

BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DE MATERIAIS

CARLOS ALBERTO CHAVES

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF)
cachaves@id.uff.br

WAINER DA SILVEIRA E SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF)
wainer_uff@yahoo.com

SINESIO DE ALMEIDA MARQUES

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE (UFF)
sinesio@metal.eeimvr.uff.br

Introdução

A indústria de alumínio no Brasil, que vinha crescendo num ritmo acelerado na primeira década do Século XXI, chegando ao pico de produção em 2008 (1.661.000 toneladas), vive seu pior cenário dos últimos trinta anos, chegando ao limite da sobrevivência (Milton Rego, Presidente da ABAL). Em 2011 o país tinha sete grandes produtores de alumínio primário e hoje essa produção está concentrada em apenas duas empresas, a Albrás, em Barcarena (PA) e a CBA (Votorantim Metais), em Alumínio (SP).

Contexto Investigado

De acordo com a ABAL são necessárias cinco toneladas de minério para se produzir duas toneladas de óxido (Al_2O_3) e deste extrair uma tonelada de metal. Nesse processo, além dos resíduos da mineração, são geradas cerca de duas toneladas do resíduo lama vermelha, na etapa de produção da alumina.

Obtenção do alumínio secundário

O alumínio secundário é obtido por fusão de sucata, conforme fluxograma da figura 1. No Brasil a reciclagem do metal é bastante significativa, correspondendo a 33,7% d

Diagnóstico da Situação-Problema

Benefícios com a reciclagem

Redução no Consumo de Energia

A vantagem da reciclagem de materiais, sob o ponto de vista termodinâmico, pode ser evidenciada em diversas instâncias. No caso do alumínio metálico, por exemplo, que é obtido através da redução eletrolítica do seu óxido, Al_2O_3 , contido no minério bauxita, uma estimativa da energia mínima necessária para extraí-lo a partir desse óxido é dada pela entalpia de formação do mesmo: $-399,1$ kcal/mol, a $25^\circ C$, o que equivale a $8,25$ MWh por ton.

Intervenção Proposta

Os ganhos com a economia de controle ambiental decorrem do fato de que a produção a partir de matéria-prima virgem normalmente provoca um grau de poluição da água, do ar e do solo, muito maior do que a produção a partir dos materiais reciclados. Por exemplo, no caso do alumínio a emissão de efluentes líquidos e gasosos é drasticamente reduzida pela reciclagem.

A reciclagem de alumínio é responsável por somente 5% das emissões de CO_2 quando comparado às emissões de alumínio primário.

Resultados Obtidos

Benefícios com a reciclagem do alumínio:

- Economia de energia elétrica: 95%, que representa cerca de 60% do custo do metal;
- Economia de coque de petróleo: 400 kg/t de metal;
- Economia de matérias primas (cinco t de bauxita, 140 kg de soda, 50 kg de cal/t de alumínio);
- Economia de água: 4.000 litros/t de metal;
- Redução das emissões de CO_2 e demais gases do efeito estufa (GEE), respectivamente de 2,7 e 4,2 t/t de metal;
- Preservação de recursos naturais;
- Geração de trabalho e renda.

Contribuição Tecnológica-Social

Políticas públicas para expandir a reciclagem de alumínio podem contribuir para a redução de emissões na produção de alumínio primário.

Uma maior interação entre as empresas produtoras de alumínio (primário e secundário) e governo, com o suporte das universidades, poderá permitir o desenvolvimento de ações visando ampliar a reciclagem de alumínio. Algumas ações são a realização de estudos técnicos sobre a oferta de sucata de alumínio, mapeamento dos atores envolvidos, potencial de reciclagem.

BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DE MATERIAIS – O CASO DO ALUMÍNIO

1 – INTRODUÇÃO

A indústria de alumínio no Brasil, que vinha crescendo num ritmo acelerado na primeira década do Século XXI, chegando ao pico de produção em 2008 (1.661.000 toneladas), vive seu pior cenário dos últimos trinta anos, chegando ao limite da sobrevivência (Milton Rego, Presidente da ABAL). Em 2011 o país tinha sete grandes produtores de alumínio primário e hoje essa produção está concentrada em apenas duas empresas, a Albrás, em Barcarena (PA) e a CBA (Votorantim Metais), em Alumínio (SP).

Com isso, a produção de alumínio primário caiu bastante e o consumo interno aumentou (respectivamente 780.000 e 1.400.000 em 2015), isso abriu espaço para a importação e a produção de alumínio secundário (reciclagem). A energia elétrica, com seu elevado preço e crescente peso na produção do metal (~ 60%), é apontada como principal vilã pela indústria.

De acordo com a ABAL, desde 2014 o Brasil passou a ser mais importador que exportador de alumínio primário. Em 2015 o país importou 615 kt e exportou 460 kt do metal primário.

Além de abrir espaço para o alumínio importado, principalmente da China, essa situação tem incentivado a prática da reciclagem do metal (produção de alumínio secundário, a partir da fusão de sucata) já que esta consome apenas 5% da energia comparado com a produção de alumínio primário.

A indústria metalúrgica brasileira investiu grandes somas de recursos financeiros nos últimos anos em melhoria da produtividade, qualidade, redução de custos operacionais e em prevenção da poluição. Isso permitiu um expressivo aumento na eficiência da produção de metais e na redução do desperdício.

Apesar disso a geração de resíduos no processo de produção de metais ainda é preocupante. Como exemplo, somente na indústria de alumínio, para cada tonelada de metal produzida são geradas cerca de duas (2) toneladas de rejeitos sólidos e duas toneladas e 700 quilogramas (2,7 t) de dióxido de carbono (CO₂). Considerando a produção brasileira de alumínio em 2015, isso representa cerca de 1,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos produzidos e 2,1 milhões de toneladas de CO₂ lançados na atmosfera!

A emissão de CO₂ é uma questão que tem preocupado toda a humanidade devido ao aquecimento global (efeito estufa) e tem sido objeto de diversas iniciativas visando a minimização dessas emissões. Assumiu importância crucial e em 2012 foi realizado no Brasil a chamada Rio + 20 onde os líderes mundiais discutiram a aplicação de medidas para a redução das emissões dos chamados gases do efeito estufa (GEE). Mais recentemente, em Dezembro de 2015, houve nova rodada de discussões com a Conferência sobre o Clima, denominada COP 21, em Paris, onde foram ratificadas as citadas medidas.

A outra grande e não menos preocupante questão é o que fazer com a imensa quantidade de resíduos sólidos gerados pela indústria metalúrgica. Apesar de muitas ações já terem sido implementadas pela indústria no tocante a minimização da geração e reciclagem de resíduos, a maior parte ainda está à espera de solução causando a necessidade de grandes áreas para

disposição dos mesmos de modo a evitar que se tornem um problema ambiental. Esses resíduos constituem na maioria das vezes num estorvo onerando a atividade produtiva. Por exemplo, no setor metalúrgico estima-se que haja um dispêndio da ordem de R\$ 60,00/tonelada de metal com manuseio, tratamento e disposição adequada de resíduos sólidos.

No ambiente de acirrada competitividade atual de modo a obterem maior lucro (objetivo), com menores custos, as empresas tem buscado maximizar a produção através da extração de cada vez mais produtos com cada vez menos materiais, insumos e energia. Para atingir esse objetivo nos processos de produção busca-se maximizar a produção e minimizar as perdas.

2 – OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

2.1- obtenção do alumínio primário

O alumínio é um metal relativamente recente na história da humanidade, tendo sido isolado por Oersted, em 1825, e produzido industrialmente por St. Claire-Deville, em 1854 (GRJOTHEIM e WELCH, 1980). Devido à elevada estabilidade termodinâmica do óxido de alumínio (Al_2O_3), o metal é obtido por eletrólise ígnea, consumindo elevada quantidade de energia elétrica (17,6 kWh/kg de metal). Cerca de 60% do custo do metal é composto por energia elétrica, daí o mesmo ser denominado como “energia elétrica empacotada”.

O minério é obtido a partir do minério bauxita ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$ + ganga) em três etapas:

Etapas 1: extração e beneficiamento do minério;

Etapas 2: Fabricação do óxido de alumínio (Al_2O_3) – processo Bayer;

Etapas 3: Redução eletrolítica do óxido (processo Hall-Héroult), lingotamento/solidificação do metal.

De acordo com a ABAL são necessárias cinco toneladas de minério para se produzir duas toneladas de óxido (Al_2O_3) e deste extrair uma tonelada de metal. Nesse processo, além dos resíduos da mineração, são geradas cerca de duas toneladas do resíduo lama vermelha, na etapa de produção da alumina.

2.2- obtenção do alumínio secundário

O alumínio secundário é obtido por fusão de sucata, conforme fluxograma da figura 1. No Brasil a reciclagem do metal é bastante significativa, correspondendo a 33,7% da quantidade total de metal consumido, maior que a média mundial de 30,7% (Figura 2, ABAL, 2013). Para a sucata de latas de alumínio a reciclagem é da ordem de 98%, o que é “benchmark” mundial. Para isso contribui sobremaneira o trabalho silencioso de dezenas de milhares de trabalhadores chamados “catadores”.

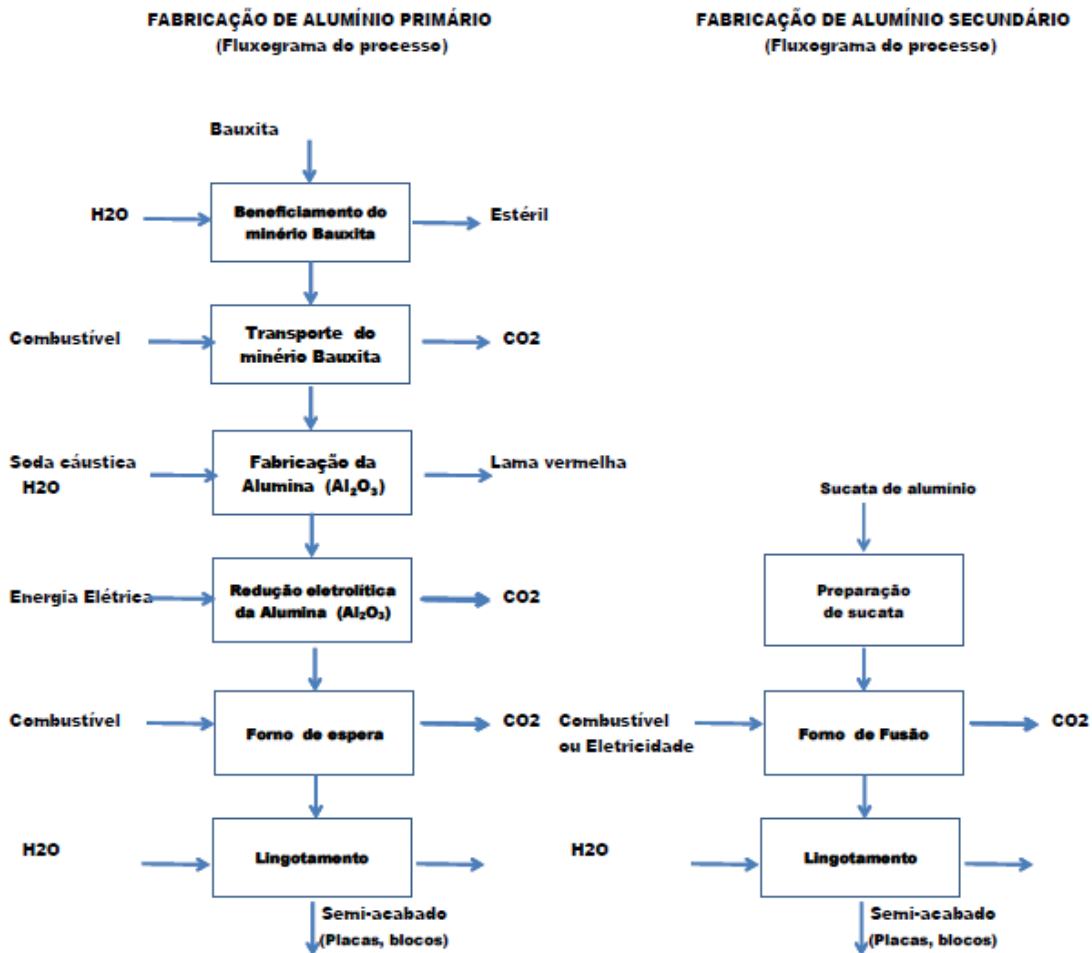


Figura 1 – Fluxograma de produção do Alumínio. Fonte: preparado pelos autores.

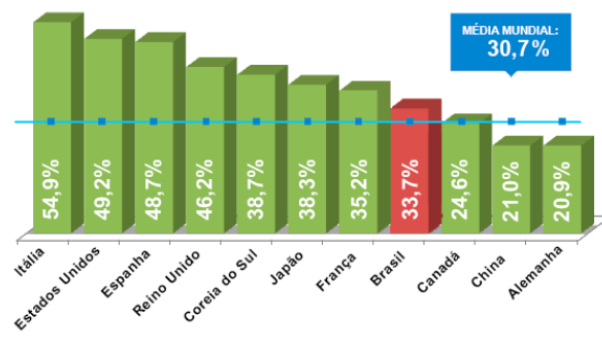


Figura 2 – Relação sucata recuperada e consumo doméstico de alumínio.

Fonte: ABAL, <http://www.abal.org.br>, 2013.

3 - SUSTENTABILIDADE

Uma boa definição de desenvolvimento sustentável é dada pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), da ONU, que diz ser “aquele que atende as necessidades presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades.” É um processo de transformação no qual a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidades e aspirações humanas (LEITE, 2009).

De acordo com a CMMAD (em “Nosso futuro comum”, Rio-92) a sustentabilidade deve ser considerada em seus três aspectos: sustentabilidade ambiental, econômica e sócio-política.

A **sustentabilidade ambiental** consiste na manutenção das funções e componentes do ecossistema, de modo sustentável, podendo igualmente designar-se como a capacidade que o ambiente natural tem de manter as condições de vida para as pessoas e demais seres vivos, tendo em conta a habitabilidade, a beleza do ambiente e a sua função como fonte de.

A **sustentabilidade econômica**, enquadrada no âmbito do desenvolvimento sustentável, é um conjunto de medidas e políticas que visam a incorporação de preocupações e conceitos ambientais e sociais.

A **sustentabilidade sócio-política** centra-se no equilíbrio social, tanto na sua vertente de desenvolvimento social como socioeconômica. É um veículo de humanização da economia, e, ao mesmo tempo, pretende desenvolver o tecido social nos seus componentes humanos e culturais.

Ecoeficiência

Significa consumir MENOS ENERGIA, harmonizando o desenvolvimento econômico com o ambiental, através de práticas como a conservação de energia, reciclagem e sustentabilidade.

A ecoeficiência é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo em que reduz progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra.

Este conceito sugere uma significativa ligação entre eficiência dos recursos (que leva a produtividade e lucratividade) e responsabilidade ambiental. Portanto, ecoeficiência é o uso mais eficiente de materiais e energia, a fim de reduzir os custos econômicos e os impactos ambientais.

Também se pode dizer que ecoeficiência é saber combinar desempenho econômico e ambiental, reduzindo impactos ambientais usando mais racionalmente matérias-primas e energia, reduzindo os riscos de acidentes e melhorando a relação da organização com as partes interessadas (*stakeholders*).

Elementos da ecoeficiência

- Reduzir o consumo de materiais com bens e serviços;
- Reduzir o consumo de energia com bens e serviços;
- Reduzir a dispersão de substâncias tóxicas;
- Intensificar a reciclagem de materiais;

- Maximizar o uso sustentável de recursos renováveis;
- Prolongar a durabilidade dos produtos;
- Agregar valor aos bens e serviços.

Filosofia 3 R's: Redução, Reutilização e Reciclagem de resíduos

O objetivo da filosofia 3 R's é a minimização do consumo de matérias primas, energia e a redução de emissões atmosféricas, efluentes tóxicos e não tóxicos gerados pelos processos produtivos (CEMPRE, 2002; CHAVES et al, 2004).

- Redução da geração de resíduos:

Consiste na atividade designada para REDUZIR a quantidade e toxicidade do resíduo gerado, incluindo o projeto e fabricação de produtos com um mínimo conteúdo tóxico, mínimo volume de material e /ou vida útil mais longa.

A redução da geração de resíduos concorre para a redução do consumo de matérias primas/insumos visando o aumento do rendimento processo de produção.

Exemplo: redução da geração de escória de Aciaria LD (de 100 para 70/80 kg/t) através de melhorias no processo de fabricação. Essa redução da geração de escória além de reduzir o consumo de materiais propicia ainda o aumento do rendimento metálico do processo (de 90 para 92%).

- Reutilização de resíduos:

Consiste na reutilização de um material na sua forma atual, utilizar uma ou várias vezes o resíduo gerado no próprio processo de produção.

Reutilizar é voltar a usar o resíduo no mesmo processo de produção. Ao se reutilizar um resíduo adia-se a disposição do mesmo ao meio ambiente.

Exemplo: reutilização da escória de Aciaria LD na proteção do revestimento refratário do forno de aço (Conversor LD) – técnicas de *slag coating e slag splashing* (projeção de escória nas paredes do forno).

- Reciclagem de resíduos:

Transformar em algo novo aquilo que não pode ser reduzido nem reutilizado. Reciclar é transformar o material inútil em material útil.

A reciclagem de resíduos pode ser feita no próprio processo de produção onde o mesmo foi gerado, em outro processo na própria indústria ou reciclagem em outra indústria.

Reciclar é um tipo de reuso que implica em alteração da composição ou propriedades do material de algum modo. Por exemplo, isso poderá ser conseguido pela FUSÃO E FRAGMENTAÇÃO dos materiais. Dessa forma podem-se poupar recursos naturais associados à produção de um produto e também as quantidades de água e energia consumidas na atividade produtiva são menores.

Exemplo: uso (reciclagem) de escória de Alto Forno na fabricação de cimento portland. (50 a 75% da constituição do cimento).

Modernamente tem se adicionado os 2E's aos 3R's, que significam (FRANCHETTI, 2009):

- Economia – as atividades de reuso e reciclagem de materiais podem e devem trazer retorno econômico;

- Ecologia (*Environment*, Meio Ambiente) – as atividades de reuso e reciclagem concorrem para a preservação do meio ambiente.

Assim, os 2E's motivam os responsáveis pela administração das empresas a promoverem as atividades de reuso e reciclagem de materiais.

Motivações para a adoção da abordagem/filosofia dos 3 R's 2E's.

As normas brasileiras ambientais têm orientado a adoção de estratégias para a prevenção da poluição e reciclagem de resíduos em diversas indústrias, em especial a metalúrgica.

Recentemente o incremento de políticas públicas, pressões econômico-financeiras e aumento dos custos para compensação/adequação ambientais têm fomentado muito as atividades na área de redução/reciclagem de resíduos pelas empresas.

Zero resíduo

Para melhor eficiência no processo de produção é necessário reduzir as perdas (materiais, energia, insumos), ou seja, reduzir o desperdício e, portanto, promover a redução de rejeitos, resíduos. Pelo conceito, para máxima eficiência e produtividade do processo o ideal seria que as **perdas fossem zero**. Isso não sendo possível, busca-se a minimização das perdas, ou seja, a minimização da geração de resíduos e a reciclagem dos mesmos. A figura 3, a seguir, ilustra o conceito de perdas no processo de produção:

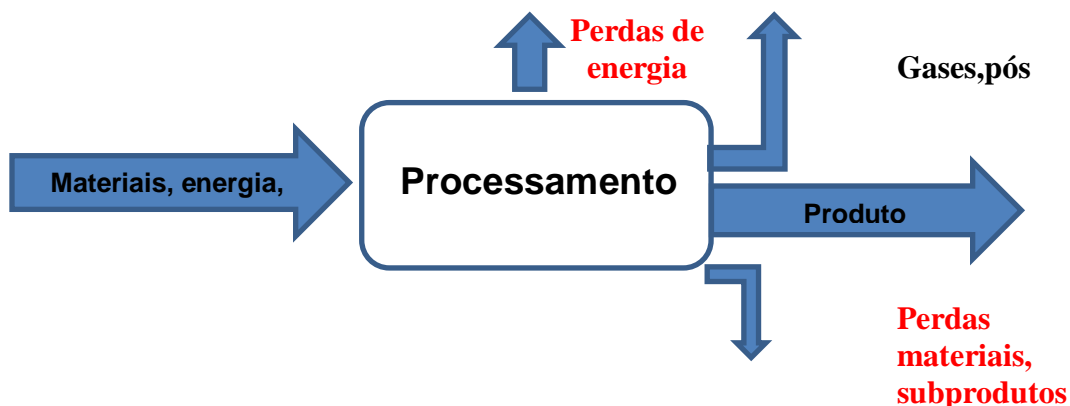


Figura 3 – Conceito de perdas no processo de produção. Fonte: os autores.

No presente trabalho são identificadas as perdas na produção de alumínio onde ocorre a geração de resíduos sólidos e são abordadas alternativas para minimização da geração e reciclagem dos mesmos. Uma metodologia prática é apresentada para a implementação de ações visando à minimização da geração de resíduos, incluindo uma avaliação econômica.

Alguns exemplos práticos de redução e reciclagem de resíduos foram selecionados e apresentados como estudos de casos reais na indústria metalúrgica.

Estes resíduos sólidos são compostos de materiais recicláveis e podem retornar a cadeia de produção industrial, gerando renda para trabalhadores e lucro para empresas. Quando não é possível fazer com que esses resíduos sejam reaproveitados no próprio processo que os gerou, é interessante encontrar um local onde o material possa ser utilizado de outra forma, ou

armazenado de maneira correta para que não cause danos ambientais, pois alguns tipos de resíduos sólidos são altamente perigosos e merecem um sistema de coleta e reciclagem rigorosos.

4 - ASPECTOS ECONÔMICOS NA RECICLAGEM

Tradicionalmente as considerações econômicas de curto prazo têm sido todo-poderosas nas decisões quanto à reciclagem de materiais. Mas os critérios usados para decidir se a reciclagem “vale a pena” em um caso particular não deveriam ficar limitados apenas a fatores econômicos imediatos; ou, se o ficam, os custos econômicos deveriam refletir todos os fatores em jogo.

O preço corrente da maioria dos minerais naturais, por exemplo, reflete apenas os custos imediatos de sua extração; o preço que o consumidor paga não inclui as externalidades constituídas pelos custos ambientais, sociais e outros. Isto significa que a produção mineral e as indústrias mineradoras têm sido intensamente subsidiadas pelo público, pois o público terá em última instância de arcar com o custo da devastação ambiental causada pelas atividades de mineração.

Portanto, frequentemente os custos econômicos imediatos não incluem os custos “ocultos” para a sociedade (as externalidades) na fabricação de um produto: poluição, degradação de paisagens, desperdício de recursos hídricos, dissipação de energia, esgotamento de recursos não-renováveis, geração de resíduos que têm de ser dispostos ou tratados, etc.

Um aspecto fundamental desta abordagem é a consideração dos custos evitados pelo processo de reciclagem, ou seja, os custos em que se incorreria caso os resíduos não fossem reaproveitados. Isto implica considerar o custo da reciclagem como custo alternativo em relação aos tratamentos e disposição final usuais, ou seja, a questão torna-se saber não quanto a reciclagem custa, mas quanto ela custa a mais (ou a menos) que a não reciclagem.

O custo do processo de reciclagem abrange os custos de coleta, triagem, armazenamento e processamento dos materiais, bem como custos administrativos, e é embutido no preço de mercado dos materiais recicláveis. No entanto, os custos e ganhos do processo incidem de modo diferenciado sobre os diversos agentes que tomam parte no processo.

Benefícios com a reciclagem

Redução no Consumo de Energia

A vantagem da reciclagem de materiais, sob o ponto de vista termodinâmico, pode ser evidenciada em diversas instâncias. No caso do alumínio metálico, por exemplo, que é obtido através da redução eletrolítica do seu óxido, Al_2O_3 , contido no minério bauxita, uma estimativa da energia mínima necessária para extraí-lo a partir desse óxido é dada pela entalpia de formação do mesmo: $-399,1$ kcal/mol, a $25^\circ C$, o que equivale a $8,25$ MWh por tonelada de alumínio metálico (valor teórico). Nos processos industriais esse valor dobra, equivalendo a aproximadamente $17,6$ KWh/t! Já para a fabricação de alumínio a partir de sucata (reciclagem) o consumo de energia é de cerca de 5% daquele requerido na fabricação do alumínio primário (Tabela 1).

Tabela I – Economia de energia elétrica com a reciclagem de alguns materiais

Economia no consumo de energia pela produção a partir de matéria-prima reciclada			
Material	Consumo de energia (MWh/t) – matéria prima virgem	Consumo de energia (MWh/t) – matéria prima reciclada	Ganho (%)
Alumínio	17,60	0,70	95
Plástico	6,74	1,44	79
Papel	4,98	1,47	71
Aço	6,84	1,78	74
Vidro	4,83	4,19	13

Fonte: COSTA, H.B.C. - CTC/UFSC, 2002, Publicado no CIMM.

Redução no Consumo de Matéria-prima

Os ganhos decorrentes da economia de matérias-primas (M) advêm do fato de que grande parte delas é consumida e virtualmente perdida para o processo produtivo quando da extração ou preparação dos materiais que já estão disponíveis como recicláveis. Compare-se, por exemplo, uma determinada massa de aço com as massas de minério de ferro, carvão, calcário, oxigênio, etc., necessárias para a sua obtenção; ou uma dada quantidade de alumínio com as correspondentes quantidades de bauxita e criolita (segundo a ABAL- *Associação Brasileira do Alumínio*, cada tonelada de alumínio reciclada poupa a extração de cerca de cinco toneladas do minério bauxita).

Redução no Custo da Gestão Ambiental

Os ganhos com a economia de controle ambiental decorrem do fato de que a produção a partir de matéria-prima virgem normalmente provoca um grau de poluição da água, do ar e do solo, muito maior do que a produção a partir dos materiais correspondentes reciclados. Por exemplo, no caso do aço, do alumínio, do vidro e do papel, a emissão de efluentes líquidos e gasosos é drasticamente reduzida pela reciclagem.

A reciclagem também proporciona economia no volume de água consumido no processo produtivo, chegando, por exemplo, a 50% no caso do vidro e a 40% no caso de latas de alumínio.

A reciclagem de alumínio é responsável por somente 5% das emissões de CO₂ quando comparado às emissões de alumínio primário (*World Aluminium Organization – WAO*, 2016).

Qualidade e Valor de Mercado dos Produtos Reciclad

Cabe lembrar que a qualidade dos materiais recicláveis não é necessariamente inferior à dos materiais “virgens”. Metais e vidros, por exemplo, desde que se evite a sua contaminação, podem ser reciclados indefinidamente sem perda de propriedades. No caso do papel, a fibra secundária não pode ter qualidade melhor do que a da fibra de grau mais baixo presente no rejeito, e sofre algum encurtamento ao ser reprocessada, de modo que 100% de reciclagem é impossível por razões técnicas e práticas; contudo, a qualidade do papel reciclado é perfeitamente adequada para muitas aplicações. Os plásticos tendem a sofrer alguma degradação durante a reciclagem (e, aliás, também durante o uso), mas com os devidos cuidados essa degradação pode ser minimizada, de modo que os plásticos reciclados encontram inúmeras aplicações de grande utilidade, tais como cordas, tecidos, componentes automotivos, etc.

Todos esses fatores tendem a tornar o preço dos materiais recicláveis consideravelmente menor do que o dos produtos provenientes de matéria-prima virgem. No caso das latas de alumínio para bebidas, por exemplo, a sua reciclabilidade é um grande fator de competitividade, contribuindo para a sua absoluta predominância no mercado de bebidas.

Coleta Seletiva

A pouca expansão da coleta seletiva no Brasil tem sido atribuída ao seu alto custo em comparação com a coleta convencional. No entanto, diversos estudos mostram que os custos da coleta seletiva podem ser substancialmente reduzidos através de medidas como: aumento da escala da mesma, garantindo suprimento abundante e estável de matéria-prima; negociação de contratos com a indústria que garantam oferta estável; planejamento e gestão integrados; terceirização dos serviços; otimização dos circuitos de coleta; beneficiamento dos recicláveis; etc.

Isso sem mencionar vantagens como a melhor qualidade dos materiais recuperados devida à menor contaminação; a redução do volume que deve ser disposto; o estímulo à cidadania pela participação da população e parcerias com catadores, sucateiros, empresas, escolas, associações ecológicas, etc.

Estimativas feitas pela ABAL (Associação Brasileira de Alumínio) existem cerca de 2100 empresas envolvidas, 170.000 pessoas envolvidas na cadeia de reciclagem de alumínio e faturamento anual de R\$ 1,5 bilhão. Ainda, o Brasil é líder mundial na reciclagem de latas de alumínio alcançando o percentual de 98% de reciclagem!

Interesse na Reciclagem

A necessidade da reciclagem de resíduos sólidos sob o ponto de vista ambiental é incontestável, diante do fato de que toda a produção dos bens gerados em todos os países, mais cedo ou mais tarde acabará despejada no meio ambiente, a menos que seja reciclada. A sua viabilidade técnica, de um modo geral, pode ser considerada assegurada, em face dos avanços tecnológicos do processamento de materiais nas últimas décadas. A sua *viabilidade econômica*, por outro lado, só se evidencia plenamente ao se considerarem os custos decorrentes da não reciclagem dos resíduos.

O professor Helio de Brito Costa, do CTC-UFSC, (COSTA, 2002) propôs uma abordagem para valorização de resíduos sólidos que considera os benefícios econômicos com a reciclagem dos resíduos na própria empresa que os gera ou em outra que os utilize como matéria prima. O ganho pode ser expresso pelas formulas a seguir:

Ganho possível para a indústria que recicla seus próprios resíduos:

$$G = V - C + E$$

G = Ganho (valor) econômico com a reciclagem do resíduo;

V = Valor de venda dos materiais reciclados;

C = Custo do processo de reciclagem (tratamento e processamento do resíduo);

E = Custo *evitado* (economia) pelo processo de reciclagem (tratamentos diversos, armazenagem, transporte, disposição em aterro, etc.).

O mesmo enfoque pode ser dado para o caso de empresas que utilizem (reciclem) os resíduos como matéria primas. Nesse caso, a equação para mensuração do ganho é a seguinte:

$$G = -V + W + M + H + D$$

G = Ganho (valor) econômico com a reciclagem do resíduo;

V = Valor de venda dos materiais reciclados (nesse caso negativo por ser uma despesa);

W = Ganho decorrente da economia no consumo de energia;

M = Ganho decorrente da economia no consumo de matérias primas;

H = Ganho decorrente da economia no consumo de recursos hídricos (água);

D = Demais ganhos econômicos (vida útil de equipamentos, subsídios, etc.).

A proposta do professor Helio Costa (UFSC) de mensuração dos ganhos com a reciclagem está de pleno acordo com a filosofia 3R's e 2E's, desmistificando a ideia de que resíduo constitui apenas um custo a ser evitado-minimizado, incentivando as empresas a reciclarem seus resíduos.

5 - DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

É comum proceder ao tratamento de resíduos industriais com vistas à sua reutilização ou pelo menos à sua inertização para que não prejudiquem o ambiente.

Dada a diversidade destes resíduos, não existe um processo de tratamento pré-estabelecido, havendo sempre a necessidade de realizar pesquisas e desenvolvimento de processos economicamente viáveis.

Incineração

É um processo de queima controlada na presença de oxigênio, no qual os materiais à base de carbono são reduzidos a gases e materiais inertes (cinzas e escórias de metal) com geração de calor. Esse processo permite a redução em volume e peso dos resíduos sólidos em cerca de 60 a 90%, porém implica na emissão de gases e poeiras que poderão provocar poluição atmosférica.

Em grandes linhas, um incinerador é um equipamento composto por duas câmaras de combustão, onde na primeira câmara os resíduos sólidos e líquidos são queimados à temperatura variando entre 800 e 1.000°C. Na segunda câmara, os gases provenientes da combustão inicial são queimados a temperaturas da ordem de 1.200 a 1.400°C. Os gases da combustão secundária são rapidamente resfriados para evitar a recomposição das extensas cadeias orgânicas tóxicas e

em seguida tratados em lavadores, ciclones ou precipitadores eletrostáticos, antes de serem lançados na atmosfera através de uma chaminé.

Como a temperatura de queima dos resíduos não é suficiente para volatilizar os metais, estes se misturam às cinzas, podendo ser posteriormente separados destas e recuperados para comercialização.

Para os resíduos tóxicos contendo cloro, fósforo ou enxofre, além da necessidade de maior permanência dos gases na câmara (cerca de dois segundos), são necessários sofisticados sistemas de tratamento antes que estes possam ser liberados na atmosfera.

Aterro Industrial

É uma alternativa de destinação de resíduos industriais, que se utiliza de técnicas que permitem a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais.

Essa técnica consiste em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário.

Os aterros industriais são classificados nas classes I, II ou III, conforme a periculosidade dos resíduos a serem dispostos. Os aterros Classe I podem receber resíduos industriais perigosos; os Classe II, resíduos não-inertes; e os Classe III, somente resíduos inertes.

A localização de aterros de resíduos industriais perigosos deverá ser, preferencialmente, em áreas naturalmente impermeáveis. Estas áreas se caracterizam pelo baixo grau de saturação, pela relativa profundidade do lençol freático e pela predominância, no subsolo, de material argiloso.

Não é possível instalar aterros industriais em áreas inundáveis, de recarga de aquíferos, em áreas de proteção de mananciais, mangues e *habitat* de espécies protegidas, ecossistemas de áreas frágeis ou em todas aquelas definidas como de preservação ambiental permanente, conforme legislação em vigor.

Fica evidente que grande parte das precauções tomadas na construção de um aterro tem como objetivo principal evitar com que os resíduos nele depositados contaminem o solo e a água.

Biogásificação

A biogásificação ou metanização é um tratamento por decomposição anaeróbica que gera biogás, formado por cerca de 50% de metano e que pode ser utilizado como combustível. O resíduo sólido da biogásificação pode ser tratado aerobiamente para formar composto orgânico.

Confinamento Permanente

O lixo altamente tóxico e duradouro, e que não pode ser destruído, como lixo nuclear, precisa ser tratado e confinado permanentemente, e mantido em locais de difícil acesso, tais como túneis escavados a quilômetros abaixo do solo.

Reciclagem

A reciclagem é o processo de reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos. É considerado o melhor método de destinação do lixo, em relação ao meio ambiente, uma vez que diminui a quantidade de resíduos enviados a aterros sanitários, e reduz a necessidade de extração de matéria-prima diretamente da natureza.

Porém, muitos materiais não podem ser reciclados continuamente (fibras, em especial). A reciclagem de certos materiais é viável, mas pouco praticada, pois muitas vezes não é comercialmente interessante. Alguns materiais, entretanto, em especial o chamado lixo tóxico e o lixo hospitalar, não podem ser reciclados, devendo ser eliminados ou confinados.

6 - RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL

De acordo com a ABAL, ainda não existem no Brasil números precisos de empresas e pessoas envolvidas com a coleta e processamento de sucata de alumínio. Acredita-se que isso se deve ao fato de que as barreiras de entrada, a quantidade de capital necessário para se montar uma indústria de reciclagem de alumínio é bastante baixa quando comparado ao investimento na produção de alumínio primário (cerca de 10%).

Empresas brasileiras produtoras de alumínio primário

- a) Primaristas - empresas produtoras de alumínio primário, a partir da eletrolise de alumina (Tabela 2).

Tabela 2 – Brasil – Empresas produtoras de alumínio primário (“primaristas”)

Empresa	Localização	Capacidade (x 1000 t/ano)	Produção-2014 (x 1000 t/ano)
ALBRAS (HYDRO)	Barcarena (PA)	460	441
ALCOA	P. de Caldas (MG)	98	17,5
ALUMAR	São Luiz (MA)	457	167
CBA	Alumínio (SP)	475	318,5
NOVELIS	Ouro Preto (MG)	30	18
Total		1.520	962

Fonte: ABAL, <http://www.abal.org.br>, 2016.

Principais empresas brasileiras produtoras de alumínio a partir de reciclagem:

- b) Refusores (“ Remelters”)- empresas fabricantes de ligas de alumínio empregadas em processos de conformação mecânica, empregando sucata nova ou de obsolescência (Tabela 3).
- c) Secundaristas (“Refiners”)- empresas fabricantes de ligas de alumínio empregadas em processos de fundição, alumínio Deox e pó de alumínio.
- d) Recuperadores – empresas prestadoras de serviços de recuperação de sucata, escoria e borra.

Considerando que a produção de transformados de alumínio no Brasil, em 2014, foi de 1381,6 kt e o consumo interno da ordem de 1400 kt e a reciclagem do metal de cerca de 500 kt, houve um aumento na reciclagem do metal no país para cerca de 35%, em relação aos de 33,7% divulgados em 2013 (Fontes: www.abal.org.br e exame.com-economia, 29/11/15).

Tabela 3 – Brasil – Empresas produtoras de alumínio secundário (“secundaristas”)

Empresa	Localização	Capacidade (x 1000 t)
ALUTEC	Rio de Janeiro-RJ	50
CBA Metalex	Araçariguama-SP	65
INBRA	Itaquaquecetuba-SP	100
LATASA	Recicla BR	200
MEXTRA	Taubaté-SP	10
Metalis	Metalisul – Santa Cruz, RJ.	90
	Alumínio Nordeste-Jaboatão dos Guararapes-PE	108
Metalur	Araçariguama-SP	60
Novelis do Brasil	Pindamonhangaba-SP	80
Omega	Itaquaquecetuba-SP	25
Texa	Ferraz de Vasconcelos	10
Total	Brasil	798

Fonte: Portal das empresas na Internet.

7 - EXPANDIR A RECICLAGEM DE ALUMÍNIO

Na Nota Técnica Plano Alumínio, o estudo elaborado pela FGV-EAESP, sob os auspícios do MDIC ABDI cita que apesar da reciclagem já ser bastante disseminada no país (33,7%), quando com o resto do mundo, ainda há espaço para o Brasil expandir sua taxa de reciclagem de maneira a se equiparar a países líderes no setor (Itália, EUA, Espanha e Reino Unido, respectivamente, 54,9; 49,2; 48,7 e 46,2%). O Estudo recomenda algumas ações visando ampliar a reciclagem de alumínio, quais sejam:

- a) Estudo abrangente e detalhado da oferta de alumínio reciclável no país, mapeando atores envolvidos, barreiras regulatórias, necessidades de financiamento e quantificar o potencial de reciclagem hoje não aproveitado. Como resultado, poderia ser elaborado um plano de fomento a reciclagem de alumínio;
- b) Incentivo fiscal para empresas e outras entidades envolvidas na cadeia de reciclagem do alumínio;
- c) Disponibilizar linhas de financiamento subsidiadas para fomentar o desenvolvimento da cadeia de reciclagem do metal;
- d) Adequação regulatória (normas, leis que estejam impactando a cadeia de reciclagem);
- e) Programas de logística reversa e descarte adequado de produtos contendo alumínio de modo a garantir a oferta de matéria prima para a cadeia de reciclagem.

8 - CONCLUSÃO

Os principais benefícios com a reciclagem do alumínio são:

- Economia de energia elétrica: 95%, que representa cerca de 60% do custo do metal;
- Economia de coque de petróleo: 400 kg/t de metal;
- Economia de matérias primas (cinco t de bauxita, 140 kg de soda, 50 kg de cal/t de alumínio);
- Economia de água: 4.000 litros/t de metal;
- Redução das emissões de CO₂ e demais gases do efeito estufa (GEE), respectivamente de 2,7 e 4,2 t/t de metal;
- Preservação de recursos naturais;
- Geração de trabalho e renda;
- Economia de tempo na implantação de um projeto de produção de alumínio: 30 a 36 meses para uma instalação de uma unidade de alumínio primário contra 6 a 12 meses para um projeto de reciclagem.

Políticas públicas para expandir a reciclagem de alumínio podem contribuir para a redução de emissões na produção de alumínio primário.

Apesar da reciclagem de alumínio já ser significativa no país (~35%), quando comparado ao resto do mundo, ainda há espaço para o Brasil expandir sua taxa de reciclagem de maneira a se equiparar a países líderes no setor como Itália, EUA, Espanha e Reino Unido, que reciclam, respectivamente, 54,9; 49,2; 48,7 e 46,2% de seu consumo de metal. Nesse sentido, uma maior interação entre as empresas produtoras de alumínio (primário e secundário) e governo, com o suporte das universidades, poderá permitir o desenvolvimento de ações visando ampliar a reciclagem de alumínio.

Algumas dessas ações poderiam ser através da realização de estudos técnicos sobre a oferta de sucata de alumínio, mapeamento dos atores envolvidos, potencial de reciclagem, necessidades de financiamento e incentivos fiscais para empresas e entidades envolvidas na cadeia de reciclagem do alumínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL–Associação Brasileira do Alumínio - <http://www.abal.org.br>, acessado em 29/04/16.

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio-Reciclagem, Guia Técnico do alumínio, volume 12, São Paulo, 2009.

<http://www.aecweb.com.br>, acessado em 23/06/16.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem). Reduzindo, Reutilizando, Reciclando: a indústria ecoeficiente (3R`s), São Paulo, 2002.

CHAVES, C.A., MACHADO, A.C., FERNANDES, L.A.A., Resíduos siderúrgicos: Tecnologias de reutilização e reciclagem, Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, São Paulo, Julho de 2004.

COSTA, H.B.C. Aspectos econômicos da reciclagem de materiais, CTC/UFSC – Departamento de Engenharia Mecânica. Publicado no CIMM, 2002.

<http://www.exame.com.br/economia>, 25/11/15, acessado em 23/06/16.

FRANCHETTI, M. A system approach to solid waste – Analysis and minimization – Green Manufacturing & System Engineering, EUA, 2009.

GRJOTHEIM, K.; WELCH, B.J. Aluminium Smelter Technology-A pure and applied approach. Aluminium-Verlag GMBH, Dusseldorf, 1980.

LEITE, P.R. Logística reversa, 2a. Edição, Pearson, São Paulo, 2009.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Alumínio - Nota Técnica Plano Indústria, Brasília, DF, 2013.

MEADOWS, D. et al. The limits of growth - Universe Books. Nova York, 1972.

WORLD ALUMINIUM ORGANIZATION-WAO, <http://recycling.world-aluminium.org>, acessado em 17/02/16.