



Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
Coordenação de Planejamento, Avaliação e Acompanhamento - CPAA
Serviço de Desenvolvimento Sustentável - SEDS

CAPÍTULO 3

Reciclagem de Materiais: TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DE UM NOVO SETOR

Heloisa V. de Medina

**Rio de Janeiro
Novembro 2007**

**CT2007-115-00 - Capítulo do livro – Tendências Tecnológicas
Brasil 2015**

CAPÍTULO 3

RECICLAGEM DE MATERIAIS: TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DE UM NOVO SETOR

Heloísa V. de Medina*

1. INTRODUÇÃO: PRODUÇÃO E USO SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS

A mais importante sinalização de tendências dos rumos do desenvolvimento tecnológico e produtivo para esse século é a tomada de consciência de que o padrão de produção e consumo dos recursos naturais não-renováveis, engendrado pelo modelo de industrialização do século passado, não é mais sustentável. Quais produtos provocaram ou acentuaram o nível de degradação atual pouco importa, o que conta é que hoje já se tem noção de que os materiais produzidos a partir de recursos minerais não-renováveis são a base desse modelo.

O aumento da população, aliado ao modelo já insustentável de crescimento econômico intensivo em energia e em materiais, exerceu forte pressão sobre os bens minerais e, conseqüentemente, sobre o equilíbrio ambiental do Planeta. De acordo com Scliar (2004, p.26):

“nos últimos 50 anos a economia mundial praticamente quintuplicou, o consumo de grãos triplicou e o consumo de papel cresceu além de seis vezes. No entanto, ainda, hoje mais de 2,8 bilhões de pessoas sobrevivem com menos de 2 dólares por dia segundo dados publicados pelo PNUD no Sustainable consumption: a global status report, de 2002.”

Segundo dados do DNPM, cerca de 6,5 bilhões de toneladas de minérios foram oficialmente lavrados no mundo, excluindo-se rochas ornamentais e petróleo. Isso tem levado em alguns casos à exaustão das melhores reservas, mais ricas em termos de teor de concentração dos minérios, e o deslocamento da atividade de exploração para jazidas que apresentam teores mais baixos provocando assim maiores impactos ambientais, tanto pela movimentação dos terrenos como pela geração de rejeitos, para a obtenção de igual quantidade de minério comercializável. Segundo Scliar (2004), o cobre é um bom exemplo disso, pois, no início do século XX, o minério de cobre contendo menos de 10% de metal não tinha importância econômica. Atualmente, jazidas de minério com apenas 0,4% de cobre vêm sendo explotadas.

* D.Sc. Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ; Tecnologista-pesquisadora do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

O setor mineral brasileiro é importante não só por ser gerador de divisas, pela exportação de minérios beneficiados, mas também pela grande representatividade da base mineral na economia industrial do país, ou seja, como setor intermediário na produção de matérias-primas para as indústrias metal-mecânica, química, petroquímica, de papel, de embalagens, automobilística, aeronáutica, de construção naval e civil, e produtos agroindustriais, entre outros. Associando-se, por exemplo, alguns dos minerais mais importantes na matriz geológica brasileira aos seus usos tem-se uma visão dessa amplitude, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Minerais brasileiros e seus principais usos industriais

Caulim	Papel, cerâmica fina, porcelana, refratários, pigmentos e cargas etc.
Grafita	Fibra de carbono para barcos, trens, motos, aviões, eletrônicos e refratários
Bauxita/alumínio	Aviões, automóveis, embalagens, utensílios domésticos, construção civil
Vermiculita	Placas de freios, isolantes térmicos, construção civil
Ferro/aço	Portos, aeroportos, trens, automóveis, aviões, tratores, máquinas e equipamentos para construção civil
Cobre	Material elétrico, cabos, construção civil, transportes, mecânica fina, equipamentos
Estanho e chumbo	Baterias, cabos, embalagens além de diversos usos na química e metalurgia
Magnesita	Tijolos refratários, tratamento de águas, indústria química
Manganês	Aços especiais de alta resistência, pilhas, antiabrasivos
Titânio	Ligas de aço titânio, indústrias aeronáutica e espacial, protetores solar (cremes) etc.

O movimento de tomada de consciência ambiental, surgido no final do século XX, cunhou um novo paradigma de produção e consumo sustentável de materiais, que deve se tornar um imperativo para o século XXI. Nesse novo paradigma a reciclagem se apresenta como uma solução importante para prolongar a vida dos recursos não-renováveis. Critérios de reciclabilidade passam assim a fazer parte da escolha de materiais para produtos e processos no desenvolvimento de novos projetos industriais. Na esteira da gestão da qualidade, a gestão ambiental passa a ser normatizada e se torna fator de competitividade. Assim, a reciclagem passa a fazer parte da gestão ambiental da produção, como destino final mais correto a ser dado aos resíduos industriais, assim como aos componentes e produtos em fim de vida.

A reciclagem de produtos em fim de vida, pós-consumo, é, contudo, uma atividade complexa em termos técnicos e econômico-sociais além de nem sempre ser uma solução sem riscos ambientais, apesar de ser altamente difundida dentre as propostas de

desenvolvimento sustentável. A reciclagem e o desenvolvimento sustentável têm em comum o fato de ambos exigirem não apenas mudanças tecnológicas, mas, sobretudo, mudanças de atitudes, tanto políticas como culturais. A associação desses dois termos pressupõe mudanças radicais que vão constituir os alicerces da construção de um novo paradigma sócio-técnico e econômico em que um mercado de produtos duráveis e recicláveis ocupará o lugar do atual mercado de consumo em massa de produtos descartáveis.

Como bens intermediários entre a indústria extrativa e de transformação industrial, os materiais são parte de um segmento transversal com impactos a montante e a jusante de sua cadeia produtiva afetando todos os demais setores. Por exemplo, a reciclabilidade de um produto é função direta da reciclabilidade dos materiais que o compõem e é afetada, em alguma medida, pelos tratamentos de superfície e pelos processos de produção de componentes e de montagem final do produto. Tendo em conta que o desenvolvimento tecnológico dos materiais e de seus processos de transformação e tratamento se dá de forma contínua, pode-se considerar que a reciclabilidade faz parte de um universo em formação, cuja sustentabilidade precisa ser permanentemente buscada e renovada. Assim, a reciclagem, como um novo setor de atividade econômica, é portadora das maiores esperanças de se ter um modelo de desenvolvimento competitivo e ao mesmo tempo sustentável em âmbito mundial. É certo que não existe solução única para todos os problemas ambientais, mas a reciclagem, mesmo sem operar milagres, é a alternativa mais viável a curto e médio prazos. A taxa de reciclabilidade já vem sendo amplamente utilizada na seleção de materiais em novos projetos de produtos na Europa, por força da legislação ambiental européia, sobre eco-concepção e reciclagem de embalagens, veículos e equipamentos elétricos e eletrônicos. A maior reciclabilidade dos produtos atualmente é resultado de:

- Um novo padrão de competitividade tecnológica que inclui inovações ambientais.
- Uma seleção de materiais direcionada por essa tendência global e irreversível.
- Um forte desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental, ou ecomateriais.
- Novos métodos de desenvolvimento de projetos: Eco-design, DFR – *Design for Recycling*, DFE – *Design for Environment*.
- Tecnologias limpas para produção, tratamento e reciclagem de materiais.

A pesquisa de soluções de engenharia de menor impacto ambiental tornou-se um elemento importante na competitividade de setores tão diversos como embalagens, eletroeletrônicos e automóveis. Pode-se dizer ainda que a tomada de consciência ambiental em âmbito mundial tornou os materiais mais visíveis para os consumidores. Hoje todos querem saber do que é feito o produto que estão consumindo, pelo menos para se assegurarem de que ele não faz mal a sua saúde. Nesse contexto, os produtos verdes, feitos

de materiais verdes e/ou através de processos verdes, já criaram seu mercado, dito ecológico ou biológico. Esse mercado, que surgiu nos anos 70 como alternativo e de produção em pequena escala, se expande e assume dimensões globais. Alimentos biológicos, carros elétricos, a álcool ou a biodiesel, embalagens recicláveis são exemplos de uma longa lista que cresce a cada dia.

Essa tomada de consciência fez também evoluir a regulamentação ambiental que vem forçando as empresas a considerarem as questões ambientais nas suas atividades em nome da responsabilidade social. Assim, a produção industrial começa a ser administrada não só em termos técnicos e econômicos mas também ambientais. Inaugura-se a era da "produção limpa", na qual a gestão ambiental está ligada à gestão da qualidade, na medida em que todo desperdício (resíduo) é visto como custo da não qualidade.

Mas a maior vantagem da reciclagem é permitir fechar o ciclo de vida dos materiais fazendo-os retornar a novos produtos como matéria-prima secundária, com grande economia de energia e de recursos naturais primários. O desafio maior é acompanhar a evolução dos materiais para melhor gerenciar seus ciclos de vida. Por outro lado, é necessário haver um desenvolvimento articulado das técnicas e processos de tratamento de resíduos, separação e reciclagem de produtos em fim de vida. Uma gestão sustentável dos materiais envolveria, assim, uma intervenção no ciclo de vida dos materiais, tal como ele se apresenta hoje, para buscar em cada etapa eliminar perdas, rejeitos, emissões etc, no sentido de uma produção sem retornos ao meio ambiente. O ideal seria produzir em um sistema fechado com reciclagem ao longo de todo o ciclo. O fluxo fechado de materiais funcionaria como na Figura 1, no qual a extração de matérias-primas primárias só ocorreria em função de um aumento do nível geral de produção, pelo crescimento do mercado mundial.

Repensar o ciclo de vida dos materiais e reconcebê-lo em bases mais sustentáveis não é, contudo, tarefa simples nem evidente. Requer conhecimentos e informações múltiplos nem sempre disponíveis e que devem ser buscados caso a caso para cada projeto ou re-projeto de produto no qual se deseja intervir. Isto significa que uma gestão sustentável da produção de materiais requer um amplo sistema de informações em todos os níveis de produção e consumo, a saber: das técnicas de extração e beneficiamento de minérios, dos processos de transformação metalúrgica e química para produção de materiais, da produção de peças e componentes, da montagem de produtos, reciclagem ou descarte final, incluindo, em todas as fases, o consumo de energia e de materiais, os custos de transporte e armazenamento (Medina, 2005).



Figura 1 - Fechando o ciclo dos materiais pela reciclagem

2. O CENÁRIO ATUAL DA RECICLAGEM

De uma maneira geral pode-se dizer que a reciclagem é uma atividade tão antiga quanto a própria metalurgia. Na Idade Média, por exemplo, as armaduras e armas dos vencidos eram recicladas pelos vencedores por razões econômicas. Mas a noção de economizar os recursos naturais do Planeta só surgiu no último quartel do século XX. E, em menos de 20 anos, passou a ser uma atividade industrial com vantagens econômicas, ambientais e sociais.

Atualmente a reciclagem é importante para economizar o planeta, gerar empregos e renda e melhorar a qualidade dos processos industriais. Ela é uma atividade em franca expansão em todo o mundo e, como tal, vem sendo bastante supervisionada, em termos técnicos, e regulamentada, em termos ambientais, até mais do que as empresas de ramos tradicionais da produção de matérias-primas, como a siderurgia, a metalurgia e a petroquímica. O mercado de reciclados, ou matérias-primas secundárias, sofre a pressão

da concorrência dos preços das matérias-primas primárias. Esse mercado precisa então se organizar para garantir um material competitivo em qualidade e preço.

2.1 Regulamentação ambiental e reciclagem

A partir dos anos 90, programas de gestão ambiental mais amplos vêm sendo estabelecidos pelas grandes empresas nos moldes dos programas de gestão da qualidade dos anos 80, incorporando desde a adoção de tecnologias limpas até políticas de reciclagem. Assim, normas e padrões para certificação ambiental (ISO 14000) vieram a se somar aos de certificação de qualidade (ISO 9000) como parte de um processo de normalização e regulamentação ambiental tornando indústrias, produtos e processos cada vez mais controlados em termos de exigências técnicas e em termos de mercado (Medina, 2006-A).

Atualmente, na Europa, três setores estão particularmente visados por essa regulamentação: embalagens, automóveis e produtos eletroeletrônicos. A existência de diretivas europeias (instrumentos legais e normativos da Comissão Europeia aprovados pelo Parlamento Europeu) para esses setores levou-os a adotar e desenvolver abordagens ambientais como ACV - Análise do Ciclo de Vida, para avaliar os impactos ambientais de seus produtos. O exemplo do automóvel é particularmente ilustrativo dessa situação. A Diretiva 2000/53/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de setembro de 2000, relativa aos veículos em fim de vida, responsabiliza as montadoras pelo ciclo de vida, da montagem à reciclagem dos veículos, e fixa em 95% a taxa de reciclabilidade (incluindo a reutilização e a recuperação energética) até 2015. Seus objetivos estão resumidos em seu artigo 1º como se segue:

“Objectivos: A presente directiva estabelece medidas que têm como primeira prioridade a prevenção da formação de resíduos provenientes de veículos e, além disso, a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos veículos em fim de vida e seus componentes, de forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, bem como a melhoria do desempenho ambiental de todos os operadores económicos intervenientes durante o ciclo de vida dos veículos e, sobretudo, dos operadores directamente envolvidos no tratamento de veículos em fim de vida.”

No artigo 4º a diretiva adota o princípio da prevenção estabelecendo que os produtores de materiais e equipamentos devem reduzir e controlar o uso de substâncias tóxicas, cuja substituição progressiva é objeto de anexo específico, com avaliações e revisões bienais, considerando-se o estado da arte das tecnologias necessárias para essa substituição. O artigo 4º, em seu parágrafo 1º, alíneas a, b e c, diz textualmente:

“§1º Com o objectivo de promover a prevenção dos resíduos, os Estados-Membros devem, nomeadamente, dar incentivos para que:

- a) *Os fabricantes de veículos, em colaboração com os fabricantes de materiais e equipamentos, controlem a utilização de substâncias perigosas nos veículos e reduzam o seu uso, tanto quanto possível, a partir da fase de projecto dos veículos, em especial a fim de evitar a libertação dessas substâncias para o ambiente, facilitar a reciclagem e evitar a necessidade de eliminar resíduos perigosos;*
- b) *Nas fases de projecto e produção de veículos novos sejam tomados plenamente em consideração e facilitados o desmantelamento, a reutilização e a valorização, especialmente a reciclagem, dos veículos em fim de vida, bem como dos seus componentes e materiais;*
- c) *Os fabricantes de veículos, em colaboração com os fabricantes de materiais e equipamentos, integrem uma quantidade crescente de material reciclado em veículos e outros produtos, a fim de desenvolver os mercados de materiais reciclados”.*

Assim, essa legislação europeia trata dos impactos ambientais dos veículos desde sua origem primeira, ou seja, seus materiais constituintes, e indica como solução seu tratamento precoce na fase do projeto do produto (eco-concepção), da seleção dos materiais e dos processos de produção e tratamento desses. Nesse sentido pode-se dizer que a atuação normativa e reguladora da União Europeia (EU) está tendo um papel difusor nessa tendência, comparável ao que ocorreu na Califórnia nos anos 60/70.

Ao lado desta há outras, como as Diretivas sobre Embalagens (14 de dezembro de 1994) e sobre Descarte de componentes e produtos eletroeletrônicos (2002/96/CE e 2004/249/CE), só para citar alguns exemplos em que a ACV e o eco-design têm sido instrumentos de políticas e estratégias ambientais públicas e privadas. Nesse sentido, a Comissão Europeia tem estimulado e mesmo induzido o uso desses instrumentos pela indústria europeia, como fica evidente no Livro Verde da Política Integrada dos Produtos (Medina, 2005) para criar um mercado para os materiais reciclados.

É importante esclarecer aqui a diferença entre reciclável e reciclado. Reciclável é o material que tem aptidão, ou condição técnica, para ser reciclado. Essa propriedade do material pode ser expressa através de uma taxa ou grau de reciclabilidade dos produtos dos quais eles participam. Assim os automóveis de hoje foram concebidos para serem 95% recicláveis mas só são efetivamente reciclados em média 75%.

De acordo com os padrões ambientais de rotulagem dos produtos, a ISO 14021 define um material reciclado como sendo aquele que foi produzido a partir de um resíduo. No Brasil, segundo a Portaria CONAMA 15/96, de 23 de janeiro de 1996, a reciclagem é definida como reprocessamento dos resíduos num processo de produção para o fim original ou para outros fins. Os resíduos podem ser líquidos (efluentes) ou sólidos. Os resí-

duos sólidos são classificados no Brasil segundo a NBR 10004 - Classificação de Resíduos Sólidos, que segue o critério de riscos potenciais ao meio ambiente em três níveis:

- Resíduos Classe I - resíduos perigosos com uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e que representam risco à saúde pública e ao meio ambiente, *i.e.* baterias, produtos químicos, lâmpadas fluorescentes.
- Resíduos Classe II - não inertes (inclusive os biodegradáveis, solúveis etc como lixo orgânico e papel).
- Resíduos Classe III - inertes como tijolos, vidros, plásticos, compósitos e borrachas, embalagens plásticas, que não se decompõem a curto prazo.

Em termos industriais, reciclagem é o processo de produção de matérias-primas secundárias a partir de rejeitos industriais (resíduos) e de produtos em fim de vida (sucata) para reintroduzi-los no processo produtivo. A sucata é todo resíduo sólido reaproveitável via reciclagem que pode ter origem pós-industrial ou pós-consumo:

- Sucata Pós-industrial é formada por rejeitos – resíduos ou refugos - da produção de bens intermediários: metalúrgicos, siderúrgicos, petroquímicos (plásticos), e peças e componentes e produtos manufaturados rejeitados pelo controle de qualidade.
- Sucata Pós-consumo é formada por produtos em fim de vida, desmontados ou não, como peças e carcaças de automóveis, geladeiras, fogões, e eletroeletrônicos em geral.

Uma vez que os materiais são a base constitutiva de todos os produtos industriais, sua seleção nos projetos desses produtos irá condicionar o nível dos impactos ambientais destes ao longo de todo seu ciclo de vida. Os materiais emprestam suas funções e características aos produtos que podem ser classificados segundo seus materiais constitutivos em: recicláveis, biodegradáveis, verdes etc. Estas e outras denominações formam a grande categoria dos produtos ditos ecológicos, ou seja, aqueles que utilizam ecomateriais em sua composição ou processo de fabricação, e que, como veremos mais adiante, são materiais especialmente desenvolvidos para substituir os atuais com vantagens ecológicas diversas e marcantes (Medina, 2005).

2.2 O Mercado da reciclagem no Brasil

Segundo a revista Conjuntura Econômica de setembro de 2005:

“Os números da reciclagem no Brasil são significativos: só em latas de alumínio, o segmento movimentou R\$ 1,4 bilhão no ano passado, com a reciclagem de 121,3 toneladas ou 9,3 bilhões de unidades (Tetracampeão mundial com 95,7% em 2004). Cerca de 160 mil pessoas sobrevivem da coleta de latinhas. No setor de plástico, as quase 500 empresas recicladoras faturam mais de R\$1 bilhão por ano, dezenas de milhares de pessoas estão envolvidas na atividade e foram

recicladas mais de 700 mil toneladas de todo tipo de plástico, em 2003, segundo pesquisa realizada pela Plastivida – Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos - em 2004. Já na indústria de celulose e papel, estima-se, por baixo, que existam 20 mil catadores de restos de papel, que permitiram, no ano passado, a reciclagem de 3,4 milhões de toneladas.”

O reconhecimento de que a reciclagem de sucata já assume importância nacional está no fato de que ela já faz parte da Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE utilizada pelas estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE desde 2003, como o 37º ramo da atividade industrial. A Pesquisa Industrial Anual – PIA Empresas 2003-2004, registrou a existência de 491 empresas exclusivamente dedicadas à reciclagem em 2003 com 540 unidades locais¹. Esses números cresceram cerca de 24% em um ano, enquanto o total de empresas industriais, considerando-se todos os setores, cresceu apenas 4%. Assim, com 613 empresas e 652 unidades locais, em 2004, o setor de reciclagem apresentou um dinamismo tal que justificou seu detalhamento, por grupo de atividade, a saber: reciclagem de sucatas metálicas (108 empresas) e reciclagem de sucatas não-metálicas (505 empresas). O total do pessoal ocupado nos dois grupos chega quase a 15 mil pessoas das quais cerca de 70% estão no grupo das sucatas não-metálicas. Esse primeiro levantamento oficial do setor realizado pelo IBGE mostra ainda uma grande concentração dessa atividade na região sudeste. Contudo, diante do grande dinamismo do setor, essa situação pode sofrer alterações em menor período de tempo do que são atualizadas as pesquisas do IBGE. A Tabela 1 mostra a distribuição das recicladoras por região, no país em 2004.

Tabela 1 - Número de recicladoras por grupo de atividade, região e estados em 2004

Regiões	Sucatas Metálicas	Sucatas Não-Metálicas	Total
TOTAL			652
Norte			11
Centro-Oeste	-	-	33
Nordeste			60
Sul	36	199	235
Sudeste	75	225	311

Fonte: IBGE, PIA – Empresas 2004.

A distribuição regional das recicladoras, constante da Tabela 2, revela uma maior concentração na região Sudeste, seguida do Sul e do Nordeste que juntos detinham quase 93% dos estabelecimentos existentes em 2004. Contudo, comparando-se a distribuição regional da população brasileira com a dos estabelecimentos de reciclagem fica evidente que a maior força dessa atividade se encontra na região Sul, com 36% das recicladoras para menos de 15% da população do país. Com menor força relativa está o

¹ Estabelecimentos industriais com endereços distintos mesmo que pertencentes à mesma empresa.

Nordeste com quase 30% da população e menos de 10% das empresas de reciclagem. A região Sudeste apesar de ser a mais importante do país em termos econômicos mantém-se em torno da média de participação populacional com 47% dos estabelecimentos e 42% da população.

Tabela 2 - Distribuição percentual dos estabelecimentos de reciclagem e da população brasileira por região

Regiões	% Empresas (A)	% População (B)	Grau de reciclagem A ◀ = ▶ B
Norte	2,0	7,7	Fraco
Centro-Oeste	5,1	6,9	Médio
Nordeste	9,2	28,0	Fraco
Sul	36,0	14,8	Forte
Sudeste	47,7	42,6	Médio

Fonte: IBGE, PIA – Empresas 2004 e PNAD 2003.

Assim, quanto à intensidade da reciclagem, pode-se classificar as regiões segundo o peso relativo desta atividade em função da população. Propõe-se aqui distinguir três níveis:

- Fraco: quando o percentual de recicladoras na região for muito menor do que a percentual de população na região em relação ao total do país ($A < B$)
- Médio: quando o percentual de recicladoras estiver próximo ao da população ($A = B$)
- Forte: quando o percentual de recicladoras for muito maior que o da população ($A > B$)

O perfil forte da reciclagem no Sul do país pode ser explicado pelo pioneirismo da região em termos de política ambiental. Nos anos 80, Curitiba foi a primeira cidade brasileira a implantar um programa de coleta seletiva e reciclagem denominado *Lixo que não é Lixo*. Em renovadas campanhas anuais, vem desde então educando a população para separar os materiais a serem descartados. Isso resultou em uma mudança cultural em favor da reciclagem e do reaproveitamento de materiais. Segundo a Prefeitura, Curitiba é hoje a cidade brasileira com um dos mais altos índices de separação (20% do que é gerado vai para a reciclagem e estima-se que o aproveitamento máximo esteja em torno dos 38% do lixo total). Essa iniciativa foi seguida no início dos anos 90 por diversos municípios da região Sudeste, que, pelo seu peso econômico, assumiu nos anos 2000 a liderança em termos de volume de produção. Em 2004 foram recicladas cerca de 27,7 toneladas a um valor de transformação industrial de quase R\$ 302 milhões (IBGE - PIA

Empresa e PIA Produto), já representando 1% do valor da transformação industrial total de 37 setores de atividade da CNAE.

Outra característica que se pode depreender das informações do IBGE é a predominância da reciclagem de sucata não-ferrosa, em termos de número de estabelecimentos. Isso pode ser explicado, em parte, pela classificação assumida pela pesquisa, que classifica as empresas e suas unidades locais (estabelecimentos) segundo a natureza de sua atividade principal. Portanto, empresas dos segmentos siderúrgicos e metalúrgicos, mesmo que parte de sua produção seja realizada através de sucata metálica, não são consideradas recicladoras, no sentido estrito do termo.

Por outro lado, não se pode deixar de reconhecer que os avanços tecnológicos na reciclagem de plásticos foram importantes, tanto nacional como internacionalmente, e que tiveram reflexo direto no aumento da comercialização desse tipo de sucata. O dinamismo desse segmento tem sido tão expressivo que em 2004, ano base 2003, foi realizada uma pesquisa intitulada *Elaboração e Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil – IRMP*, com abrangência nacional e metodologia do IBGE (www.plativida.org.br).

Para o cálculo do IRMP foram pesquisadas 492 empresas (Tabela 3), cujos dados de produção foram consolidados por região e cruzados com a geração total de plásticos em cada região, totalizando ambos os resultados para o país. O fato de a pesquisa do IRMP ter registrado um número mais elevado de recicladoras de plásticos do que toda a categoria de reciclagem de sucata não-metálica da PIA-Empresas 2004 deve-se ao fato de que o IBGE, como já foi dito, classifica como recicladoras as empresas que se dedicam à transformação industrial de sucata como atividade principal, enquanto a IRMP considera também as empresas verticalizadas que se dedicam à triagem e comercialização de sucata.

Segundo os resultados dessa pesquisa o índice de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil é de 16,5%, só perdendo para a Alemanha e para Áustria. Mas, como ressalta a análise feita pela Plastivida, com uma estrutura adequada de coleta seletiva, esse índice poderá ser ampliado em 26,4%, o que colocaria o país em primeiro lugar, superando os índices atuais da Alemanha e a da Áustria, hoje com 31,1% e 19,1%, respectivamente. Na distribuição relativa desse índice em termo regional destaca-se em primeiro lugar a região Sul com região sul com 26,2%, bem acima da média nacional, seguida da Sudeste com 19,2%. Contudo, em termos absolutos, o primeiro lugar na reciclagem de plásticos pós-consumo é da região Sudeste, com 58% do volume total de plásticos reciclados, seguida pela região Sul, com 25%, e pela região Nordeste, com 14,5% (Tabela 3).

Tabela 3 - Índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo

Tipo de Resíduo Plástico	Tonelada/ano					
	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Brasil
PET	0,0	0,0	27,3	62,7	47,2	39,3
PEAD	15,1	0,0	12,9	24,0	18,2	16,6
PVC	0,0	0,0	21,3	28,8	14,7	16,5
PEBD/ PELBD	9,0	0,0	4,3	25,4	15,4	13,2
PP	4,9	0,0	6,7	6,8	10,7	8,2
PS	0,0	0,0	0,0	13,1	5,4	4,7
Outros tipos	0,0	0,0	0,0	7,8	5,5	4,0
TOTAL	6,2	0,0	10,7	26,2	19,4	16,5

Fonte: Extraída de www.plastivida.org.br/reciclagem/pes_mercado.htm em 31/08/2006

O dinamismo do segmento de plásticos está também refletido na PIA-Produto 2004 do IBGE em que ele é o único material destacado entre reciclagem de sucata metálica e de sucata não-metálica. O item “granulação e recuperação de plástico” consta da classificação da PIA de produto, denominada *Prod-list* composta de cerca de 4000 itens, elaborada a partir da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) e ordenada por classe da CNAE de predominância de origem do produto, identificada pelo código de oito dígitos: 37.20.90.20, em que: 37 corresponde ao ramo reciclagem, 20 ao subgrupo sucata não-metálica e 90 à atividade serviço de reciclagem de sucata não-metálica. Os plásticos isoladamente representaram 13% do segmento de não-metálicos que, por sua vez, representou 56% do total das informações do ramo reciclagem como um todo.

Quanto à origem da sucata para reciclagem, três tipos de produtos são especialmente volumosos: as embalagens, os produtos elétricos e eletrônicos e os veículos. Dentre esses a reciclagem de embalagens foi o primeiro grande impulso e pode ser ampliada pela coleta seletiva, como também os pequenos eletrodomésticos. Já a linha de eletroeletrônicos de uso doméstico, comercial ou industrial requerer organização logística e de coleta especiais. Assim, a melhor perspectiva de crescimento para a reciclagem como um setor econômico está nos veículos em fim de vida que já vem sendo organizado em nível mundial e mesmo no Brasil. Mesmo assim ainda há problemas de qualidade no material reciclado que impedem seu retorno às mesmas funções, o que é uma das mais fortes tendências internacionais do setor. Ultrapassar esse *gap* de qualidade requer grande esforço de P&D, coordenação entre universidades, centros de pesquisa e empresas além de uma organização logística adequada. Gestão integrada da cadeia produtiva e forte

incentivo à pesquisa tecnológica, com investimentos em infra-estrutura laboratorial, são, portanto, indispensáveis para uma reciclagem de qualidade técnica e ambiental.

A reciclagem de veículos e de autopeças, por exemplo, é essencialmente uma atividade transversal e que se realiza tanto interna como externamente ao setor automotivo. Na verdade é preciso construir uma nova cadeia baseada numa logística reversa da qual devem participar montadoras e fornecedores de autopeças e materiais, assim como empresas de outros setores, potenciais consumidores dos materiais reciclados. Além disso, devem estar presentes nessa rede associações de classe, organizações patronais, agências governamentais e centros de pesquisa e universidades. O papel do governo, através de políticas públicas, tecnológicas, ambientais e industriais e de seu poder de regulamentação, é o de mediar e conciliar os diversos interesses e visões distintas em prol da organização do setor de reciclagem em bases econômicas, técnicas e ambientais sustentáveis. Na prática, verifiquei essa diversidade, em visitas e entrevistas com agentes envolvidos na cadeia da reciclagem no Brasil.

Na opinião de proprietários de recicladoras, por exemplo, os principais entraves ao crescimento da atividade de reciclagem no Brasil são:

Entraves ao mercado de materiais reciclados	
1	Falta de logística reversa entre os geradores de resíduos e sucatas e os recicladores.
2	Falta de incentivo para o mercado de materiais reciclados.
3	Sistema tributário anacrônico com carga tributária excessiva indiferenciada incidindo sobre o material virgem, sobre a sucata e sobre o material reciclado.
4	Legislação e normatização insuficientes ou inadequadas.
5	Falta de financiamento acessível para as pequenas e médias empresas de reciclagem.

Além disso, também foram identificadas lacunas no nível tecnológico e industrial, através da discussão com especialistas de diversos ramos industriais, professores e pesquisadores. Em um balanço dessas discussões realizadas ao longo dos últimos três anos foram apontados como entraves mais importantes ao pleno desenvolvimento de uma reciclagem industrial de bom nível de qualidade técnica e ambiental:

Entraves atuais ao desenvolvimento da reciclagem industrial	
1.	Falta de incentivo a P&D em tecnologias limpas para reciclagem.
2.	Falta de incentivo a P&D em materiais de menor impacto ambiental os chamados ecomateriais: livre de substâncias tóxicas, mais recicláveis ou biodegradáveis.
3.	Faltam laboratórios de controle de qualidade e desenvolvimento de processos certificados para atuar em prestação de serviços tecnológicos junto à indústria de reciclagem e materiais.
4.	Falta de alternativas tecnológicas com viabilidade industrial e econômica para processos de produção e tratamento de materiais metálicos ou compósitos de menor impacto ambiental.
5.	Falta de estudos e pesquisas em novos processos de montagem de peças, sistemas e componentes de produtos manufaturados, substituindo contaminantes e técnicas de junção que dificultem a desmontagem.

Finalmente, com base na experiência de cinco anos de estudos sobre o tema no Brasil e na Europa, pode-se apontar alguns pontos positivos da situação da reciclagem no mercado brasileiro.

Pontos positivos	
1	As regulamentações do conama.
2	A criação da Bolsa de Resíduos.
3	Editais para tecnologias sociais, como o do CNPq Catadores.
4	Iniciativas das Federações de Indústrias em Gestão Ambiental FIRJAN.
5	Coleta Seletiva e programas de reciclagem de Prefeituras.
6	O Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis.
7	A atuação de organizações não-governamentais (Plastivida, CEMPRE, etc).
8	Estratégia Ambiental de Grandes Empresas para certificação ISO 14000.
9	91 projetos de lei tramitando na Câmara Federal nos últimos 10 anos tratando de reciclagem, interdição de substâncias tóxicas e tratamento de resíduos.

3. RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS EM PRODUTOS EM FIM DE VIDA (PFV)

A reciclagem de produtos em fim de vida nos países desenvolvidos está hoje no centro das atenções da gestão ambiental, e o que mais preocupa governos nacionais, instituições transnacionais ou organizações não-governamentais é a entrada de países emergentes, como Brasil, Rússia, Índia e China (o chamado BRIC) no mercado de produção e consumo em massa de veículos, eletroeletrônicos, enfim, os chamados, em economia, bens de consumo duráveis. Esses produtos em seu conjunto consomem um enorme volume de matérias-primas que, se não forem devidamente recicladas, podem antecipar o fim já anunciado de muitas das reservas minerais mundiais. Em resumo como se diz frequentemente na Europa, “as minas do século XXI serão os produtos em fim de vida”.

3.1 Eco-concepção e seleção de materiais²

Em resposta a esse desafio de tornar sustentável ambientalmente a produção de bens industriais em larga escala surge o *eco-design* ou eco-concepção como uma nova forma de projetar globalmente produtos, ou seja, pensando não apenas na sua produção venda e consumo mas também nos seus antecedentes materiais (se são renováveis ou recicláveis) e nos seus conseqüentes impactos sobre o ambiente ao fim de sua vida útil. Essa prática começou na década de 1990, como resultado da pressão legislativa e normativa em relação ao meio ambiente.

Na Europa essa nova forma de projetar tem permitido às empresas atender às exigências da legislação ambiental e até mesmo antecipar-se a elas. Segundo Jounot (2004, p. 81):

“A eco-concepção se caracteriza por uma visão global: é uma abordagem multi-critério (água, solo, ruído, rejeitos e resíduos, matérias-primas e energia) e multi-etapas (Design, seleção de materiais e de processos, projeto de engenharia, detalhamento do produto, dos equipamentos e técnicas de produção, projeto industrial). Ela ainda leva em conta todas as fases do ciclo de vida do produto: desde a extração de matéria-prima até o tratamento de produtos em fim de vida (...) as expectativas dos consumidores, a viabilidade técnica, os custos, a qualidade, e os prazos”.

Na prática, a eco-concepção está baseada no conceito de ecoeficiência, que vem sendo adotado por empresas do mundo inteiro, no intuito de mostrar que seus sistemas de produção, produtos e serviços têm performances econômica e ambiental corretas. Nesse sentido, a empresa minimiza o consumo de matérias-primas primárias, substituindo-as por matérias-primas secundárias; concentra esforços em pesquisas para diminuir a toxicidade dos componentes de seus produtos e aumentar sua vida útil, além de buscar reduzir seu consumo industrial de energia elétrica. Ela pode se aplicar tanto ao projeto de

² Extraído de Medina (2006-A).

produtos como à pesquisa e desenvolvimento de novos materiais com menor impacto ambiental ou os já chamados ecomateriais.

Eco-concepção, ou eco-design, define-se como uma abordagem global, multicritérios e multietapas, dos impactos ambientais de um produto. Multicritérios por se basear na ACV, que pressupõe um inventário amplo das condições de utilização de matérias-primas, energia, água, ar, solo e dos rejeitos e perdas produzidos em cada etapa. Multietapas por considerar todas as etapas da vida de um produto, da extração de matérias-primas ao tratamento dos componentes e do próprio produto em fim de vida. Segundo Graedel (1998), *apud* Medina (2005), todo produto tem cinco grandes fases:

- Extração mineral e produção de materiais.
- Tratamento de materiais e fabricação de peças.
- Embalagem, distribuição e vendas.
- Uso ou consumo.
- Descarte ou reciclagem.

Estes estágios englobam todo o ciclo de vida de um produto da pré-manufatura (produção de matérias-primas) à remanufatura (reciclagem) (Medina, 2005).

Manzini e Vezzoli (2002) consideram a fase de extração mineral e produção de materiais como pré-produção em que são consumidas energias e matérias-primas que determinam os níveis de emissões nesta fase e nas posteriores, assim como várias formas de impacto ambiental e efeitos diversos sobre a saúde humana e o ecossistema. Além disso, eles dizem que o peso do impacto ambiental de um determinado produto ou de um material pode mudar segundo o contexto de sua produção e consumo.

Contudo, os autores destacam que há alguns materiais que, independente do seu uso e proveniência, constituem um verdadeiro perigo ambiental. O uso de tais materiais normalmente é proibido por lei. O exemplo dado é o do amianto material cujos riscos podem se manifestar em todo o seu ciclo de vida, segundo já foi mundialmente verificado. Devido a sua facilidade de extração e beneficiamento, é um material muito econômico e, por isso, foi usado em mais de 3.000 produtos a partir da II Guerra Mundial. Desde 1999 intervenções legislativas em mais de 80 países proibiram o amianto. No Brasil ele foi banido do estado de São Paulo e em âmbito federal há um projeto de lei nº 10/2003 atualmente na Comissão de Seguridade Social e Família (CSSF).

Enfim, a substituição de substâncias tóxicas faz parte de um cenário que torna a seleção de materiais durante o projeto cada vez mais complexa e exige competências múltiplas. É um cenário de hiperescolha no sentido de que o leque de opções é cada vez maior. Para uma mesma peça ou função pode-se utilizar materiais tão diferentes como polímeros, metais, cerâmicas ou compósitos, que conjugam dois ou mais desses, com características químicas, físicas ou mecânicas idênticas. Uma primeira seleção tem que ser feita

na fase inicial do projeto, quando apenas o design em termos de forma do produto está concluído, e deve se estender pelas demais fases sendo validada a cada passo para aprovação final na fase de industrialização do projeto.

3.2 Desenvolvimento de ecomateriais³

Segundo Halada e Yamamoto (2001), o conceito de ecomateriais foi proposto no Japão antes da II Conferência Mundial do Meio Ambiente no Rio de Janeiro, em 1992 - World Summit Rio 92. Ele nasceu de uma série de discussões entre cientistas e engenheiros especialistas em materiais dentro de uma visão "holística" dos materiais, no sentido de enfatizar seus aspectos positivos em relação ao meio ambiente. Essa visão valoriza os últimos desenvolvimentos a favor do meio ambiente. Propõe-se que esses materiais, ditos avançados, novos ou melhorados, sejam reconhecidos por sua contribuição à manutenção ou recuperação do equilíbrio ecológico do planeta. Os mesmos autores assinalam que essa contribuição se dá em quatro principais vertentes:

- Materiais para a proteção do meio ambiente, por exemplo, catalisadores e filtros de ar, de óleo e de combustíveis e filtros industriais para captar partículas tóxicas emitidas por atividades industriais diversas.
- Materiais para geração de energia em sistemas alternativos como: células fotovoltaicas para energia solar, pilhas combustível, sistemas de armazenamento de energia etc.
- Materiais concebidos para terem menor impacto ambiental e cujo projeto foi orientado pela ACV dos materiais atualmente em uso no mercado. Os exemplos são os plásticos biodegradáveis, todos os materiais recicláveis e de menor consumo energético.
- Substituição de substâncias tóxicas ou prejudiciais à saúde humana em processos de produção e ou tratamento de materiais por processos mais limpos.

A ACV, na verdade, auxilia a identificação de oportunidades de melhorias do sistema produto-material-processos de fabricação que possam levar à otimização do desempenho ambiental do produto. Nesse sentido pode e tem levado ultimamente ao desenvolvimento de novos materiais, quando a solução desejada não se encontra ainda disponível no mercado.

Essa abordagem proporciona uma visão global da questão ambiental em toda sua pluralidade, realizando *check-points* em todos os estágios da vida do produto a saber:

- Produção: extração de minerais, produção de materiais e produtos finais.
- Consumo: venda, uso e manutenção dos produtos.
- Fim de Vida: reciclagem ou descarte de produtos ou componentes usados.

³ Extraído de Medina (2005), Análise do Ciclo de Vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil, p. 310-330.

Para todas essas fases, a ACV possibilita que se conheça não apenas os impactos ambientais que podem acontecer mas também sob quais cenários socioeconômicos e tecnológicos eles vão ocorrer e, ainda, em que medida eles podem ser evitados ou minorados. É nesse sentido que a ACV vem sendo usada para o desenvolvimento de novos materiais. Uma vez feito o inventário de todos os materiais existentes, possíveis de serem utilizados em uma dada função de um produto, pode-se conceber um material alternativo que tenha a mesma função, mas um balanço ambiental mais favorável, que seja mais leve ou mais econômico energeticamente ou reciclável ou ainda biodegradável, entre outras vantagens possíveis.

Esses desenvolvimentos têm sido buscados principalmente para os plásticos nas funções de embalagem e estruturais, que hoje já podem ser encontrados sob diversas formulações como materiais recicláveis, biodegradáveis ou ainda hidrossolúveis, como é o caso de uma embalagem especialmente concebida para pesticidas para plantas e que se dissolve dentro do regador sem ser necessário o contato humano (Bertholini, 1995).

diante dos fortes sinais de esgotamento do modelo enérgico atual, os materiais ligados à produção de novas formas de energia são, sem dúvida, uma grande unanimidade como tendência mundial de P&D em ecomateriais nesse início de século. São exemplos os biocombustíveis, as membranas permeáveis ao oxigênio, o hidrogênio e suas formas de estocagem, célula-combustível, novas baterias à base de lítio, entre outros.

Em um segundo grupo, não longe de uma universalização a médio prazo, vêm os materiais:

- Que retêm as diversas formas de poluição: filtros, catalisadores etc.
- Que substituem substâncias tóxicas. como amianto e metais pesados, *vis-à-vis* a progressiva interdição parcial ou total destas em nível mundial.
- Recicláveis, biodegradáveis, reutilizáveis, enfim, as diversas alternativas que reduzem os resíduos finais a serem descartados e prolongam a vida dos materiais economizando matérias-primas primárias.

No caso da reciclagem, todos os setores, fortes consumidores de materiais, têm se voltado para essa opção. No setor automotivo, por exemplo, todos os conceitos e métodos de projetar como DFR e ACV já estão hoje presentes na estratégia ambiental das montadoras e de seus principais fornecedores. Eles têm desenvolvido preconizações técnicas para a concepção de novos veículos tendo em vista sua reciclagem final. Essas diretrizes, segundo Coulter *et al.* (1996), citados em Medina e Gomes (2002), nos casos da Chrysler e da GM, possuem muitos pontos em comum diferenciando-se apenas em alguns detalhes. Os autores destacam que ambas as empresas recomendavam, já no início dos anos 90, que seus projetos focalizassem:

- Na seleção de materiais, a redução da diversidade de materiais e evitassem plásticos não compatíveis.

- Na seleção de técnicas de junção (soldagem, colagem, encaixes etc) a redução da diversidade de técnicas e a utilização de encaixes, quando possível, e evitassem adesivos contaminantes que degradam o material.
- No projeto de sistemas e componentes, a desmontagem para reciclagem para viabilizar economicamente a reciclagem.

Como puderam constatar Medina e Gomes no estudo que realizaram em 2001/2002 (Medina e Gomes, 2003) com as montadoras francesas, na França como no Brasil, a situação é semelhante e atenção especial vem sendo dada à utilização dos plásticos. A Renault e PSA, em parceria, estabeleceram no ano 2000 um programa conjunto para orientar a concepção e o projeto de automóveis cada vez mais recicláveis.

4. ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA RECICLAGEM

Existem diversas formas de se reciclar produtos e materiais. Diferentes tipos de reciclagem são utilizados de acordo com o material ou o produto e com as condições técnica e de mercado. A reciclagem hoje é vista como uma atividade economicamente organizada e tecnicamente capaz de minorar os impactos ambientais causados pelo descarte de produtos em fim de vida. As formas de reciclagem mais utilizadas são a reciclagem energética, química e mecânica (www.cempre.org.br).

A reciclagem energética tem estreita relação com a incineração de resíduos. Ela é feita a partir de uma instalação de combustão de resíduos, mas difere da usina de incineração porque gera um produto, a energia (eletricidade e calefação), que pode ser vendido ou reutilizado para abastecer processos. Esse tipo de reciclagem pode ser bastante vantajoso para a indústria, por prover um certo grau de auto-suficiência energética. Entretanto, tem como grande desvantagem a emissão de poluentes na atmosfera, que pode ser minimizada através de uma preocupação prévia com o tratamento desses resíduos. Um exemplo desse processo é a reciclagem de pneus, que será mostrada mais adiante.

A reciclagem química visa recuperar compostos químicos que deram origem aos materiais plásticos ou seus compósitos. Isso é possível com a quebra parcial ou total das moléculas dos resíduos plásticos, selecionados e limpos através de reações químicas. Os materiais obtidos exigem tratamento dispendioso na purificação final. No Brasil, a reciclagem química é feita para o poli (metacrilato de metila), PET, PP em pára-choques de automóveis, PPE, PA, PC e ABS em freios e em tanques de combustível, PE. O objetivo dessa recuperação dos compostos e substâncias químicas é reutilizá-los como matéria-prima secundária de novos plásticos.

A reciclagem mecânica consiste na redução de tamanho e reprocessamento dos materiais transformando-os em matéria prima secundária. Esse tipo de reciclagem fecha o ciclo de reciclagem de um produto, que pode voltar a ser utilizado como matéria-prima

para gerar o mesmo produto que fora, ou um novo produto, continuando a contribuir com a indústria.

4.1 Limites e tendências da reciclagem de metais

De uma maneira geral, os metais podem ser reciclados quase indefinidamente sem perda significativa de suas propriedades. Mas, de fato, a qualidade final do material recuperado vai depender diretamente da separação dos componentes das ligas e dos elementos contaminantes destas, utilizados em tratamentos de superfície exigidos pelo uso ao qual se destina o material. Essa degradação pode fazer com que esses metais, uma vez reciclados, tenham o mesmo destino dos plásticos, ou seja, percam seu valor inicial e só encontrem empregos cada vez menos nobres na cadeia produtiva. Assim, mesmo que o Brasil seja o líder mundial de reciclagem de latas de alumínio, com uma taxa de 90%, em 2003, superior ao Japão e Estados Unidos, o alumínio reciclado de automóveis, aqui como no resto do mundo, parte para construção civil ou embalagens e, em casos extremos, pode até vir a ser fundido junto com metais ferrosos de menor valor, como aço.

Enfim toda matéria reciclada sofre alguma desvalorização, por perda de suas propriedades químicas iniciais. Além disso, no caso de produtos ou componentes em fim de vida há incompatibilidades entre seus materiais constituintes até entre os metais, mesmo que seja bem menor que entre os plásticos.

Apresento a seguir os resultados de um estudo do qual participei na França, em 2004, sobre eco-concepção para a melhoria da qualidade da reciclagem do aço e do alumínio automotivos (Medina, 2006).

Mesmo no caso do aço, que é o material mais facilmente reciclado, há perda de propriedade, por excesso de elementos residuais que estão presentes na sucata dos automóveis e que não são eliminados pelos processos de reciclagem atualmente em uso. Isto impede que a maior parte desse material reciclado retorne ao automóvel. De uma maneira geral, os resíduos encontrados em peças metálicas provenientes de VFV podem ser classificados em três categorias:

- Oxidáveis: totalmente eliminados no processo de refino do aço. Exemplo: Al, Si, Ti.
- Semi-oxidáveis: eliminados em parte no refino do aço. Exemplo: Cr, Mn, P.
- Não-oxidáveis: permanecem como contaminantes do aço. Exemplo: Cu, Sn, Mo, Ni.

A dificuldade maior reside na eliminação ou no controle do percentual desses elementos residuais após a segunda fusão da liga metálica. Alguns desses elementos, como o silício, o alumínio, ou ainda, o titânio, podem ser totalmente eliminados por oxidação. Outros são apenas parcialmente eliminados, como: o fósforo, o manganês e o cromo. E, finalmente, na última categoria estão os que não podem ser separados dos metais ferro-

sos, como o cobre, o molibdênio e o níquel, permanecendo como contaminantes no aço reciclado.⁴

Nesse último caso a alternativa técnica é a diluição para se chegar a um percentual aceitável de contaminação. O risco maior de tal contaminação é sua difusão, no longo prazo, de toda a sucata ferrosa disponível para reciclagem, pela acumulação desses elementos em peças ou veículos após sucessivas reciclagens. Na verdade, esse efeito se acentua à medida que o processo de fusão se repete, concentrando assim os resíduos nas sucatas e exigindo cada vez mais quantidade de aço de primeira fusão ou matéria-prima primária para a produção de autopeças. Nesse sentido os aços automotivos reciclados se degradam atingindo um baixo nível de qualidade o que dificulta sua reutilização em peças ou veículos novos. As chapas de aço para carrocerias de automóveis, por exemplo, devem apresentar uma alta qualidade de acabamento superficial – sem imperfeições aparentes - o que só é possível se o aço (primário ou secundário) tiver menos de 1% de cobre e estanho somados.

Por outro lado, há que se considerar as contribuições positivas desses elementos para as características de alguns aços ligados que fazem parte das exigências dos projetos dos veículos, conforme especificado pelas montadoras aos seus fornecedores. O Quadro 2 resume as principais propriedades desses aços ligados:

Quadro 2 - Propriedades melhoradas dos aços ligados

Elementos dos aços ligados	Propriedades
Cromo	Aumenta a temperabilidade e a resistência à corrosão.
Níquel	Aumenta a temperabilidade e resistência à tração.
Cobre	Melhora a resistência à corrosão atmosférica.
Molibdênio	Aumenta a temperabilidade e a resistência térmica.
Fósforo	Facilita a usinagem e protege contra a corrosão.

Fonte: Projeto CR2A (Relatório final).

Desse modo, todo desenvolvimento de novas ligas e/ou novos processos visando substituir uma ou mais dessas substâncias no aço automotivo terá que respeitar as propriedades requeridas pela indústria do produto. Assim, qualquer melhoramento no sentido de aumentar a reciclabilidade dos produtos terá de ser pensado funcionalmente, ou seja para peça, produto e função e processo a que se destina.

⁴ Ver fotos ilustrativas dessa situação em peças tiradas de veículos em fim de vida em Medina (2006-A).

4.2 A evolução da reciclabilidade dos plásticos

A produção de plásticos virgens e reciclados foi a que mais se desenvolveu do ponto de vista tecnológico e industrial nos últimos 10 anos. Junto com o alumínio foi o material que teve aumento mais significativo na composição dos veículos neste período. Sua reciclabilidade e efetiva reciclagem são crescentes no mundo e no Brasil.

No Brasil é o setor de plásticos que mais fatura com a reciclagem, depois do alumínio, tendo envolvido cerca de 500 empresas e mais de R\$ 1 bilhão, segundo dados da Plastivida (www.plastivida.org.br). Em 2004, o setor reciclou mais de 700 mil toneladas de todos os tipos de plástico, empregando dezenas de milhares de pessoas.

Os plásticos apresentam-se hoje como solução de engenharia para inúmeras aplicações sem as restrições ambientais que tinham há cerca de 10 anos. Eles são recicláveis e também encontram aplicações entre os biomateriais. Do ponto de vista dos materiais, pode-se dizer que foram os plásticos que mais se desenvolveram nesse sentido, reduzindo sua toxicidade e aumentando sua reciclabilidade e valorização energética em produtos em fim de vida. Ou seja, muitos plásticos fazem parte dos chamados ecomateriais, que são materiais concebidos sem substâncias tóxicas, biodegradáveis ou recicláveis.

Os plásticos podem ser submetidos a três formas de reciclagem: mecânica, química e energética. Na reciclagem mecânica, o material é submetido a processos mecânicos (exemplos: lavagem, moagem e extrusão) e, normalmente, ocorre uma perda de propriedades por quebra de sua cadeia molecular.

O depoimento de Jorôme Vidalie da empresa de plástico francesa INOPLAST dá um testemunho de pioneirismo e trabalho coordenado com as indústrias, clientes como a Renault, na França, num programa voltado para eco-concepção junto a seus fornecedores:

“Enquanto outras montadoras nos pedem informações sobre substâncias tóxicas ou nocivas contidas nessa ou naquela peça, a Renault vai mais longe e entra no domínio da eco-concepção.”... “já faz seis meses que estamos utilizando o software deles (OPERA) em fase de observação para que possamos estabelecer uma base de dados sobre as diferentes soluções (alternativas para composição de materiais plásticos). Pode-se imaginar que, no futuro, os critérios ambientais serão determinantes, se bem que atualmente os critérios econômicos e de qualidade continuam sendo decisivos.”

Tecnicamente todos os plásticos, inclusive os termoplásticos, ditos plásticos de engenharia que vêm progressivamente substituindo os metais em funções semi e mesmo estruturais, podem ser reciclados. O problema é que para eles retornarem ao mesmo produto ou terem um uso tão nobre quanto à matéria secundária a ser reciclada precisa estar livre de contaminantes, desde sujeira comum e mofo até solventes, água, gasolina

ou óleo. Alguns aditivos funcionais, os antiinflamáveis, e cloro, entre outros, podem também gerar impactos ambientais durante o processo de reciclagem.

Nesse sentido, a indústria automobilística nos anos 2000 tem procurado reduzir a diversidade dos plásticos automotivos concentrando seu uso nos de melhor reciclabilidade, ou seja o PP e o ABS. O PP chega a representar em alguns modelos 50% da categoria.

Os plásticos estão em segundo lugar, atrás dos metais, na composição média dos automóveis, com 12 a 15% da massa total dos veículos. No caso do Modus da Renault, o peso do veículo é de 1150 Kg e os plásticos participam com cerca de 15% desse peso, ou seja, com cerca de 173 Kg, dos quais cerca de 10,5% são provenientes de matéria-prima secundária ou reciclada. Além disso, tudo nele foi pensado para favorecer a reciclagem de suas peças e do próprio veículo. A Renault acredita que essa seja a via mais segura para atender às exigências da Diretiva Européia sobre Reciclagem de veículos em fim de vida, e atingir os 10% que faltam para a taxa de reciclabilidade efetiva de 95% em 2015, incluindo reciclagem, reutilização e valorização energética (recuperação da energia contida nos materiais). Atualmente, o automóvel é reciclado entre 70 e 75% do seu peso, o que corresponde quase exatamente a sua parte metálica. A reciclagem de plásticos automotivos para fins automotivos não ultrapassa a casa de 1%, enquanto que a parte metálica é reincorporada ao automóvel em até 50%.

O problema é que, como todos os materiais, os plásticos e as tecnologias de processamento não cessam de evoluir tornando a reciclabilidade um conceito dinâmico que pode variar muito nos próximos anos, com o advento das nanotecnologias em amplas aplicações industriais. A notícia da Gazeta Mercantil de 26 de outubro de 2005 é exemplar:

"A Braskem investiu US\$ 3 milhões em pesquisa, equipamento e profissionais para chegar à sua primeira patente em nanotecnologia para resinas plásticas e dar a largada na produção de resinas inteligentes, modificadas pela mistura de nanopartículas (de dimensão atômica) de argila à massa plástica. A empresa pretende aplicar a tecnologia com as várias resinas que produz: polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS), resina tipo PET, entre outras."

Por outro lado as nanotecnologias podem também ser utilizadas para o desenvolvimento das técnicas de reciclagem e tratamento de resíduos (separação por membranas) e ainda colaborarem com o desenvolvimento de materiais nanoestruturados de menor impacto ambiental e maior reciclabilidade.

5. CENÁRIOS E TENDÊNCIAS

Duas fortes tendências vão tornar os cenários nacional e mundial convergentes, ao longo deste século.

A primeira é a própria evolução tecnológica dos materiais que vêm acontecendo com maior intensidade, velocidade e abrangência do que no século passado. Essa evolução vem acontecendo no sentido de incorporar novas funções, melhorar ou integrar funções já existentes nos produtos o que leva a um cenário de hiperescolha⁵ de materiais, como foi previsto por especialistas na década de 1980. Tem-se hoje uma forte tendência a novos desenvolvimentos dos chamados materiais funcionais. Os produtos ditos bens de consumo duráveis que chegarão ao fim de suas vidas daqui a 5, 15 ou 20 anos, terão em sua composição: metais, plásticos e várias possíveis conjugações destes como compósitos de matriz polimérica com carga mineral ou com reforço de fibras vegetais ou de ligas metálicas, além dos materiais nanoestruturados que devem ser introduzidos em breve.

Em consonância com os avanços dos materiais a segunda tendência forte é a da evolução dos processos industriais, no sentido de uma produção limpa verticalmente integrada, ou seja, produtos verdes são feitos com materiais verdes em fábricas verdes. A certificação ambiental tem um efeito à jusante e à montante da produção industrial de bens de consumo finais.

Assim a busca da sustentabilidade ambiental impulsionada por legislações ambientais e normas técnicas relacionadas à reciclagem de produtos em fim de vida, tornou-se um imperativo em âmbito mundial. Na Europa, os produtos já vêm sendo projetados incorporando requisitos ambientais que fazem com que a atividade de projeto englobe desde a escolha dos materiais até o seu tratamento em fim de vida, ou seja, o chamado eco-design. Neste contexto, os novos modelos de automóveis europeus e seus componentes já são 95% recicláveis, e as montadoras européias instaladas no Brasil seguem os mesmos critérios ambientais das matrizes, além de terem promovido a vinda de uma nova geração de fornecedores de novos materiais e novos componentes eletrônicos. As peças e componentes vêm sendo assim “nacionalizados” sem alterações significativas nas suas características, uma vez que os carros produzidos aqui são também exportados. São, portanto, modelos eco-concebidos.

Porém, ainda não há no Brasil uma estrutura industrial e tecnológica capaz de aproveitar esse potencial, o que poderá acarretar, mesmo com o crescimento da reciclagem no país, um grande desperdício em termos econômicos. A baixa qualidade do material reciclado impedirá que ele retorne ao mesmo produto, peça original, como ocorre na Europa. Além disso, o ciclo de vida dos produtos tem diminuído, entre outros fatores por

⁵ A expressão cunhada na França por Cohendet nos anos 80, *hyperchoix de matériaux*, continua sendo hoje a mais exata para definir uma tendência que só tende a se aprofundar.

obsolescência tecnológica, o que resulta em lançamentos cada vez mais rápidos de novos modelos no mercado, acarretando uma enorme quantidade não só de produtos em fim de vida como de peças obsoletas, de produtos fora de linha de produção. Essa seria uma sucata nobre não só para a reciclagem industrial propriamente dita, de alto valor, mas como para a remanufatura e o reuso.

6. AGENDA DE PRIORIDADES – BRASIL 2015

O melhor aproveitamento das oportunidades para a sociedade brasileira, requer uma agenda mínima de ações de fomento público para ciência, tecnologia e inovação em materiais e reciclagem:

- Substituição de substâncias tóxicas em ligas metálica, compósitos, tratamentos superficiais e processos de produção de materiais.
- Tecnologias limpas, para reciclagem e tratamento de resíduos em todas as fases da produção industrial.
- Inovação em materiais, processos e produtos ecoconcebidos.
- Pesquisa em tecnologias de descontaminação de produtos, materiais e áreas contendo substâncias tóxicas ao meio ambiente ou à saúde humana.
- Criação de programas de pesquisa em nanotecnologias em todos os níveis de novos desenvolvimentos científicos a aplicações industriais diversas.

Ainda como outros importantes itens tem-se:

- Incentivo a P&D em tecnologias limpas para reciclagem.
- Incentivo a P&D em materiais de menor impacto ambiental os chamados ecomateriais: livre de substâncias tóxicas, mais recicláveis ou biodegradáveis.
- Laboratórios de controle de qualidade e desenvolvimento de processos certificados para atuar em prestação de serviços tecnológicos junto à indústria de reciclagem e materiais.
- Alternativas tecnológicas com viabilidade industrial e econômica para processos de produção e tratamento de materiais metálicos ou compósitos de menor impacto ambiental.
- Estudos e pesquisas em novos processos de montagem de peças, sistemas e componentes de produtos manufaturados, substituindo contaminantes e técnicas de junção que dificultem a desmontagem.

Sem essa agenda mínima e sem um papel pró-ativo dos poderes públicos no sentido de organizar a cadeia produtiva, desde extração de mineral até a reciclagem em bases sustentáveis, o país corre sério risco de transformar esse cenário de oportunidades em

grandes ameaças não só do ponto de vista ambiental mas também, tecnológico, econômico e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrassart C. e Aggeri F. (2002), La naissance de l'éco-conception: du cycle de vie du produit au management environnemental "produit", *Revue Responsabilité et Environnement*, n 25, pp.41-63, série trimestrielle des Annales des Mines, éditions ESKA.
- Adamian R. (2006), *Ecologia Industrial*, Apostila do curso COP 814: tópicos especiais em eco-concepção e reciclagem de materiais, Doutorado de Engenharia de Produção na COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Castilho A. e Castro Fa. (2006), Vendem-se resíduos, *Indústria Brasileira*, janeiro, pp. 22-26, www.cni.org.br.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial com a Reciclagem, www.cempre.org.br
- CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica, www.cimm.com.br
- Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council, of 18 September 2000, on end-of life vehicles, texte officiel publié par le Official Journal of the European Communities, le 21 october 2000, L 269/34 à L 269/43.
- FAPESP, www.agencia.fapesp.br, *Nanopartículas brancas*, 10/10/05, O Instituto de Química da UNICAMP e a multinacional Bunge lançaram um pigmento branco para tintas a partir de nanopartículas de fosfato de alumínio.
- FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, www.firjan.org.br (Bolsa de Resíduos)
- Goldberg S. (2005), Os ganhos saídos do lixo, *Conjuntura Econômica*, set. pp.30-39.
- INFOMET, www.infomet.com.br
- John Young et Aron Sachs (1989), *Créer une économie soutenable des matériaux, dans L'Etat de la planète*.
- Lupis C.H.P., *Greenhouse gases and the metallurgical process industry*, the 1999 *Extraction and processing lecture the Minerals*, metals and materials society, in *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 30B, pp 841-856.
- Manzini E. Verzzoli C. (2002), *O desesenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*, EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, Brasil, 2002, 366 p.
- Medina H. V. de (2003), Non ferrous metals recycling: economic, technical and environmental aspects of aluminium and lead market in Brazil, *International Workshop on Non Ferrous Metal Recycling in Emerging Markets*, State Mining Institute, St Petersburg.
- Medina H. V. de (2001), *Inovação em materiais na indústria automobilística*, Série CETEM Estudos e Documentos n° 48, MCT/CETEM, Rio de Janeiro, Brasil, 68 p.
- Medina H. V. de (2005), *Análise do ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil*, pp. 310-330, In: *Avaliação do Ciclo de Vida: a ISO 14000 na América Latina*, organizado por Caldeira-Pires A., Souza-Paula M.C. e Villas Bôas R.C., Editora ABIPIT, apoio CNPq, CYTED e UNB, Brasília, 330 p.

- Medina H. V. de (2006), *Clean technologies for recycling* , In: Daniel Brissaud, Serge Tichkiewitch and Peggy Zwolinski, *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*, Springer, Netherlands, pp. 199-208.
- Medina H. V. De (2006-A), *Eco-concepção para a qualidade da reciclagem do aço e do alumínio automotivos*, Série CETEM Inovação e Qualidade n° 01, Rio de Janeiro, Brasil, no prelo.
- Medina H. V. de e Gomes D. E. B. (2003), *Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas*, Série CETEM Tecnologia Ambiental n° 27, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, Brasil, 60 p.
- Medina H.V. de et Naveiro R. M. (2003), *Designing for sustainability: tomorrows' car encompassing environmental paradigm*, *Proceedings of the XI Rencontre Internationale du GERPISA*, Paris.
- Schwartz L. H. (1999), *Sustainability: the materials role*, *Metallurgical and Materials Transactions B*, volume 30B, Abril, pp.157-170.
- Scliar C. (2004), *Mineração a base material da aventura humana*, Editora Legado, Belo Horizonte, Brasil, 159 p.
- Szekely and Trapaga (1995), *Materials and the environment: industrial ecology – the need to rethink the materials cycle: some problems, solutions, and opportunities in the materials field*, *Journal of Mater. Res.* Vol. 10, pp. 2178-2196, USA.
- Werneck I. K., Themelis N. J. (1998), *Recycling metals for the environment*", In: *Annual Rev. Energy Environment*, vol. 23, pp 465-497.
- www.usinagem-brasil.com.br, Ford e Boeing pesquisarão nanotecnologia, consultado em 08/10/05.

ANEXOS

1. LISTA DOS COLABORADORES CONSULTADOS AOS LONGO DOS ÚLTIMOS 6 ANOS (DESDE 2000)

PROFESSORES/ESPECIALISTAS	ÁREAS	INSTITUIÇÃO/EMPRESA
Rupen Adamian	Metalurgia e Materiais	COPPE/ UFRJ
Ricardo Naverio	Mecânica e Produção	COPPE/ UFRJ
Elen Pacheco	Eng. Química	IMA/UFRJ
Eloisa Manno	Eng. Química	IMA /UFRJ
Daniel Froelich	Física e Materiais	ENSAM–Chambéry (Diretor)
Elisabeth Froelich	Eng Química	ENSAM / Chambéry
Yan Leroy	Doutorando	ENSAM / Chambéry
Dominique Millet	Eco-design	ENSAM-Paris/SUPMECA-Toulon
Goran Radulovic	Doutorando	ENSAM- Paris
Youcef Bouzidi	Eng. Metalúrgica	UTT- Troyes
Fabrice Mathieux	Pos-Doutorando	UTT- Toyes
Jean Claude Prevost	Metalurgia e Materiais	L'ARAMM – Chambéry (Diretor)
Robert Léveque	Metalurgia e Materiais	L'ARAMM - Chambéry
Gerard Maeder	Eng. de Materiais	Eng. de Materiais Renault (Diretor)
Robert Lassartesses	Reciclagem	Chefe Serviço de Reciclagem (Renault)
Pierre Valersteinas	Reciclagem	Serviço de Reciclagem (Renault)
Mathieu Olenyck	Reciclagem	Serviço de Reciclagem (Renault)
Michel Lettré	Eng. de Materiais	Gerente de Materiais (PSA)
Marielle Dunand	Reciclagem	Chefe Serv. de Reciclagem (PSA)
Annie Beretti	Gestão da Inovação	Programa de Competitividade (PSA)
Huges De Ferraudy	Eng. De Minas	Galloo Plastiques – (Diretor)
Loïc Jacqueson	Materiais/Reciclagem	Faurecia
M. Tuchman	Materiais automotivos	Arcelor
Anne Pichat	Materiais automotivos	Pechiney
Richard Debaue	Reciclagem	CFF Cia Française de Feraille
Manuel Burnand	Reciclagem	CFF Cie Française de Feraille
S. Richet	Materiais	PSA

2. EMPRESAS VISITADAS POR HELOISA MEDINA

Setor automotivo

Volkswagen (Taubaté, São Bernardo, São Carlos - São Paulo)
 Volkswagen Caminhões (Resende – Rio de Janeiro)
 Volkswagen / Audi (Paraná)
 Renault (São José dos Pinhais - Paraná, Flins - França e Valladolid - Espanha)
 PSA Peugeot-Citroën (Porto Real - Rio de Janeiro e Passy - França)
 General Motors (São Bernardo - São Paulo)
 Mercedes (São Bernardo - São Paulo)
 Scania (São Bernardo – São Paulo)
 Ford (São Bernardo - São Paulo e Camaçari - Bahia)

Setor de reciclagem

LMG Serviço de Injeção de Plásticos, Reciclagem, Ferramentaria e Usinagem Geral
 NEWPET Indústria e Comércio de Plástico Ltda.
 COMLURB – Campo Grande – Companhia Municipal de Limpeza Urbana
 COOPERMISO Cooperativa Mista de Trabalho e Produção da Zona Oeste Ltda.
 Galloo Plastics (Lille, França)
 Galloo Recycling (Lille, França e Metals Bélgica)

Setor de materiais e peças

COSIGUA (GERDAU – Rio de Janeiro)
 Aços Finos Piratini (Gerdau- Rio Grande do Sul)
 Plástico Ominun (Taubaté - São Paulo)
 Moura Baterias (Belo Jardim-Pernambuco)
 UMICORE (Metals refining and recycling HOBOKEN - Bélgica)

Recicladoras de plástico no Brasil pesquisadas através de questionário

por Alexandre Valles mestrando da UTT em estágio para elaboração de dissertação sob minha co-orientação e da Profa. Elen Pacheco do IMA/UFRJ. Trabalho realizado entre abril e set./ 2006.

Rio de Janeiro	São Paulo
EcoPlast (ex Flasche) – RJ	Aredes
Plastiquímica	Raitek
São Sebastião	Plastital
Luvi Reciclagem	Fortymil
Plastimaq	Process
Poli-injet	Sulplástico
IMP Ltda	Plasticora
IBP	Termoplásticos
Plastifame	Neuplast
Plastin	Recipoli
LMG	JC System
	Scalea

