

## PANORAMA SOBRE O CENÁRIO TECNOLÓGICO DE RECICLAGEM DE POLÍMEROS

Vicente Cerqueira

Doutor em Ciência e Tecnologia de Polímeros – vcerqueira@ufrj.br

Departamento de Desenho Industrial – EBA/UFRJ

### Resumo:

A partir de uma contextualização histórica, observar-se que os conceitos de reutilização e reciclagem já eram praticados na manufatura de produtos antes mesmo da revolução industrial. O objetivo geral deste trabalho é discutir os preceitos da sustentabilidade em relação às ações produtivas nas tecnologias de polímeros – plásticos e borrachas. Para tal, são discutidos alguns conceitos pertinentes aos fatores de produção e que corroboram com desenvolvimento sustentável, sendo discutidos temas como: concepção de produtos, especificação tecnológica, cadeia produtiva, cenário e inovação, funções “Rs”, gestão ambiental entre outros, como práticas indispensáveis para uma produção mais limpa. Em seguida, realizam-se descrições sobre as tecnologias de transformação de polímeros, visando consubstanciar um panorama sobre o Estado da Técnica da reciclagem de resíduos provenientes deste grupo tecnológico, isto é, reciclagem mecânica, química e energética. Comenta-se, ainda, a utilização de materiais poliméricos naturais e biodegradáveis em relação ao meio ambiente e aos meios produtivos. Finalizando, indicam-se algumas proposições baseadas no sistema projeto/processo/produto que contribuem com programas internos e externos de reciclagem de polímeros.

**Palavras-chaves:** Desenvolvimento Sustentável; Reciclagem; Sistemas Produtivos

### 1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos, sucatas ou mesmo produtos descartados não chega a ser um fato novo para a dinâmica produtiva. A partir de uma contextualização histórica é possível se perceber que antes da constituição da sociedade industrial já havia práticas produtivas que empregavam este tipo de “recurso” para produzir materiais que, mais tarde, seriam transformados em novos produtos. Para ilustrar citam-se os espólios de objetos metálicos derivados de batalhas e que eram comercializados aos ferreiros; cavacos de madeiras e fibras eram empregados para gerar energia nas fornalhas; e, talvez, o melhor exemplo, o vidro que por meio de cacos e produtos danificados eram utilizados como fundente para a fabricação de uma nova massa vítrea e, por conseguinte, novos objetos. A utilização desses recursos derivava-se da escassez de matérias-primas e das dificuldades técnicas de beneficiamento, os quais constituíam práticas comuns para a produção de artefatos.

Com o advento da industrialização a produção de artefatos cresceu vertiginosamente, resultando no aumento de consumo dos recursos produtivos. A transição da manufatura artesanal para a industrial acarretou vários problemas aos processos produtivos. A falta de domínio técnico resultou em produções dispendiosas e descontínuas, ocasionando produtos de qualidade inferior que eram descartados rapidamente. Estas situações relacionavam-se à falta

de conhecimento e desenvolvimento tecnológico para uma manufatura em larga escala, ou seja, enquanto a manufatura pré-industrial era limitada, a produção de artefatos na primeira fase da Revolução Industrial aumentou o consumo dos recursos produtivos, através do crescimento das cidades e a demanda por novos produtos.

Com o desenvolvimento científico e tecnológico, diversos setores industriais implantaram novos métodos de produção que a reduziram as margens de erros e perdas nos sistemas produtivos. Entre essas iniciativas encontra-se a mecanização que implementaria a produção, aumentando, inclusive, a qualidade técnica dos produtos. Mas como consequência, houve a necessidade de aumentar a oferta de recursos básicos. Logo, se de um lado a racionalização dos processos produtivos reduziria as perdas e desperdícios do outro ocasionaria a expansão da oferta, através do aumento da capacidade instalada e, conseqüentemente, o aumento por demanda de materiais, energia entre outros insumos.

Ao longo dos dois últimos séculos, observa-se que a resposta tecnológica para os problemas da atividade produtiva foi mais rápida e eficiente em comparação às resoluções sobre os problemas sócio-ambientais, levando quase ao esgotamento da oferta de diversos recursos naturais, seja pela exploração indiscriminada, pelo uso inadequado ou pela exclusão social em diversos segmentos de produtos. Verifica-se, então, que a escassez de recursos no modelo produtivo pré-industrial, encontra-se na carência de conhecimento tecnológico, enquanto que no modelo industrial a escassez de recursos é gerada pelo consumo indiscriminado. Por esse aspecto, o problema da relação produtiva com as questões ambientais, não se limita aos aspectos tecnológicos ou econômicos, mas na maneira como são organizadas suas pertinências em relação ao desenvolvimento humano.

Portanto, a conotação histórica busca estabelecer nexos entre os recursos produtivos e os aspectos sócio-ambientais. Para tal, define-se, neste artigo, um estudo sobre a área de polímeros, no que tange à tecnologia de produtos plásticos e borrachas, como exemplo de ações capazes de constituírem programas com índices significativos de sustentabilidade ambiental, social e econômica, principalmente, ao se observar o cenário brasileiro. Neste contexto, comentam-se conceitos relacionados ao tema sustentabilidade, tais como: cadeia produtiva, inovação sócio-ambiental, Funções “Rs”, gestão ambiental, entre outros para em seguida realizar uma breve descrição sobre as tecnologias de polímeros e seus processos de reciclagem. Finalizando o artigo, se reafirma a importância de ampla educação sócio-ambiental a partir dos conceitos apresentados, tendo como prerrogativa a prática projetiva em produtos, a fim de indicar parâmetros sócio-ambientais que contribuirão para adoção de programas voltados à manufatura sustentável em polímeros.

## **2. TEMAS EM SUSTENTABILIDADE PRODUTIVA**

Tradicionalmente, a teoria econômica caracteriza os fatores de produção - **trabalho e capital** - como geradores de riqueza de uma empresa e/ou de uma nação. Todavia, nas últimas décadas esses fatores vêm passando por transformações conceituais significativas, como por exemplo: a capacidade dos recursos humanos não é mensurada mais pelo volume produtivo, mas pela capacidade intelectual, constituindo o capital humano de uma organização. Complementando o exemplo, a tecnologia que era caracterizada como parte do capital ativo passou a exercer o principal papel na manufatura, substituindo a mão-de-obra, por meio da incorporação do binômio eletrônica-informática. De modo geral, os sistemas produtivos correspondem ao fenômeno sócio-econômico que cria mercadorias e serviços para

trocas financeiras, tendo como fundamento básico a agregação de valores, por meio da transformação de recursos naturais em produtos ou serviços. Neste sentido, percebe-se que a tecnologia é fruto da capacidade intelectual do homem em relação às condicionantes ambientais. Observa-se que a evolução humana se manteve atrelada aos recursos naturais, produzindo bens, a fim de satisfazer a necessidades individuais e/ou sociais. Todavia, a condição tecnológica foi se modificando, seguindo caminhos próprios e se distanciando do desenvolvimento social. Como uma das conseqüências, houve a quebra do paradigma relacional homem-meio-objeto e uma forma de vida com bem-estar sustentável.

Partindo dessa premissa, todos os programas com caráter desenvolvimentista merecem reflexões sobre as práticas produtivas, onde a percepção dos recursos naturais corresponde ao fator indispensável para a produção de bens manufaturados. Logo, recursos como **matérias-primas, energia e água** são recursos que ao final do século passado entraram na fase crítica de exploração, requisitando novos procedimentos para suas aplicações e usos. Essas considerações, não têm o intuito de resgatar a relação primária do fazer técnico, mas mostrar as interações desses recursos nos diversos segmentos produtivos e, em especial o de polímeros (plásticos e borrachas) e suas interferências na vida contemporânea, onde tecnologia, economia e sociedade deverão manter-se em sinergia com as relações ambientais.

Mano *et al* (2005) citando os relatórios da Comissão Brundtland, observam que, em pouco mais de um século de produção industrializada, houve quase esgotamento dos recursos materiais, em decorrência do consumo excessivo de diversos recursos naturais. Além do esgotamento gerado por uma produção exagerada, o meio ambiente foi submetido a outro problema – a poluição – decorrente da grande quantidade de resíduos provenientes dos processamentos e do pós-uso. Segundo dados levantados, em 2002, cerca de 130 mil toneladas de lixo urbano foram depositados em aterros sanitários ou em “lixões” nos principais centros urbanos brasileiros. Estima-se que, desse montante, aproximadamente, 48% são materiais passíveis de reciclagem, tais sejam: papéis em torno de 22%, plásticos em 18%, metais em 5% e silicatos (vidros e cerâmicas) 3% e o restante corresponde a resíduos orgânicos. A combinação da mistura de materiais orgânicos e industrializados corresponde, ao principal problema ambiental das grandes cidades, isto porque, não existem de maneira consistente programas de educação ambiental e de programas coletas seletivas. Para Guimarães (2008), as iniciativas existentes, neste sentido, se limitam em atender às exigências das legislações ou vocações específicas de grupos sociais, salientando que a falta de políticas públicas voltadas à educação ambiental é o principal problema para a questão do lixo urbano.

Outro fato destacado no estudo realizado por Mano *et al* refere-se à geração e consumo de energia. Em grande parte, a produção mundial de energia é desperdiçada, seja ela oriunda de recursos hídricos, nuclear, petrolífera ou mesmo de fontes complementares (eólica, solar, etc.). Esse desperdício remete a questões de oferta e demanda, pois cerca de 70% da produção da energia mundial, concentra-se em apenas cinco regiões do planeta, tais seja: EUA, Europa (incluindo Rússia), Leste Asiático, Índia e costa do Atlântico Sul (Litoral do Brasil e norte da Argentina). Ainda neste contexto, verifica-se que parcela significativa da produção e consumo de energia é destinada ao transporte de pessoas e cargas, utilizando, principalmente, combustíveis derivados do petróleo<sup>1</sup>. Logo, se os processos produtivos remetem direta ou indiretamente ao conceito de poluição ambiental, os processos geradores de energia

---

<sup>1</sup> Dados **não consolidados estima-se** que aproximadamente 60% da totalidade de energia gerada no mundo são provenientes da queima de combustíveis fósseis, resultando no aumento da emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases geradores do efeito estufa.

ocasionam um efeito ambiental mais abrangente e capaz de alterar, de modo irreversível, o meio ambiente próximo e afastado, resultando no conceito de impacto ambiental.

Além dos materiais e energia, a água é outro recurso natural indispensável para os processos produtivos. O planeta possui uma superfície coberta por 95% de água, apenas 5% deste total é referente à água doce e pouco mais da metade encontra-se em estado líquido. Porém, estima-se que, aproximadamente, ¼ de toda água doce do mundo esta com algum tipo de contaminação (alto índice de acidez, excesso de matéria orgânica, impregnação de metais, entre outros), requisitando, cada vez mais, investimentos em sistemas de tratamentos para adequá-la ao consumo doméstico e/ou industrial. A maioria dos processos produtivos utiliza volumes consideráveis de água, normalmente aplicado para refrigeração de máquinas e equipamentos. Neste caso, grande parte da água utilizada é tratada *in house* e reutilizadas no próprio processo produtivo ou aplicadas em outros setores da organização. Já outros processos, tais como a produção de celulose e papel, utilizam grande volume de água para beneficiamento e produção que, após seu uso, necessita de cuidados especiais, devido à contaminação por diversas substâncias.

## 2.1 Inovação Sócio-ambiental

Ao contrário do senso comum, que associa a inovação aos aspectos da invenção ou novidade, o conceito de inovação possui fundamento produtivo, capaz de interferir no escopo tecnológico e social. A respeito disto, Foster & Kaplan (2001:133), comentam que “uma invenção implica na conversão da idéia criativa em uma forma comunicável e verificável, geralmente aplicada para atender a alguma necessidade ou realizar uma tarefa. A inovação é uma invenção que produziu valor econômico para a empresa e para a sociedade”. Tanto é que, várias tecnologias de processo ou de produto surgem e desaparecem em curto espaço de tempo. São substituídas por outras de melhor qualidade, de menor custo ou, simplesmente, deixam de serem novidades. Logo, a inovação é um dos alicerces para o desenvolvimento industrial e competitividade entre empresas, pois estabelece dinâmica de substituição ou evolução de conhecimentos produtivos através do princípio da destruição criativa (Schumpeter, 1957).

Entre as ações formadoras de inovações, destacam-se aquelas relacionadas aos programas de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D. Cabe, porém, ressaltar que essas ações não ocorrem de modo estanque ou por uma simples decisão do *staff* da empresa, são implantadas de modo gradativo, contínuo e contextualizadas em cenários produtivos, onde há a necessidade de se estabelecer vínculos entre a estratégia da empresa e desenvolvimento científico e tecnológico.

As inovações são caracterizadas em níveis de impacto técnico-econômico em: inovações incrementais, substanciais e radicais (Forte & Kaplan, 2003); e categorizadas em: inovações tecnológicas, quando há alterações nos sistemas produtivos; inovações estruturais, quando há mudanças nas competências da organização; e inovações comerciais, quando há mudanças no relacionamento com o mercado. Cerqueira & Hemais (2004), observaram que todas as formas de inovações solicitam desdobramentos internos ou externos à organização, gerando outras inovações, por exemplo: uma inovação tecnológica intervém na estrutura organizacional e nas relações comerciais, requisitando novas formas de ação, ou seja, outras inovações.

Atualmente, ocorre uma quarta categoria de inovação e que remete às questões de integração homem-meio-objeto, tendo como finalidade o estabelecimento de parâmetros para o desenvolvimento social. Esta nova categoria é denominada de **inovação social** e visa

agregar, ou mesmo, modificar determinados padrões por meio de novos conceitos de relacionamento produtivo, dois quais se destacam os seguintes aspectos (base: Guimarães, 2008; e Manzini, 2008):

- Abrangência da ação inovativa considerando a inclusão social, para que ocorra benefício econômico de modo direto e indireto na sociedade;
- Integração cultural visando à incorporação de valores e conhecimentos regionais, resgatando, inclusive, tecnologias de caráter etnográfico;
- Necessidade de novos modelos de gestão do conhecimento que integrem tecnologias abertas às tecnologias privadas, em caso de interesse social;
- Percepção e inserção de questões ecológicas em programas de P&D, visando o uso sustentável dos recursos naturais.

Neste contexto, destaca-se a importância das tecnologias abertas como um novo modelo de desenvolvimento, onde a tecnologia apresenta-se como instrumento de alto valor social, capaz de estimular não só o uso, mas também, a agregação e participação de produtores e usuários em torno de uma idéia. Este conceito técnico-produtivo não se limita às tecnologias regionais ou de baixa complexidade, é aplicado, também, em situações de conteúdo científico, caso tenha conotação voltada ao bem-estar social (Manzini, 2008). Por esse aspecto, há a necessidade de reconhecimento de valores éticos em todas as nuances que compõem a sociedade, principalmente, no que tange a integração de programas de P&D à responsabilidade social e aos sistemas de gestão ambiental, visando à constituição de inovações sócio-sustentáveis.

## 2.2 Sistema de Gestão Ambiental - SGA

Assim como existem programas que certificam a qualidade técnica em produtos e serviços (Série ISO 9000), há, também, os procedimentos que estabelecem relações menos agressivas e mais duradouras aos ambientes produtivos. Seiffert (2005) comenta sobre a necessidade de conciliação das esferas tecnológica, econômica e ambiental, visando uma contextualização mais abrangente do ponto de vista do desenvolvimento social e que, segundo a autora, é obtido, ainda que parcialmente, por meio de regulamentações legislativas. Entretanto, conforme comentado por Guimarães *et al* (2008) a legislação brasileira, apesar de ampla, ainda não apresenta amplitude significativa e se limita aos tratamentos de resíduos.

De todas as iniciativas regulatórias, talvez aquela que mais contribuiu com a responsabilidade ambiental foram procedimentos produtivos indicados pela *International Organization for Standardization* – ISO, por meio da Série 14000, mais especificamente as orientações 14001 para a elaboração do Sistema de Gestão Ambiental-SGA. Este sistema vem se constituindo em importante instrumento para empresas adequarem seus processos produtivos a parâmetros ambientais.

Integrando-se a estratégia central das empresas o SGA contribui com resultados positivos, inclusive, em seus aspectos comerciais, no qual estabelece processo contínuo e evolutivo na agenda tecnológica, além de levar o tema meio ambiente aos funcionários de todos os níveis, dentro dos parâmetros da educação ambiental. Entretanto, a implantação do SGA não é garantia de melhoria no desempenho ambiental, pois uma empresa poderá adequar-se à norma simplesmente padronizando o modelo de gerenciamento e assumir como corretos procedimentos tradicionais, de baixo desempenho ambiental, sem qualquer abordagem evolutiva da produção limpa. Por esse motivo, o SGA deverá ter rotinas abertas e

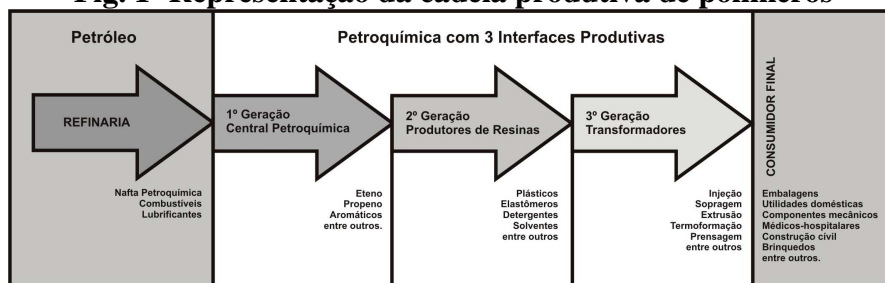
dispostas às novas proposições, em sinergia com outros programas internos e externos da empresa, objetivando a hiper-eficiência produtiva através da eliminação de desperdício, economia energética, redução de insumos, eliminação de agentes, controle de afluentes, entre outros aspectos, conforme mencionado por Manzini & Vezzoli (2002). Portanto, o SGA indica procedimentos necessários para constituir um ciclo integrado em todas as fases relacionadas à produção industrial, do qual se destacam os seguintes procedimentos:

- Utilização dos recursos naturais e modo ordenado, gradativo e substitutivo;
- Eliminação de resíduos derivados de processamentos primários, secundários ou terciários;
- Racionalização de processos visando minimizar perdas de energia, matéria-prima e outros recursos;
- Análise sistemática de agentes poluidores e impactantes referentes aos novos processos e produtos;
- Integração social ao desenvolvimento de programas ambientais, incentivando tecnologias participativas, entre outros.

### 2.3 Cadeias produtivas sustentáveis

O conceito de cadeia produtiva corresponde a um sistema de inter-relacionamento empresarial tendo como função associar ativos através da agregação de valores em produtos ou serviços, constituindo um sistema de produção interligada. Autores como Arnold (1999) e Slack *et al* (1999) comentam que as relações produtivas formam vínculos estratégicos significativos e encontram-se baseadas em sistemas de suprimentos, correspondendo ao fluxo de produtos e serviços – oferta; e um contra-fluxo de projetos e informações – demanda, onde nenhuma operação existe isoladamente e todas fazem parte de um ambiente maior, interconectadas entre fornecedores e clientes, constituindo a idéia de rede de suprimento (*supply network*). Além dessas características, as estruturas produtivas estabelecem interações diretas e indiretas, possibilitando observar perspectivas a médio e longo prazos. Por sua vez, Chopra & Meindl (2001), comentam que a visão gerencial tem papel significativo nos arranjos produtivos, pois permitem uma ampla visão das forças que alteram o cenário existente, tais como: atividades paralelas ou periféricas (*outsourcing*). A Figura 1 mostra a cadeia produtiva de polímeros, através das três gerações produtivas. Destaca-se o setor de transformação como responsável pela integração da rede, além de participar de outras cadeias.

**Fig. 1- Representação da cadeia produtiva de polímeros**



Fonte: Cerqueira & Hemais (2004)

Considerando esta premissa, observa-se que uma análise baseada na sustentabilidade não se limita às interações diretas, isto é, no escopo produtivo linear, seqüencial, hierárquica ou em gerações produtivas, numa relação de compra e venda. Há, na realidade, outras condicionantes que indicarão se a estrutura produtiva apresenta uma relação sustentável em termos ambientais, tecnológicos e sociais. A análise das relações ambientais estará consubstanciada tanto o modo específico dos processos (micro-sistêmico), quanto em âmbito

geral (macro-sistêmico), considerando as estruturas produtivas sobre a ótica de rede, isto é, em níveis de geração produtiva e suas atividades paralelas, tais sejam:

- Primeira geração- os recursos e insumos utilizados no processo produtivo que se relacionam à extração e utilização dos recursos naturais;
- Segunda geração - os recursos e insumos empregados nos processos produtivos que se relacionam ao beneficiamento e produção de matérias-primas e outras substâncias empregadas na produção e desuso;
- Terceira geração - os recursos e insumos aplicados nos processos de manufatura de produtos e seus complementos, inclusive em relação à pós-fabricação e desuso;
- Em paralelo (*outsourcing*)- eventos esporádicos ou descontínuos que contribuem com a logística, comercialização, pós-consumo de manufaturados e seus complementos.

## 2.4 As Funções “Rs”

Entre os principais aspectos que corroboram com programas de sustentabilidade sócio-ambiental, estão as funções “Rs” que, gradativamente, vem contribuindo para relações produtivas menos agressivas ao meio ambiente e que possibilitem ganhos para uma produção mais limpa. No entanto, não há consenso sobre as especificidades das funções “Rs” quando aplicados em programas ambientais. Mano *et al* (2005) indicam apenas três funções: Reduzir, Reutilizar e Reciclar como aquelas mais importantes na constituição de programas ambientais. Já outros autores incluem as funções Reintegrar, Regenerar, Repensar e Recusar.

Para as funções Repensar e Recusar ainda não são prioritárias em programas ambientais, pois dependem de outros aspectos para serem implementadas, sem com isso gerar novos problemas, principalmente, aqueles relacionados ao desenvolvimento sócio-econômico. Enquanto, as funções Reintegrar e Regenerar apresentam controversas quanto à sua aplicação, mas são aceitas dentro das funções “Rs”. Uma das controversas refere-se à reintegração de determinados agentes ou materiais à natureza, que poderão ocasionar danos a médio-longo prazos em decorrência da saturação no meio onde foram descartados, além de sujeitar o ambiente à poluição até que o produto esteja completamente integrado (degradado) à natureza. Já a função Regenerar corresponde à reciclagem terciária, pois visa recuperar as propriedades básicas de determinado material. As demais funções “Rs” são consensuais e plenamente aceitas por setores sociais e produtivos, pois contribuirão para o desenvolvimento tecnológico e social.

Outro aspecto que merece destaque refere-se ao uso genérico da função Reciclar para designar as outras funções “Rs”, é necessário se observar as finalidades específicas de cada função, pois sua finalidade estará condicionada a determinados recursos ou procedimentos. Como por exemplo: a função Reduzir poderá ter conotações diferenciadas decorrente do segmento produtivo, tais como: concepção mais econômica de um produto; eliminação de desperdício de insumos; ou evitar o excesso de lixo urbano.

Portanto, as funções “Rs” possuem especificidades e distinções, constituindo-se como prioritárias em sistemas de gestão ambiental. Logo, definem-se as funções “Rs” como:

- **Reduzir**- consiste no ato ou efeito de eliminar recursos e desperdícios por meio de uma produção mais limpa em todas as etapas do processo produtivo assim como no pós-uso;

- **Reutilizar**- consiste no ato ou efeito de atribuir nova aplicabilidade aos recursos ou produtos em seus aspectos técnico-funcionais, visando aumento do ciclo de benefício oferecido;
- **Reciclar**- consiste no ato de aplicar um material residual e/ou descartado, visando transformá-lo em um novo material de aplicação idêntica ou semelhante ao anterior;
- **Reintegrar**- consiste no efeito de depositar resíduos provenientes de processo ou desuso na natureza a fim de transformá-lo novamente em recurso, sem ocasionar danos ao ambiente.

### 3. TECNOLOGIAS DE POLÍMEROS

Estudos realizados por Katz (1984), referente à transformação de polímeros em artefatos, indicam que a China já usava o Âmbar, no século VII a.C., assim como, a região compreendida hoje como Oriente Médio, no século II produzia vários artefatos a partir de uma massa constituída de fibra de celulose e goma laca que, após conformada e seca, ficava leve e resistente sendo, mais tarde, aperfeiçoada na França ficando conhecida como *papier mâché*. No período pré-industrial, diversos artesãos desenvolveram técnicas para moldar polímeros naturais, tanto de origem animal quanto vegetal. Chifres, ossos, fibras eram conformados gerando diversos utensílios, que iam desde pentes até móveis. Na América pré-colombiana o látex (borracha natural) era empregado como impermeabilizante e na produção de objetos.

Durante a primeira fase da Revolução Industrial, surgem os primeiros polímeros artificiais, provenientes de modificações químicas em polímeros naturais, citam-se o Nitrato de celulose (celulóide) e o Galalite (caseína). Entretanto, o primeiro polímero sintético só seria desenvolvido em 1907, pelo químico Leo Baekeland, produzido industrialmente em 1908. A Resina fenólica – RN ou Baquelite, como ficou conhecida, além de ter sido um marco para a ciência dos materiais, possibilitou a simplificação da manufatura de diversos produtos e estimulou novas pesquisas neste segmento de materiais, resultando no surgimento da ciência e tecnologia de polímeros. Grande parte dos polímeros de transformação, sejam eles plásticos ou borrachas, foi desenvolvida na primeira metade do século passado, ocupando espaço significativo na manufatura de produtos acabados ou peças mecânicas.

Hoje e, dia, as tecnologias de transformação de polímeros – plásticos ou borrachas – formam o grupo mais expressivo na fabricação de produtos industrializados. Segundo dados da OMC (2006), a quantidade de plásticos transformados em produtos ultrapassa em número de unidades a transformação do aço. Esta demanda deve-se as suas propriedades, aos custos de fabricação, a logística empregada e as possibilidades em design. Para o seguimento elastômeros (borrachas), não se têm dados consolidados referentes à sua transformação em âmbito mundial, mas considerando a produção automotiva nas últimas décadas, percebe-se que houve grande demanda, pois os principais produtos fabricados com esses materiais são pneumáticos, em torno de 40% e calçados, com 26%<sup>2</sup>.

Os materiais poliméricos são substâncias macromoleculares, de origem orgânica, obtidos pela repetição de moléculas menores (meros) que formam cadeias mediante ações físicas ou

---

<sup>2</sup> Dados não consolidados em decorrência de métodos diferenciados aplicados por diversos organismos para análises de oferta e demanda.



químicas. De acordo com a estrutura do polímero ele poderá apresentar comportamento mecânico de plástico, de elástico ou de fibra. Sua estrutura, também, define as propriedades tecnológicas em termoplástico ou termorrígido. Além dessas classificações, existem outras que estão relacionadas às características físico-químicas ou ao seu desempenho, conforme mostrado a seguir pela classificação técnico-econômica:

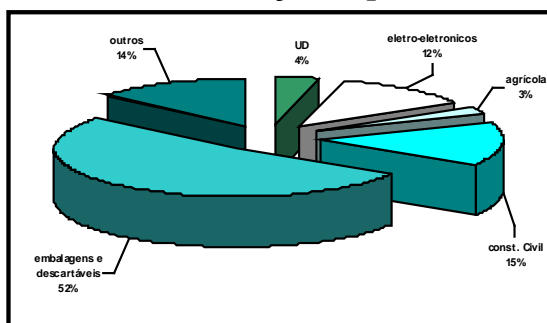
- Polímeros *commodities*- grupo de maior abrangência; alta produção e baixo custo, tais como Polipropileno-PP, poliestireno-PS e Poli(cloreto de vinila) – PVC;
- Polímeros *pseudo-commodities*- grupo de polímeros de uso específico, média produção e médio custo, tais como: policarbonato-PC, poliamida-PA, poli(metacrilato de metila)-PMMA, Polioximetileno-POM, entre outros;
- Polímeros *specialties*- grupo de polímeros de alto desempenho, apresentando baixa produção e alto custo, tais como: poli(éter-cetona)-PEK, poli-imida-PI, entre outros.

Além desses aspectos, polímeros de transformação poderão apresentar características diferenciadas das obtidas originalmente. Quando submetidos a modificações físicas ou químicas em sua macro-estrutura poderão gerar materiais compósitos, celulares (espumas), “blendas” poliméricas ou ainda substratos (tintas e vernizes ou colas e adesivos). Portanto, os materiais poliméricos constituem um grupo tecnológico que participa de vários segmentos produtivos e, não apenas, para a fabricação de produtos de plásticos ou de borrachas.

## 2.1 Processamentos de polímeros plásticos

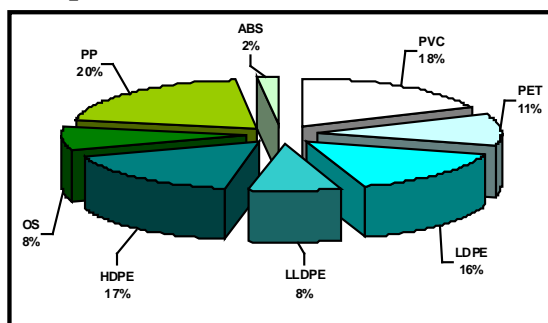
As tecnologias de transformação de polímeros plásticos formam um leque expressivo para a produção de produtos. Essa abrangência é fruto de esforços que dinamizaram a produção tecnológica entorno da cadeia produtiva de polímeros e ao próprio desenvolvimento dos plásticos, donde se destacam as seguintes características: baixo custo da produção, alta produtividade, baixo consumo de energia e insumos básicos, baixo peso molecular (leveza), fácil coloração, variedade de acabamento, possibilidade de formas complexas entre outros. Contudo, algumas dessas vantagens se reverterem quando não se tem programas institucionais consistentes de desenvolvimento de processos complementares, tais como a logística inversa

**Fig. 2 - Principais segmentos de mercado em transformação de plásticos**



Fonte: ABIPLAST (2004)

**Fig. 3- Segmentação dos principais plásticos consumidos no Brasil**



Fonte: ABIPLAST (2004)

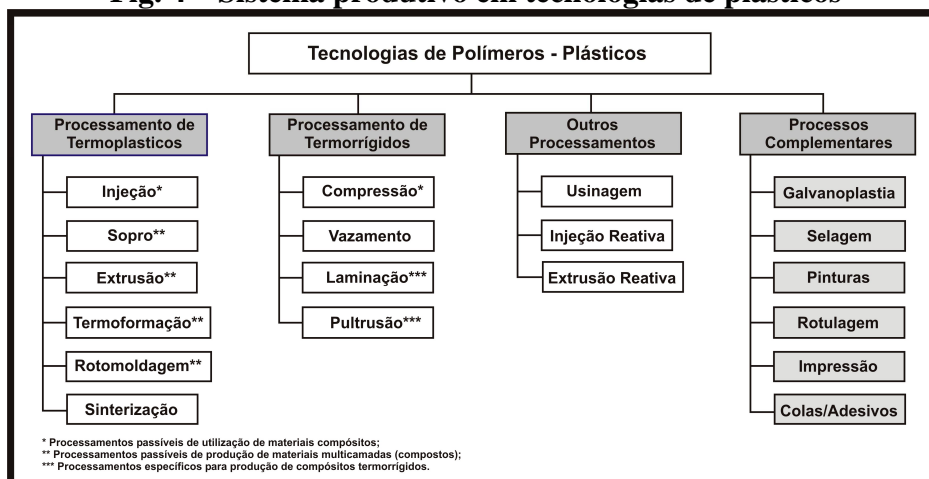
Salienta-se que, nas últimas décadas, a ciência e a tecnologia de plásticos tem evoluído consideravelmente, e Brasil tem acompanhado esta evolução produzindo, aproximadamente, 4.500 mil ton./aa. de termoplásticos, 300 mil ton./aa. de termorrígidos colocando-o como um dos principais *players* do cenário produtivo mundial. Porém, esta evolução não significa aumento da variedade de plásticos, mas sim sua redução em decorrência de novos *grades* e de

composições associativas que possibilitaram maior abrangência de mercado e, por conseguinte, facilitaram a identificação para reciclagem. Portanto, pode-se dizer que, a partir da última década, os polímeros entraram em uma fase de “amadurecimento” tecnológico, isto é, menos variedade com mais amplitude de processabilidade. Como exemplo, compara-se o desempenho de mercado, entre o PVC e PP ao longo dos últimos 30 anos. Verifica-se que o PVC, apresentava taxa de crescimento de 18%/aa. e hoje não ultrapassa 5%/aa., enquanto o PP que apresentava um taxa de crescimento na casa de 3%/aa., atualmente supera 20%/aa (Fonte: ABIPLAST, 2004), decorrente da acomodação de mercado em função de novos *grades* de PP que conquistaram outros nichos, alguns deles pertencentes ao PVC.

### 2.1.1 Transformação de termoplásticos

Além da diversidade de materiais plásticos oferecidos ao mercado, verifica-se quantidade significativa de processos e técnicas de transformação, que possibilitam a produção de peças grandes ou pequenas, em grande escala ou limitadas, com altos ou baixos investimentos, entre outros aspectos. A Figura 4 mostra de modo simplificado, os grupos tecnológicos relacionados à transformação de plásticos.

**Fig. 4 – Sistema produtivo em tecnologias de plásticos**



Fonte: Elaboração própria (2007)

Os produtos provenientes desse grupo tecnológico apresentam uma série de vantagens, se comparado com outros processos de manufatura. Vários fatores e aspectos processuais contribuem para esta dinâmica, dos quais se destacam a redução de diversos insumos, ocasionando alta rentabilidade. Além disso, as variações tecnológicas existentes permitem adequar os parâmetros processuais às características formais e mecânicas dos produtos. No entanto, em decorrência do processo ocorrerão resíduos de primários (matérias-primas) ou ainda a incidência de perdas de insumos básicos (energia, água, etc.) caso a tecnologia não esteja compatibilizada adequadamente com as características do produto, conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tab. 1- Resíduos de materiais provenientes de processos de transformação**

| Tecnologia | Característica dos Resíduos   | VPs/Mín | VPs/Max | Observações                |
|------------|---|---------|---------|----------------------------|
| Injeção    | Canais de injeção (galhos); aparas de bordas e anéis de conformação                   | 02%     | 10%     | Reciclagem <i>in house</i> |
| Sopro      | Aparas de fechamento do parison; usinagens de acabamento (furos, cortes, rasgos etc.) | 06%     | 16%     | Reciclagem <i>in house</i> |
| Extrusão   | Aparas laterais; cortes de perfis, ajustes de   | 0,5%    | 03%     | Reciclagem <i>in house</i> |

|                      | gabaritos   |                |                |  |
|----------------------|---|----------------|----------------|--|
| <b>Termoformação</b> | Aparas de bordas e usinagens de acabamento (furos, cortes, rasgos etc.) | <b>05%</b>     | <b>08%</b>     | Reciclagem <i>in house</i><br>Reciclagem externa |
| <b>Rotomoldagem</b>  | Aparas de bordas e de acabamento (furos, cortes, rasgos etc.)           | <b>01%</b>     | <b>04%</b>     | Reciclagem externa                               |
| <b>Sinterização</b>  | Produção de cavacos   | <b>indeter</b> | <b>indeter</b> | Reciclagem externa                               |

Legenda: VPs = Volume de Proporcional de Reciclagem Max e Min - Fonte: Elaboração própria (2008)

De certo que os resíduos de processos (canais de injeção, aparas, refugos, etc.) retornam à linha de produção. Todavia, a energia consumida não tem retorno. Por esse aspecto, salienta-se a importância da concepção e desenvolvimento do projeto do produto considerando tanto os parâmetros de máquinas, quanto a adequação dos moldes e matrizes. Hoje, alguns programas de projeção possibilitam uma série de análises paramétricas sobre a forma e o processamento dos produtos, com o objetivo de atingir o máximo de eficiência do processo com o menor consumo de insumos produtivos.

### 2.1.2 Transformação de termorrígidos

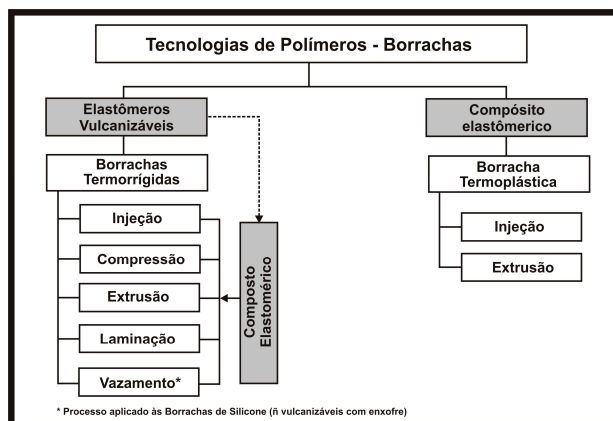
Os materiais termorrígidos correspondem aos primeiros polímeros obtidos artificialmente, conforme já mencionado. A característica mais marcante desse grupo de plásticos é a alta dureza e a resistência térmica. Parte significativa dos plásticos termorrígidos é processada utilizando cargas minerais como material reforçante, tais como: fibras, talcos, ou até mesmo resíduos plásticos, resultando em compósitos de matriz termorrígida.

Comparativamente, os termorrígidos apresentam número menor de processamentos (ver Figura 6), porém sua conformação incorre em índices significativos de desperdício de insumos, em decorrência do excesso de mão-de-obra e da carência de recursos técnicos mais sofisticados aplicados aos processos. Outro aspecto verificado na transformação de termorrígidos é a durabilidade técnica-funcional, ou seja, enquanto os produtos em termoplásticos possuem ciclo de vida relativamente curto, os produtos conformados com termorrígidos apresentam ciclo de vida longo, em decorrência de suas propriedades físicas e químicas. A indicação desse grupo de materiais deve ser bem analisada em projeto, pois apresentam uma série de problema de ordem ambiental, em decorrência dos resíduos industriais gerados e da durabilidade de detritos e refugos quando depositados no ambiente. Portanto, essas tecnologias devem ser aplicadas em produtos que terão ciclo de vida superior, reduzindo assim a probabilidade de descartes rápidos ou prematuros.

## 2.2 Processamentos de polímeros elastoméricos

Ao contrario das tecnologias de plásticos, as tecnologias de transformação de elastômeros apresentam especificidades que poderão dificultar sua reciclagem, isto porque, os elastômeros necessitam de composição (mistura elastomérica) para que sejam processados e compatibilizados às propriedades inerentes ao produto. Por exemplo: o Copolímero(butadieno-estireno)-SBR utilizado para produção de pneus é o mesmo empregado para a produção de solas de calçados. No entanto, em função das propriedades e técnicas de conformação, são elaborados compostos elastoméricos específicos para as duas aplicações. As tecnologias de borrachas não apresentam muitas variações tecnológicas, conforme pode ser verificado na Figura 5, mas as combinações entre os elastômeros e as substâncias aplicadas na composição da borracha apresentam grandes variações, pois está relacionada diretamente a geometria, a aplicação do produto e tipo de tecnologia empregada.

**Fig. 5 – Sistema produtivo em polímeros elásticos (borrachas)**

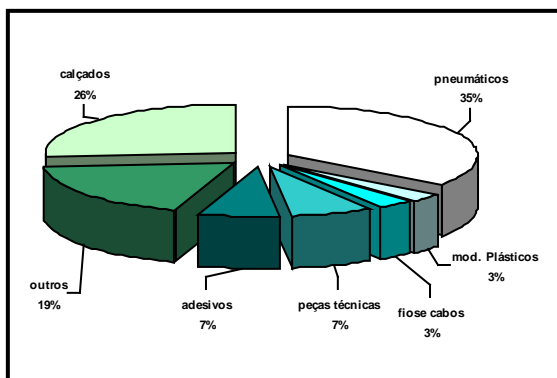


Fonte: Elaboração própria (2007)

Geralmente, os elastômeros são obtidos na condição termoplástica, ou seja, estão sujeitos a deformações quando submetidos à ação térmica. Para que a borracha mantenha sua estabilidade dimensional é necessário aplicar agentes vulcanizantes – peróxidos orgânicos ou enxofre-S – no composto elastomérico e calor e pressão durante o processo de conformação do produto. A utilização desses agentes aumenta o número de interações entre as cadeias poliméricas (*cross-links*) conferindo-lhes maior elasticidade e estabilidade. A maioria dos elastômeros, tais como polibutadieno-BR, copolímero(butadieno-estireno)-SBR, poliisopreno-IIR, copolímero(butadieno-acrilonitrila)-NBR são vulcanizados por enxofre, já outros elastômeros como o poli(dimetil-siloxano)-MQ e o copolímero(etileno-propeno-dieno)-EPDM são vulcanizados utilizando peróxidos.

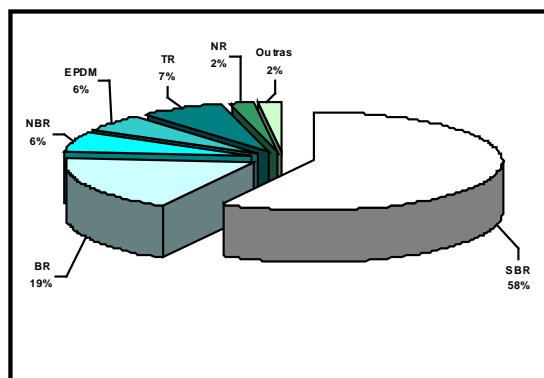
Após a vulcanização o elastômero adquire comportamento termorrígido, isto é, passa a ter resistência às ações térmicas e a solventes. Esta característica associada à composição da mistura elastomérica e ao emprego de material reforçante (fibras, tecidos, fios e enxertos) correspondem aos principais problemas para a reciclagem das borrachas fora do ambiente produtivo, pois após a vulcanização fica, praticamente, impossível verificar os ingredientes empregados na composição. Por esse aspecto, a maneira mais apropriada para a reciclagem externa é agrupar os refugos de borrachas por grupos funcionais. Já que a variação de uso e aplicações não é muito grande, conforme pode ser verificado pelos gráficos de segmentação do mercado de borrachas no Brasil – Figuras 6 e 7.

**Fig. 6 – Principais segmentos de mercado de borrachas**



Fonte: Borracha atual, ano VI, Nº 32 – Jan/Fev, 2004

**Fig. 7 – Segmentação das principais borrachas consumidas no Brasil**



Fonte: Borracha atual, ano VI, Nº 32 – Jan/Fev, 2004

A partir da década 80 iniciou-se a produção de borrachas termoplásticas, tendo como finalidade a redução de resíduos provenientes do processo produtivo e facilitar a reciclagem

dos mesmos. A borracha termoplástica corresponde a um composto polimérico formado por matriz elastomérica e a fase dispersa plástica. A presença do polímero plástico na mistura confere características termoplásticas à borracha, mas acarreta perda na elasticidade do material. As borrachas termoplásticas podem ser processadas utilizando técnicas semelhantes aos plásticos, contudo sua aplicação ainda é limitada, devido, em parte, às suas propriedades e ao alto custo.

### 3. RECICLAGEM DE POLÍMEROS

De certo modo, os polímeros, sejam eles plásticos ou borrachas, figuram na mídia como uma espécie de vilões ambientais. A primeira crítica feita refere-se à derivação do petróleo e à produção de gases formadores do efeito estufa. Entretanto, os polímeros consomem a menor parte do refino de petróleo, apenas a 04% do craqueamento corresponde à nafta, substância destinada à produção de matérias-primas básicas (eteno, propeno, aromáticos, etc.) para produção de polímeros. Em sua cadeia produtiva verificam-se os menores índices de consumo de insumos básicos se comparados a outras tecnologias, como por exemplo, uma tonelada de PS injetado consome 60% a menos de energia para processar a mesma quantidade de alumínio. Além disso, os polímeros formam um grupo de materiais que, historicamente, surgiram para substituir outros materiais que consumiam muitos recursos ou incorriam na produção de grande quantidade de resíduos, isso sem mencionar que os primeiros polímeros foram criados para substituir materiais naturais, tais como: o casco da tartaruga e o marfim.

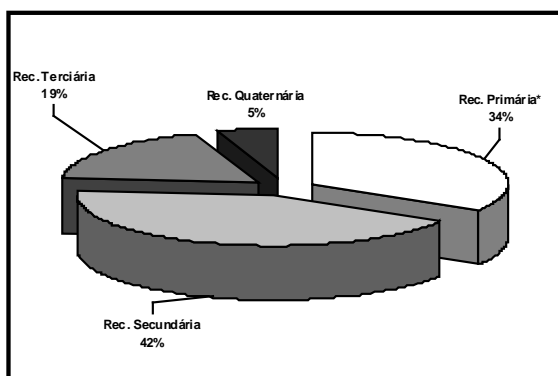
Existem, porém, aspectos de ordem sócio-econômica que dificultam práticas relacionadas à reciclagem desses materiais, tais sejam: o preço da matéria-prima virgem é extremamente competitivo se comparado ao preço do material reciclado; a ausência de sistema eficiente de coleta e limpeza urbana caracteriza os materiais poliméricos como o principal lixo urbano de origem industrial; e a relação físico-econômica ( $\text{peso} \times \text{volume} = \text{ganho financeiro}$ ) do material polimérico, desestimula a participação coletiva e individual na coleta desses materiais, a qual restringe o volume de material reciclado.

Outro ponto que merece comentários refere-se à estrutura físico-química dos polímeros em relação a sua processabilidade. Os polímeros após processados apresentam diminuição de peso molecular ( $M_w$ ) em função das taxas de cisalhamento em que é submetido, acarretando a redução nos índices de propriedades. Quando aplicada a reciclagem, principalmente a mecânica, o peso molecular diminui ainda mais, pois o polímero é submetido a novos cisalhamentos durante a moagem e a extrusão para produção do granulado. Assim, toda transformação feita com polímeros reciclados deverá ser misturada com material “virgem” e ou aditivos, a fim de recuperar as propriedades intrínsecas às propriedades do polímero.

Tecnologias já existem para enfrentar os problemas de processamento da reciclagem. Tanto é que o setor de reciclagem de plásticos vem apresentando taxas de crescimento de 9,0/aa., processando aproximadamente 800 ton./aa, equivalente a 18,3% da produção brasileira de termoplásticos e o dado mais interessante é o aumento da reciclagem pós-consumo, apresentando índice de 57,6%/aa. de todo material reciclado (Fonte: Plastvida, 2006). O segmento de elastômeros apresenta a taxa de 13,6% (Fonte: Borracha Atual, 2006), sendo que, grande parte, destina-se a reciclagem energética, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9 a distribuição do mercado brasileiro de reciclagem. Entretanto, esses números poderiam ser maiores se houvesse programas consistentes de educação ambiental que conscientizassem e estimulassem a participação coletiva e individual em ações de

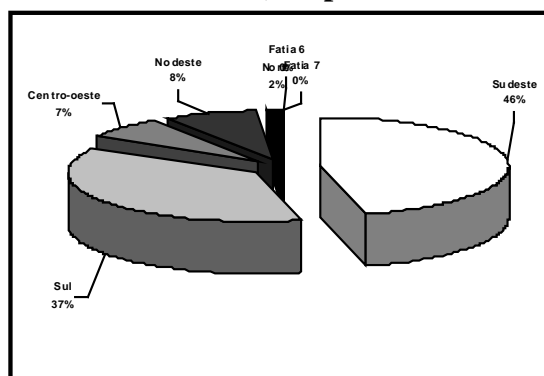
desenvolvimento sustentável, tendo como prerrogativa ações voltadas à reciclagem de polímeros.

**Fig. 8 – Segmentação dos níveis de reciclagem de plásticos no mercado brasileiro**



Fonte: Base em Plastvida (2004); \*Dados não consolidados

**Fig. 9 – Distribuição geográfica da reciclagem mecânica (primária e secundária) de plásticos**



Fonte: MaxiQuim, 2005

### 3.1 Sistema de reciclagem de polímeros para plásticos e borrachas

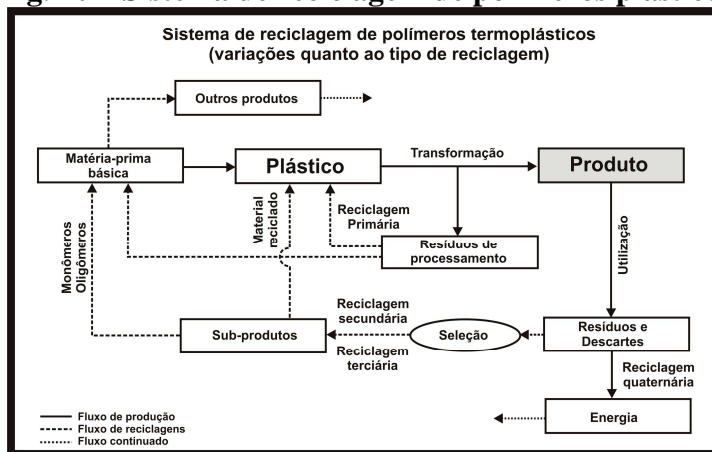
A *Environmental Protection Agency/USA* define reciclagem como “a coleta, processamento, comercialização e uso dos materiais considerados lixo”. O dicionário Aurélio indica a seguinte definição “repetição de uma operação sobre uma substância com o fim de melhorar suas propriedades ou aumentar o rendimento da operação global”. Baseando-se nessas definições a reciclagem consiste em uma tecnologia que possibilita a recuperação de materiais a partir de rejeitos industriais ou derivados de pós-consumo. Diversos fatores incentivam a reciclagem de polímeros, no entanto, seus principais focos são: a necessidade de poupar e preservar os recursos naturais; minimizar resíduos provenientes de processamentos em relação ao ambiente; proporcionar a integração entre os diversos setores sociais visando à conscientização sobre a responsabilidade sobre os problemas ambientais, produtivos e econômicos.

Os sistemas de reciclagem de polímeros de transformação são classificados em níveis operacionais, a partir do modo como são gerados e tratados os resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, tais sejam:

- **Reciclagem primária**- emprega resíduos provenientes da linha de produção, constituídos de refugos (canais de injeção, aparas, cortes e peças danificadas). A reciclagem primária, ou *in house*, ocorre no interior da empresa, sendo a forma mais simples e de menor custo de reciclagem;
- **Reciclagem secundária**- emprega diversos tipos de resíduos (refugos de produção, produtos descartados, entre outros). Normalmente esses resíduos são provenientes de lixo ou coletores individuais e por esse aspecto esta reciclagem é mais dispendioso, pois há a necessidade de seleção e limpeza antes de iniciar o processo propriamente dito. A reciclagem secundária gera materiais sob a forma de flocos ou grãos que serão comercializados para empresas de terceira geração;
- **Reciclagem terciária**- emprega resíduos selecionados e tem como finalidade produzir subprodutos. Para isso submete os polímeros a reações químicas, obtendo assim, a “quebra” das ligações que formam as cadeias, formando oligômeros ou retornando o polímero à condição inicial de monômeros que serão aplicados em novos produtos. A reciclagem terciária é também conhecida como reciclagem química;

- **Reciclagem quaternária**- emprega resíduos de diversas origens, inclusive com mistura de plásticos e borrachas, pois tem como objetivo recuperar a energia contida nesses materiais por meio da combustão. Na realidade, esta maneira de reciclagem apresenta características de reutilização, pois não gera matéria-prima, mas energia que normalmente, não é aplicada ao processo de obtenção de polímeros. Como exemplo a Figura 10 mostra o fluxo empregado para sistemas de reciclagens em termoplásticos, a partir das principais etapas de produção.

**Fig. 10 – Sistema de reciclagem de polímeros plásticos**



Fonte: adaptado de Mano *et al* (2005)

## 3.2 Técnicas de reciclagem de polímeros

Ao contrário de outros materiais de engenharia, os polímeros, sejam eles plásticos ou borrachas apresentam variações tecnológicas para reciclagem. Enquanto os metais e vidros, por exemplo, empregam, com certa facilidade, a reciclagem primária e secundária, os polímeros necessitam de atividades de pré-reciclagem, principalmente se esses resíduos forem provenientes de lixos. Cada tipo de reciclagem de polímeros se destina a um grupo, classe ou mesmo características poliméricas. Os processos de reciclagem são compatibilizados com as propriedades, composição, origem entre outros aspectos, por esse motivo estão divididas em três tecnologias, tais sejam: reciclagem mecânica, reciclagem química e reciclagem energética.

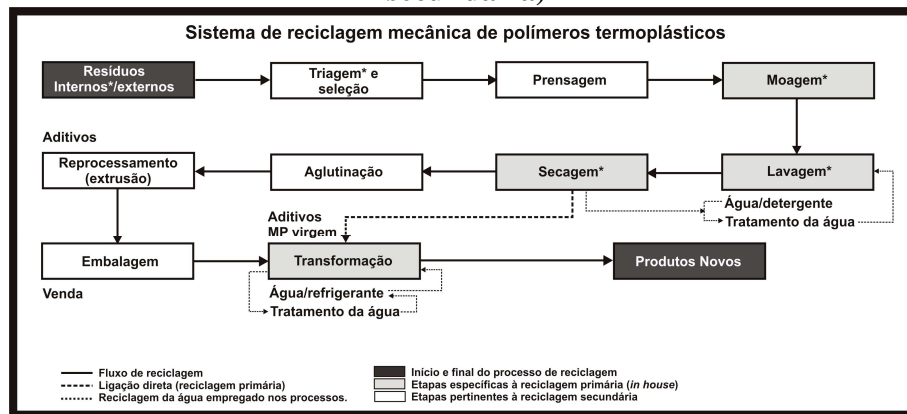
### 3.2.1 Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica é a mais difundida nos meios produtivos, pois não necessita de muita tecnologia para implementá-la. Esta técnica consiste na seleção e limpeza de resíduos termoplásticos provenientes da produção ou de material descartados (lixos); em seguida o material é submetido à trituração, produzindo flocos do material; os flocos são lavados, secos e depois submetidos a uma extrusora para produção dos grãos (*palets*) do material. O granulado poderá ser misturado com materiais novos do mesmo tipo para ser novamente processados por injeção, sopro, extrusão, etc.

A reciclagem mecânica é mais empregada tanto para plásticos termoplásticos, mas também poderá ser empregada para borrachas, dependendo da sua composição. Esta reciclagem atuará em nível primário (*in house*) quando empregar diretamente resíduos da produção, como também, em nível secundário, a partir de empresas recicladoras. A Figura 11 mostra o fluxo de atividades necessárias para a realização da reciclagem mecânica nos níveis primário e secundário. Segundo Mano *et al* (2005) a reciclagem mecânica de resíduos termoplásticos esta baseada em alguns aspectos, tais seja: fonte para fornecimento do

material, existência de mercado para aquisição de reciclados e tecnologias adequadas para seleção, limpeza e transformação dos resíduos em novos produtos.

**Fig. 11 – Fluxo de atividades para reciclagem mecânica de plásticos (primária e secundária)**



Fonte: elaboração própria (2008)

Na figura acima, verifica-se que a reciclagem primária apresenta menos etapas, isto porque a reciclagem secundária é dificultada pela heterogeneidade da composição de refugos plásticos, além da existência de agentes contaminantes, como metais, vidros, entre outros, necessitando de várias atividades de pré-reciclagem. Outro fato que merece destaque é a utilização da reciclagem secundária para a produção direta de novos materiais, como por exemplo, a madeira plástica que, a partir de diversas técnicas, vem melhorando o resultado final desse tipo de material.

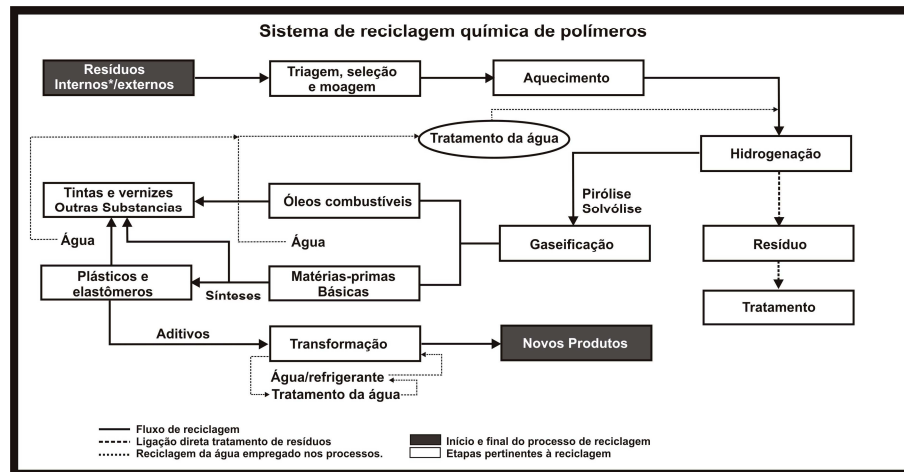
### 3.2.2 Reciclagem química

A reciclagem química requer conhecimentos específicos e maior controle no processo, pois emprega reações químicas durante as operações de reciclagem. Esta técnica consiste em submeter o polímero a solvólise – degradação por solvente; a pirólise – degradação por aquecimento controlado; ou a processos termoxidativos – degradação implementada por aquecimento e oxigênio. Essas técnicas possibilitam a redução da cadeia polimérica em pequenas parcelas (oligômeros) ou na condição inicial de monômero. No caso da obtenção de monômeros poderá haver a síntese de novos polímeros com propriedades semelhantes aos originários ou em caso de oligômeros plásticos serão transformados em subprodutos para produção de tintas e/ou vernizes. Contudo, apenas o poli(tereftalato de etileno)-PET, derivado de garrafas, tem apresentado resultados comerciais interessantes neste tipo de reciclagem para produção de fibras poliéster.

“A reciclagem química é mais adequada a tipos complexos de resíduos plásticos, que ainda não dispõem de tecnologia de reciclagem adequada” (Mano *et al*, 2007:127), por esse motivo seu uso ainda esta restrito a algumas empresas que se especializam neste tipo de reciclagem e se destinam a produção de fios e fibras têxteis ou materiais de uso específicos. Esta técnica vem sendo aperfeiçoada, justamente para atender as demandas de plásticos termorrígidos e borrachas vulcanizadas, pois apresenta resultados interessantes do ponto de vista da regeneração de materiais. No entanto, são processos que possuem custos, relativamente altos, devido à sofisticação tecnológica em equipamentos, assim como necessitam de reagentes químicos (solventes, aditivos e catalisadores) para implementá-las. A Figura 12 mostra a sequência operacional para a reciclagem química.

**Fig. 12- Fluxo de atividade para reciclagem química (terciária)**





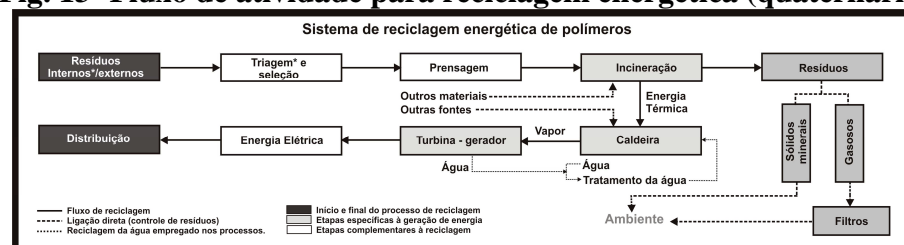
Fonte: Elaboração própria (2008)

### 3.2.3 Reciclagem energética

A reciclagem energética não está bem conceituada como um processo de reciclagem, propriamente dito, mas sim como reutilização, haja vista que não há retorno a ciclo de produção idêntico ou semelhante ao que originou o polimérico. Na realidade a reciclagem energética, consiste em aproveitar os resíduos poliméricos sólidos para gerar energia térmica ou elétrica a partir da combustão, semelhante às usinas termoelétricas. Assim como a reciclagem química, este tipo de reciclagem é aconselhado para resíduos complexos (termorrígidos, borrachas e compósitos) ou que necessitem de cuidados especiais (descartáveis médico-hospitalares, embalagens de óleos, etc.), sendo considerada como uma reciclagem quaternária.

Os polímeros, principalmente as borrachas, apresentam alto teor calorífero (18.000 BTUs/Kg), quando empregado misturados a outros resíduos orgânicos ou associados a outras substâncias combustíveis este índice aumenta ainda mais. Entretanto, salienta-se que este tipo de reciclagem poderá gerar outros problemas de ordem ambiental, caso não haja um controle da emissão de partículas provenientes da queima (monóxido e dióxido de carbono entre outros) na atmosfera, aumentando o efeito do aquecimento global. Os resíduos sólidos oriundos da queima poderão ser misturados ao solo sem ocasionar danos ambientais, conforme demonstrado na Figura 13. A utilização dos polímeros nesta tecnologia dependerá de abastecimento constante, isto é, volume de materiais, para tornarem-se economicamente viáveis.

**Fig. 13- Fluxo de atividade para reciclagem energética (quaternária)**



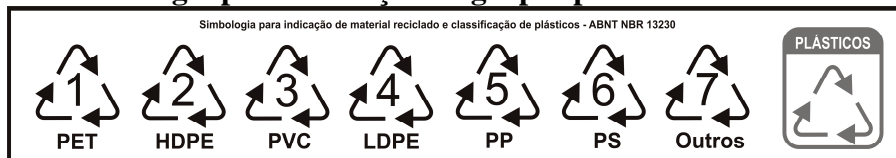
Fonte: Elaboração própria (2008)

### 3.3 Comentários gerais sobre reciclagem de polímeros

Conforme mencionado, a reciclagem de polímeros dependerá de algumas considerações técnicas, principalmente, sobre seu comportamento mecânico e sua característica básica em termoplásticos ou termorrígidos. Geralmente, os produtos manufaturados em materiais

poliméricos chegam ao final de sua vida funcional, mantendo as propriedades físico-químicas de seus respectivos materiais, sejam eles plásticos ou borrachas, por esse motivo é necessário identificar de algum modo esses materiais para que possam ser reciclados devidamente. No caso dos materiais plásticos a ABNT, seguindo orientações internacionais, padronizou os pictogramas, utilizando a cor vermelha, para identificação dos principais termoplásticos (Figura 14). No caso de borrachas, a ABNT não faz menção, entretanto, pode-se empregar a simbologia sem os números correspondentes aos plásticos, indicando abaixo do pictograma o tipo de borracha. Em situações onde fica impossível a identificação do polímero, sugere-se que a reciclagem esteja vinculada à produção de madeira plástica (ver figura 16).

**Fig. 14 – Simbologia para indicação de grupos plásticos visando à reciclagem**



Fonte: adaptado de Mano *et Al* (2005)

### 3.3.1 Plásticos

Grande parte das técnicas de reciclagem se destina aos termoplásticos, em decorrência do volume produzido e transformado. Para a reciclagem de termorrígidos dependerá não só do volume, como também, de sua composição, haja vista que, número significativo dessas resinas é processado sob a forma de compósito. Para termoplásticos se aplica a reciclagem mecânica primária ou secundária, em certos casos a reciclagem química e de modo específico a reciclagem energética. Enquanto, para os termorrígidos os processos de reciclagem mais empregados são a reciclagem química e a energética, em decorrência de suas propriedades físico-químicas. Abaixo, apresentam-se alguns exemplos de produtos provenientes de materiais reciclados, Figura 15- Reciclagem primária (*in house*); Figura 16, reciclagem secundária derivada de lixo; e Figura 17- Reciclagem secundária derivada de cooperativas de catadores.

**Fig.15- Utilidades domésticas**



**Fig. 16- Madeira plástica**



**Fig. 17- Fibras e cerdas para vassouras**

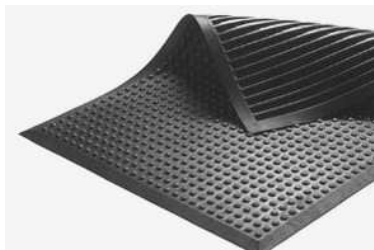


### 3.3.2 Elastômeros

As borrachas adotam os mesmos princípios da reciclagem de plásticos, ou seja, podem utilizar a reciclagem mecânica, a química e a energética. A diferença mais significativa relaciona-se à reciclagem mecânica que, normalmente, ocorre no nível secundário e destina-se a misturas elastoméricas ou com outros materiais. A grande maioria das borrachas emprega a reciclagem química quando o produto não se encontra muito deteriorado, dando origem a novos elastômeros ou a diversos subprodutos. A reciclagem quaternária (energética) é bastante utilizada, em decorrência dos valores caloríferos provenientes da queima das borrachas. As imagens ilustram algumas aplicações das borrachas recicladas, tais como:

Figura 18 produto a partir da reciclagem mecânica primária; Figura 19 utilização da reciclagem química para regeneração da borracha; e Figura 20 reciclagem mecânica secundária.

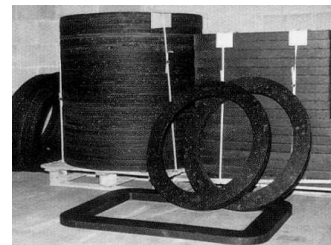
**Fig. 18- Tapete de  
borracha - SBR**



**Fig. 19- bolsas com  
reforço de algodão**



**Fig. 20- Vedantes para  
caixa de acesso**



### 3.3.2 Fibras

As fibras poliméricas, normalmente, empregam a reciclagem química para obtenção de novas fibras. Entretanto é necessário que o material (tecido, manta) não esteja muito degradado ou impregnado de substâncias químicas que poderão interferir no processo. Nestes casos aconselha-se a reciclagem energética. Alguns tecidos poderão, a partir da seleção e limpeza, constituírem novos produtos aplicando-se critérios da função Reutilizar, tais como a produção de estopas, mantas ou carpetes.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para quem vive nos centros urbanos percebe, sem muito esforço, que grande parte dos produtos industrializados possui conotações duvidosas, do ponto de vista funcional ou estético e se destinam a estimular o “consumerismo”, tendo como justificativa a necessidade de movimentar a economia. Verifica-se, também, que neste contexto, a maioria desses produtos é produzida ou emprega alguma tecnologia de polímeros. Por esse aspecto os produtos poliméricos, principalmente, os manufaturados em plásticos, durante muito tempo foram associados a produtos de má qualidade técnica. Neste sentido, Manzini & Vezzoli (2002) comentam sobre a necessidade de novos modelos produtivos, assim como se repensar os produtos industriais sob uma ótica menos consumista e que possibilite a redução de oferta de matérias-primas, energia, água, entre outros recursos naturais.

De acordo com observado na literatura e em outras fontes, há consenso em dois aspectos de extrema relevância para práticas sustentáveis, o estabelecimento de programas de educação ambiental e de reciclagem de recursos produtivos. A educação ambiental corresponde ao caminho para se estabelecer uma sociedade mais responsável e comprometida com os valores ecológicos e sociais, visando o pleno desenvolvimento das atividades humanas e a reciclagem é o principal fator para que haja integração dessas atividades, através da compreensão sobre os recursos naturais renováveis e não renováveis e suas relações com o desenvolvimento tecnológico e econômico. Ainda, no seara da reciclagem verifica-se no Brasil que este fato tecnológico possibilita a inserção de camadas sociais no cenário econômico, como uma alternativa de geração de trabalho e renda.

No campo da atividade produtiva empresarial, percebe-se que programas de relacionamento com o meio ambiente ainda são limitados, porém existe um cenário favorável

para investimentos nesta área, principalmente em setores apresentam altos índices de produtividade como o de polímeros. As atividades de desenvolvimento de produtos, sejam elas de caráter operacional ou de inovação, devem considerar como ponto fundamental a adequação de soluções projetivas às práticas de reciclagem, a partir das seguintes proposições e objetivos:

- Redução de componentes mecânicos; Eliminar excesso e/ou desperdício com matéria-prima, energia e outros insumos;
- Utilização de poucas tecnologias na fabricação; Economizar insumos e facilitar a separação de materiais;
- Utilização de materiais com compatibilidade técnica; Evitar desgaste prematuro de peças e componentes mecânicos e suas substituições;
- Seleção de materiais que apresentem facilidade de reciclagem; Facilitar logística e infra-estrutura para reciclagem;
- Identificação de materiais por meio de pictogramas ou outros recursos; Selecionar materiais na pós-produção ou no pós-consumo;
- Normalização e procedimentos técnicos; Certificar atividades produtivas, (processos e produtos) a partir de conceitos da ISO 14000;
- Adoção de critérios para inclusão social, ambiental e tecnológica; Incentivar a produção de tecnologias abertas
- Elaboração de planos de incentivos ao retorno de produtos; Elaborar programas de trocas, substituições ou reposições de produtos (logística inversa);
- Educação ambiental e inserção social a partir de princípios éticos; Elaborar procedimentos junto a grupos sociais visando o bem estar social; entre outros.

Por fim, este artigo não tem o propósito de esgotar o assunto reciclagem, pois se verifica a existência de várias iniciativas tecnológicas, comerciais e legislativas acontecendo, porém todas passam por um amplo programa de educação ambiental, a fim de formar, esclarecer e multiplicar conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAETANO, G.; ASHLEY, P.; GIANSAANTI, R. **Responsabilidade Social e Meio Ambiente**. São Paulo: Saraiva 2007.
2. CERQUEIRA, V.; HEMAIS, C. **Indústria brasileira de transformação de plásticos e suas estratégias tecnológicas**. X ALTEC. Ciudad del México, CD-Rom, 2003.
3. CHOPRA, S.; MEINDL, P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Boston: Prentice Hall, 2001.
4. FOSTER, R.; KAPLAN, S. **Destruição criativa**. São Paulo: Campus, 2002.
5. JOVCHELOVITCH, N. **Parcerias e alianças estratégicas: uma abordagem prática de gestão e sustentabilidade**. São Paulo: Global, 2002.
6. KNIGHT, A.; HARRINGTON, J. **A implementação da ISO 14000: Como atualizar o sistema de gestão ambiental com eficácia**. São Paulo: Atlas, 2001.
7. MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002.
8. MANZINI, E. *Social Innovation* – apostila de curso. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007.
9. MANO, E.B.; PACHECO, E.; BONELLI, C. M. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.
10. SEIFFERT, Mari E. **ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2007.
11. \_\_,\_\_. **A Reciclagem dos Plásticos**. Ciência Hoje – Nº 107; Vol. 18, (suplemento especial). São Paulo: SBPC, março de 1995.



III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí  
Dias 15, 16 e 17 de Abril de 2009.

12. [www.wto.org/english/news/](http://www.wto.org/english/news/), consultado em 13/02/2007;
13. [www.institutodopvc.org/reciclagem/base3.htm](http://www.institutodopvc.org/reciclagem/base3.htm), consultado em 20/03/2007;
14. <http://www.epa.gov/lawsregs/>, consultado em 23/03/2007;