Uma tonelada de aparas pode evitar o corte de 10 a 12 árvores provenientes de reflorestamentos e o uso de aparas para a reciclagem leva à economia de insumos, em especial da água utilizada nos processos de produção a partir da celulose.

O setor de papéis vem apresentando um aumento significativo no uso de reciclados; e, em 2010, a taxa de recuperação – volume de papel reciclado sobre o total de papel que entrou no mercado brasileiro - foi de, aproximada-

mente, 44%, e este percentual tem se mantido estável nos últimos dez anos, conforme figura abaixo.

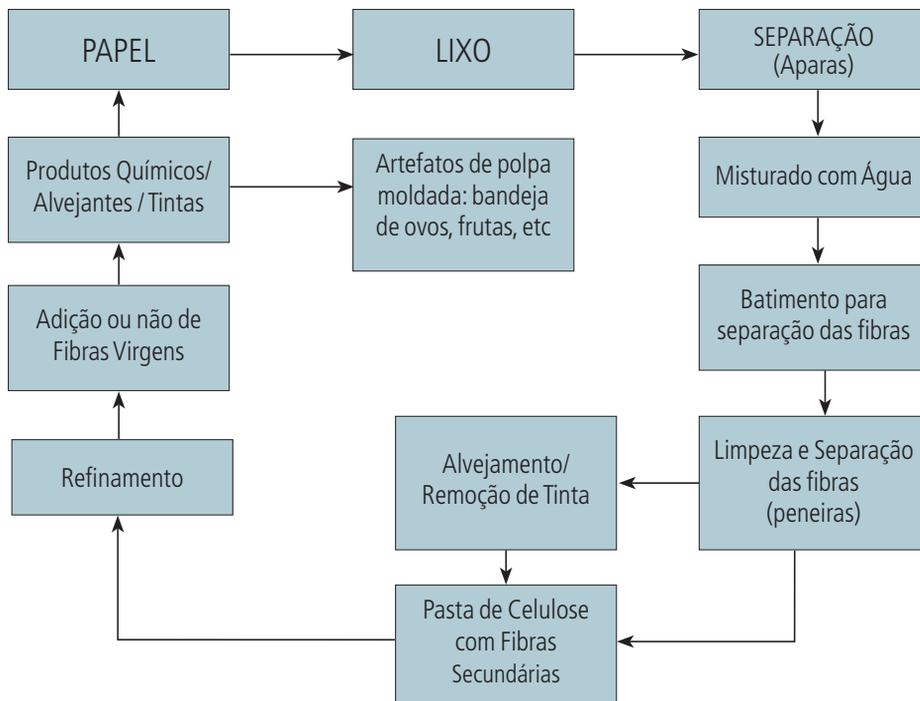


**FIGURA 34** - TAXA DE RECUPERAÇÃO DE APARAS POR ANO.

Fonte: Adaptado de BRACELPA, 2011 - por CPLA/SMA, 2012.

Estima-se que na fabricação de, aproximadamente, 1 tonelada de papéis corrugados, são necessárias cerca de 2 toneladas de madeira (o equivalente a 15 árvores), 44 a 100 mil litros de água e de 5 a 7,6 mil KW de energia. A produção desta mesma quantidade de papel gera, ainda, 18 Kg de poluentes orgânicos descartados nos efluentes e 88 Kg de resíduos sólidos. Os poluentes são compostos por fibras, breu (material insolúvel) e celulose (de difícil degradação). Já, no processo de reciclagem, o volume de água utilizado cai para 2 mil litros e o consumo de energia cai para 2,5 mil kW. Reciclar o papel, ao invés de fabricá-lo a partir da celulose, pode levar a uma redução de consumo de energia, emissão de poluentes e do uso da água, além de redução da porcentagem de papel descartado como resíduo sólido.

O processo de reciclagem depende do tipo de aparas/ papel pós-consumo a ser processado e do tipo de papel a ser fabricado. A Figura 35 ilustra, de forma geral, o processo de reciclagem de papel.



**FIGURA 35** - PROCESSO DE RECICLAGEM DO PAPEL  
 Fonte: Adaptado de Ambiente Brasil, 2008

Para que o papel seja passível de reciclagem com qualidade, ele não pode estar “contaminado” com materiais tais como ceras, plásticos, manchas de óleo e tintura, terra, pedaços de madeira, barbantes, cordas, metais, vidros, etc., que podem dificultar o processo de reciclagem. Por isso, adota-se uma subdivisão indicativa para papel reciclável e papel não reciclável. (Tabela 8)

| PODE SER RECICLADO | NÃO PODE SER RECICLADO      |
|--------------------|-----------------------------|
| Caixas de papelão  | Papéis sanitários           |
| Jornal             | Papéis plastificados        |
| Revistas           | Papéis metalizados          |
| Impressos em geral | Papéis parafinados          |
| Fotocópias         | Copos descartáveis de papel |
| Rascunhos          | Papel carbono               |
| Envelopes          | Fotografias                 |
| Papéis timbrados   | Fitas adesivas              |
| Cartões            | Etiquetas adesivas          |
| Papel de fax       | Papel vegetal               |

**TABELA 8** – CLASSIFICAÇÃO INDICATIVA PARA RECICLAGEM DE PAPÉIS.

Fonte: Adaptado de MEIRA, 2002 - por CPLA/SMA, 2010.

A reciclagem do papel, além dos fatores econômicos que propicia, contribui para a preservação dos recursos naturais (matéria-prima, energia e água), redução da poluição e dos resíduos sólidos urbanos gerados. Apesar de proporcionar todos estes benefícios, a indústria da reciclagem também consome energia e polui. Portanto, é fundamental o uso racional do papel e o consumo sustentável. Em paralelo, é imprescindível a estruturação da coleta seletiva e da logística reversa, e o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem.

## 4.5 Lâmpadas

### Caracterização

Existem vários tipos de lâmpadas, com várias tecnologias de iluminação, tonalidade, tamanho e poder luminoso. A lâmpada, inicialmente desenvolvida por Thomas Edson, em 1879, é hoje conhecida como incandescente. Esta pode conter ou não halogênio em seu filamento (o filamento é encerrado em um tubo

de quartzo contendo substâncias halógenas, como o bromo, o iodo e outras). Este tipo de lâmpada é pouco eficiente em termos energéticos, por dissipar muita energia na forma de calor, devido ao seu espectro de radiação – o espectro da lâmpada incandescente não se restringe à faixa de luz visível, e dissipa energia de modo desnecessário no infravermelho (faixa que libera calor).

O incremento tecnológico voltado à busca de lâmpadas mais eficientes, com menor dissipação de energia, levou ao desenvolvimento das lâmpadas de descarga fluorescente, que utilizam mercúrio líquido com um gás para condução de corrente elétrica. Estas lâmpadas podem ser:

- Fluorescentes;
- A vapor de mercúrio;
- A vapor de sódio;
- A vapor metálicas;
- De indução magnética; e
- Mistas (entre incandescente e de vapor de mercúrio).

As lâmpadas de descarga fluorescente utilizam a energia necessária para excitar os átomos de mercúrio, que ao retornarem a seu estado fundamental emitem fótons na faixa do ultravioleta. Esses fótons são absorvidos pelos sais de flúor (clorofluorofosfatos); que, por sua vez, liberam gradativamente a luminosidade na faixa do visível.

Foram desenvolvidas, ainda, as lâmpadas LED (Light Emitting Diode), lâmpadas formadas por diodos. Neste tipo de lâmpada, há cristais semicondutores (geralmente silício ou germânio) dopados por diferentes gases em sua formação. A dopagem consiste em introduzir elementos que deixam o cristal semicondutor com carga positiva ou negativa.

No caso do LED, o cristal é dopado de forma a ficar de um lado com carga positiva e do outro com carga negativa, sendo que entre esses dois extremos deve haver um material isolante que impeça a miscigenação dos elétrons entre os dois extremos. O LED é muito eficiente, pois emite radiação numa faixa estreita do espectro eletromagnético, sendo quase monocromático. É possível fabricar LEDs que emitem em diferentes cores da faixa

do visível, as cores irão depender da composição química do material semicondutor. Os LEDs mais comuns são feitos por ligas de gálio, arsênio e alumínio; alterando a proporção de gálio e alumínio é possível fabricar LEDs que emitem em várias cores do visível.



**FIGURA 36** - LÂMPADA INCANDESCENTE.  
Fonte: SMA, 2010.



**FIGURA 37** - LÂMPADA HALÔGENA.  
Fonte: SMA, 2010.



**FIGURA 38** - LÂMPADA FLUORESCENTE.  
Fonte: SMA, 2010.



**FIGURA 39** - LÂMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO.  
Fonte: SMA, 2010.

### **Eficiência Energética**

As lâmpadas incandescentes emitem cerca de 15 lumens por Watt, contra 60 a 90 lumens por Watt emitidos pelas fluorescentes; além disso, as incandescentes consomem 95% de energia na produção de calor, enquanto as fluorescentes quase não emitem calor. Existe, portanto, uma superioridade em eficiência energética proporcionada por lâmpadas fluorescentes em relação

às incandescentes. As lâmpadas fluorescentes têm eficiência luminosa 3 a 6 vezes maior e possuem vida útil 4 a 15 vezes mais longa que as lâmpadas incandescentes. Lâmpadas incandescentes custam cerca de R\$ 2,00, e duram cerca de 1.000 a 6.000 horas.

Apesar das lâmpadas fluorescentes custarem até dez vezes mais que as incandescentes, elas duram cerca de 7.500 a 12.000 horas. Desta forma, o uso das lâmpadas fluorescentes significa uma economia de, aproximadamente, R\$ 4,00 no primeiro ano, passando para uma economia de R\$ 10,00 por ano, nos cinco anos seguintes.

Segundo estudos de empresas do ramo de iluminação, um consumidor chega a economizar cerca de 80% com uma lâmpada fluorescente em relação ao que gastaria com uma incandescente. Para uma casa com 10 lâmpadas, considerando um período de 1 ano, a lâmpada incandescente de 100 W consome 1.012,6 kWh, enquanto que a fluorescente de 20 W consome 202,5 kWh. Neste caso, o valor gasto seria de R\$ 423,62 com a incandescente e de R\$ 128,88 com a fluorescente, o que gera uma economia, no caso do uso da lâmpada fluorescente, de R\$ 294,74, ou seja, de 70%. Em três anos, o valor poupado sobe para R\$ 958,94, com economia de quase 80% na conta de luz.

As lâmpadas LED, que vem sendo cada vez mais usadas na iluminação de ruas e fachadas, alcançam eficiência de até 100 lumens por Watt, e apresentam a vantagem de possuírem vida útil de 8 a 50 vezes maior que as lâmpadas fluorescentes, duram até 50.000 horas, significando baixa necessidade de manutenção. O custo destas lâmpadas no mercado nacional ainda se mostra elevado, chegando a 10 vezes o das lâmpadas fluorescentes.

### **Mercado de Lâmpadas no Brasil**

No Brasil, a quantidade média de lâmpadas em cada lar, em 1988, era de 6 unidades incandescentes e 1,3 unidades fluorescentes; após o racionamento de energia a média passou, em 2005, a 4 unidades incandescentes e 4 unidades fluorescentes. O mercado de lâmpadas eficientes (lâmpadas fluorescentes dentre outras) tem crescido cerca de 30% ao ano, desde o “apagão” de 2001,

sendo que, de 2006 a 2007, o crescimento foi entre 20% a 25%. Hoje se consome, no Brasil, cerca de 11 milhões de lâmpadas fluorescentes por ano. Apesar deste crescimento, mais de 50% da iluminação residencial ainda é feita com lâmpadas incandescentes.

A utilização de lâmpadas fluorescentes vem acompanhada de um grande volume de importações. Hoje, mais de 95% das lâmpadas fluorescentes comercializadas no Brasil são produzidas na China - maior produtor mundial. Vários estudos sinalizam que a importação de lâmpadas eficientes tende a aumentar, porque o Brasil não desenvolveu processo de produção viável de lâmpada fluorescente.

O seguimento de Iluminação Residencial e Decorativa concentra o maior número de empresas do setor atuantes no Brasil, em seguida tem-se o de Iluminação Comercial e Industrial. No Brasil, o setor de iluminação apresenta um predomínio de Micro e Pequenas Empresas (MPEs).

Levantamento realizado pela Associação Brasileira de Indústria de Iluminação (ABILUX), junto a 13% das 604 empresas cadastradas, que atuam, em média, há 20 anos no mercado, mostrou que 58% das empresas encontram-se na Grande São Paulo, 17% no interior do Estado de São Paulo. Os 25% restantes estão distribuídos nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Bahia e Pernambuco.

### **A questão do Mercúrio**

As lâmpadas fluorescentes atuais possuem cerca de 21 mg de mercúrio, variando de acordo com o tamanho, tipo e fabricante. Segundo a National Electrical Manufacturers Association (NEMA), a quantidade de mercúrio nas lâmpadas vem diminuindo, desde 1985, sendo que, entre 1995 e 2000, foi reduzida em cerca de 40%.

Dados fornecidos pela NEMA indicam que 0,2% da quantidade de mercúrio contida nas lâmpadas, ou seja, 0,042 mg, estão sob a forma de mercúrio elementar, no estado de vapor. O restante, 99,8% (20,958 mg), estão sob a forma de  $Hg^{2+}$ , adsorvido sobre a camada fosforosa e o vidro.



**FIGURA 38** - LÂMPADA FLUORESCENTE.  
Fonte: SMA, 2010.



**FIGURA 39** - LÂMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO.  
Fonte: SMA, 2010.

Análises químicas feitas com várias amostras de pó de fósforo de lâmpadas de diversas marcas, novas e usadas, revelaram que diversas formas iônicas de mercúrio ( $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}^{1+}$  e  $\text{Hg}^{2+}$ ) são encontradas nos resíduos. O  $\text{Hg}^0$  é a forma neutra do mercúrio, que é colocada nas lâmpadas durante sua confecção. As formas catiônicas são resíduos decorrentes da oxidação do mercúrio em sua forma neutra.

A forma mais perigosa do mercúrio no ambiente é  $\text{Hg}^{2+}$ , pois nesta forma o mercúrio pode ser metilado e formar as espécies mais tóxicas do metal, ou ainda formar espécies mais solúveis, podendo ser lixiviado para corpos d'água.

O mercúrio pode causar riscos diretos à saúde humana, tais como efeito cumulativo no organismo (bioacumulação), danos aos rins e cérebro e má formação fetal. Estes riscos ressaltam a importância da reciclagem das lâmpadas fluorescentes pós-consumo. (ROMERO, 2006; JÚNIOR e WINDMÖLLER, 2008) Outras substâncias perigosas encontradas em menor quantidade nas lâmpadas fluorescentes são o chumbo (presente no vidro), o cádmio e o antimônio.

Pilhas e baterias, equipamentos elétricos (lâmpadas de mercúrio entre outros), e termômetros são responsáveis por mais de 90% do mercúrio encontrado nos resíduos sólidos urbanos nos Estados Unidos.

### **Reciclagem de Lâmpadas**

Hoje, cerca de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes, que contêm, no mínimo, uma tonelada de mercúrio, são consumidas por ano no Brasil. Do

total de lâmpadas fluorescentes consumidas, 94% são descartadas em aterros de resíduos sólidos domiciliares, gerando grandes riscos de contaminação do ambiente, principalmente durante o manuseio e na quebra das lâmpadas, por causa do mercúrio.

No caso das lâmpadas incandescentes, estas não são recicladas no Brasil, uma vez que nenhum de seus constituintes apresenta valor comercial que justifique a separação para sua recuperação. Por outro lado, seu descarte não representa um risco ambiental como no caso das lâmpadas fluorescentes.

De uma forma geral, as tecnologias de tratamento das lâmpadas fluorescentes visando à reciclagem de seus componentes são:

- **Moagem simples** – neste processo, quebra-se a lâmpada e um sistema de exaustão capta o mercúrio; esta tecnologia não separa os outros componentes. Entre os sistemas utilizados, o mais comum é conhecido mundialmente como *bulb eater*, formado por um moinho de lâmpadas que é encaixado sobre um tambor metálico, com um sistema de exaustão, que capta o vapor de mercúrio. O vapor passa por dois filtros: um de tecido e um de carvão ativado, com 15% de enxofre amarelo em peso. O mercúrio que evapora é retido na forma de sulfeto de mercúrio (insolúvel). A popularidade deste sistema é devida à praticidade (pequeno, de fácil mobilidade e mais barato que outras tecnologias). O sistema pode estar adaptado a um leito vibratório seguido de uma peneira, para separação dos outros materiais. Um dos aspectos negativos dessa tecnologia é que ela não retira o mercúrio impregnado nas partes internas dos vidros;
- **Moagem com tratamento térmico** - é o processo em operação mais usual em várias partes do mundo. Duas são as fases básicas: a de esmagamento e a de destilação do mercúrio. No esmagamento, temos a separação dos componentes em cinco classes: terminais de alumínio, pinos de latão/ componentes ferro-metálicos, vidro, poeira fosforosa rica em mercúrio e isolamento baquelítico. No início da moagem, há separação de poeira de fósforo contendo mercúrio, após as lâmpadas serem quebradas. Após o esmagamento, as partículas restantes passam por separação

centrífuga e por pulso reverso - a poeira é retirada deste filtro e transferida para uma unidade de destilação para a recuperação do mercúrio. O vidro e os outros componentes são limpos, testados para contaminação por mercúrio e enviados para a reciclagem. A poeira é encaminhada para a retortagem, onde o mercúrio é aquecido até sua vaporização (fase de recuperação do mercúrio contido na poeira de fósforo). Esse material vaporizado é condensado e coletado por decantadores especiais e depois, com um tratamento adicional (por exemplo, borbulhamento em ácido nítrico), o material é purificado. Esse processo foi desenvolvido na década de 70, pela Mercury Recovery Technology - MRT da Suécia. Apesar de ser considerada uma excelente alternativa, a tecnologia ainda é cara, devido à pequena escala de produção;

- **Moagem com tratamento químico** - pode ser dividida, também, em duas fases: esmagamento e contenção do mercúrio. O esmagamento é feito com a lavagem do vidro; a quebra da lâmpada ocorre sob a água, para que o mercúrio seja retido e logo após são separadas as partes com vidro e metal, para que estas sejam levadas para a reciclagem. O líquido de lavagem é decantado ou filtrado para remoção do pó de fósforo. O líquido contendo mercúrio é tratado quimicamente com sulfetos, sulfatos ou sulfitos de sódio, de forma que o mercúrio forme um precipitado de HgS (insolúvel). O precipitado é filtrado e a água pode ser reutilizada no processo. O precipitado passa, então, por um processo de destilação onde o mercúrio é retirado para reciclagem. Como neste processo há a utilização de água, é importante que esta seja constantemente reciclada;
- **Tratamento por sopro** - processo criado especialmente para lâmpadas em formato tubular - a integridade do tubo de vidro é mantida. O procedimento inicial é a quebra dos soquetes (contendo alumínio) das extremidades, por um sistema de aquecimento e resfriamento. Com a retirada dos soquetes, o tubo de vidro recebe um sopro de ar em seu interior e o pó de fósforo com mercúrio é retirado, passando por um sistema de ciclones e

filtro com carvão ativado, que retira o fósforo contido na mistura. Apesar de não fazer a remoção de todo o mercúrio da lâmpada, este sistema evita que o mercúrio gasoso escape para o ambiente. O Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC) da USP desenvolveu um tipo de tratamento por sopro, que utiliza um sistema a vácuo de alta temperatura. O equipamento separa o mercúrio de outros materiais (como cobre pó fosfórico, alumínio e vidro). O equipamento permite, também, que, com a extração do mercúrio, este seja reutilizado, bem como que os outros materiais sejam reutilizados ou levados às indústrias que os reciclam, sem risco de contaminação por mercúrio; e

- **Processo de solidificação** – Primeiro há o esmagamento (a lâmpada é quebrada por via seca ou úmida) e os materiais resultantes são encapsulados em concreto ou materiais ligantes e enviados a aterros.

Há, ainda, estudos que dividem estes processos de tratamento em: tratamento térmico (equivale ao de moagem com tratamento térmico), lixiviação ácida (equivale ao de moagem com tratamento químico), estabilização (equivale ao processo de solidificação) e incineração; sendo que apenas os dois primeiros processos de tratamento permitem a recuperação do mercúrio, logo são os mais recomendados.

### **Legislação**

Um dos principais problemas relativos às lâmpadas é a disposição inadequada dos resíduos sólidos, provenientes, sobretudo, das residências. A disposição por grandes geradores industriais ou comerciais já é regulamentada por lei, sendo que normas e sistemas de certificações existentes são os maiores responsáveis pela adoção de formas de disposição adequada. Os principais documentos legais sobre lâmpadas fluorescentes estão listados em Legislação e Normas Técnicas.

Como citado anteriormente, no âmbito federal e estadual este tipo de produto se enquadra na logística reversa e responsabilidade pós-consumo, respectivamente.

A Norma NBR 10.004 da ABNT foi publicada em 1987 e revisada em 2004. Nesta nova versão, os resíduos são classificados em três tipos: Classe I (perigosos), Classe II-A (não inertes) e Classe II-B (inertes). A Norma especifica que as lâmpadas com vapor de mercúrio, após o uso, são classificadas como resíduo perigoso Classe I.

A Norma NBR 10.005 da ABNT, de 1987, define o teste de lixiviação como sendo aquele em que simula em laboratório as condições mais inadequadas possíveis nos processos de deposição (quando os resíduos das lâmpadas são misturados com outros) e verifica o quanto de mercúrio é extraído do resíduo nessas condições. A fase líquida constituirá o lixiviado que é analisado.

No Estado de São Paulo, há a Lei nº 10.888, de 2001, que dispõe sobre a necessidade do descarte adequado de produtos potencialmente perigosos que contenham metais pesados, dentre outros; e o Decreto nº 45.643, de 26 de janeiro de 2001, que dispõe sobre a obrigatoriedade da aquisição pela Administração Pública Estadual de lâmpadas de maior eficiência energética e com o menor teor de mercúrio possível, além de tratar de assuntos correlatos.

Muitas leis municipais dispõem sobre a necessidade de se implantar o descarte correto de resíduos focando, principalmente, em coleta seletiva. No caso do município de São Paulo, a Lei Municipal nº 12.653, de 1998, fixa normas que estabelecem a maneira correta de descarte de lâmpadas fluorescentes e dá outras providências.

Apesar de constatada a maior eficiência energética das lâmpadas fluorescentes em relação às incandescentes, o volume de resíduos perigosos gerados pelas fluorescentes representa uma grave ameaça ao meio ambiente e à saúde do ser humano, uma vez que o mercúrio é um metal altamente tóxico ao organismo. Argumentos a favor do uso de lâmpadas fluorescentes dizem respeito ao menor consumo de energia e ao menor volume de resíduos gerados; porém, estes argumentos só podem ser considerados se o uso em larga escala for implementado em regiões onde há esforços de conscientização que objetivem a destinação adequada dos resíduos, que inclui o envio destes para sistemas adequados de tratamento. Cabe por fim ressaltar o surgimento das

lâmpadas de LED, que apresentam maior eficiência energética sem apresentar riscos associados ao mercúrio.

Para que o uso dos diversos tipos de lâmpadas seja feito sem que se gerem maiores riscos ao meio ambiente e à saúde do ser humano, é necessário um sistema de gerenciamento de resíduos eficiente, bem como o aprimoramento de tecnologias de descontaminação e reciclagem.

## 4.6. Eletroeletrônicos

### Caracterização

Os equipamentos eletroeletrônicos são os televisores, rádios, telefones celulares, eletrodomésticos portáteis, todos os equipamentos de informática, vídeos, filmadoras, ferramentas elétricas, DVDs, lâmpadas fluorescentes, brinquedos eletrônicos e milhares de outros produtos concebidos para facilitar a vida moderna. Como estes produtos têm um tempo curto de vida, já que inovações tecnológicas ocorrem cada vez mais rapidamente, também se tornam resíduos em curto espaço de tempo. Resíduo eletroeletrônico é todo o resíduo resultante da rápida obsolescência de equipamentos eletroeletrônicos.

O resíduo eletroeletrônico tem muitos componentes, desde elementos químicos simples a hidrocarbonetos complexos; os metais são os elementos químicos mais encontrados - em muitos equipamentos este número chega a mais de 70 diferentes tipos de metais. Podem ser encontrados nos resíduos eletroeletrônicos os plásticos e outros polímeros, os vidros e os compostos cerâmicos. Se houver um bom gerenciamento, essa sucata eletrônica pode ser reaproveitada.

### Principais Problemas Associados ao Descarte Inadequado

Vários são os problemas resultantes da destinação inadequada dos resíduos eletroeletrônicos. Quando descartados em aterros não controlados, eles podem contaminar o solo e o subsolo, bem como as águas subterrâneas. Dentre os principais problemas relacionados a tais resíduos, destacam-se a con-

taminação do meio ambiente por resíduos perigosos e o aumento do volume de material a ser gerenciado para efeito de reaproveitamento dos materiais.

A Tabela 9 destaca as principais substâncias perigosas dos resíduos eletrônicos e os principais efeitos dessas substâncias nos seres humanos.

| SUBSTÂNCIA                         | EFEITOS NOS SERES HUMANOS   |
|------------------------------------|---|
| <b>Mercúrio</b>                    | Problemas de estômago, distúrbios renais e neurológicos, alterações genéticas e no metabolismo.                       |
| <b>Cádmio</b>                      | Agente cancerígeno, afeta o sistema nervoso, provoca dores reumáticas, distúrbios metabólicos e problemas pulmonares. |
| <b>Zinco</b>                       | Provoca vômitos, diarreias e problemas pulmonares.  |
| <b>Manganês</b>                    | Anemia, dores abdominais, vômito, seborréia, impotência, tremor nas mãos e perturbações emocionais.                   |
| <b>Cloreto de Amônia</b>           | Acumula-se no organismo e provoca asfixia.  |
| <b>Chumbo</b>                      | Irritabilidade, tremores musculares, lentidão de raciocínio, alucinação, insônia e hiperatividade.                    |
| <b>Arsênico</b>                    | Causa doenças de pele, prejudica o sistema nervoso e pode causar câncer no pulmão.                                    |
| <b>Berílio</b>                     | Causa câncer no pulmão.   |
| <b>Retardantes de Chamas (BRT)</b> | Causam desordens hormonais, nervosas e reprodutivas.  |
| <b>Policloreto de Vinila (PVC)</b> | Se queimado e inalado pode causar problemas respiratórios.  |

**TABELA 9** - SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS PRESENTES EM RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E SEUS EFEITOS NOS SERES HUMANOS  
 Fonte: Adaptado de PALLONE, 2009; FAVERA, 2008 - por CPLA/SMA, 2010

Os riscos à saúde apresentados na Tabela 9 poderiam ser minimizados se houvesse o devido reaproveitamento e reciclagem dos eletroeletrônicos descartados.

### **Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos**

A reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos é fundamental para que se evitem os problemas apresentados. A maior dificuldade na reciclagem está na separação dos materiais que constituem este tipo de resíduo; pois, além de demandar processos específicos, os custos econômicos podem inviabilizá-la.

Para que um produto seja efetivamente reciclado na sociedade atual, é necessário que o processo de reciclagem proporcione retorno econômico. A reciclagem de produtos como fios e cabos elétricos de cobre, placas de circuito impresso (PCIs) e outros componentes que possuem cobre, ouro e platina, dentre outros metais que têm alto valor comercial, são mais viáveis economicamente. Muitas vezes, a viabilidade também está associada aos processos de separação adotados.

O início da reciclagem se dá na separação dos diversos componentes. Os processos de separação podem ser mecânicos ou eletroquímicos. Os processos mecânicos servem para separar os metais das frações plásticas, das frações cerâmicas e do vidro. Já, os processos eletroquímicos separam os diferentes metais que se encontram misturados. Após a separação ocorre o beneficiamento dos materiais.

As PCIs são componentes muito utilizadas em microcomputadores, TVs, videocassetes, etc. Estas placas possuem 49% de materiais cerâmicos, vidros e óxidos; 19% de plásticos; 4% de bromo e 28% de metais. (VEIT, 2008) A reciclagem desse material pode ser realizada nas seguintes etapas:

- **Cominuição em moinhos de facas:** trituração do material até que se atinja frações granulométricas inferiores a 1 mm. Os grânulos são segregados em frações de diferentes tamanhos para que se facilite o processo de separação magnética;

- **Separação Magnética:** cada fração cominuída é separada magneticamente em um separador magnético de esteira por via seca (campo magnético de, aproximadamente, 6000 a 6500 Gauss). Desta etapa saem frações magnéticas e não magnéticas. A fração não magnética é, então, enviada a um separador eletrostático, que separa materiais condutores dos não condutores;
- **Separação Eletrostática:** por meio de eletrodos ionizantes, o separador eletrostático divide a fração não magnética em materiais condutores e não condutores;
- **Eletro-obtenção:** neste processo de beneficiamento dos materiais não magnéticos condutores, são utilizadas soluções com substâncias químicas (como água régia e ácido sulfúrico), que possibilitam a obtenção do cobre, estanho e chumbo separadamente. (VEIT e BERNARDES, 2006)

Outros componentes muito utilizados em equipamentos eletroeletrônicos são os fios e cabos. Os processos de reciclagem de fios e cabos elétricos são:

- **Moagem:** os fios e cabos são moídos para serem enviados à separação granulométrica;
- **Separação Granulométrica:** o material moído é separado em peneiras com diferentes aberturas, que são agitadas mecanicamente;
- **Separação Manual:** com uma pinça, as frações obtidas nas diferentes peneiras são separadas manualmente em: metal, polímero e metal mais polímero;
- **Separação em Meio Denso:** utiliza-se uma solução (de cloreto de cálcio, por exemplo) que irá separar os materiais com diferentes densidades (PVC e fios de cobre) por decantação;
- **Separação Eletrostática:** similar à separação eletrostática no caso das PCIs, ou seja, o material é separado em condutor, não condutor e intermediário;
- **Atrição:** processo que permite maior liberação do material que ainda está agregado em frações granulométricas, por meio do atrito;

- **Bateamento:** uma bateia com o material que sai da atrição é emersa pela metade em uma bacia e, vagarosamente, em movimentos circulares, vai se separando o PVC, que cai na bacia com água, do cobre que continua na bateia;
- **Elutrição:** processo que termina de separar o cobre do PVC, por meio de uma corrente de água que passa em um elutriador de vidro; o cobre desce e o PVC sobe seguindo a corrente de água para um recipiente onde é coletado (ARAÚJO et al., 2008).

### Incentivos à Reutilização e Reciclagem

Um dos principais problemas no descarte de resíduos eletroeletrônicos diz respeito à importação desses resíduos por países de terceiro mundo. Muitos resíduos vêm dos países desenvolvidos em navios, dentro de contêineres, de forma clandestina e são simplesmente descartados sem nenhuma forma de tratamento.

A *Basel Action Network* (BAN), uma ONG ambientalista que fiscaliza a crescente indústria de reciclagem de eletroeletrônicos, informou que 40 empresas aderiram ao programa para certificação de controlador eletrônico (*E-Steward*), no qual se comprometem a não exportar para países mais pobres. Já, o *Institute of Scrap Recycling Industries* (ISRI), uma entidade que integra um grupo de empresas do setor de reciclagem, discorda desta ação. Para a entidade, o certo seria que se permitisse a exportação, mas apenas de produtos recicláveis.

Um exemplo de ação governamental, visando à reciclagem do resíduo eletroeletrônico, foi o projeto “e-lixo maps”, resultado da parceria entre a SMA e o Instituto Sérgio Motta, que se constitui por uma página na internet ([www.e-lixo.org](http://www.e-lixo.org)), que indica a localização de postos de recebimento de lixo eletrônico mais próximo da pessoa interessada em fazer o descarte. A ideia para este projeto surgiu após a realização, por parte da Secretaria Estadual do Meio Ambiente, da campanha “Mutirão do Lixo Eletrônico – Recicle. Não descarte essa ideia”. A ação, que aconteceu no dia 30 de outubro de 2008, teve

como objetivo arrecadar pilhas, baterias, celulares e carregadores em centenas de pontos de coleta espalhados pela Capital e em 372 municípios.

Os principais fatores que incentivam a reciclagem e a reutilização de eletrônicos são:

- A **economia** que as empresas alcançam ao reciclar e reutilizar os resíduos na confecção de seus produtos;
- A **boa imagem** que as empresas que reciclam seu material passam aos consumidores por demonstrarem preocupação com o meio ambiente e com a saúde humana; e
- As **legislações** impostas por alguns países ou blocos econômicos. Desde agosto de 2006, a ONG ambientalista **Greenpeace** divulga a cada quatro meses o Guia de Eletrônicos Verdes, um guia que mostra em um ranking, quais os principais fabricantes que se preocupam com a sustentabilidade do sistema. Dentre os problemas observados constam o recolhimento de aparelhos descartados (baterias de celulares, por exemplo), menor uso de substâncias tóxicas na produção e substituição de materiais por outros menos tóxicos ou poluentes.

#### 4.7. Pilhas e Baterias

Com composições extremamente variadas e largamente utilizadas no dia a dia - nas residências, comércios e indústrias - as pilhas e baterias se tornaram um resíduo abundante na sociedade atual.

Uma pilha é um dispositivo que gera eletricidade a partir da transformação da energia química. Existem dois tipos básicos de pilhas: primárias (não recarregáveis) e secundárias (recarregáveis).

Uma bateria é uma associação de pilhas agrupadas em um único contêiner. Quando a tensão fornecida por uma pilha é insuficiente para o funcionamento de um equipamento, duas ou mais pilhas são associadas formando uma bateria, com a finalidade de gerar a tensão necessária. Assim, por exemplo, uma lanterna de 3 V utiliza duas pilhas de 1,5 V.

As pilhas e baterias podem ser diferenciadas umas das outras quanto às reações químicas que geram energia, ou seja, quanto aos seus componentes químicos. Assim, embora algumas sejam denominadas de forma especial, todas elas podem ser classificadas nos tipos descritos a seguir.

### **Tipos de Pilhas e Baterias:**

#### **a) Primárias**

Dentre as inúmeras pilhas e baterias primárias comercializadas, as que se destacam no mercado nacional são as secas do tipo zinco-carbono. São produzidas em dimensões padronizadas internacionalmente nas formas cilíndricas, tipo botão e tipo moeda. A preferência pela forma cilíndrica ocorre pela maior facilidade de produção quando comparada com as demais formas.

São amplamente utilizadas em lanternas, rádios e relógios. O termo “seca” é utilizado neste caso, pois o eletrólito está em estado pastoso, e não líquido.

As pilhas secas cilíndricas contêm em sua composição zinco (Zn), grafite (carbono) e dióxido de manganês ( $MnO_2$ ); além destas substâncias, contêm, também, mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), usados para revestir o eletrodo de zinco e, assim, reduzir a corrosão, aumentando o desempenho. Exemplos de algumas pilhas primárias são: zinco / dióxido de manganês (Leclanché); zinco / cloreto (Heavy Duty); zinco / dióxido de manganês (alcalina); e zinco / óxido de prata, dentre outras. As pilhas e baterias primárias não podem ser recarregadas, pois a reação química acaba por destruir um dos eletrodos, normalmente o negativo (ânodo).

#### **Zinco / Dióxido de Manganês (Leclanché)**

Inventada pelo químico francês George Leclanché, em 1860, a pilha de zinco / dióxido de manganês é a mais comum das baterias primárias, tem formato cilíndrico, de diversos tamanhos. O eletrólito é pastoso, formado pela mistura de cloreto de amônio e cloreto de zinco. O ânodo é de

zincos metálicos, usados na forma de chapa para confecção da caixa externa da pilha. O cátodo é um bastão de grafite, geralmente cilíndrico, rodeado por uma mistura em pó de dióxido de manganês e grafite. (Figura 40)

Contém, em média, 0,01% de Hg, sob a forma de  $\text{HgCl}_2$ , que reage com a superfície interna do invólucro de Zn e, também, 0,01% de Cd (em massa), além de  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  e  $\text{ZnCl}_2$ , que têm propriedades ácidas.

### **Zinco / Cloreto (*Heavy Duty*, ou de Alto Desempenho)**

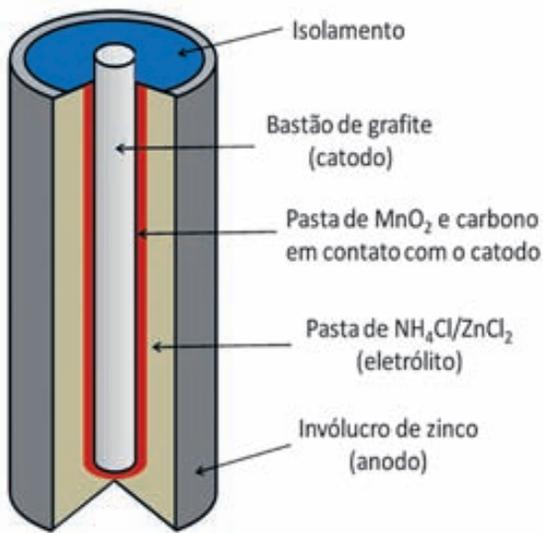
Produzidas geralmente em formato cilíndrico e em diversos tamanhos, são similares às de zinco / dióxido de manganês na construção, mas sua durabilidade é 40% superior - são mais resistentes a vazamentos e suportam maiores variações de temperatura. Contém, em média, 0,01% de Hg e 0,01% de Cd em massa.

### **Zinco / Dióxido de Manganês (Alcalina)**

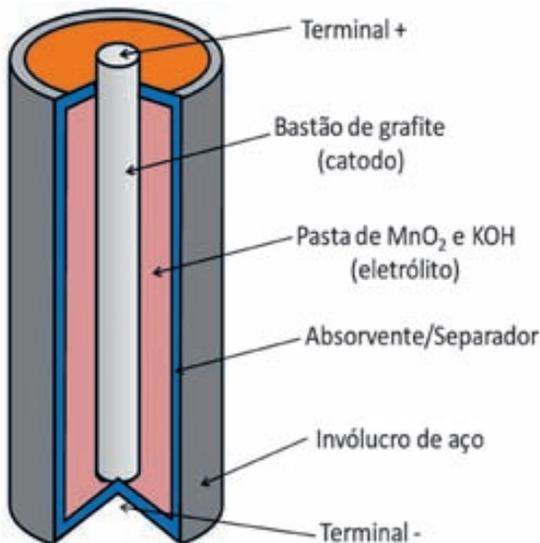
É uma concepção modificada da pilha Leclanché, sendo geralmente produzida nos mesmos formatos. Possui alto desempenho (uma única pilha alcalina chega a durar 3,5 vezes mais tempo que as pilhas comuns) e maior resistência a altas temperaturas; contudo, seu custo é mais elevado.

Estruturalmente os eletrodos são os mesmos que aqueles da pilha Leclanché, porém o eletrólito é uma solução aquosa de hidróxido de potássio concentrado e óxido de zinco em menor quantidade, o pH desta solução é próximo a 14, daí a denominação alcalina para esta pilha. O recipiente externo é confeccionado em chapa de aço niquelado, para oferecer maior segurança contra vazamentos do eletrólito e garantir melhor vedação. (Figura 41)

Dependendo dos padrões estabelecidos por cada país, as pilhas alcalinas podem conter de 0,5 a 1% em massa de Hg amalgamado com o Zn em pó. Contudo, há países em que as pilhas alcalinas contêm apenas 0,025% de Hg metálico.



**FIGURA 40**- PILHA DE ZINCO / DIÓXIDO DE MANGANÉS (LECLANCHÉ).  
Fonte: Flávio M. Vichi, IQ / USP.



**FIGURA 41**- PILHA DE ZINCO / DIÓXIDO DE MANGANÉS (ALCALINA)  
Fonte: Flávio M. Vichi, IQ / USP.

## **Zinco / Óxido de Prata**

As pilhas de óxido de prata são, na maioria dos casos, utilizadas em equipamentos de emergência. São produzidas, principalmente, na forma de botão, portanto são leves, pequenas e possuem alto desempenho. Sua produção em tamanhos maiores só ocorre por encomenda, em situações em que seu alto desempenho é mais importante que o custo elevado, já que o custo da prata torna proibitiva sua comercialização em larga escala. O catodo é de óxido de prata, o anodo é de zinco, e o eletrólito é uma solução de hidróxido de sódio ou potássio. Possui cerca de 1% (em massa) de Hg.

### **b) Secundárias**

Uma pilha ou bateria é considerada secundária (recarregável) quando é capaz de suportar 300 ciclos completos de carga e descarga, com 80% da sua capacidade. Diferentemente das baterias primárias, as baterias secundárias são usadas, principalmente, em aplicações que requerem alta potência (maiores correntes elétricas num menor tempo) como, por exemplo, aparelhos sem fio, notebooks, telefones celulares e outros produtos eletrônicos.

As pilhas/baterias secundárias que dominam o mercado nacional são: chumbo-ácido (Pb-ácido), níquel-cádmio (Ni-Cd), níquel-hidreto metálico (Ni-MH) e íons lítio (Li-íon). Um cuidado que devemos ter ao descrever as pilhas secundárias é quanto à denominação dos terminais positivo (catodo) e negativo (anodo), já estes se invertem durante a recarga. Neste texto, os termos anodo e catodo se referem sempre ao processo de descarga, ou seja, quando a pilha gera energia útil. A seguir, estão descritos os princípios de funcionamento de algumas pilhas/baterias secundárias comumente encontradas no mercado nacional. (tabela 10)

| CARACTERÍSTICAS              | Ni-Cd    | Ni-MH       | ÍONS LÍTIO   |
|------------------------------|----------|-------------|--------------|
| Densidade de energia (Wh/Kg) | 40 - 60  | 60 - 80     | 100          |
| Ciclo de Vida*               | 1500     | 500         | 500 - 1000   |
| Tolerância à sobrecarga      | moderada | baixa       | muito baixa  |
| Tempo de carga rápida        | 1 hora   | 2 - 4 horas | 8 - 15 horas |
| Uso comercial desde          | 1950     | 1990        | 1991         |

\* Quantidade de ciclos de carga/descarga para a capacidade da bateria decair de 100% a 80 %.

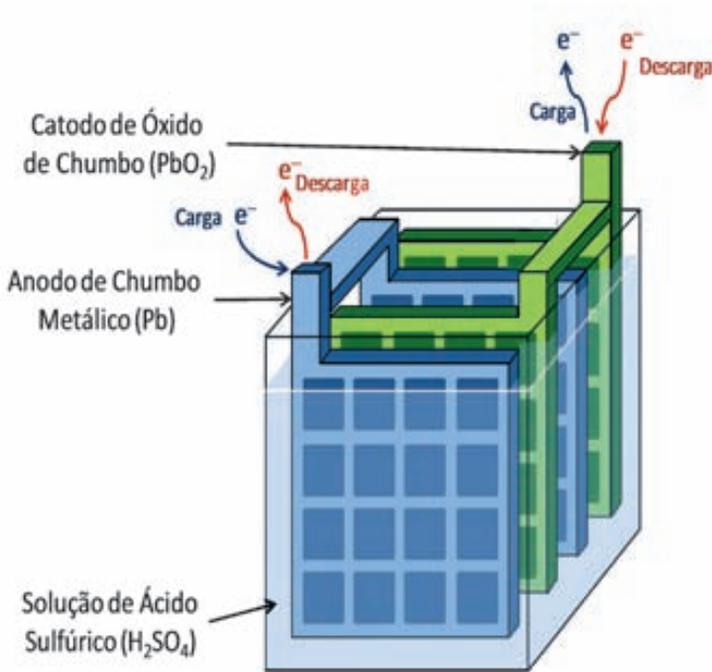
**TABELA 10** - QUADRO COMPARATIVO ENTRE BATERIAS RECARREGÁVEIS PORTÁTEIS  
 Fonte: Adaptado de Tenório e Espinosa (2009) - por CPLA/SMA, 2010

### Chumbo-ácido (Pb-ácido)

As pilhas / baterias chumbo-ácido são muito utilizadas, tendo como principal vantagem em relação às demais o baixo custo. Os principais tipos de pilhas / baterias chumbo -ácido são:

- **Automotivas** - usadas em veículos em geral, para alimentar os sistemas de partida, iluminação e ignição;
- **Industriais** - usadas para tracionar motores de veículos elétricos e em serviços que não podem ter o fornecimento de energia elétrica interrompido (companhias telefônicas, hospitais, etc.);
- **Seladas** - de menor tamanho, usadas para alimentar no-breaks, computadores, luzes de emergência, etc.

Uma pilha / bateria chumbo-ácido é composta por anodo e catodo de chumbo esponjoso; o eletrólito é composto por 35 % de ácido sulfúrico e 65 % de água destilada, o contêiner geralmente é de plástico (polipropileno e/ou polietileno), tendo formato cilíndrico ou tetragonal. (Figura 42)



**FIGURA 42** – BATERIA CHUMBO-ÁCIDO (PB-ÁCIDO)

Fonte: Flávio M. Vichi, IQ / USP.

### Níquel-cádmio (Ni-Cd)

As baterias de níquel-cádmio apresentam uma tecnologia muito difundida de baterias recarregáveis portáteis. São econômicas, têm excelentes características técnicas e longa vida útil, funcionando mesmo em condições extremas de temperatura. Fabricadas nos formatos de botão e cilíndrico, são amplamente utilizadas em equipamentos médicos de emergência, notebooks, telefones celulares, produtos eletrônicos sem fio e outros. Representam cerca de 70% do mercado das baterias recarregáveis.

As baterias de níquel-cádmio têm um eletrodo de cádmio (ânodo) e outro de óxido-hidróxido de níquel  $NiO(OH)$  (cátodo); o eletrólito é de hidróxido de potássio e o recipiente externo, geralmente, é de aço inoxidável.

### Níquel-hidreto Metálico (Ni-MH)

As baterias de níquel-hidreto metálico possuem características operacionais muito semelhantes às de níquel-cádmio. São baterias recarregáveis portáteis, geralmente produzidas nos formatos cilíndrico e prismático. O hidreto metálico é composto por uma liga metálica que tem grande capacidade de absorção de hidrogênio e atua como anodo. Esta liga metálica pode ser composta por: vanádio, titânio, nióbio, cromo, estanho, antimônio, alumínio, cobalto, zircônio, germânio, lantânio e seus compostos, entre outros. O catodo é de hidróxido de níquel ( $\text{Ni(OH)}_2$ ) e o eletrólito de hidróxido de potássio (KOH). O anodo e catodo estão na forma de filmes flexíveis enrolados e separados por filmes de material fibroso (tecido de fibras fundidas de poliamida ou polipropileno) que retêm o eletrólito.

### Íons Lítio (Li-íon)

Por terem alto potencial eletroquímico e serem constituídas do mais leve dos metais (o lítio é 30 vezes mais leve que o chumbo), as baterias de íon lítio são baterias recarregáveis portáteis, que têm melhor desempenho que as baterias de níquel-cádmio - maior densidade de energia, menor tamanho e maior leveza. (Figura 43)



**FIGURA 43** - EXEMPLO DE BATERIA DE LÍCIO ÍON.

Fonte: Acervo SMA, 2010

São produzidas nos formatos cilíndrico e prismático e são largamente utilizadas em notebooks, telefones celulares, equipamentos eletrônicos portáteis, câmeras de vídeo, etc. Estas baterias utilizam íons lítio, na forma de

sais do metal, dissolvidos em solventes (carbonato de dimetila e/ou carbonato de etileno) no eletrólito. No anodo, o grafite é o material usado com maior frequência, por ser capaz de intercalar reversivelmente os íons lítio entre as camadas de carbono, sem alterar, significativamente, a estrutura. O catodo contém, geralmente, óxido de cobalto e lítio –  $\text{LiCoO}_2$ . Entre o anodo e o catodo há um separador polimérico, normalmente de polietileno ou polipropileno. O contêiner é, em geral, de alumínio ou aço inoxidável. Uma nota importante sobre as baterias de íon lítio é que este tipo de bateria é uma das principais apostas da indústria automobilística para uma nova geração de carros, os carros elétricos ou híbridos.

### **Reciclagem de Pilhas e Baterias**

O descarte das pilhas e baterias nos resíduos sólidos domiciliares vem sendo restringido em diversos países. No Brasil, este descarte é regulamentado pela Resolução CONAMA 401, de 2008, que estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado. Seu descarte e destinação ambientalmente adequados também estão contemplados na Política Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, por meio da logística reversa e responsabilidade pós-consumo.

Como alternativa ao descarte, há os processos de reciclagem dos metais e outros materiais presentes nas pilhas e baterias. As tecnologias para a reciclagem de pilhas e baterias começaram a ser pesquisadas e desenvolvidas na década de 80. Atualmente, são três as tecnologias aplicadas na reciclagem de pilhas e baterias:

- A mineralúrgica, baseada em operações de tratamento de minérios;
- A hidrometalúrgica; e
- A pirometalúrgica.

Estes processos podem ser específicos para reciclagem de pilhas e baterias, ou estas podem ser recicladas juntamente com outros produtos, em processos mistos.

### **a) Mineralúrgica**

A reciclagem mineralúrgica envolve somente processos físicos de separação ou concentração dos materiais que compõem as baterias. Esta tecnologia é aplicada, principalmente, para baterias industriais de grande porte, sendo os materiais posteriormente recuperados por outros processos.

A reciclagem mineralúrgica se inicia pela remoção do eletrólito da bateria, quando este é líquido. Em seguida, é realizada a desmontagem do invólucro da bateria para a remoção de plásticos e isolantes; e, quando possível, de eletrodos e placas. Assim, mesmo sendo limitada quanto aos resultados, esta tecnologia pode baratear, substancialmente, o custo dos processos subsequentes.

### **b) Hidrometalúrgica**

A reciclagem de metais de pilhas e baterias esgotadas pela tecnologia hidrometalúrgica consiste na dissolução ácida ou básica dos metais existentes nas pilhas e baterias, previamente moídas. Uma vez em solução, os metais podem ser recuperados por:

- Precipitação - variando-se o pH da solução;
- Extração por solventes - aplicando-se diferentes solventes, que se ligam com íons metálicos específicos, separando-os da solução. Posteriormente, recuperam-se os metais por eletrólise ou por precipitação.

Em muitos casos, o mercúrio é removido previamente por aquecimento. A maior vantagem do processo hidrometalúrgico está no fato deste utilizar menor quantidade de energia quando comparado ao processo pirometalúrgico. Contudo, ele gera resíduos que precisam ser tratados posteriormente.

### **c) Pirometalúrgica**

Esta tecnologia consiste na aplicação de altas temperaturas para a recuperação dos metais das pilhas e baterias. Após passar por operações de tratamento de minérios, onde são separados os componentes metálicos e não metálicos das pilhas e baterias, os componentes metálicos são aquecidos a temperaturas específicas (superiores a 1000°C) para que ocorra a destilação de mercúrio, zinco, cádmio e outros – posteriormente, estes são condensados, resultando em materiais com alto grau de pureza. Os metais restantes, depen-

dentes do tipo de pilha / bateria que está sendo processada, são separados de acordo com os diferentes pontos de fusão, sendo o metal fundido continuamente drenado.

A vantagem desta tecnologia em relação à hidrometalúrgica está no fato de não gerar resíduos sólidos perigosos, que necessitem de tratamento para serem dispostos. A desvantagem é o alto consumo de energia, uma vez que as temperaturas do processo variam entre 800 e 1500°C.

Alguns processos operados comercialmente para reciclagem de pilhas e baterias são comparados na Tabela 11.

| PROCESSO           | TÉCNICA UTILIZADA                                  | OBSERVAÇÃO                             | PAÍS DE ORIGEM |
|--------------------|--|--|----------------|
| <b>Sumitomo</b>    | Pirometalúrgica                                    | Não processa Baterias de Ni-Cd         | Japão          |
| <b>Recytec</b>     | Pirometalúrgica / Hidrometalúrgica / Mineralúrgica | Não processa Baterias de Ni-Cd         | Suíça          |
| <b>Atech</b>       | Mineralúrgica                                      | _____                                  | _____          |
| <b>Snan -Savan</b> | Pirometalúrgica                                    | Processa Somente Baterias de Ni-Cd     | França         |
| <b>Sab-Nife</b>    | Pirometalúrgica                                    | Processa Somente Baterias de Ni-Cd     | Suécia         |
| <b>Inmetco</b>     | Pirometalúrgica                                    | Sem restrições                         | EUA            |
| <b>Waelz</b>       | Pirometalúrgica                                    | Processa Baterias de Ni-Cd em separado | _____          |

**TABELA 11** - PROCESSOS OPERADOS COMERCIALMENTE PARA RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS  
 Fonte: Adaptado de ESPINOSA (2009) - por CPLA/SMA, 2010

## 4.8. Vidros

### Histórico

Não se sabe ao certo a data exata do surgimento do vidro, mas sua revelação é atribuída aos fenícios que, casualmente, o descobriram há cerca de quatro mil anos, quando faziam fogueiras na praia. O que se sabe com certeza é que sírios, fenícios e babilônios já utilizavam o vidro desde 7.000 a.C., mas foi no Egito antigo, por volta do ano 1.500 a.C., que o uso do vidro começou a crescer, sendo utilizado primeiramente em adornos pessoais, joias e embalagens para cosméticos.

Por ser naquela época a civilização dominante, os egípcios acabaram difundindo o vidro e a sua técnica de fabricação para outros povos.

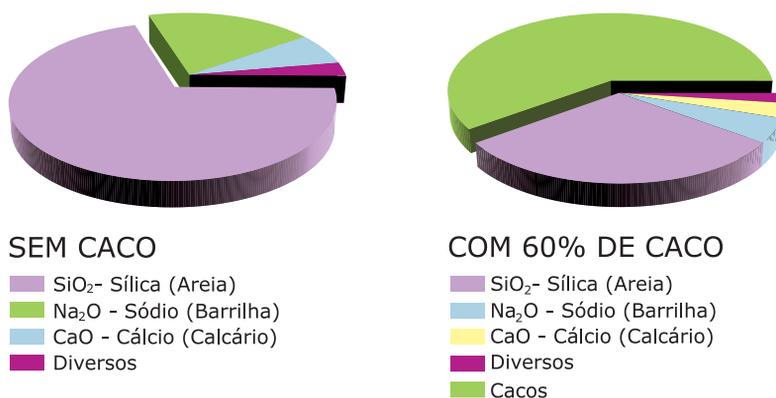
No Brasil, a primeira oficina foi construída no século XVII, em Pernambuco, por artesões, produzindo, inicialmente, janelas, copos e frascos. Mas, a partir do século XX, as fábricas de vidro brasileiras começaram a se automatizar e processar em escala industrial o que até então era feito de modo artesanal e individual.

### Caracterização do Vidro

O vidro é um material obtido a partir da fusão de matérias-primas, principalmente minerais, resfriado até uma condição de rigidez, sem se cristalizar. É um material não poroso comum, que resiste a temperaturas de até 150°C sem deformar, por isso pode ser reutilizado várias vezes para a mesma finalidade.

Sua composição pode variar de acordo com a sua aplicação, mas é basicamente sílica, óxido de cálcio e óxido de sódio. As composições individuais são muito variadas devido às pequenas alterações feitas para proporcionar propriedades específicas (como índice de refração, cor, viscosidade, etc.).

A Figura 44 mostra a composição do vidro sem cacos, ou seja, explorando apenas a matéria-prima natural, e o vidro com cacos (de vidro pós-consumo), que é o ambientalmente mais correto.



**FIGURA 44** – COMPOSIÇÃO DO VIDRO.  
 Fonte: Abividro, 2009.

### Produção do Vidro

A fabricação do vidro começa quando as matérias-primas são recebidas e estocadas em grandes silos. O material é então pesado em uma balança e transferido a um misturador automático.

Essa mistura é levada ao forno, onde é fundida a uma temperatura de 1500°C, transformando-se em vidro. Os fornos são constituídos de três partes, onde ocorrem a fusão, a refinação e a regeneração.

A mistura é enfiada na mesma velocidade em que o vidro está sendo moldado nas máquinas de fabricação, de forma que a quantidade de vidro no forno é sempre constante. As máquinas que produzem as embalagens de vidro são interligadas ao forno por um canal, que reduz a temperatura da massa de vidro para, aproximadamente, 900°C, ou seja, a temperatura desejada para a formação de gota de vidro.

O acréscimo de outros materiais e diferentes técnicas de produção permitem criar tipos específicos de vidro, com características diferenciadas, adequadas a cada necessidade de aplicação. Assim, pela adição de produtos e variação nos processos de produção, se determina a forma,

espessura, cor, transparência, resistência mecânica, entre muitas outras características passíveis de adequação do vidro, o que torna o vidro um dos mais versáteis materiais existentes.

Uma das características mais interessantes do vidro é a cor. Os vidros podem se apresentar desde incolores até em infinitas cores, variando ainda de uma leve tonalidade até a total opacidade.

O vidro é um material que possibilita a visualização do produto nele contido e ao mesmo tempo o protege contra radiações que o deterioram. Dependendo dos elementos que se introduzem na composição do vidro, este filtra a luz, deixando passar alguns raios de certos comprimentos de onda e retendo outros. Por essa razão são utilizadas garrafas âmbar para cerveja e verde para o vinho, uma vez que estas impedem a passagem de radiações ultravioleta, que afetariam a qualidade dos produtos.

As cores mais utilizadas e conhecidas são os vidros brancos, os âmbar e os verdes; o que os difere é a composição química, o grau de pureza dos ingredientes que se enforam, incluindo as matérias-primas, caco e, num grau menor, as condições em que o vidro é fundido.

As aplicações de vidros mais conhecidas e utilizadas são:

**a) Vidros para embalagens:** são aqueles utilizados em potes de alimentos, frascos e garrafas para bebidas, produtos farmacêuticos, higiene pessoal e múltiplas aplicações - a utilização do vidro para embalagens é uma das mais antigas e frequentes aplicações para o vidro. Por ordem de consumo, a maior utilização é a do setor de bebidas, principalmente de cervejas, seguida pela indústria de alimentos e, logo após, produtos não alimentícios, sobretudo farmacêuticos e cosméticos;

**b) Vidros domésticos:** são aqueles utilizados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras e objetos de decoração, como vasos;

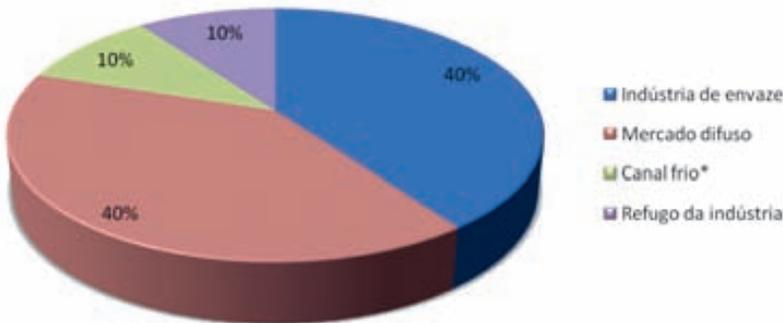
**c) Vidros planos:** são aqueles vidros fabricados em chapas, consumidos principalmente pela construção civil, seguida pela indústria automobilística, depois na produção de espelhos e um pequeno percentual para múltiplas outras aplicações. Além dos vidros translúcidos, outro tipo de

vidro plano, chamado impresso ou fantasia, atende, em menor quantidade, também, o mercado da construção civil. Outros setores recentemente aumentaram seu consumo de vidro plano, como a indústria moveleira e dos eletrodomésticos da linha branca (fogões, geladeiras, micro-ondas etc.);

**d) Vidros especiais:** são vidros com composições e características especiais, adequados a necessidades muito específicas de utilização, como na produção de cinescópios para monitores de televisão e computadores, bulbos de lâmpadas, garrafas térmicas, fibras óticas, blocos oftálmicos, blocos isoladores e até tijolos de vidro.

### Reciclagem do Vidro

O vidro das embalagens é um material totalmente reciclável, por isso quando se fala em reciclagem, principalmente na indústria vidreira, o assunto sempre teve um grande destaque, e ganhou forças nos últimos anos com os grandes investimentos feitos para promover e estimular o retorno da embalagem de vidro descartável como matéria-prima. O vidro pode ser reciclado várias vezes, pois é feito de minerais como areia, barrilha, calcário e feldspato. Ao se agregar o caco na etapa de fusão de vidro, diminui-se a retirada de matéria-prima da natureza. A Figura 46 ilustra o ciclo de produção do vidro.



**FIGURA 45** - ORIGEM DO VIDRO RECICLADO NO BRASIL EM 2010. Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2012 – por CPLA/SMA, 2012.



**FIGURA 46 - CICLO DE PRODUÇÃO DO VIDRO.**

Fonte: Recicla vidro, 2009.

A reciclagem do vidro, além de poupar uma boa parte dos recursos naturais, também consome menor quantidade de energia e emite menos material particulado que a fabricação do vidro sem a incorporação de cacos. Vale ressaltar que, com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro, com perda zero. Outros aspectos a considerar ao se reciclar o vidro é a menor geração e descarte de resíduos sólidos urbanos, a redução nos custos de coleta urbana e o aumento da vida útil dos aterros sanitários.

A qualidade do caco de vidro é muito importante para a indústria, pois o caco com impurezas ou contaminado pode danificar equipamentos

(principalmente fornos) e levar à produção de embalagens com defeitos. Para isso não ocorrer, é necessário que as embalagens sejam beneficiadas, ou seja, as tampas e rótulos sejam retirados e as embalagens passem por processo de lavagem para remoção do resíduo.

O caco de vidro laminado pode ser reciclado por um pequeno círculo de receptores, os quais processam o mesmo por moagem, removendo o filme plástico de PVB (polivinilbutiral), que, se for limpo de forma adequada (livre de caquinhos), também pode ser reciclado.

O vidro aramado - composto por uma tela metálica que oferece maior resistência à perfuração e mais proteção, diminuindo o risco de ferimentos em caso de quebra - não é reciclável. No Brasil, o índice de reciclagem de vidro, estimado em 2010, foi de 47%. A Figura abaixo apresenta a origem do vidro.

Alguns dados a respeito da reciclagem do vidro e sua contribuição para a preservação do meio ambiente são:

- Utilizando-se 10% de cacos na produção de vidro, é possível ter um ganho energético de 4%;
- Utilizando-se 10% de cacos na produção de vidro, reduz-se em 5% a emissão de CO<sub>2</sub>;
- 1 tonelada de cacos significa a economia de 1,2 toneladas de matérias-primas. (ABIVIDRO, 2009)

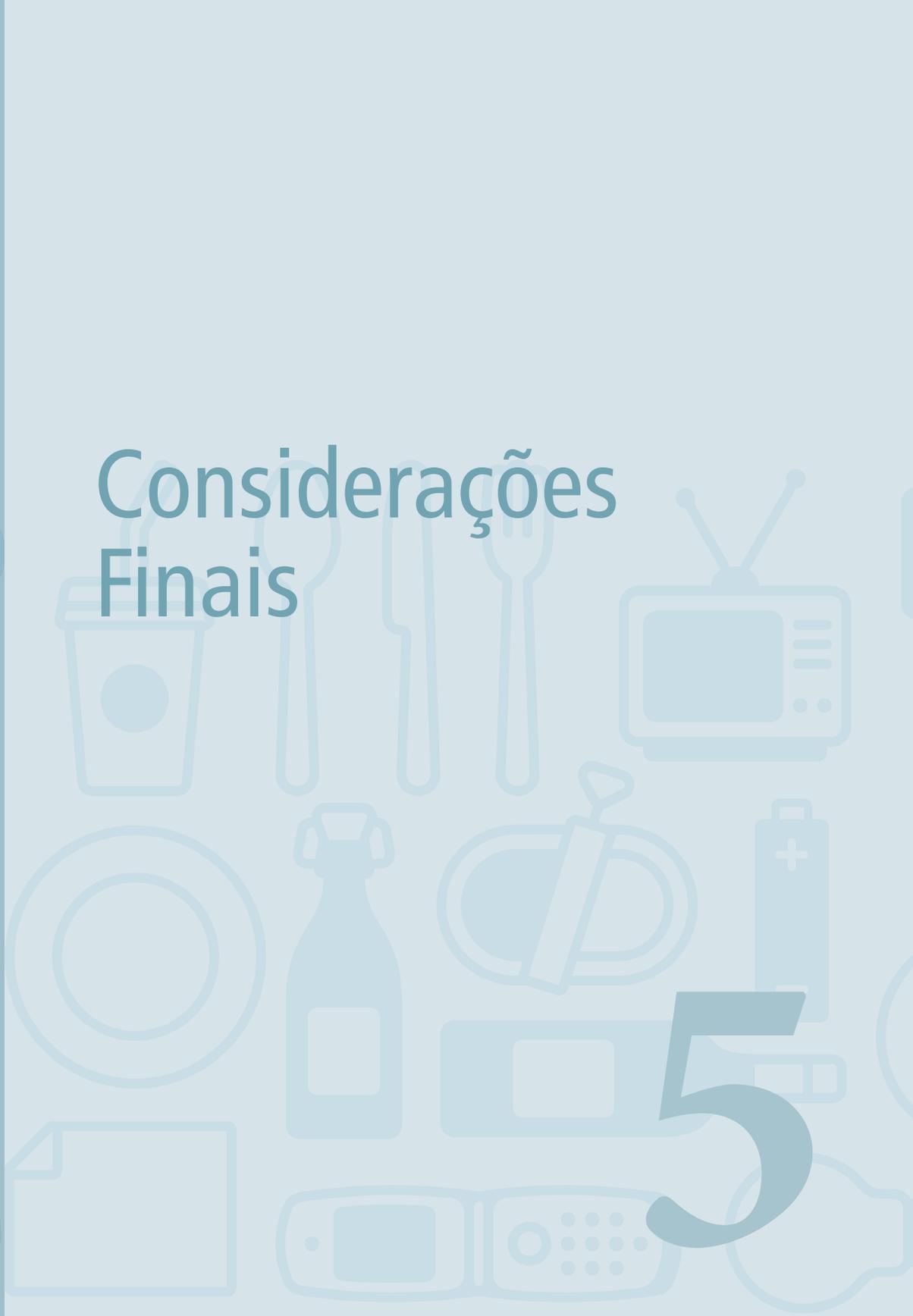
A reciclagem do vidro, apesar de ser considerada uma atividade economicamente viável e com grande potencial de lucratividade, ainda é pouco explorada no Brasil. A conscientização da população por meio da Educação Ambiental permitiria o reaproveitamento integral das embalagens de vidro, gerando enormes ganhos ambientais, econômicos e sociais.

Ainda são necessários investimentos, tanto públicos como privados, no fomento ao desenvolvimento do mercado de reciclagem, na inovação e na pesquisa tecnológica, tanto para aumentar a viabilidade técnica e econômica das tecnologias existentes, quanto para criação de novas tecnologias, que permitam acompanhar e antever o surgimento de novos produtos e tecnologias pelos setores produtivos.



# Considerações Finais

5



## 5. Considerações Finais

A gestão dos resíduos sólidos corresponde a uma preocupação consagrada no Estado de São Paulo, refletida pela Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O Estado tem como objetivo, portanto, tornar a gestão dos resíduos sólidos em seu território mais eficiente, por meio da atuação conjunta da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), junto aos municípios paulistas.

Assim, o Estado de São Paulo, por meio do Decreto Estadual nº 57.817/2012, instituiu o Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, cuja coordenação está a cargo da Secretaria de Meio Ambiente, nos termos da Resolução SMA nº 38/2012. O referido programa tem como público-alvo principal municípios paulistas de pequeno porte (com até 100.000 habitantes). Não obstante, o Estado deverá apoiar a gestão de resíduos também em municípios maiores, como é o caso dos que se encontram em regiões metropolitanas, especialmente por meio de ações de planejamento territorial.

Em suma, a construção de parcerias entre Estado e Municípios é de fundamental importância para o atendimento do conteúdo da legislação e para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito das Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, especialmente no que diz respeito ao fim da existência dos chamados “lixões”, até 2014, e ao envio somente de rejeitos, e não mais de resíduos, para aterros sanitários, demonstrando a compreensão sobre o real significado do resíduo sólido, ou seja, um bem de valor econômico, cujo tratamento adequado deve constituir um dos pilares da chamada “economia verde”.

## Glossário

**Aeróbio:** organismo que tem necessidade de ar ou oxigênio livre para metabolizar, desenvolver e viver.

**Aciaria:** usina siderúrgica em que se fabrica aço.

**Anaeróbio:** organismos que podem viver sem oxigênio livre.

**Anodo:** é o eletrodo positivo.

**Apara:** sobra no corte de madeira, papel ou outro material.

**Área degradada:** área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que por ação humana teve as suas características ambientais deterioradas. (SÃO PAULO, 2006)

**Aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros:** área tecnicamente adequada onde serão empregadas técnicas de destinação de resíduos da construção civil classe A no solo, visando a reservação de materiais segregados, de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente. (CONAMA, 2002)

**Aterro sanitário:** local utilizado para disposição final de rejeitos, onde são aplicados critérios de engenharia e normas operacionais especiais para confinar esses resíduos com segurança, do ponto de vista do controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública. (SÃO PAULO, 2006)

**Barrilha:** carbonato de sódio impuro que será usado para fabricar vidro.

**Bateia:** recipiente afunilado de madeira em que se lavam areias que contenham ouro ou cascalho com diamante.

**Biodegradável:** substância que se decompõe pela ação de seres vivos.

**Biodiversidade:** representa a riqueza e variedade (genética, espécies, populações, comunidades, ecossistemas, biomas, etc.) de espécies de vida no mundo natural e funções ecológicas desempenhadas pelos organismos nos ecossistemas.

**Biogás:** um dos produtos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que se dá pela ação de determinadas espécies de bactérias, resultando em metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) principalmente.

**Catodo:** é o eletrodo negativo.

**Celulose:** polissacarídeo que se forma pela união de milhares de moléculas de celobiose que compõe a estrutura primária de plantas, e que não pode ser digerido pelo homem. Este composto é extraído da madeira para fabricar papel, por exemplo.

## Glossário

**Chorume:** resíduo líquido, altamente poluidor, originário da decomposição da matéria orgânica sob o solo e da infiltração da água de chuva.

**Ciclo de vida do produto:** série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final. (BRASIL, 2010)

**Cinescópio:** tubo de imagem do receptor de televisão e do monitor de vídeo do computador.

**Coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer:** técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do seu processamento como substituto parcial de matéria-prima ou combustível, no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação do cimento. (SÃO PAULO, 2006)

**Coleta seletiva:** recolhimento diferenciado de resíduos sólidos, previamente selecionados nas fontes geradoras, com o intuito de encaminhá-los para reciclagem, compostagem, reuso, tratamento ou outras destinações alternativas. (SÃO PAULO, 2006)

**Compostagem:** método de destinação de resíduos sólidos no qual a matéria orgânica presente, em condições adequadas de temperatura, umidade e aeração, é transformada num produto estável, denominado composto orgânico, que tem propriedades condicionadoras de solo, sendo, portanto, de grande aplicabilidade na agricultura.

**Craqueamento:** processo também conhecido como pirólise, que consiste na quebra de hidrocarbonetos em certa temperatura, calor e pressão (ou com catalisadores) para produção de gasolina e etileno, por exemplo.

**Deposição inadequada de resíduos:** todas as formas de depositar, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular resíduos sólidos sem medidas que assegurem a efetiva proteção ao meio ambiente e à saúde pública (SÃO PAULO, 2006).

**Destinação final ambientalmente adequada:** destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou a disposição final, por exemplo. (BRASIL, 2010)

**Disposição final ambientalmente adequada:** distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (BRASIL, 2010)

**Digestão anaeróbia:** processo de decomposição ou digestão da matéria orgânica por bactérias anaeróbias, gerando o biogás.

## Glossário

**Efeito estufa:** processo que retém parte da radiação infravermelha que é emitida pela superfície terrestre através de alguns gases que se encontram na atmosfera (dióxido de carbono e metano, por exemplo), ocasionando a retenção de calor. Até certo ponto, este processo é essencial à manutenção da vida na Terra porque mantém o planeta aquecido.

**Eletrodos:** são os condutores de corrente elétrica da pilha.

**Eletrólito:** é a solução que age sobre os eletrodos.

**Elutriador:** equipamento para a amostragem seletiva de partículas em uma corrente gasosa, que pode ser horizontal ou ascendente, e integra normalmente um trem de amostragem de dois estágios. (CIMM, 2009)

**Escória:** resíduo da fusão de metais ou da redução de minérios.

**Filme (termo técnico em plásticos):** termo opcional para chapas ou placas de plásticos com espessura não superior a 0,254 mm.

**Geradores de resíduos sólidos:** pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo. (BRASIL, 2010)

**Gestão compartilhada de resíduos sólidos:** é a maneira de conceber, implementar e gerenciar sistemas de resíduos, com a participação dos setores da sociedade com a perspectiva do desenvolvimento sustentável. (SÃO PAULO, 2006)

**Gestão integrada de resíduos sólidos:** É a maneira de conceber, implementar, administrar os resíduos sólidos considerando uma ampla participação das áreas de governo responsáveis no âmbito estadual e municipal. (SÃO PAULO, 2006)

**Halogênios:** série de elementos não metálicos que constituem o Grupo 17 da Tabela Periódica, o que inclui flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br) iodo (I) e astato (At).

**Hidrocarbonetos:** compostos orgânicos formados de carbono e hidrogênio.

**Jusante:** ponto referencial num curso d'água oposto ao lado das nascentes.

**Logística reversa:** instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2010)

**Líquido percolado:** é a soma de chorume mais água de infiltração da chuva que percola até a base do aterro.

## Glossário

**Lixiviação:** processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator; o filtrado obtido é denominado extrato lixiviado. (NBR 10.005:2004)

**Minimização dos resíduos gerados:** é a redução, ao menor volume, quantidade e periculosidade possíveis dos materiais e substâncias, antes de descartá-los no meio ambiente. (SÃO PAULO, 2006)

**Monômero:** forma simples não polimerizada de um composto químico que tem peso molecular relativamente baixo. (como o estireno)

**Montante:** ponto referencial num curso d'água no lado da nascente.

**Nafta:** composto derivado do petróleo usado na produção de gasolina, por exemplo.

**Percolação:** passagem lenta de um líquido através de um meio filtrante.

**Papel corrugado:** é o papel ondulado, que é muito utilizado em embalagens.

**Pós - consumo:** são os resíduos procedentes do descarte de produtos pelos consumidores, após seu consumo.

**Pirólise:** processo de decomposição térmica que é usado para tratamento de resíduos sólidos para obtenção de subprodutos com valor comercial.

**Prevenção da poluição ou redução na fonte:** a utilização de processos, práticas, materiais, produtos ou energia que evitem ou minimizem a geração de resíduos na fonte e reduzam os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. (SÃO PAULO, 2006)

**Radiação:** é aquilo que irradia (emite raios).

**Reciclagem:** processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. (BRASIL, 2010)

**Redução:** diminuir a quantidade gerada de resíduos, evitando-se a produção de resíduos desnecessários.

**Rejeitos:** resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2010)

**Resíduos perigosos:** Aqueles que em função de suas propriedades químicas, físicas ou biológicas, possam apresentar riscos à saúde pública ou à qualidade do meio ambiente. (SÃO PAULO, 2006)

## Glossário

**Resíduos sólidos:** material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido; bem como gases contidos em recipientes e líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010)

**Resina:** substância orgânica de origem natural ou sintética caracterizada por uma estrutura polimérica. A maioria das resinas, mas não todas, são de alta massa molar e consistem em uma cadeia longa ou estrutura em rede. Muitas resinas são solúveis em suas formas de baixa massa molar. (PETROPOL)

**Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos:** conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos. (BRASIL, 2010)

**Reutilização:** processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química.

**Sucata:** ferro ou qualquer outro objeto de metal sem valor que depois são reaproveitados na fundição.

**Sustentabilidade:** condição de uso racional dos recursos naturais unindo o crescimento econômico à justiça social e à conservação da natureza, sem comprometer o uso das gerações futuras.

**Transbordo:** local onde caminhões coletores descarregam sua carga em veículos maiores para que sejam enviadas até o destino final, objetivando a redução do tempo gasto no transporte e custos.

**Translúcido:** Objeto que deixa passar a luz sem que se vejam os objetos.

**Viscosidade:** Medida de resistência de um material ao fluxo devido à fricção interna que uma camada causa em outra que está em movimento; a relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento. Viscosidade é constante para um fluido newtoniano, porém variável para polímeros que são não newtonianos. (PETROPOL)

## Bibliografia

- ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Reciclagem - Infinitamente reciclável**. 2010. Disponível em: < <http://www.abal.org.br/reciclagem/introducao.asp> >. Acesso em 20/01/2009.
- ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Reciclagem: fluxos da reciclagem**. 2012. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/fluxo.asp>>. Acesso em 27/09/2012.
- ABEAÇO - Associação Brasileira de Embalagem de Aço. **Meio Ambiente – Reciclagem**. 2010. Disponível em: <<http://www.abeaco.org.br/reciclagemacotexto.html>>. Acesso em 20/01/2009.
- ABILUX - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Pesquisa nacional realizada pela Abilux traça o perfil da indústria da iluminação**. Disponível em: <<http://www.abilux.com.br/portal/conjuntura.aspx?id=1>>. Acesso em 8/10/2012.
- ABIVIDRO - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Benefícios da reciclagem do vidro**. 2009. Disponível em <http://www.abividro.org.br/banners.php/5>. Acesso em 07/01/2009.
- ABRE - Associação Brasileira de Embalagens: **Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/jornal/news54/conexao.htm>>. Acesso em 18/02/2009.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Gestão integrada de resíduos sólidos e legislação aplicada**. São Paulo: ABRELPE, 2008. (Apostila de curso)
- AFONSO, J. C; BUSNARDO, R. G; BUSNARDO, N. G. **Baterias de lítio: novo desafio para a reciclagem**. *Revista Ciência Hoje*. Instituto Ciência Hoje, vol. 35, n. 205, 2004.
- AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de papel – Processo de Reciclagem de Papel**. 2008. Disponível em:<[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_papel.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_papel.html)>. Acesso em 03/04/2009.
- AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de Plásticos**. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_plastico.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_plastico.html)>. Acesso em 14/01/2009.
- AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de metais**. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem\\_de\\_metal.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_metal.html)>. Acesso em 20/01/2009.
- AMBROSIO, R.C e TICIANELLI, E. A. **Baterias de Níquel – Hidreto Metálico, uma alternativa para as baterias de Níquel – Cádmio**. In: *Quim. Nova*, v. 24, n. 2, p. 243-246, 2001. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2001/vol24n2/14.pdf>>. Acesso em 3/07/2009.
- ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2011**. São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo\\_pagina=Produ%E7%E3o](http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o)>. Acesso em 8/10/2012.

## Bibliografia

- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **PET reciclado para uso em contato com alimentos**. 2008. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home/alimentos!/ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hnd0cPE3MfA-wMDMydnA093Uz8z00B\\_A3cvA\\_2CbEdFADQgSKI!/?1dmy&urile=wcm%3Apath%3A/anvisa+portal/anvisa/inicio/alimentos/publicacao+alimentos/pet+reciclado+para+uso+em+contato+com+alimentos](http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/anvisa/home/alimentos!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hnd0cPE3MfA-wMDMydnA093Uz8z00B_A3cvA_2CbEdFADQgSKI!/?1dmy&urile=wcm%3Apath%3A/anvisa+portal/anvisa/inicio/alimentos/publicacao+alimentos/pet+reciclado+para+uso+em+contato+com+alimentos)>. Acesso em 02/04/2009
- ARAÚJO, J. C. et. al. **Custo de disponibilização e distribuição da água por diversas fontes no Ceará**. Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza, v. 36, n. 2, abr./jun., 2005. Disponível em: <[http://www.banconordeste.gov.br/content/aplicacao/Publicacoes/REN-Numeros\\_Publicados/docs/ren2005\\_v36\\_n2\\_a7.pdf](http://www.banconordeste.gov.br/content/aplicacao/Publicacoes/REN-Numeros_Publicados/docs/ren2005_v36_n2_a7.pdf)>. Acesso em 23/06/2008.
- ARAÚJO, Mishene Christie P. B. de et. al. **Reciclagem de fios e cabos elétricos - cabo paralelo**. In: **Rev. Esc. Minas**. Ouro Preto, v. 61, n. 3, p. 391-396, jul./set., 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v61n3/a19.pdf>>. Acesso em 20/01/2009.
- BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 187 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BOCCHI, N.; et. al. Pilhas e Baterias: funcionamento e impacto ambiental. In: **Química Nova na Escola**, n. 11, maio/ 2000. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>>. Acesso em 2/07/2009.
- BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Relatório Estatístico 2010/2011**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2010.pdf>>. Acesso em 9/10/2012.
- Bragança Jornal Diário Online. **Consumo sustentável: uma saída contra o hábito das sacolas plásticas**. Bragança Paulista. 11 de fevereiro de 2009. Disponível em: <<http://www.bv.fapesp.br/namidia/noticia/27481/consumo-sustentavel-saida-contra-habito/>>. Acesso em 02/04/2009
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília, 2006. 182 p.
- CAMPOS, H. K. T. et al. **Correção das deposições e reciclagem de entulho em Belo Horizonte**. 1996. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03373p04.pdf>>. Acesso em: 15/07/2008.
- CARASCHI, José Cláudio. **Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos**. In: **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n.6, p. 1599-1602. 2002.

## Bibliografia

- CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Cempre Ciclossoft 2010**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclossoft\\_2010.php](http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php)>. Acesso em 3/10/2012.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Latas de alumínio**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ft\\_latas.php](http://www.cempre.org.br/ft_latas.php)>. Acesso em 3/10/2012.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - Agora é lei**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/download/pnrs\\_002.pdf](http://www.cempre.org.br/download/pnrs_002.pdf)>. Acesso em 11/09/2012.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Vidros**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://cempre.org.br/ft\\_vidros.php](http://cempre.org.br/ft_vidros.php)>. Acesso em 10/10/2012.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aterro Sanitário**. São Paulo: CETESB/SMA, 1997. 40p.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2011**. São Paulo: CETESB, 2012. 218 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>> Acesso em 27/09/2012.
- CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/portal>>. Acesso em 19/05/2010
- COPAM - COMÉRCIO DE PAPÉIS E APARAS MOOCA LTDA. **Reciclar vidro**. Disponível em [http://www.compam.com.br/re\\_vidro.htm](http://www.compam.com.br/re_vidro.htm). Acesso em 12/01/2009.
- COPAM - COMÉRCIO DE PAPÉIS E APARAS MOOCA LTDA. **Reciclar metais**. Disponível em [http://www.compam.com.br/re\\_metal.htm](http://www.compam.com.br/re_metal.htm). Acesso em 20/01/2009.
- CONDER - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DA BAHIA. **Manual de operação de aterros sanitários**. Bahia: SEPLANTEC/CONDER. s.d.
- ECOLOGIA – DBI. **Baterias de Chumbo-Ácido**. Disponível em: <<http://www.ecologia.dbi.ufla.br/site%20ecoaplicada/reciclagem/Baterias%20de%20Chumbo.doc>>. Acesso em 18/11/2008.
- ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas - SP**. 2003. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ESCANDOLHERO, J. M.; SOUZA, A. M. de; HESS, S. C. Reciclagem de Papel em Campo Grande - MS e Outros Locais. In: **Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental, 27**. Campo Grande: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-065.pdf>>. Acesso em 27/11/2008.

## Bibliografia

- ESPINOSA, D. C. R. e TENÓRIO, J. A. S. **O estado-da-arte em reciclagem de pilhas e baterias**. Disponível em: < [http://observatoriodesresiduos.com.br/wp-content/uploads/2011/03/Doc\\_Encontro04\\_JorgeTenorio2.pdf](http://observatoriodes residuos.com.br/wp-content/uploads/2011/03/Doc_Encontro04_JorgeTenorio2.pdf) >. Acesso em 16/12/2012.
- FAVERA, Eduardo Ceretta Dalla. **Lixo Eletrônico e a Sociedade**. 2008. 8 p. Trabalho apresentado ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial da disciplina de Computadores e Sociedade. Santa Maria, RS. Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~favera/elc1020/t1/artigo-elc1020.pdf>>. Acesso em 20/01/2009.
- GALLON, A. V.; SALAMONI, F. L.; BEUREN, I. M. **Tratamento dos Resíduos no Processo de Fabricação de Papel Reciclado em Indústria de Santa Catarina**. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2006. Disponível em: < [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006\\_TR520347\\_7381.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520347_7381.pdf) >. Acesso em 27/08/2009.
- GRINGS, V. H.; OLIVEIRA, P. A. V. **Cisternas para armazenagem de água da chuva**. EMBRAPA Suínos e Aves. Concórdia, 2005.
- INPEV – Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. **Estatísticas**. São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.inpev.org.br/destino\\_embalagens/estatisticas/br/teEstatisticas.asp](http://www.inpev.org.br/destino_embalagens/estatisticas/br/teEstatisticas.asp)>. Acesso em 9/10/2012.
- JADOVSKI, Iuri. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS).
- JORDAM, Rodrigo Aparecido; TAVARES, Maria Hermínia Ferreira. **Análise de sistemas de iluminação em granjas de produção de ovos férteis**. In: Enc. Energ. Meio Rural, ano 3, 2003. Disponível em: < [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000002000051&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000002000051&script=sci_arttext) >. Acesso em 12/11/2008.
- Jornal do Departamento de Eng. Química da Universidade Estadual de Maringá: Banco de Dados. **Pilhas**. Disponível em: <<http://www.deq.uem.br/JornalDEQ/Pilhas.htm>>. Acesso em 18/11/2008.
- JÚNIOR, Walter Alves Durão; WINDMÖLLER, Cláudia Carvalhinho. **A Questão do Mercúrio em Lâmpadas Fluorescentes**. In: Química Nova na Escola, n. 28, maio, 2008. Disponível em: <[qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/04-QS-4006.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/04-QS-4006.pdf)>. Acesso em 12/11/2008.
- KIHARA, Yushiro. **Co-processamento como alternativa de Gestão de Resíduos**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Curitiba (PR), 2009. Disponível em: <[http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/CoprocessCEMA2009\[12742\].pdf](http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/CoprocessCEMA2009[12742].pdf)>. Acesso em 9/10/2012.
- LAGARINHOS, C. A. e TENÓRIO, J. A. S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. In: Polímeros, São Carlos,

## Bibliografia

- v.18, n.2, abr./jun.2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282008000200007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282008000200007&script=sci_arttext)>. Acesso em 14/01/2009.
- LOUREIRO, Saulo Machado. **Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos: IQS**. 2005. 489 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- MACEDO, M. I. F.; TRINDADE, R. B. E.; SOARES, P. S. M. **Alternativas de Processo Hidrometalúrgico para Reciclagem de Pilhas Domésticas Usadas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.
- MANECHINI, Guilherme. **Troca de lâmpadas é incentivada, mas falta capacidade**. Hemeroteca do Instituto Eletrotécnico de Energia, Nº 104539, 2007. Disponível em: <[infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/104539.htm](http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/104539.htm)>. Acesso em 22/10/2008.
- MANRICH, Sati. **Estudos em Reciclagem de Resíduos Plásticos Urbanos para Aplicações Substitutivas de Papel para Escrita e Impressão**. In: Polímeros, São Paulo, v.30, n.3. jul./ set., 2000. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/po/v10n3/3510.pdf> >. Acesso em 13/02/2009.
- MARQUES NETO, J. C. **Projeto para implantação de estação de transbordo e triagem para pequenos volumes de resíduos da construção civil e resíduos volumosos para Município de Rio Claro – ETT Ecoestação Wenzel e ETT Ecoestação Cervezão**. 2004.
- MARTINS, Agnes F.; SUAREZ, João Carlos M.; MANO, Eloísa B. **Produtos Poliolefínicos Reciclados com Desempenho Superior aos Materiais Virgens Correspondentes**. In: Polímeros, São Carlos, v.9, n.4, out./ dez., 1999.
- MEIRA, Rui. **A Reciclagem do Papel**. 2002. Disponível em: <[www.rudzerhost.com/papel/recipapel.htm](http://www.rudzerhost.com/papel/recipapel.htm)>. Acesso em 27/11/2008.
- MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil**. 2005.439 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MONTEIRO, J. H .P et. al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em 13/02/2009.
- MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimento de baixo volume de tráfego**. 2005. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/pt-br.php>>. Acesso em 03/02/2009.

## Bibliografia

- NAIME, Roberto; GARCIA, Ana Cristina. **Propostas para o Gerenciamento dos Resíduos de Lâmpadas Fluorescentes**. In: Revista Espaço para a Saúde, Londrina, v.6, n.1, p.1-6, 2004. Disponível em: <<http://comlurb.rio.rj.gov.br/GerenciamentoLampadasFluorescentes.pdf>>. Acesso em 12/11/2008.
- NUNES, Flávia Furlan. **Contas: lâmpada fluorescente protege natureza e gera economia de até 80%**. In: Infomoney. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.infomoney.com.br/minhas-financas/noticia/864795>>. Acesso em 12/11/2008.
- PALLONE, Simone. **Resíduo Eletrônico: redução, reutilização, reciclagem e recuperação**. In: Com Ciência- Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. Disponível em: <<http://comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=32&id=379>>. Acesso em 20/01/2009.
- PARANÁ. **Kit Resíduos. Desperdício Zero: Plástico, nº 1**. SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Curitiba (PR), 2006.
- FILHO PEIXOTO, Getúlio Ezequiel da Costa. **Reciclagem: Benefícios e Perdas Obtidas em Campo Grande-MS**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27. Campo Grande: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. Disponível em: <<http://www.pmcg.ms.gov.br/SEMADES/downloads/672III-115.pdf>>. Acesso em 27/11/2008.
- PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S/A. **11 milhões de pneus reaproveitados**. 2009. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/minisite/ambiental/noticias/11-milhoes-de-pneus-reaproveitados/>>. Acesso em 8/10/2012.
- PETROPOL - Indústria e Comércio de Polímeros LTDA. **Glossário (letras R e V)**. Disponível em: <[http://www.petropol.com.br/pt\\_BR/glossary-rs.htm](http://www.petropol.com.br/pt_BR/glossary-rs.htm)>. Acesso em 19/05/2010.
- PINTO, Mônica. **Reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil é dificultada por rigidez na legislação sobre transporte do produto**. Ambiente Brasil, 2008. Disponível em: <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/exclusivas/2008/06/25/38997-exclusivo-reciclagem-de-lampadas-fluorescentes-no-brasil-e-dificultada-por-rigidez-na-legislacao-sobre-transporte-do-produto.html>>. Acesso em 15/11/2008.
- PINTO, Mônica. **Usar Lâmpadas Fluorescentes é uma Decisão em Prol do Planeta**. 2008. Disponível em: <[brasilatual.com.br/sistema/?p=1153](http://brasilatual.com.br/sistema/?p=1153)>. Acesso em 12/11/2008.
- PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLEZ, Juan Luiz Rodrigues. **Manejo e gestão de resíduos da construção Civil: Como montar um sistema de manejo e gestão de resíduos da construção civil nos Municípios**. Brasília (DF): CAIXA, 2005. vol. 1.
- PINTO, Tarcísio de Paula. **Manejo e gestão de resíduos da construção Civil: Procedimentos para solicitação de financiamento**. Brasília (DF): CAIXA, 2005. vol. 2.

## Bibliografia

- PIVA, A. M.; NETO, M. B., WIEBECK, H. **A Reciclagem de PVC no Brasil**. In: Polímeros, São Carlos, v.9, n.4, out./ dez., 1999.
- PLASTIVIDA – Instituto Socioambiental dos Plásticos. **Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP)**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/IRmP/Apresentacao\\_IRMP2010.pdf](http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/IRmP/Apresentacao_IRMP2010.pdf)>. Acesso em 9/10/2012.
- PORTAL BRASIL FATOR. **Campanha incentiva uso de lâmpadas fluorescentes para economizar energia**. 2008. Disponível em: <[www.revistafator.com.br/ver\\_noticia.php?not=28241](http://www.revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=28241)>. Acesso em 12/11/2008.
- PORTAL LUMIÈRE. **O lucro das lâmpadas ecológicas**. In: O Estado de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <[www.edlumiere.com.br/index.php?strArea=noticias&id=6121](http://www.edlumiere.com.br/index.php?strArea=noticias&id=6121)>. Acesso em 12/11/2008.
- PRIMACK, Richard B. **Biologia da conservação**. Londrina: Editora Planta, 2001.
- QUEIROZ, G. C. e GARCIA, E.E.C. **ACV como ferramenta do gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. In: COLTRO, L. org. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75p.
- RECICLOTECA: **Banco de Dados**. Disponível em: <[www.recicloteca.org.br](http://www.recicloteca.org.br)>. Acesso em 20/01/2009.
- REIDLER, N. M. V. L., GÜNTHER, W. M. R. **Impactos ambientais e sanitários causados por descarte inadequado de pilhas e baterias usadas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0330EB12/ImpactosAmbientaisSanitarios.doc>>. Acesso em 21/02/2009.
- REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- REIS et. al. **Efeitos escala e clima no processo de compostagem em região subtropical**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27. dez/2000.
- RIBEIRO, Flávio de Miranda. **Responsabilidade Pós-Consumo na Política de Resíduos Sólidos: visão, estratégia e resultados até o momento no Estado de São Paulo. Conexão Acadêmica**. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Ano I - Volume 2. Jul., 2012 . Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/conexao\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/conexao_edicoes.cfm)> Acesso em 1/10/2012.
- RODRIGUES, Angela Cássia. **Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Alternativas de Política e Gestão**. 2003. Monografia (A integra da pesquisa encontra-se na biblioteca da Escola de Sociologia e Política de SP) Disponível em: <[http://comlurb.rio.rj.gov.br/Residuos\\_de\\_Equipamentos\\_Eletricos\\_e\\_Eletronicos.pdf](http://comlurb.rio.rj.gov.br/Residuos_de_Equipamentos_Eletricos_e_Eletronicos.pdf)>. Acesso em 20/01/2009.

## Bibliografia

- ROMERO, Thiago. **Reciclagem de lâmpadas fluorescentes tem solução brilhante**. In: **Agência FAPESP**, 2006. Disponível em: <[www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010125060623](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010125060623)>. Acesso em 22/10/2008.
- SANTOS, Amélia S. F.; AGNELLI, José Augusto M.; MANRICH, Sati. **Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas**. In: *Polímeros*, v. 14, p. 307-312, 2004.
- SANTOS, A. M. A.; PINTO, T. C. N. O. **Contaminação do ar em usinas de reciclagem brasileiras e aspectos de saúde**. In: Conferência RCD Como Material de Construção. 4, São Paulo, 2008.
- SCHALCH, V. et. al. **Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. 227p.
- SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Texto Básico do Projeto Cidades Sustentáveis. **Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviço de Saúde - Tratamento e Disposição Final**. São Paulo, 1997.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Responsabilidade Pós-consumo**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/residuos-solidos-2/responsabilidade-pos-consumo/>> Acesso em 1/10/2012.
- SUZUKI, F. K. S. **Plano de Gerenciamento Sustentável dos Resíduos de Construção Civil (RCC). O caso de Rio Claro-SP**. 58 p. Trabalho de Formatura (graduação) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro (SP).
- TAKAHASHI, V. C. I. **Reciclagem de baterias de íon de Li: condicionamento físico e extração do Co**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TUFAILE, A. **Experimentos com LED**. São Paulo, 2007. (Notas de Aula).
- UGAYA, C. M. L. **Análise do ciclo de vida: estudo de caso para os materiais e componentes automotivos no Brasil**. 2001. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP).
- ULSEN, C. **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição**. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VAN ELK, A. G. H. P. **Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.
- VEIT, Hugo Marcelo. **Emprego do processamento mecânico na reciclagem de sucatas de placas de circuito impresso**. Resumo eletrônico, 05/11/2008. Disponível em: <[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/id/38064522.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/38064522.html)>. Acesso em 22/01/2009.

## Bibliografia

- VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M. **Reciclagem de Sucatas Eletrônicas Através da Combinação de Processos Mecânicos e Eletroquímicos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17. Paraná, 2006. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-312-002.pdf>>. Acesso em: 20/01/2009.
- VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M.; BERTUOL, D. A.; OLIVEIRA, C. T. **Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas**. In: **Rev. Esc. Minas**, v. 61, n. 2, p. 159-164, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0370-44672008000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0370-44672008000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em 20/01/2009.
- VILHENA, André. **Guia da Coleta Seletiva de Lixo**. CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem, São Paulo, 1999.
- WOLMER, F. A. **Gestão de resíduos sólidos urbanos**. Apostila do Curso Gestores Municipais de Resíduos Sólidos. São Paulo: CETESB/SMA, 2008. 45p.
- WOLMER, F. A. **Apostila de Resíduos de Serviços de Saúde**. São Paulo: CETESB/SMA, 2008.
- ZANICHELLI, Claudia et. al. **Reciclagem de lâmpadas: Aspectos Ambientais e Tecnológicos**. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2004. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem\\_de\\_lampadas\\_aspectos\\_ambientais\\_e\\_tecnologicos.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem_de_lampadas_aspectos_ambientais_e_tecnologicos.pdf)>. Acesso em 22/10/2008.

## Legislação e Normas Técnicas

### Geral Federal

- **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o setor de saneamento básico no Brasil.
- **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.
- **Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Estudo de Impacto Ambiental – EIA e o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.
- **Resolução CONAMA nº 237, 19 de dezembro de 1997.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.
- **Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001.** Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.
- **Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10.004:2004.** Classificação dos resíduos sólidos.
- **NBR 10.005:2004.** Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- **NBR 10.006:2004.** Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- **NBR 10.007:2004.** Amostragem de resíduos sólidos.
- **NBR 13.463:1995.** Coleta de resíduos sólidos.

### Geral Estadual

- **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976.** Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.
- **Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006.** Institui a Política Estadual de resíduos sólidos e define princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo (Revoga. a Lei n. 11.387, de 27.05.03).
- **Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.** Regulamenta a Lei 997, de 31 de maio 76 que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.
- **Decreto nº 47.397, de dezembro de 2002.** Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.
- **Decreto Estadual nº 47.400, de 4 de dezembro de 2002 e 48.919, de 2 de setembro de 2004.** Licenciamento ambiental - Estabelece prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação, estabelece prazo de análise dos requerimentos e licenciamento

## Legislação e Normas Técnicas

ambiental, institui procedimento obrigatório de notificação de suspensão ou encerramento de atividade, e o recolhimento de valor referente ao preço de análise.

- **Decreto nº 54.645, de 5 de agosto de 2009.** Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.
- **Decreto nº 57.817, de 28 de fevereiro de 2012.** Institui, sob coordenação da Secretaria do Meio Ambiente, o Programa estadual de implementação de projetos de resíduos sólidos e dá providências correlatas.
- **Resolução Secretaria do Meio Ambiente - SMA nº 42, de 29 de dezembro de 1994.** Define os procedimentos para análise de Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
- **Resolução SMA nº 54, de 30 de novembro de 2004.** Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental no âmbito da Secretaria do Meio Ambiente.
- **Resolução SMA nº 22, de 16 de maio de 2007.** Altera procedimentos para o licenciamento das atividades específicas, incluindo sistemas de armazenamento e transferência de resíduos da construção civil, desde que associadas a beneficiamento; sistemas de transbordo, tratamento e disposição final de resíduos de serviços de saúde e transbordos de resíduos sólidos domiciliares.
- **Resolução SMA nº 38, de 2 de agosto de 2011.** Estabelece a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, para fins do disposto no artigo 19, do Decreto Estadual nº 54.645, de 05.08.2009, que regulamenta a Lei Estadual nº 12.300, de 16.03.2006, e dá providências correlatas.
- **Resolução SMA nº 38, de 5 de junho de 2012.** *Dispõe sobre ações a serem desenvolvidas no Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, previsto no Decreto n. 57.817, de 28 de fevereiro de 2012, que instituiu o Programa Estadual de Implementação de Projetos de Resíduos Sólidos.*

### Aterro Sanitário Federal

- **Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002.** Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
- **Resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008.** Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos (Revoga a Res. CONAMA nº 308/2002).
- **NBR 8.419:1992.** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.
- **NBR 13.896:1997.** Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação – Procedimento.

### Aterro Sanitário Estadual

- **Resolução SMA nº 75, 31 de outubro de 2008.** Dispõe sobre licenciamento das unidades de armazenamento, transferência, triagem, reciclagem, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de Classes IIA e IIB.

## Legislação e Normas Técnicas

- **Norma CETESB P4.241, de fevereiro de 1982.** Apresentação de projetos para aterros sanitários de resíduos urbanos.
- **NBR 15.112:2004.** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.

### Resíduos da Construção Civil Federal

- **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
- **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe D, resíduos perigosos.
- **Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011.** Altera o art. 3o da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.
- **Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012.** Altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 e revoga os artigos 7º, 12 e 13 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do CONAMA.
- **NBR 15.112:2004.** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.113:2004.** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.114:2004.** Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.115:2004.** Agregados reciclados da construção civil - Execução de camadas de pavimentação Procedimentos.
- **NBR 15.116:2004** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

### Resíduos da Construção Civil Estadual

- **Resolução SMA nº 41, de 17 de outubro de 2002.** Procedimentos para licenciamento ambiental de aterros de resíduos inertes e da construção civil.

### Portos e Aeroportos Federal

- **Resolução CONAMA nº 06, de 19 de setembro de 1991.** Incineração de resíduos sólidos de serviços de saúde, portos e aeroportos.
- **Resolução CONAMA nº 05, de 5 de agosto de 1993.** Gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários.
- **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC – da ANVISA nº 342, de 13 de dezembro de 2002.** Dispõe sobre a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS), para instalações

## Legislação e Normas Técnicas

portuárias, aeroportuárias e terminais alfandegados de uso público.

- **Resolução RDC nº 217, de 21 de novembro de 2001.** Retirada de resíduos sólidos de bordo de embarcações.
- **NBR 8.843:1996.** Aeroportos - Gerenciamento de resíduos sólidos.

### Compostagem Federal

- **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências.
- **Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004.** Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.
- **Instrução Normativa Secretaria de Defesa Agropecuária – SDA - nº 27, de 5 de junho de 2006.** Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

### Compostagem Estadual

- **Resolução SMA nº 75, 31 de outubro de 2008.** Dispõe sobre licenciamento das unidades de armazenamento, transferência, triagem, reciclagem, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de Classes IIA e IIB.

### Embalagens vazias de agrotóxicos Federal

- **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências.
- **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002.** Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.
- **Resolução CONAMA nº 334, de 3 de abril de 2003.** Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos.

### Pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes Federal

- **Resolução CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008.** Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os

## Legislação e Normas Técnicas

critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências (Revoga a Resolução. nº 257/1999).

### Pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes Estadual

- **Lei nº 10.888, de 20 de setembro de 2001.** Dispõe sobre o descarte final de produtos potencialmente perigosos do resíduo urbano que contenham metais pesados.
- **Norma do IPT NEA nº 76/2008.** Requisitos mínimos de desempenho para avaliação de embalagens e acondicionamentos para o transporte de lâmpadas fluorescentes em todo ambiente de distribuição, inclusive pós-uso.

### Pneus Federal

- **Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009.** Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências (Revoga as Resoluções nº 258/ 1999 e nº 301/2002).

### Pneus Estadual

- **Resoluções Conjunta SMA/SS nº 01/2002** Dispõe sobre a trituração ou retalhamento de pneus para fins de disposição em aterros sanitários.

### Óleo Lubrificante Federal

- **Resolução CONAMA nº 362, de 26 de junho de 2005.** Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. (Revoga. Resolução nº 09/93).
- **Resolução Agência Nacional do Petróleo – ANP - nº 17, de 18 de junho de 2009.** Requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de importação, comercialização e coleta de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.
- **Resolução ANP nº 18, de 18 de junho de 2009.** Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de produção de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.
- **Resolução ANP nº 19, de 18 de junho de 2009.** Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado, e a sua regulação.
- **Resolução ANP nº 20, de 18 de junho de 2009.** Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado e a sua regulação.

## Legislação e Normas Técnicas

### Óleo Lubrificante Estadual

- **Portaria CAT nº 81, de 03/12/99.** Disciplina o procedimento de coleta, transporte e recebimento de óleo lubrificante usado ou contaminado. (Alteração incorporada: Portaria CAT n. 60, de 04.08.00).

### Amianto Federal

- **Lei nº 9.055, de 1 de junho de 1995.** Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais e artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências.
- **Decreto nº 2.350, de 15 de outubro de 1997.** Regulamenta a Lei 9055/95 e dá outras providências.
- **Decreto nº 126, de 22 de maio de 1991.** Promulga a Convenção nº 162, da Organização Internacional do Trabalho - OIT sobre a utilização do Asbesto com Segurança.
- **Resolução CONAMA nº 07, de 16 de setembro de 1987.** Dispõe sobre a regulamentação do uso de amianto / asbestos no Brasil.
- **Resolução CONAMA nº 09, de 14 de dezembro de 1988.** Dispõe sobre a regulamentação do uso de amianto / asbestos no Brasil (Altera a Resolução. 07/87).
- **Resolução CONAMA nº 19, de 24 de outubro de 1996.** Complementa a Resolução. 07/87.
- **Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996.** Dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito.
- **Resolução CONAMA nº 228, de 20 de agosto de 1997.** Dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo. Complementa a Resolução. 23/06.
- **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Definições e classificações.
- **Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002.** Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.
- **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004.** Altera a Resolução CONAMA 307 – Incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
- **Norma Regulamentadora – NR – 15.** Limites de tolerância para poeiras e minerais.

### Amianto Estadual

- **Lei nº 10.813, de 24 de março de 2001.** Dispõe sobre a proibição de importação, extração, beneficiamento, comercialização, fabricação e a instalação, no Estado de São Paulo, de produtos ou materiais contendo qualquer tipo de amianto.

## Legislação e Normas Técnicas

- **Lei nº 12.684, de 26 de julho de 2007.** Proíbe o uso, no Estado de São Paulo de produtos, materiais ou artefatos que contenham quaisquer tipos de amianto ou asbesto ou outros minerais que, acidentalmente, tenham fibras de amianto na sua composição.

### Resíduos de serviços de saúde Federal

- **Resolução CONAMA nº 06, de 19 de setembro de 1991.** Dispõe sobre o tratamento de resíduos sólidos provenientes de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos.
- **Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005.** Dispõe sobre o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de serviços de saúde (Revoga. as Resoluções.: nº 05/1993, no que diz respeito a prestadores de serviços de saúde e a nº 283/01).
- **Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004.** Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (Revoga. a Resolução. RDC nº 33/03).
- **Portaria CVS nº 16, de 19 de novembro de 1999.** Institui norma técnica que estabelece procedimentos para descarte de resíduos quimioterápicos.
- **Portaria MINTER nº 53, de 1 de março de 1979.** Incineração de resíduos sólidos ou semissólido.
- **NBR 9.191:2000.** Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – requisitos e métodos de ensaios.
- **NBR 12.807:1993.** Terminologia.
- **NBR 12.808:1993.** Classificação de resíduos sólidos de serviços de saúde.
- **NBR 12.809:1993.** Manuseio de resíduos sólidos de serviços de saúde.
- **NBR 12.810:1993.** Coleta de resíduos de serviços de saúde.
- **NBR 13.853:1997.** Coletores para resíduos sólidos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes - Requisitos e ensaios.
- **NBR 13.221:2007.** Transportes de resíduos – procedimentos.
- **NBR 14.652:2001.** Coletor - transportador rodoviário de resíduos sólidos de serviços de saúde.

### Resíduos de serviços de saúde Estadual

- **Resolução CETESB nº 07/1997** Dispõe sobre padrão de emissão para unidades de incineração de resíduos de serviço de saúde.
- **Resolução SMA nº 33, de 16 de novembro de 2005.** Procedimento para gerenciamento e licenciamento de sistemas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos de serviço de saúde.
- **Resolução Conjunta SS-SMA/SJDC – SP-1/2004.** Estabelece classificação, diretrizes básicas e regulamento técnico sobre resíduos de serviços de saúde animal – RSSA.
- **Resolução Conjunta SS-SMA/SJDC – SP-1/1998.** Aprova diretrizes básicas e regulamento Técnico para apresentação e aprovação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde.
- **Portaria CVS nº 13, de 04 de novembro de 2005.** Aprova Norma Técnica que trata das condições

## Legislação e Normas Técnicas

de funcionamento dos Laboratórios de Análises e Pesquisas Clínicas, Patologia Clínica e Congêneres, dos Postos de Coleta Descentralizados aos mesmos vinculados, regulamenta os procedimentos de Coleta de material humano realizados nos domicílios dos cidadãos, disciplina o transporte de material humano. (Revoga a Portaria CVS n. 1, de 18.01.00).

- **Portaria CVS nº 16, de 19 de novembro de 1999.** Institui norma técnica que estabelece procedimentos para descarte de resíduos quimioterápicos.
- **Norma CETESB E15.010, de outubro de 2011.** Sistema de tratamento térmico sem combustão de resíduos dos grupos A e E.
- **Norma CETESB E15.011, de fevereiro de 1997.** Sistema para incineração de resíduos de serviços de saúde.
- **Norma CETESB P4.262 de agosto de 2007.** Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos químicos provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde.

### Diversos Federal

- **Decreto nº 875, de 19 de julho de 1993.** Controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito.
- **Decreto nº 5.940, de 25 de outubro de 2006.** Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis.
- **Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004.** Estabelece diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências.
- **Resolução CONAMA nº 452, de 2 de julho de 2012.** Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito.
- **Portaria IBAMA nº 45/1995.** Constitui a Rede Brasileira de Manejo Ambiental de Resíduos - REBRAMAR, integrada à Rede Pan Americana de Manejo Ambiental de Resíduos - REPAMAR, coordenada em nível de América Latina e Caribe pelo Centro Pan Americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais – CEPIS.
- **Portaria IPHAN nº 230/2002** Dispõe sobre procedimentos para a obtenção das licenças ambientais em urgência ou não, referentes à apreciação e acompanhamento das pesquisas arqueológicas.
- **NBR 11.682:1991.** Estabilidade de Taludes.
- **NBR 15.495-1.** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção (Substitui a NBR 13.895).
- **NBR 15.495-2.** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento.

## Legislação e Normas Técnicas

### Diversos Estadual

- **Lei nº 4.435, de 5 de dezembro de 1984.** Veda a instalação de depósito de lixo, aterros sanitários e usinas de beneficiamento de lixo – Município de Embu.
- **Lei nº 10.888, de 20 de setembro de 2001.** Dispõe sobre o descarte final de produtos potencialmente perigosos de resíduos que contenham metais pesados.
- **Lei nº 11.575, de 25 de novembro de 2003.** Dispõe sobre a doação e reutilização de gêneros alimentícios e sobras de alimentos.
- **Lei nº 12.047, de 21 de setembro de 2005.** Institui o Programa Estadual de Tratamento e Reciclagem de Óleos e Gorduras de Origem Vegetal ou Animal e Uso Culinário.
- **Lei nº 12.528, de 2 de janeiro de 2007.** Obriga os Shopping Centers, com um número superior a cinquenta estabelecimentos comerciais, a implantarem processo de coleta seletiva de lixo.
- **Decreto nº 44.760, de 13 de março de 2000.** Autoriza a Secretaria do Meio Ambiente a, representando o Estado, celebrar convênios com Municípios Paulistas, integrantes do Vale do Ribeira, visando à implantação de aterros sanitários em valas para resíduos sólidos.
- **Decreto Estadual nº 45.001, de 27 de junho de 2000.** Autoriza o Secretário do Meio Ambiente a celebrar convênios com Municípios Paulistas, relacionados no Anexo I deste decreto, visando à implantação de aterros sanitários em valas para resíduos sólidos.
- **Decreto Estadual nº 46.584, de 5 de março de 2002.** Dispõe sobre apoio aos projetos, dos municípios do Estado de São Paulo, relacionados às atividades de controle da poluição ambiental, que gerem até 30 (trinta) toneladas por dia de resíduos domiciliares.
- **Resolução Estadual SS nº 49/1999** Define os procedimentos para utilização de restos alimentares provenientes dos estabelecimentos geradores desses resíduos para a alimentação de animais.
- **Resolução SMA nº 34, de 27 de agosto de 2003.** Dispõe sobre as medidas necessárias à proteção do patrimônio arqueológico e pré-histórico quando do licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades potencialmente causadores de significativo impacto ambiental, sujeitos à apresentação de EIA/RIMA, e dá providências correlatas.
- **Resolução SMA nº 39, de 21 de julho de 2004.** Estabelece as diretrizes gerais à caracterização do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em solo.
- **Resolução SMA nº 12, de 9 de março de 2009.** Dispõe sobre a apresentação de certidões municipais de uso e ocupação do solo e sobre o exame e manifestação técnica pelas Prefeituras Municipais nos processos de licenciamento ambiental realizados no âmbito do SEAQUA e dá outras providências. (Revoga a Resolução.SMA nº 26, de 23.08.05).
- **Norma CETESB L1.022, de novembro de 2007.** Avaliação do uso de produtos biotecnológicos para tratamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos e remediação de solos e águas.
- **Decisão da Diretoria CETESB nº 195/05.** Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.





#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

S24r São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente  
Resíduos Sólidos / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria  
de Planejamento Ambiental; autores: Mansor, Maria Teresa C.; Camarão, Teresa  
Cristina R. Costa; Capelini, Márcia; Kovacs, André; Filet, Martinus; Santos, Gabriela  
de A.; Silva, Amanda Brito - 2ª ed. - São Paulo : SMA, 2013.  
164p. : 15,5 x 22,3 cm. (Cadernos de Educação Ambiental, 6)

Bibliografia  
ISBN – 978-85-86624-69-8

1. Resíduos Sólidos 2. Educação Ambiental I. Título. II. Série.

CDU 349.6

---

1ª reimpressão 2014

## **CADERNOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

### **Coordenação Geral**

Yara Cunha Costa

### **Caderno Resíduos Sólidos – 2ª Edição**

#### **Autoria**

Maria Teresa Castilho Mansor  
Teresa Cristina Ramos Costa Camarão  
Márcia Capelini  
André Kovacs  
Martinus Filet  
Gabriela de Araújo Santos  
Amanda Brito Silva

#### **Colaboração**

Eduardo Brito Bastos  
Fernando Antonio Wolmer

#### **Revisão Técnica**

Denize Coelho Cavalcanti  
Gabrielle Tambellini  
Lília Silvério de Oliveira  
Mariana Valerio Viegas

#### **Revisão de Texto**

Denise Scabin Pereira

#### **Diagramação**

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

#### **CTP, Impressão e Acabamento**

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo

## **CADERNOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

### **Coordenação Geral**

Maria de Lourdes Rocha Freire

### **Caderno Resíduos Sólidos – 1ª Edição**

#### **Autoria**

Maria Teresa Castilho Mansor  
Teresa Cristina Ramos Costa Camarão  
Márcia Capelini  
André Kovacs  
Martinus Filet  
Gabriela de Araújo Santos  
Amanda Brito Silva

#### **Colaboração**

Eduardo Brito Bastos - INPEV  
Fernando Antonio Wolmer - CETESB

#### **Revisão Técnica**

Auntho Savastano Neto - CETESB  
Cristiano Kenji Iwai - CETESB  
Elvira Lídia Straus - CETESB  
Flávio Maron Vichi - Universidade de São Paulo- Instituto de Química  
João Antonio Fuzaro - CETESB  
Maria Heloísa Assumpção - CETESB

#### **Revisão de Texto**

Denise Scabin Pereira - CEA  
Regina Brito Ferreira – CEA

#### **Projeto Gráfico**

Vera Severo

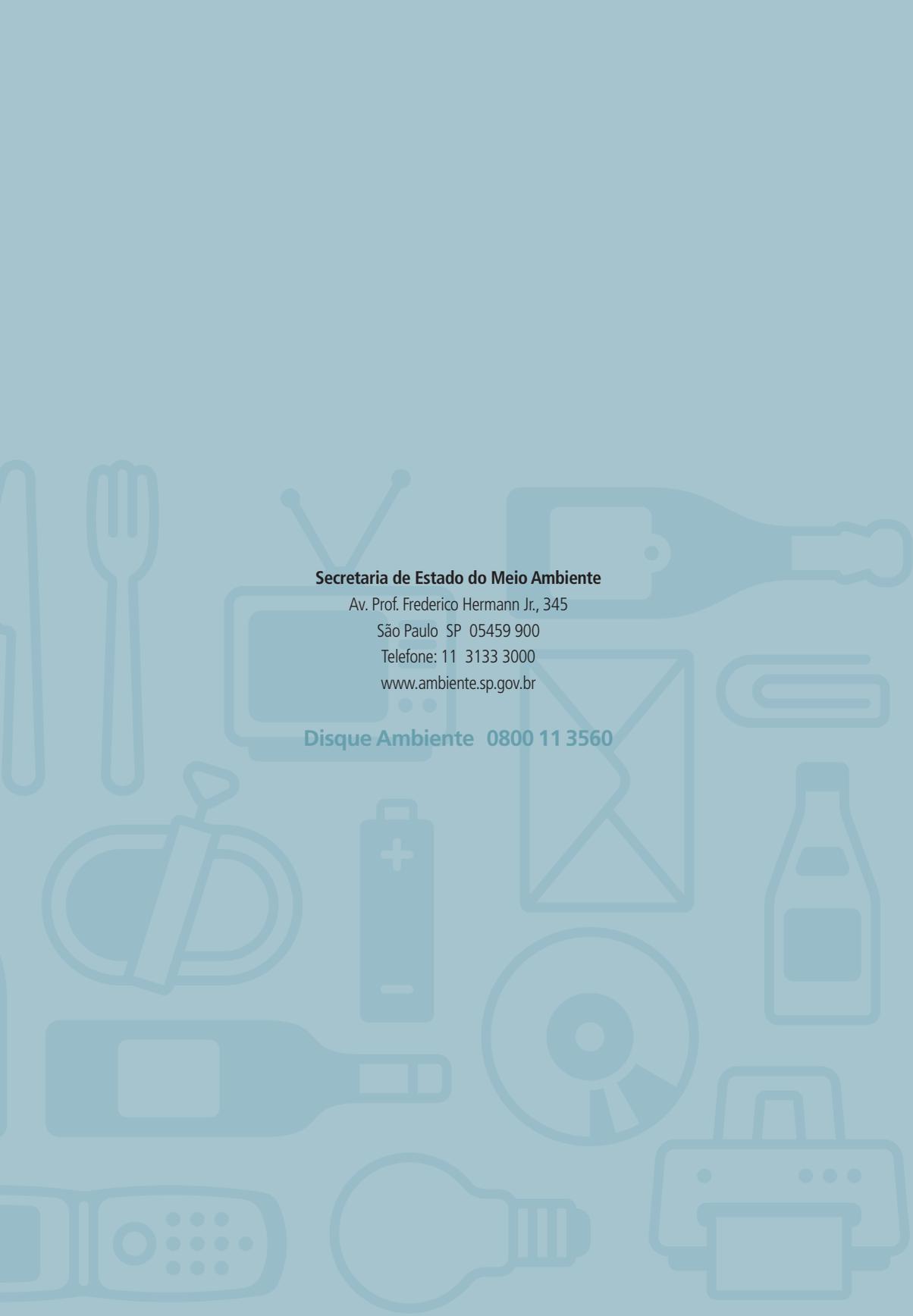
#### **Diagramação**

Estúdio Lixx

#### **CTP, Impressão e Acabamento**

Imprensa Oficial do Estado de São Paulo





**Secretaria de Estado do Meio Ambiente**

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345

São Paulo SP 05459 900

Telefone: 11 3133 3000

[www.ambiente.sp.gov.br](http://www.ambiente.sp.gov.br)

**Disque Ambiente 0800 11 3560**



GOVERNO DO ESTADO  
**SÃO PAULO**

Secretaria do Meio Ambiente