

# ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS RECICLÁVEIS E PERIGOSOS DE ORIGEM DOMICILIAR

Patrícia Raquel da Silva Sottoriva<sup>1</sup>

---

## RESUMO

Como o desenvolvimento sustentável que a sociedade almeja está baseado em fatores econômico, social e ambiental, pode-se dizer que a crise ambiental tem como componentes os fatores: recursos naturais, população e poluição. Para reduzir a pressão que as atividades antrópicas exercem sobre o meio é necessário conhecer o processo de produção, entradas e saídas, para reduzir possíveis problemas como o desperdício e viabilizar possibilidades de otimização do sistema. Nesse contexto foi investigado o ciclo de vida dos resíduos recicláveis e perigosos de origem domiciliar para identificar possibilidades de redução de impacto nas cadeias produtivas. Como resultado constatou-se que a matéria prima mais utilizada pela indústria papelreira é o *pinus* e o *eucalipto* de florestas plantadas, havendo algumas indústrias que utilizam também a cana de açúcar. Do plantio até o papel ser industrializado, há uma grande demanda de tempo. O corte do *eucalipto* deve ser feito entre 5 e 7 anos, já o *pinus* necessita de 10 a 12 anos. Após o uso, os papéis podem e devem ser reciclados. Na reciclagem de 1 ton de papel há economia de 29,2 m<sup>3</sup> de água, 3,51 MWh em energia elétrica e 22 árvores quando comparado aos processos tradicionais de produção. O cultivo das árvores também contribui para a captação e fixação do carbono. Os *eucaliptos* de idades de 2, 4, 6, 8 anos fixam concentrações de 11,12; 18,55; 80,91 e 97,86 t/ha, respectivamente. O papel também pode ser destinado à compostagem devido à biodegradabilidade. Os metais, vidros e plásticos possuem caráter inorgânico e não biodegradável necessitando ser reciclados ou reutilizados. Na reciclagem de 1 ton de plástico há economia de 5,3 MWh e 500 kg de petróleo. Mesmo com os ganhos ambientais, sociais e econômicos da reciclagem quando comparados aos processos tradicionais, no Brasil, o percentual de reciclagem do papel e do vidro e das embalagens PET são inferiores a 60%. A reciclagem de latas de alumínio e aço supera os 90%. As lâmpadas, bem como pilhas e baterias são materiais que, se destinados inadequadamente, conferem contaminação ao meio. Os estudos mostraram que os resíduos domiciliares no Paraná elevaram em 89%, entre 1990 a 2005, a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), variando de 42 GgCH<sub>4</sub> a 79,64 GgCH<sub>4</sub>. A elevação foi atribuída ao aumento da população e à destinação dos resíduos para lixões e aterros sanitários. Do total de resíduos, 60%

---

<sup>1</sup>Doutora em Biotecnologia Industrial (EEL/USP). Professora e pesquisadora do curso de Engenharia Ambiental, colaboradora do mestrado e doutorado em Gestão Urbana e coordenadora dos cursos lato sensu em "Emergências Ambientais" e "Defesa Civil" na Pontifícia Universidade Católica do Paraná. E-mail: [patricia.sottoriva@pucpr.br](mailto:patricia.sottoriva@pucpr.br)

seriam passíveis de compostagem e 20% de ser reciclados. Conclui-se que a problemática sobre resíduos sólidos urbanos, reutilização, reciclagem e destinação final deve ser analisada desde a escolha da matéria prima, do processo de produção e produto obtido, bem como dos resíduos, dos efluentes e das emissões gerados.

**Palavras-chaves:** Resíduos Sólidos Urbanos; Reciclagem; Gases de Efeito Estufa (GEE); Análise de Ciclo de Vida (ACV).

---

## INTRODUÇÃO

Do mesmo modo que o desenvolvimento sustentável que a sociedade almeja está baseado em fatores econômico, social e ambiental, pode-se dizer que a crise ambiental, apontada por estudiosos, tem como componentes os fatores: recursos naturais, população e poluição. Os recursos naturais constam nessa lista por seu caráter finito, ao contrário do fator poluição, que, aliado ao grande número de habitantes no planeta e à sua demanda por bens duráveis e não duráveis, está além do que os ecossistemas podem suprir.

Quanto ao fator relacionado à população mundial que no ano de 2000, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) já atingia 6,1 bilhões de habitantes, tendendo a crescer lentamente, visto que a taxa de crescimento da população mundial no início dos anos 70 foi de 2,01%, na década seguinte de 1,75% e em 2000 de 1,35% ao ano. Esse decréscimo, entretanto, não significa diminuição na pressão antrópica sobre os recursos naturais, pois a população continua crescendo, mesmo que de forma menos acelerada.

Para reduzir a pressão que as atividades antrópicas exercem sobre o meio é necessário colocar duas questões em pauta: a extração de matérias-primas para produção de bens e a destinação dos resíduos oriundos dos processos produtivos. É necessário conhecer o processo de produção total, avaliando todas as entradas e saídas, para reduzir possíveis problemas como o desperdício e viabilizar possibilidades de otimização do sistema. Verifica-se, assim, a necessidade do estudo do ciclo de vida dos produtos presentes no cotidiano da população, tais como os materiais recicláveis e os potencialmente perigosos.

Após a etapa de produção e a utilização pelo consumidor há o descarte desses produtos, muitas vezes de maneira inadequada, impossibilitando a reinserção dos materiais no ciclo produtivo. Considerando a rapidez do descarte após o primeiro uso e tendo em vista a desestruturação dos canais de distribuição reversos, explica-se o desequilíbrio existente entre a quantidade descartada e a reaproveitada.

Tendo como propósito mais amplo potencializar a criação do Centro de Referência para Gestão de Resíduos na PUCPR, esse projeto estabelece estudo introdutório sobre o tema, visto que a análise do ciclo de vida de produtos é ampla e complexa.

Dentro desse propósito, define-se como objetivo geral do projeto investigar o ciclo de vida dos resíduos recicláveis e perigosos de origem domiciliar de maior utilização (e, conseqüentemente, de maior descarte) para identificar possibilidades de redução de impacto nas cadeias produtivas.

Nesse contexto, ressalta-se que, a partir de conceitos como reciclagem e logística, forma-se um novo modo de tratar a questão dos resíduos sólidos. Por meio da logística reversa, ocorre a reinserção de materiais na cadeia produtiva, gerando ganhos econômicos, sociais e ambientais, uma vez que as matérias-primas secundárias têm demonstrado ser mais eficientes energeticamente, reduzem a retirada de matérias-primas virgens, evitando gastos com a recuperação de áreas com resíduos acumulados.

## RESÍDUOS SÓLIDOS

A geração de resíduos resulta do processo produtivo de duas formas distintas: como consequência do ato de produzir (fase industrial) e após o término da vida útil do produto (pós-consumo). À medida que o volume de resíduos descartados aumenta, tornam-se mais escassos e distantes os aterros sanitários. A produção de resíduos é inevitável; o que se pode fazer é reduzir sua produção, reaproveitar e recuperar os produtos e reciclá-los, em última instância.

Para os órgãos privados, que buscam o lucro, o incentivo para a adesão a essa nova forma de visão é o chamado “marketing verde”: tomando medidas relacionadas à preservação do meio ambiente, essas empresas associam sua imagem com a responsabilidade ambiental, critério que vem sendo cada vez mais utilizado pelo consumidor na escolha de produtos e serviços. Ou seja, com o aumento dessa sensibilidade ecológica, revelado pelas inúmeras pesquisas de opinião que comprovam a crescente conscientização ambiental das pessoas, as ações de empresas e governos (que podem ser reativas ou pró-ativas) são pautadas para amenizar os efeitos visíveis dos impactos de suas atividades econômicas e proteger a sociedade e seus próprios interesses.

### Gestão ambiental e logística reversa

Para ajustar as atividades econômicas a padrões ambientalmente aceitos, empresas e o setor público têm investido no gerenciamento ambiental preventivo ou corretivo, um condicionante para o melhor desempenho da produção e um

maior retorno dos investimentos visando ao desenvolvimento sustentável.

A gestão ambiental é fator determinante para que esse objetivo seja alcançado. Para Lima (2001), são três os princípios que devem ser observados para se fazer uma gestão ambiental: i. assimilar que os recursos naturais são finitos; ii. aceitar que o conhecimento referente ao meio ambiente é limitado, sendo assim, há grande possibilidade de não tomar-se decisões acertadas; e iii. a todo momento ocorrem mudanças tanto na sociedade quanto no meio.

Para entender a temática da gestão ambiental e sua relação com a geração e o aproveitamento de resíduos é necessário compreender alguns conceitos fundamentais. Segundo consta na ABNT NBR 10004/2004, resíduo sólido é: "*resíduo sólido ou semissólido, que resulta de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.*" Para cada atividade há uma destinação e um gerenciamento diferente. Em relação aos resíduos domiciliares cabe ao município a responsabilidade de coleta, transporte e destinação.

O termo reciclagem, definido por COMPAM (2006), é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os detritos que se tornariam descarte e reutilizá-los no ciclo de produção: coletando-os, separando-os e processando-os para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos.

A logística reversa, segundo Lacerda (2002), abrange questões mais amplas que os chamados *recalls*, como redução da quantidade de matéria-prima e energia utilizadas no processo de fabricação. A Figura 1 ilustra de forma simplificada os processos logísticos direto e reverso.

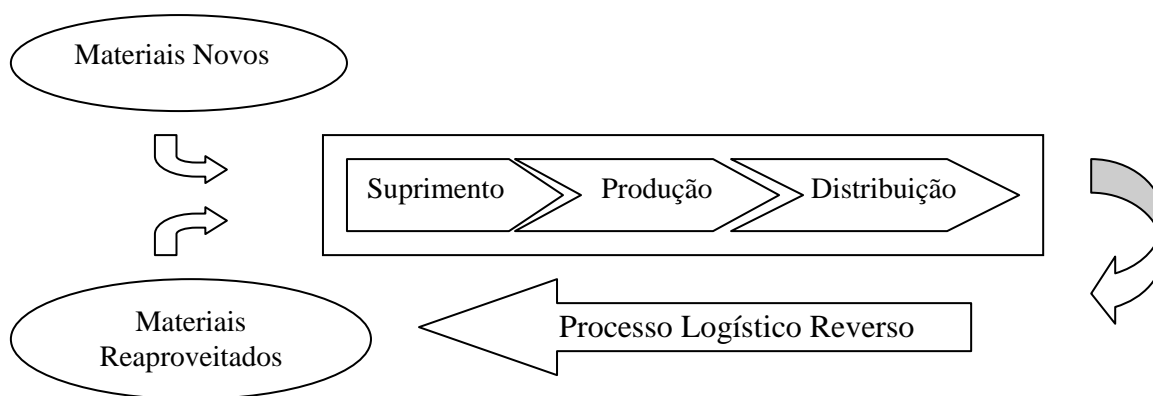


Figura 1. Representação esquemática dos processos logísticos direto e reverso

Fonte: Lacerda, 2002

Apesar de ser um tema atual, o processo de logística reversa é aplicado há várias décadas pelas indústrias de bebidas, por meio da reutilização dos vasilhames: o produto chega ao consumidor, mas a embalagem retorna ao centro produtivo para que seja reutilizada. Esse processo é contínuo e aparentemente diminuiu quando o consumo de produtos em embalagens descartáveis aumentou.

Em relação à gestão ambiental, deve-se entender como um modelo de administração em que se considera adicionalmente o fator meio ambiente nas tomadas de decisões relativas às ações que serão desenvolvidas. Com isso surgiu o levantamento das questões relativas ao incorreto manejo de recursos naturais, que passou de iniciativas isoladas e atualmente está em outro patamar, sendo visto de forma mais articulada.

O presidente do Conselho de Logística Reversa do Brasil (CLRB), professor Paulo Roberto Leite, define logística reversa como:

“a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros” (LEITE, 2003).

Segundo Leite (2003), apesar da interdependência entre os processos que envolvem produtos de pós-venda e de pós-consumo, é necessário sua diferenciação, pois os produtos retornam em diferentes fases do ciclo de vida útil, e os canais de distribuição reversos pelos quais fluem, bem como os objetivos estratégicos e as técnicas operacionais utilizadas em cada área, são, geralmente, distintos.

A movimentação de pós-venda de qualquer linha de produtos abrange devoluções de defeituosos, ou desistência de compra (e a seleção deles), a assistência técnica, o transporte e a destinação de mercadorias que ultrapassaram o período de validade nas lojas.

No caso do pós-consumo, os bens passam por coletas, seleção, reuso, ou desmanche e reciclagem antes de voltarem à cadeia de distribuição direta. Considerando a rapidez do descarte após o primeiro uso e tendo em vista a desestruturação e desorganização dos canais de distribuição reversos, explica-se o desequilíbrio entre a quantidade descartada e a reaproveitada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê a responsabilidade dos geradores de resíduos pelo *“reaproveitamento na forma de novos insumos, seja em seu ciclo ou outros ciclos produtivos”*. Algumas empresas têm se especializado em logística reversa como: as da área de telefonia móvel, eletrônicos e informática e já constam na listagem do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE).

## Reciclagem

Materiais recicláveis são aqueles que, após sofrerem transformação física ou química, podem ser reutilizados no mercado, seja sob a forma original ou como matéria-prima de outros produtos de finalidades diversas (IMBELLONI, 2004). É importante ressaltar que, para o processo de reciclagem ser mais eficiente, deverá ocorrer uma boa segregação do material ou do resíduo, como exemplo, segregar o lixo comum em papel, plástico, metal, vidro, orgânico e não recicláveis, para que posteriormente esses passem por procedimentos específicos, sejam compactados, facilitando seu transporte e em seguida vendidos para indústrias recicladoras que irão propiciar o retorno desta matéria-prima ao mercado sob forma de novos produtos.

A reciclagem tem grande importância na preservação dos recursos naturais. O processo de reciclagem tem contribuído no reabastecimento das indústrias recicladoras com insumos necessários para seu funcionamento.

Monteiro (2001) afirma que os benefícios do processo de reciclagem levam à redução do consumo dos recursos naturais; promovem a economia de transporte pela redução de material que é enviado para aterro sanitário; é alternativa de emprego e renda que vem a superar as crises econômicas; faz movimentar a economia interna; contribui para inclusão social; leva a conscientização da população para as questões ambientais; e também reduz o consumo de energia elétrica utilizada para obtenção da matéria-prima na fabricação de produtos ou embalagens usados pela sociedade ou pelas indústrias de modo geral. Nesse sentido, para que se acentuem tais benefícios e haja aumento do volume de materiais reciclados, são necessárias mudanças de hábitos e culturas da sociedade, bem como inovações tecnológicas.

De acordo com os procedimentos, a reciclagem pode ser realizada por processos mecânicos: destinada para resíduos industriais e pós-consumo. Os produtos passam pelas etapas de moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação; processos químicos: onde o produto torna-se substância combustível ou matéria-prima para algum produto químico; e processos energéticos: onde ocorre a compactação e posterior queima dos produtos, gerando energia (elétrica ou vapor) e resíduos, gasosos (que após passarem por filtros, são eliminados por emissão), e sólidos (que são dispostos da melhor forma).

A diferença entre o processo de reciclagem energética e de incineração consiste em: a incineração tem por objetivo reduzir e esterilizar resíduos perigosos e a reciclagem energética recupera a energia contida nos plásticos através de processos térmicos. Estudos indicam que a energia contida em 1 kg de plásticos é equivalente à energia contida em 1 kg de óleo combustível. Na Europa Ocidental aproximadamente 15% da reciclagem de plásticos é realizada por meio da reciclagem energética. Somente a usina francesa de Saint-Queen assegura o

suprimento de eletricidade para 70.000 pessoas com 15.400 megawatts/ano, obtidos por reciclagem energética. Além da economia e recuperação de energia, ocorre ainda redução de 70 a 90% da massa do material, restando apenas um resíduo inerte esterilizado. Os materiais de embalagem de formulação complexa e compostos de diferentes resinas de difícil separação têm como alternativa a reciclagem como aproveitamento energético.

Apesar dos argumentos utilizados por quem defende essa forma de reaproveitamento energético, há quem defenda que a queima de resíduos para reaproveitamento de energia é uma solução equivocada, prejudicial ao ambiente e inviável economicamente.

### **Análise do Ciclo de Vida dos produtos**

A metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV), aliada às tecnologias e aos processos que visam à minimização e à redução da contaminação ambiental, parte de princípios de redução na fonte, reutilização e reciclagem de produtos. Esses princípios se norteiam em aspectos de máxima eficiência com o menor consumo de insumo e/ou insumos menos impactantes, gerando menos resíduos tóxicos, além de prever o ajuste de tecnologias e boas práticas operacionais. Para desenvolver a ACV, amparados pela norma ISO 14040 existem quatro etapas descritas como: I – Definição do Objetivo e Escopo do Estudo: conceito clássico “do berço ao túmulo”, ou seja, todas as fases pelas quais o produto passa durante sua vida; II – Análise do Inventário: O termo “Inventário do Ciclo de Vida” de um produto refere-se à coleta de dados em si, e aos procedimentos de cálculo a serem utilizados no processamento desses dados; III – Avaliação dos Impactos Ambientais: a análise de impactos ambientais prevê e quantifica os efeitos ambientais das entradas e saídas do inventário; IV – Interpretação dos resultados: a avaliação é realizada após o término do trabalho e antes da elaboração do relatório final.

### **ESTUDO PRELIMINAR SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS PASSÍVEIS DE RECICLAGEM**

Reforçando o princípio da ACV dos materiais, em que o objetivo principal corresponde à minimização e à redução da contaminação ambiental, utilizando os princípios de redução na fonte, reutilização e reciclagem de produtos, visando estabelecer aspectos de máxima eficiência com o menor consumo de insumo e/ou insumos menos impactantes, gerando menos resíduos tóxicos, além de prever o ajuste de tecnologias e boas práticas operacionais. Na Tab. 1 são apresentadas informações quantitativas relacionadas ao ganho energético dos processos de reciclagem.

Tabela 1 Ganho energético com a reciclagem de alguns materiais

Material	Ganho energético com a reciclagem (%)
Alumínio	95
Cobre	85
Ferro e aço	65
Chumbo	65
Papel	64
Zinco	60
Vidro	32
Borracha	71

Fonte: Adaptado de Padilha (1997)

Observa-se que os percentuais de ganho energético obtido com os processos de reciclagem são superiores a 60% e, para o alumínio que corresponde a um dos materiais mais utilizados pela população, o ganho energético chega a 95%. Além dos materiais passíveis de reciclagem que consta na Tabela 3, a forma mais comum de separação corresponde a papel, plástico, vidro e metal.

**Papel:** Os papéis são normalmente caracterizados como de impressão, de escrever, de embalagem, cartões e cartolinas, de fins sanitários e outros. Na reciclagem desses materiais, utilizam-se as *aparas* que são coletadas para este fim, excluindo os últimos dois tipos. Essas *aparas* são classificadas conforme descrita pela ABNT NBR 15483/2007 atualizada em 2009: 1) Refile de papelão ondulado; 2) Papelão ondulado I; 3) Papelão ondulado II; 4) Papelão ondulado III; 5) Refile de papel kraft; 6) Papel kraft I; 7) Papel kraft II; 8) Papel kraft III; 9) Papelão micro ondulado I; 10) Papelão micro ondulado II; 11) Cartão de fibra curta revestido; 12) Cartão de fibra longa revestido; 13) Cartão de fibra curta não revestido; 14) Cartão de fibra longa não revestido; 15) Aparas de embalagem tipo longa vida; 16) Tubetes e barricas; 17) Papel Jornal I; 18) Papel Jornal II; 19) Papel Jornal III; 20) Revista I; 21) Revista II; 22) Papel branco revestido; 23) Papel branco I; 24) Papel branco II; 25) Papel branco III; 26) Papel branco IV; 27) Papel branco V; 28) Aparas de lista telefônica, e 29) Aparas de papel colorido.



Entre os tipos de papéis passíveis de reciclagem, iniciou-se os estudos com o processo de fabricação do papel branco, classificado como papel de imprimir e escrever, pois é o tipo de papel mais utilizado no cotidiano da população. Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), a produção de papéis de imprimir e escrever totalizou 34% da produção nacional no ano de 1999.

No Brasil a matéria-prima mais utilizada pela indústria papelreira é o *pinus* e o *eucalipto* de florestas plantadas e algumas indústrias utilizam materiais como a cana-de-açúcar. Do plantio até o papel poder ser industrializado, há uma grande demanda de tempo. O corte do *eucalipto* deve ser feito entre 5 e 7 anos, já o *pinus* necessita de 10 a 12 anos. Após o uso, os papéis podem e devem ser reciclados. Na reciclagem de 1 ton de papel há economia de 29,2 m<sup>3</sup> de água, 3,51 MWh em energia elétrica e 22 árvores, quando comparado aos processos tradicionais de produção. O cultivo das árvores também contribui para a captação e fixação do carbono. Os eucaliptos de idades 2, 4, 6, 8 anos fixam concentrações de 11,12; 18,55; 80,91 e 97,86 t/ha, respectivamente.

Parte da energia utilizada pelas indústrias de papel e celulose são auto-geradas (recuperação por queima de biomassa) e parte por energia elétrica comprada da rede distribuidora. A taxa de recuperação de papéis recicláveis no Brasil foi de 45% em 2007, dado esse que confirma o crescimento histórico dessa atividade que, em 1995, teve um índice de 35% e em 2000 de 38% (BRACELPA, 2007).

A taxa de reciclagem de embalagens Longa Vida no Brasil foi de 24% em 2006, totalizando 46 mil toneladas. O Brasil superou a taxa mundial de 16,6% para embalagens pós-consumo, e está próximo da média europeia de 30%. Uma tonelada de embalagem cartonada reciclada gera, aproximadamente, 680 quilos de papel kraft. Outra maneira de destinar resíduos de papel seria a compostagem por ser material biodegradável e por nem todos os tipos de papéis apresentarem bom aproveitamento nos processos de reciclagem.

**Plástico:** De acordo com dados do Instituto Plastivida, 59,4% do resíduo plástico consumido no Brasil, no ano de 2005, é originado do pós-consumo e 40,6% vêm de origem industrial. Na Tabela 2, estão apresentados dados referentes à reciclagem dos plásticos, divididos por tipo de material.

Tabela 2 Reciclagem de plástico por tipo de material consumido no Brasil em 2005

Tipo de plástico	Quantidade reciclada (ton/ano)	Taxa de reciclagem (%)
PET	261.912	34,13
PEAD	94.181	12,27
PVC	19.387	2,53
PEBD / PELBD	185.976	24,23
PP	141.210	18,39
PS	37.725	4,92
OUTROS	27.103	3,53
TOTAL	767.494	

Fonte: Estudo sobre a Indústria de Reciclagem Mecânica dos Plásticos no Brasil (IRMP).

O índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo no Brasil: das 2.299.159 toneladas produzidas, 455.731 toneladas foram recicladas, totalizando 19,82%. O índice de reciclagem do PET pós-consumo, no ano de 2006: a taxa foi de 51,3%. O destino das embalagens PET recicladas: plásticos de engenharia, têxteis, tubos, e exportação.

**Vidros:** Dos vidros aceitos para a reciclagem destacam-se: garrafas, potes e frascos. O vidro pode ser reciclado inúmeras vezes e os não aceitos para reciclagem são espelhos, lâmpadas, vidros planos e pirex, cerâmicas e louça.

O índice de reciclagem do vidro, que em 1991 era de 15%, passou, em 2007, para 47%. As embalagens de vidro podem ser totalmente reaproveitadas no ciclo produtivo, sem perda de material e permitindo poupar matérias-primas naturais, como areia, barrilha, calcário. Uma tonelada de cacos reciclados representa economia de 1,2 toneladas de matérias-primas. A produção a partir do próprio vidro também consome menor quantidade de energia (10% de cacos reciclados representam 4% de ganho energético); e emite menor quantidade de particulados de CO<sub>2</sub> (10% de cacos reciclados reduzem em 5% a emissão de CO<sub>2</sub>).

**Metais:** Dos metais destaca-se a reciclagem do alumínio. No Brasil, em 2007, pelo 7º ano consecutivo, houve o maior índice de reciclagem de latas de alumínio para bebidas, com o índice de 96,5%.

A reciclagem das latas de alumínio para bebidas reduz em 95% as emissões de gases do efeito estufa e, no ano passado, proporcionou uma economia de

2.329 GW/h de energia elétrica ao país, uma economia maior que a proporcionada pelo horário de Verão.

O alumínio pode ser reciclado várias vezes. Uma tonelada de produtos de alumínio feitos a partir do metal virgem, derivado da bauxita, consome, em média, 15.600 kw/h. Para reciclar essa mesma tonelada, gasta-se apenas 780 kw/h, ou seja, há economia de energia elétrica da ordem de 95%.

Outro metal de relevância na reciclagem é o aço. A reciclagem do aço é uma importante atividade econômica, que envolve uma grande estrutura composta por, aproximadamente, 3.000 empresas, reciclando anualmente 4,5 milhões de toneladas de aço.

**Perigosos:** Dos resíduos domiciliares que possuem características de produtos perigosos, destacam-se as pilhas e baterias que são usadas há muitas décadas em diversos equipamentos eletrônicos. O Brasil produz cerca de 800 milhões de pilhas por ano que, depois de utilizadas, são comumente descartadas juntamente com o lixo doméstico e encaminhadas para aterros sanitários onde, entram em decomposição e liberam metais pesados no solo. Embora o manganês e o zinco sejam os metais ativos no funcionamento das pilhas, outros metais pesados são encontrados em pequenas quantidades, o que reforça a necessidade de reciclagem das pilhas. Os compostos inorgânicos presentes na pilhas, nos eletroeletrônico e nas lâmpadas têm potencial de provocar danos irreversíveis ao meio, como contaminação da flora e fauna e também carcinogenicidade e mutagenicidade nos organismos vivos.

### **ACV: Balanço energético e o processo de Reciclagem**

Segundo Padilha (1997), a produção e o preço dos materiais estão estreitamente relacionados com o consumo de energia, que é da ordem de 15 a 25% (energia primária) utilizada nas economias industrializadas. Além da economia de energia (ganho energético), a reciclagem permite a economia de matérias-primas e a diminuição de rejeitos resultantes da lavra e do processamento dos minerais. A cada tonelada de alumínio reciclado preserva-se 4 toneladas de bauxita. Ressalta-se que o dispêndio global de energia (com relação aos materiais) não se limita à sua produção, mas também está relacionado à sua aplicação. Um exemplo é a substituição do aço por plásticos e alumínio nos automóveis, que diminui o consumo de combustível, compensando a utilização de materiais que requerem maior energia na sua produção.

Na Tab. 3 estão apresentados dados referentes ao consumo de energia para processar materiais que são passíveis de ser reciclados.

Tabela 3 Energia necessária para a produção de materiais passíveis de reciclagem

<b>Material</b>	<b>Energia necessária (GJ/tonelada)</b>
Aço bruto	9,8 - 47
Ferro fundido	58 - 360
Alumínio	83 - 330
Bronze	97
Cobre	72 - 118
Chumbo	28 - 54
Cimento	4,5 - 8,1
Concreto reforçado	8,3 - 14,4
Cerâmica tradicional (tijolos)	3,4 - 6,0
Vidro plano	14 - 20
Fibra de vidro	43 - 64
Polipropileno	108 - 113
Poliestireno	96 - 140
Poliestileno	80 - 120
PVC	67 - 92
Papel	59

Fonte: Padilha (1997)

A extração e purificação (refino) de metal consomem 10% da produção total de energia; a de ferro, alumínio, cobre, titânio e zinco: 80%; e a de chumbo, 15%. Além dos benefícios como o ganho energético e a redução da extração de matérias-primas, a reciclagem contribui para diminuição da poluição do solo, da água e do ar devido à diminuição de volume de resíduos enviado aos aterros, consequentemente diminuição da produção de chorume e emissões tóxicas. A reciclagem, por meio da coleta seletiva favorece a melhoria na limpeza urbana, geração de empregos e renda para a população, estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens e estabelece de forma direta a mudança comportamental das pessoas pela formação constante da consciência ecológica e de ações pró-ativas.

Estimular a participação da sociedade é imprescindível, pois, de todo produto adquirido, aproximadamente um terço do que será descartado corresponde à embalagem. Com a segregação correta dos resíduos passíveis de reciclagem e de compostagem, 80% dos resíduos deixarão de ir para aterros. O aumento da vida útil dos aterros sanitários é algo a ser considerado devido à emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE), tendo em vista que, no ano de 2000, os resíduos gerados no Brasil chegaram a 125.281 ton/dia, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE. No aterro da Cachimba, em

Curitiba/PR, são depositados 2,4 ton/dia.

Segundo Relatório de Referência sobre Inventário de Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela CETESB, as emissões de CH<sub>4</sub> pelo setor de resíduos sólidos do Estado do Paraná, apresentaram aumento significativo no período de 1990 até 2005. A Tabela 4 apresenta a estimativa das emissões de CH<sub>4</sub>, devido à disposição, em aterros e lixões, de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Estado do Paraná, de 1990 até 2005.

Tabela 4 Emissões de CH<sub>4</sub> referentes ao setor de resíduos sólidos para o Estado do Paraná de 1990 a 2005<sup>2</sup>.

Ano Estimativa de emissão GgCH <sub>4</sub>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	42,3	43,26	44,17	45,03	45,83	46,61	47,33	47,83	48,28	48,75	50,75	52,93	72,17	79,43	79,0	79,64

A emissão de CH<sub>4</sub> por resíduos apresentou elevação de 89%, no período analisado de 1990 a 2005, variando de 42 GgCH<sub>4</sub> a 79,64 GgCH<sub>4</sub>, atribuível a dois fatores: o aumento da população e a mudança de gestão do lixão para aterros sanitários. A emissão de CH<sub>4</sub>, no período de 1990 a 2001, correspondeu a uma média de 46,9 GgCH<sub>4</sub>. Nesse período existia apenas o aterro sanitário da Cachimba, localizado em Curitiba, inaugurado em 1989. No intervalo de 2002 até 2005 a média de emissões passou para 77,56 GgCH<sub>4</sub>. O aumento de 30,7%, comparado à média do período anterior, deve-se ao fato de a instalação de vários aterros sanitários no Paraná e a mais intensiva fiscalização do IAP ocorrerem a partir de 2002.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para garantir a sustentação econômica da reciclagem, deve-se levar em consideração: quantidade de material disponível; proximidade da fonte geradora ao local de recuperação do resíduo; custo das etapas de preparo do resíduo antes do processamento (separação, coleta, transporte, lavagem e armazenamento); existência de tecnologias (processo) para transformação do resíduo; custo do processamento e transformação do resíduo em um novo produto sem prejuízo de suas características e aplicabilidade; existência da demanda para o produto resultante da reciclagem; ganhos diretos, provindos do menor consumo de energia no processo que utiliza produtos reciclados (em relação aos produtos primários); ganhos indiretos com a redução dos custos de controle ambiental.

<sup>2</sup> As estimativas obtidas foram resultado de um trabalho coletivo entre instituições que desenvolvem trabalhos relacionados ao tema de resíduos no Estado do Paraná sob a coordenação do Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais. A prof. Patrícia Sottoriva foi a revisora técnica deste trabalho.

Em termos gerais, na reciclagem de 1 ton de papel há economia de 29,2 m<sup>3</sup> de água, 3,51 MWh de energia elétrica e 22 árvores, quando comparado aos processos tradicionais de produção. O cultivo das árvores também contribui para a captação e fixação do carbono. Em 2005, dos resíduos plásticos consumidos no Brasil, 59,4% são originados do pós-consumo e 40,6% vêm de origem industrial. O índice de reciclagem do vidro em 2007 atingiu 47%. As embalagens de vidro podem ser totalmente reaproveitadas no ciclo produtivo, sem perda de material e permitindo poupar matérias-primas naturais. A reciclagem de 1 ton de cacos representa economia de 1,2 toneladas de matérias-primas. Dos metais destaca-se a reciclagem do alumínio. No ano de 2007, o índice de reciclagem do alumínio atingiu 96,5%. Outro aspecto importante na reciclagem do alumínio corresponde à redução em 95% das emissões de gases do efeito estufa e, no ano de 2008, proporcionou uma economia de 2.329 GW/h de energia elétrica ao país.

Por fim, tendo em vista que as empresas estão se especializando no ramo da logística reversa, desenvolvendo processos com o mínimo de desperdício de recursos, com ganhos energéticos com a reutilização de matérias-primas secundárias e com reinserção dos produtos na cadeia produtiva, o maior parte dos ganhos proporcionados pela reciclagem é atribuída às indústrias com uma abordagem em macroescala que estabelece o fortalecimento do mercado para produtos recicláveis.

---

## LIFE CYCLE ANALYSIS OF HAZARDOUS WASTE AND RECYCLABLE ORIGIN OF HOUSEHOLD

### ABSTRACT

As the sustainable development that the society aims is based on economic, social and environmental factors, it can be said that the environmental crisis has as the component factors: natural resources, population and pollution.

To reduce the pressure that human activities have on the environment, it is necessary to know the production process, inputs and outputs, to reduce potential problems such as waste and facilitate opportunities for system optimization. In this context it was investigated the life cycle of waste and household hazardous recyclable items to identify possibilities for reducing impact on supply chains. As a result it was found that the raw material most used by the paper industry is pine and eucalyptus plantations and some industries also use sugar cane. From the growing process until the paper is industrialized, there is a large demand of time. The cutting of eucalyptus should be done between 5 and 7 years, since the pine requires 10 to 12 years. After used, the papers can and should be recycled. When recycling 1 ton of paper 29.2 m<sup>3</sup> of water can be saved, 3.51 MWh of electricity

and 22 trees when compared to traditional production processes. The cultivation of trees also contributes to carbon capture and sequestration. The eucalyptus ages 2, 4, 6, 8 years fixing concentrations of 11.12, 18.55, 80.91 and 97.86 t / ha, respectively. The paper can also be designed to compost due to biodegradability. The metal, glass and plastics are not biodegradable and inorganic nature needing to be recycled or reused. Recycling 1 ton of plastic is no economy of 5.3 MWh and 500 kg of oil. Even with the gains of environmental, social and economic impacts of recycling compared to traditional processes, in Brazil, the percentage of recycling paper and glass and PET bottles are less than 60%. The recycling of aluminum cans and steel exceeds 90%. Lamps and batteries are materials that are inadequately provide for contamination to the environment. Studies have shown that household waste in Parana rose by 89% between 1990 and 2005, the emission of greenhouse gases (GHG) emissions, ranging from 42 to 79.64 GgCH<sub>4</sub> GgCH<sub>4</sub>. The increase was attributed to the population growth and the disposal of waste to dumps and landfills. Of the total waste, 60% would be likely to compost and 20% being recycled. It is concluded that the problem of solid, recycling and disposal waste must be analyzed from the choice of raw material, production process and product, as well as waste, effluents and emissions generated.

**Keywords:** Municipal Solid Waste, Recycling, Greenhouse Gases (GHG), Life Cycle Analysis (LCA).

## REFERÊNCIAS

- ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. **Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/introducao.asp>> Acesso em: 29 set. 2008
- ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. **Terceiro Censo da Reciclagem de PET no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/noticias/Terceiro%20Censo%20Reciclagem%20do%20PET%2006-07.pps>> Acesso em: 29 set. 2008.
- ABIVIDRO. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. **Índice de Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php/24>> Acesso em: 28 set. 2008.
- ABRALATAS. Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. **Notícias - Heptacampeão**. Disponível em: <[http://www.abralatas.com.br/noticias/2007\\_noticias\\_lista.asp?idmateria=386](http://www.abralatas.com.br/noticias/2007_noticias_lista.asp?idmateria=386)> Acesso em: 29 set. 2008.
- ANIP. Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>> Acesso em: 30 set. 2008.
- ARAGON, Carlos E. **Projetos de desenvolvimento sustentável no Brasil: o caso do Programa Piloto**. Disponível em:

<<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/mre000105.pdf>> Acesso em: 25 set. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - Classificação**. NBR 10004. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. 71 p.

BACKER, Paul de. **Gestão ambiental: a administração verde**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995. 248 p. ISBN 85-7303-066-6 (broch.)

BARBIERI, José Carlos. Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentáveis. **Revista Tecnológica**, São Paulo: v.6, n.77, p. 58-69, abr./2002.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Relatório Estatístico 2007/2008**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2007.pdf>> Acesso em: 29 set. 2008.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanitas, 2003 346 p. ISBN 85-7506-077-5

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Fichas técnicas - Embalagem cartonada longa vida**. Disponível em: <[http://cempre.tecnologia.ws/fichas\\_tecnicas.php?lnk=ft\\_emp\\_longa\\_vida.php](http://cempre.tecnologia.ws/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_emp_longa_vida.php)> Acesso em: 29 set. 2008.

COMPAM. Comércio de Papéis e Aparas Mooca Ltda. **O que é reciclagem**. Disponível em <<http://www.compam.com.br/oquereciclagem.htm>> Acesso em: 01 set. 2008.

CONNETT, Paul. Incineração Do Lixo Municipal - Uma Solução Pobre Para o Século 21. In: 4ª CONFERÊNCIA ANUAL DE ADMINISTRAÇÃO INTERNACIONAL DE LIXO-PARA-ENERGIA. 24 e 25 de Novembro de 1998 – Amsterdã. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/iswa\\_artigos.php?codeps=Nw](http://www.abrelpe.org.br/iswa_artigos.php?codeps=Nw) ==> Acesso em: 29 set. 2008

CZAPSKI, Silvia. **Logística da reciclagem atrai mais empresas**. Disponível em <<http://www.ethos.org.br/DesktopDefault.aspx?TabID=3715&Lang=pt-BR&Alias=Ethos&itemEvenID=4773>> Acesso em: 25 ago. 2008.

FRANKENBERG, Claudio Luis Crescente; RODRIGUEZ, Maria Teresa Raya; CANTELLI, Marlize; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL: (2: 1998 out. 26-28 Porto Alegre, RS). **Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Campus Uruguaiana, 2000. 399 p.

HENDERSON, Hazel. **Transcendendo a economia**. São Paulo: Cultrix, 1999. 274 p.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável 2008**. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/ids/ids2008.pdf>> Acesso



em: 27 set. 2008.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtml>> Acesso em: 29 set. 2008.

IBS. Instituto Brasileiro de Siderurgia. **Relatório de Sustentabilidade 2007**. Disponível a partir de <[http://www.ibs.org.br/balanco\\_social2.asp](http://www.ibs.org.br/balanco_social2.asp)> Acesso em: 28 set. 2008.

Instituto do PVC. **Reciclagem mecânica: Conceitos e Técnicas**. Disponível em: <[http://institutodopvc.org/reciclagem/interf/pdf/reciclagem\\_mecanica.pdf](http://institutodopvc.org/reciclagem/interf/pdf/reciclagem_mecanica.pdf)> Acesso em: 28 set. 2008.

IMBELLONI, R. **A Política dos 3 R's e os Materiais Recicláveis**. Artigo Publicado. 2004.

LACERDA, Leonardo. Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. **Revista Tecnológica**, São Paulo: v.6, n.74, p. 46-50, jan.2002.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 250 p. ISBN 85-87918-62-1 (broch.)

LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. [S.l.]: ABES, [2001]. 267 p.

LIMA, Lílian Maluf de; CAIXETA FILHO, José Vicente. Conceitos e práticas de logística reversa. **Revista Tecnológica**, São Paulo: v.6, n.66, p. 54-58, maio/2001.

LOBATO, J. **Separação de componentes de pilhas é complexa, cara e consome muita energia - 2003**. Disponível em <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3676>> Acesso em: 26 ago. 2008.

MARTINELLI, Ana Helena Pedro; KING, Ney César de Oliveira. **A importância das práticas de aprendizagem na gestão de empreendimentos – Uma análise da metodologia do projeto de lições aprendidas na Petrobras**. 2007.

MONTEIRO, J. H. **Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro 2001.

OLIVEIRA, A. B. Processo de recuperação de tambores por queima estudo de caso: conformação da empresa para atender a políticas de segurança, meio ambiente e saúde – sms. Trabalho de conclusão de curso da engenharia ambiental, pucpr. Curitiba, 2007.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. Hemus, 1997. 354 p.

Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima. **Mitigação da Mudança do**

**Clima.** Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg3-spm.pdf>> Acesso em: 25 set. 2008.

PLASTIVIDA. Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos. **Desempenho e Perspectivas da Reciclagem dos Plásticos no Brasil.** Disponível em: <[http://www.plastivida.org.br/reciclagem/pes\\_mercado.htm](http://www.plastivida.org.br/reciclagem/pes_mercado.htm)> Acesso em: 28 ago. 2008.