

Emissões de CO₂ Evitadas e Outros Benefícios Econômicos e Ambientais Trazidos pela Conservação de Energia Decorrente da Reciclagem de Resíduos Sólidos no Brasil

*André Santos Pereira, Luciano Basto Oliveira e Marcelo Miranda Reis**

I – Introdução

O presente artigo tem por objetivo evidenciar o potencial de conservação de energia proporcionado pela reciclagem de resíduos sólidos no Brasil, enfocando seus benefícios em termos da redução da poluição ambiental em geral e, mais especificamente, aqueles relacionados ao aquecimento global. Para este caso específico, foi elaborado um modelo através do qual são estimadas as emissões evitadas de CO₂ (variável endógena) em função de determinada quantidade de resíduos sólidos reutilizada como insumo no processo produtivo e da consequente quantidade de energia conservada (variável exógena) através deste processo.

De forma complementar, o artigo procura evidenciar, em termos qualitativos, outros benefícios trazidos pela conservação de energia, tais como o aumento da capacidade de investimento do Estado e o ganho de produtividade e eficiência micro e macroeconômicas. Destaca também a redução dos impactos ambientais relacionados à poluição do ar, da água e do solo e decorrentes da exploração/prospecção dos recursos energéticos, passando pela transformação da energia primária para a secundária e desta para a sua forma útil, envolvendo a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Por fim, o artigo evidencia a redução da poluição causada pelos aterros e depósitos de lixo trazida diretamente pela reciclagem.

II – A Expansão da Geração de Energia Elétrica no Brasil

A geração de energia elétrica no Brasil provém predominantemente da transformação de energia primária renovável, principalmente energia hidráulica. De fato, através da Tabela I, nota-se que em 1997 a capacidade de geração elétrica instalada do país correspondia a 59.324 MW, sendo que 54.227 (91,41%) provenientes de usinas hidrelétricas e os 8,6% restantes (4.790 MW) provenientes de usinas termelétricas (Eletrobrás, 1998)

Entretanto, desde 1993, o setor elétrico brasileiro vem passando por importantes mudanças, dentre as quais destacam-se os processos de privatização e descentralização e que indicam uma série de mudanças. Segundo Polle et al. (1998): “O novo modelo substitui o papel central do

* Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ

governo passado por uma estrutura descentralizada de decisão com base na iniciativa privada, onde as forças de mercado definirão a estrutura de expansão.”

Tabela I - Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração

(MW)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Termelétrica	5.097	5.664	8.635	11.547	12.239	13.485	13.687	14.221	14.526	16.064	16.443
Hidrelétrica	54.227	56.315	58.611	59.829	62.239	66.594	70.391	73.403	75.551	78.041	79.279
Total	59.324	61.979	67.246	71.376	74.478	80.079	84.078	87.624	90.077	94.105	95.722
Participação sobre Capacidade Total (%)											
Termelétrica	8,59	9,14	12,84	16,18	16,43	16,84	16,28	16,23	16,13	17,07	17,18
Hidrelétrica	91,41	90,86	87,16	83,82	83,57	83,16	83,72	83,77	83,87	82,93	82,82
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Eletrobrás (1998). Elaboração dos Autores.

Em seu Plano 2015, o Ministério das Minas e Energia estabelece uma série de diretrizes de longo-prazo para a expansão do setor elétrico, que incluem prioridades tais como “a utilização de todas as fontes disponíveis de recursos para a geração de energia elétrica, buscando uma combinação ótima destes recursos de forma a atingir a solução mais adequada, através do desenvolvimento de um programa hidrelétrico suplementado por programas termelétricos utilizando carvão, gás natural ou combustíveis nucleares. À exceção dos recursos nucleares, o setor privado deve desempenhar um papel prioritário no desenvolvimento deste programa termelétrico, determinando as combinações mais econômicas dos recursos disponíveis” (Eletrobrás, 1991). Os investimentos necessários à ampliação da capacidade instalada do setor elétrico estão sendo realizados dentro de um quadro de mudança institucional, para o qual se prevê aumento significativo do aporte de recursos privados.

Em geral, tanto o volume quanto o prazo de maturação do investimento necessário para a construção de centrais termelétricas são menores do que no caso de centrais hidrelétricas – que, na grande maioria dos casos, envolve longas e complexas obras de engenharia. Sendo assim, diante do novo quadro institucional do setor, seria de se esperar uma queda tendencial da participação das plantas hidrelétricas na expansão da capacidade instalada do setor. Cabe lembrar ainda diversas e complexas questões tecnológicas, econômicas e políticas que influenciarão e influenciam de forma determinante na constituição deste novo perfil, cujo aprofundamento, contudo, foge ao escopo deste trabalho.

Com base no cronograma de conclusão das obras contido no Plano Decenal de Expansão 1998/2007 (Eletrobrás, 1998), foi calculada a evolução anual da capacidade instalada por fonte de geração (Tabela II). O Plano de fato indica uma redução do peso da geração de energia hidrelétrica e um aumento da participação termelétrica sobre a capacidade instalada total (de 8,6% em 1997

para 17,2% em 2007). Através da Tabela II, nota-se que a taxa média de expansão anual da capacidade instalada em usinas termelétricas é de 11,1%, contra 4,2% para as hidrelétricas¹.

Tabela II - Acréscimo Anual da Capacidade Instalada por Fonte de Geração

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	média ano
(MW)											
Termelétrica *	567	1.662	2.912	692	1.246	202	534	305	229	379	
Hidrelétrica **	2.088	3.605	1.218	2.410	4.355	3.797	3.012	2.148	3.799	1.238	
Total	2.655	5.267	4.130	3.102	5.601	3.999	3.546	2.453	4.028	1.617	
Taxa Anual de Crescimento (%)											
Termelétrica *	11,12	29,34	39,75	6,76	11,40	1,66	4,31	2,36	1,73	2,82	11,13
Hidrelétrica **	3,85	6,40	2,03	3,94	6,85	5,59	4,20	2,88	4,94	1,53	4,22
Total	4,48	8,50	6,14	4,35	7,52	4,99	4,22	2,80	4,47	1,72	4,92

Fonte: Eletrobrás (1998). Elaboração dos Autores.

* Exclui 1309 MW (Angra II - 1999) e 1309 MW (Angra III - 2005).

** Inclui 1309 MW (Angra II - 1999) e 1309 MW (Angra III - 2005).

Cabe ressaltar que, de acordo com o objetivo principal do presente trabalho, qual seja, estimar as emissões de CO₂ evitadas em decorrência da conservação de energia proporcionada pela reciclagem de resíduos sólidos urbanos, as usinas termonucleares Angra II e Angra III (1.309 MW cada) são tratadas, para efeito de emissão de CO₂, como usinas hidrelétricas, ou seja, com emissão zero de CO₂, visto que a conservação de energia termonuclear não representa vantagem alguma no que se refere estritamente à redução de emissão de CO₂. Desta forma, os dados do Plano de Expansão são ajustados de forma que o acréscimo de capacidade instalada decorrente da entrada em operação destas duas usinas é contabilizado como expansão hidrelétrica.

Outrossim, ainda tendo em vista o objetivo do trabalho, é utilizada a hipótese bastante conservadora de que toda a expansão termelétrica será baseada 100% em centrais cujas plantas utilizam gás natural como combustível em turbinas de ciclo combinado, mais eficientes em termos de emissão de CO₂².

Desta forma, ao considerar que toda expansão termelétrica será baseada em turbinas com tecnologia de ciclo combinado a gás natural e, ao tratar as centrais termonucleares Angra II e Angra II como centrais hidrelétricas para efeito de emissão de CO₂, o presente trabalho subestima as emissões de CO₂ decorrentes da expansão da geração termelétrica descrita na seção anterior e, portanto, subestima as emissões evitadas ante um cenário de conservação de energia, adotando, desta forma, uma postura bastante cautelosa.

Antes, porém, de serem traçados comentários sobre a conservação de energia e cenários sobre a expansão do setor elétrico, temas de seções seguintes, cabe destacar alguns aspectos tecnológicos e ambientais da geração termelétrica.

¹ Todavia, é importante destacar a mudança do caráter impositivo do “Plano Decenal”, que torna-se agora um estudo indicativo. Realmente, segundo La Rovere (1999), “o planejamento do setor, por parte da SNE/MME e da Eletrobrás, se tornou essencialmente indicativo”.

² Como será visto mais detalhadamente na próxima seção, devido as suas características de queima, o gás natural é, dentre os combustíveis fósseis, aquele com menor intensidade de emissão de CO₂ por unidade de energia gerada.

A geração termelétrica depende da queima de algum tipo combustível para acionar a movimentação de turbinas que, por sua vez, geram energia eletromecânica. Os combustíveis utilizados podem ser óleos, fluidos gasosos, biomassa ou carvão, ao passo que o tipo e a tecnologia da turbina variam em função do combustível utilizado.

As turbinas a gás convêm perfeitamente para centrais de geração elétrica. São máquinas não muito complexas, acionadas pela expansão de gases quentes provenientes da combustão de um combustível qualquer (sólido, líquido, gasoso), diferentemente das outras turbinas – como por exemplo as turbinas a vapor, que baseiam-se na expansão do vapor d'água.

O calor dos gases de escape pode ser recuperado, aumentando a eficiência energética da planta, através da secagem de produtos (fosfato, grãos, etc) ou do aquecimento de fluidos intermediários (água, óleo), para a fabricação de frio para frigoríficos e para o tratamento de água para a produção de água doce.

Geralmente, o calor perdido é recuperado do exaustor da turbina para produzir vapor e acionar um gerador de turbina a vapor. Esta tecnologia utiliza, portanto, turbinas a gás e a vapor de forma conjunta para produzir eletricidade, o que permite uma maior economia de combustível em relação aos ciclos simples. A utilização desta técnica, conhecida como **ciclo combinado**, apresenta uma série de vantagens, como maior flexibilidade operacional, menor tempo de construção e **maior eficiência energética** (Pereira, 1999b).

A utilização do gás natural,³ ao invés de outros combustíveis fósseis em turbinas a gás, apresenta uma série de vantagens, dentre as quais a radiação de uma chama menos intensa vis-à-vis a chama proveniente de derivados de petróleo. Isto permite que a temperatura do ciclo seja elevada sem solicitações ou esforços suplementares, gerando portanto um rendimento e eficiência energética ainda maiores (CNI, 1986).

A intensidade de emissão de CO₂ depende tanto do combustível quanto da tecnologia utilizados, sendo que, no caso dos combustíveis fósseis, as plantas que utilizam tecnologias de ciclo combinado simultaneamente com gás natural são as mais eficientes em termos de emissão de CO₂, tanto pela característica do gás natural, intrinsecamente menos intensivo em CO₂, quanto pela maior eficiência energética desta tecnologia.

³ “O Gás Natural (GN), no sentido restrito, é um composto gasoso de hidrocarboretos do tipo C_nH_{2n+2}, como metano, etano, propano, butano normal, iso-butano, pentano e hexano, sendo que o primeiro (CH₄) é o seu principal componente. Também é encontrada a presença de algumas impurezas, tais como vapor d'água, gás carbônico, gás sulfídrico, nitrogênio, Hélio, Argon e Mercaptanos” (Pereira, 1999a).

IV – A Importância da Conservação de Energia

A conservação de energia revela que é possível uma dissociação entre consumo de energia e crescimento econômico, negando a idéia de que o crescimento da oferta de energia seja condição *sin ne qua non* ao crescimento econômico. Sendo assim, os países em desenvolvimento poderiam pular etapas mais intensivas em energia sem prejudicar seu desenvolvimento econômico, ou seja, não precisariam necessariamente repetir os inviáveis padrões de consumo energético dos países industrializados para assegurar seu desenvolvimento econômico e social.

Portanto, o aumento do consumo energético decorrente de maiores níveis de desenvolvimento econômico e de consumo final de bens e serviços, objetivo crucial nos países do Sul, não precisa ser, necessariamente, baseado no e condicionado ao crescimento da oferta de energia. A redução do uso final direto ou indireto de energia -- principalmente através de programas de conservação -- pode desempenhar importante papel neste sentido. (La Rovere, 1986)

A importância desta estratégia reside no fato de que os investimentos nestes países são tão escassos quanto necessários. Desta forma, uma parte do investimento destinado à ampliação da oferta de energia não competiria com o investimento a ser realizado para resolver questões sociais e econômicas mais prementes.

Portanto, no caso específico do Brasil, diante da atual crise em que se encontra o Estado como agente investidor, seria providencial que investimentos no setor de energia não concorressem com investimentos em outras áreas suas de atuação prioritária, como saúde e educação, para citar apenas dois exemplos. Ainda que a ampliação da oferta de energia seja necessária para o desenvolvimento econômico, ela pode ser bem menor caso haja uma estratégia de conservação, o que proporcionaria, em relação a um cenário sem conservação, maior capacidade de investimento em outras áreas mais carentes e com maior impacto econômico e social.

Outras duas questões importantes relacionam-se à conservação de energia: sua utilização de forma mais eficiente pode gerar redução de custos e aumento de produtividade, em termos tanto microeconômicos (no âmbito da firma) quanto macroeconômicos (no âmbito do setor ou país por exemplo).⁴ A outra questão refere-se ao potencial de redução de impactos sobre o meio ambiente causados pela produção e uso de energia. Segundo este mesmo autor, a conservação é “a única ‘fonte’ de energia que não gera, de modo geral, impactos ambientais negativos...” (pág 37)

O fornecimento de energia elétrica, desde a exploração/prospecção dos recursos energéticos, passando pela transformação da energia primária para a secundária e desta para a sua forma útil,

⁴ Caso realizada em grande escala, a conservação de energia pode vir a representar importante passo para a redução do chamado custo-Brasil.

envolvendo a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica envolve impactos ambientais diretos e indiretos. Dentre estes, citamos alguns, baseado em La Rovere (1999):

a) Impactos ambientais do ciclo do carvão:

a.1) Na mineração:

Impactos contra a saúde dos trabalhadores, devido a inalação de poluentes (particulados) e ao ruído; riscos de incêndios, explosões e desabamentos; erosão e acidificação do solo (principalmente em minas a céu aberto), inutilizando extensas áreas; impactos sobre os recursos aquáticos da região, ocasionados pelas águas acidificadas da drenagem das minas e impactos negativos sobre os assentamentos humanos e sua infra estrutura.

a.2) No beneficiamento do carvão em lavadores ou ciclones:

Contaminação do ar por NOx, SOx e material particulado, causada pelo rejeito sólido do beneficiamento; contaminação da água com finos de carvão em suspensão, a não ser que haja reciclagem da mesma; inutilização de grandes áreas para dispor as enormes pilhas de refugo, que apresentam riscos de combustão e drenagem ácida com altos teores de sólidos e elementos menores como metais pesados associados ao carvão em suspensão, ocasionadas pela lixiviação por águas de chuva da pirita (composto de ferro e enxofre) existente nas pilhas de rejeitos.

a.3) Geração termelétrica:

Impactos sobre os efluentes líquidos, devido a impurezas e resíduos sólidos em suspensão das águas usadas; inutilização de áreas para disposição de grandes quantidade de cinzas no solo; contaminação do ar pela emissão dos produtos da combustão (CO₂, particulados, hidrocarbonetos, e óxidos de enxofre e nitrogênio). A interação destes poluentes no ar causa danos ao aparelho respiratório dos homens, plantas e animais, e acidifica as precipitações, causando danos a vegetação, ao solo, as águas e a edifícios e estruturas metálicas.

b) Impactos ambientais do gás natural/petróleo:

b.1) Nas exploração e produção:

Riscos de vazamentos, incêndios e explosões, com conseqüentes danos aos trabalhadores, à população usuária de praias atingidas, ao setor de turismo, à vida animal, à pesca, e a dispersão na atmosfera de grandes quantidades de óxidos de enxofre e de nitrogênio; nas operações *off-shore*: vazamentos com efeitos sobre os ecossistemas de manguezais e estuários próximos; nas operações *in-shore*: infiltração de petróleo no solo e possibilidade de contaminação do lençol freático.

b.2) No transporte:

Riscos de colisão, incêndio e sossobramento de navios crescentes, devido ao aumento do tráfego e do tamanho dos navios; riscos de explosões e incêndios em oleodutos, gasodutos, trens, caminhões, e depósitos de gás e óleo. Cabe lembrar que tanto os acidentes de grandes proporções quanto os pequenos vazamentos (35% das descargas de óleo nos oceanos) causam impactos em vários pontos de zonas costeiras.

b.3) No refino:

Emissões de SO_x, NO_x, CO_x, materiais particulados e compostos orgânicos na atmosfera; uso de grandes quantidades de água e geração de resíduos líquidos de óleo, graxa, fenois, amônia, e sólidos dissolvidos em suspensão; riscos de explosões e incêndios; produção de odor desagradável. A proximidade de refinarias de aglomerações urbanas acentua a importância destes riscos e destes impactos.

b.4) No uso final em térmicas:

Emissões de material particulado, monóxido de carbono, óxidos de enxofre e de nitrogênio, compostos orgânicos, e traços de metais, ocasionando, entre outros impactos, a contaminação do ar em zonas industriais e urbanas e ampliando o efeito estufa.

c) Impactos ambientais da geração hídrica:

São ocasionados por grandes barragens nas áreas a jusante e a montante do reservatório, onde há transformação radical do ecossistema local, com impactos de natureza física, biológica, econômica, social e cultural.

c.1) Impactos de natureza física:

Retenção de sedimentos com a aceleração da erosão e o assoreamento e redução da capacidade do lago, e o prejuízo a pesca e a agricultura a jusante; alteração do balanço de recursos hídricos e do ciclo hidrológico local, com possível redução na vazão média do rio, sobretudo em regiões áridas devido a perdas por evaporação na barragem; possibilidade de abalos sísmicos e conseqüentes perdas humanas e econômicas, incluindo o próprio rompimento da barragem, pelo aumento localizado do peso causado pelo reservatório; e mudança do microclima local.

c.2) Impactos de natureza biológica:

Alteração da qualidade da água com variações sazonais de temperatura e sólidos dissolvidos e em suspensão, ocasionando a estratificação por densidade e afetando as propriedades físicas,

químicas e biológicas; decomposição de matéria orgânica e formação de gás sulfídrico em águas estagnadas, com possível eutrofização do lago, eliminação de peixes e exalação de odor desagradável; transformação de um ecossistema terrestre/fluviál em lacustre, causando mudanças na flora e na fauna ao longo das diversas fases de estabilização da represa; perdas de patrimônio genético, inclusive desconhecido, pelo alagamento de ecossistemas de maior diversidade biológica, como florestas tropicais úmidas; proliferação de plantas aquáticas no reservatório, na fase de estabilização, podendo causar inclusive a paralização das turbinas; proliferação de doenças como esquistossomose e gastroenterite, e de mosquitos na área da represa.

c.3) Impactos de natureza econômica:

Custos de produção agrícola efetiva ou potencial, no trecho do rio a jusante e na área inundada pelo reservatório; e perdas, nas áreas alagadas, do valor da madeira de florestas submergidas e de jazidas minerais eventualmente ali existentes.

c.4) Impactos de natureza social:

Sobrecarga da infra-estrutura pré-existente, normalmente já deficiente, pelo afluxo de mão de obra atraída pelo empreendimento, ainda na fase de construção; necessidade de realocação dos habitantes da área a ser inundada e alterações na vida da população ribeirinha a jusante, que muitas vezes por conta de um regime mais estabilizado proporcionado pela barragem, ocupa as calhas secundárias, permitindo impactos maiores, quanto da necessidade ou impossibilidade de evitar a inundação destas.

c.4) Impactos de natureza cultural:

Perdas de patrimônio cultural pelo alagamento de sítios arqueológicos, reservas indígenas e de áreas de interesse paisagístico.

c.5) Impactos ambientais de linhas de transmissão:

Associados sobretudo a grandes hidrelétricas, pois estas normalmente estão mais distantes dos mercados consumidores a serem atendidos que as termelétricas. Requerimento de extensas faixas de terra; prejuízos a fauna; influência dos campos elétrico e magnético sobre os seres vivos; formação de ozônio por efeito corona ou descarga elétrica; efeitos estéticos negativos; interferência em sistemas de comunicações e perigos de acidentes aéreos.

Portanto, a conservação de energia é importante: i) para aumentar a capacidade de investimento em áreas prioritárias de forma que possam ser atendidas as necessidades básicas da

população; ii) para melhorar o desempenho e a produtividade econômica das empresas e do país e iii) para minimizar os impactos ambientais extremamente perniciosos relacionados ao ciclo da energia.

V – Reciclagem de Resíduos Sólidos, Conservação de Energia e Emissões Evitadas de CO₂ no Brasil

V.1 – Considerações Iniciais, Metodologia e Cenário de Referência

A reutilização de resíduos é importante sob vários aspectos, sejam estes ambientais, sanitários, sociais, energéticos e econômicos. O conceito de resíduo engloba diversos utensílios utilizados pelo homem que tenham perdido sua utilidade para cumprir o fim a que foram destinados inicialmente⁵. A reutilização de resíduos pode se efetivar de várias formas: da reciclagem, da compostagem e através da reutilização direta.

Os resíduos podem classificar-se segundo sua origem, ou segundo suas modalidades físicas (Voigt et Alli, 1999). Quanto à origem, classificam-se como urbanos; industriais e agrícolas. Quanto a suas qualidades físicas, classificam-se como inertes (vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes) combustíveis (papéis, cartões, plásticos, madeira, gomas, couro, alimentos e outros).

Neste trabalho considera-se, para efeito de conservação de energia, o re- aproveitamento de latas de alumínio, vidro, papel e papelão, plásticos e latas de aço, que compõem a grande parte dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos. Estes resíduos mesmos podem reciclados, ou seja, inseridos novamente na cadeia produtiva, sendo reutilizados como matéria-prima secundária em substituição a uma parte dos insumos primários. Sendo assim, o processo de reciclagem substitui algumas etapas da cadeia produtiva mais intensivas em energia por etapas menos intensivas, promovendo, desta forma, a conservação de energia.

Consequentemente, a reciclagem de resíduos sólidos gera todos os benefícios decorrentes da conservação de energia descritos qualitativamente na seção precedente. Ademais, gera benefícios relacionados às emissões evitadas de CO₂, cuja estimativa é o objetivo principal deste trabalho. Para tanto, foi utilizada a metodologia de cálculo descrita a seguir.

Na tabela III são apresentados os dados de conservação de energia a partir da reciclagem de resíduos. Estes dados são exógenos ao modelo apresentado e são fornecidos por Calderoni (1997), segundo o qual no ano de 1996 foram gerados no Brasil cerca de 6,97 milhões de toneladas de resíduos com potencial para reciclagem.

⁵ O termo “resíduo” é mais adequado do que “dejeito”, pois associado a este termo está a idéia de um descarte completo e portanto da inviabilidade de sua reutilização, em decorrência da insuficiência de valor intrínseco (Voigt et Alli, 1999).

O referido autor apresenta a economia de energia segundo o tipo de material a ser reaproveitado e, a partir das quantidades de cada tipo de material, calcula a conservação líquida e potencial de energia, decorrente da reciclagem da totalidade destes resíduos. A conservação de energia seria ocasionada pela energia elétrica que deixou de ser utilizada em decorrência de terem sido evitadas as etapas de extração e transformação dos recursos naturais, já descontadas a energia necessária para o reprocessamento dos resíduos (Tabela III).

Tabela III – Potencial de Conservação de Energia no Brasil Através da Reciclagem de Embalagens e outros Resíduos Sólidos Urbanos – 1996

Material	Desperdício (mil ton)	Economia de energia	
		por ton (MWh/t)	Total (GWh)
Latas de Alumínio	20	16,9	338
Vidro	520	0,64	332,8
Papel	3.958	3,51	13.892,58
Latas de Aço	492	5,3	2.607,60
Plástico	1.980	5,06	10.018,80
Total	6.970		27.189,78

Fonte: Calderoni (1997).

Para medir as emissões evitadas de CO₂ decorrente da conservação de energia proporcionada pela reciclagem destes resíduos, é necessária a elaboração de um cenário de referência, sobre o qual se dará a conservação de energia. Para tanto, utilizou-se a expansão da capacidade instalada segundo tipo de central elétrica prevista pelo Plano de Expansão 1998/2007 da Eletrobrás (Eletrobrás 1998).

É utilizada a hipótese de que 1 MWh unidade de energia conservada possibilita a não construção de capacidade instalada necessária à geração de 1,10 MWh, incorporando, desta forma, uma perda média na transmissão e distribuição de 10%. Portanto, a reutilização da totalidade de resíduos descritos na Tabela III engendraria uma conservação de energia da ordem de 27.189, 78 GWh x 1,10 = 29.908,76 GWh.

Por hipótese, a conservação gera uma redução idêntica na demanda de energia, imediatamente percebida pelos investidores e incorporada no planejamento do setor, representando uma redução idêntica na oferta. Sendo assim, é assumido, também por hipótese, que o investimento e a construção prevista para plantas com capacidade instalada correspondente à energia conservada são adiados durante o período de um ano. Resta saber que tipo de planta teria sua construção adiada. Este problema é resolvido através do estabelecimento de algumas hipóteses e da construção de dois cenários.

Caso a conservação represente a não construção de novas usinas hidrelétricas e/ou a não ampliação da capacidade das já existentes, a emissão de CO₂ não poderá ser evitada pelo simples motivo de não existir neste caso.⁶ Entretanto, caso represente a não construção de novas usinas

⁶ Apesar de existirem pesquisas sobre o assunto, não existe ainda um número definitivo sobre as emissões de GEE (principalmente o metano resultante da decomposição de florestas submersas) decorrentes do processo de geração

termelétricas e/ou a não ampliação de capacidade de usinas já existentes, estaria sendo evitada a emissão de CO₂ em função do combustível fóssil não queimado.

A Tabela IV expressa o acréscimo anual da oferta de energia por fonte de geração, obtida através da aplicação, sobre a ampliação prevista pelo Plano de Expansão, de uma taxa de utilização média da capacidade instalada de 70% para plantas termelétricas e de 50% para plantas hidrelétricas, representando o cenário de referência e a linha de base do modelo.

Tabela IV - Acréscimo Anual da Oferta de Energia por Fonte de Geração* - Cenário de Referência**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Acréscimo anual da Oferta(TWh)										
Termelétrica *	3,48	10,19	17,86	4,24	7,64	1,24	3,27	1,87	1,40	2,32
Hidrelétrica **	9,15	15,79	5,33	10,56	19,07	16,63	13,19	9,41	16,64	5,42
Total	12,62	25,98	23,19	14,80	26,72	17,87	16,47	11,28	18,04	7,75
Participação na expansão total (%)										
Termelétrica *	27,55	39,23	77,00	28,67	28,60	6,93	19,89	16,58	7,78	30,00
Hidrelétrica **	72,45	60,77	23,00	71,33	71,40	93,07	80,11	83,42	92,22	70,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Eletrobrás (1998). Elaboração dos Autores.

* Exclui 1309 MW (Angra II - 1999) e 1309 MW (Angra III - 2005).

** Inclui 1309 MW (Angra II - 1999) e 1309 MW (Angra III - 2005).

*** Geração = 70% da capacidade instalada para plantas termelétricas e 50% para hidrelétricas.

A partir desta tabela, são feitas hipóteses sobre as plantas cuja construção (e/ ou expansão) seria adiada. Em um primeiro cenário mais conservador, supõe-se que a conservação se efetivaria, inicialmente, através da não construção de plantas hidrelétricas, cujas emissões de CO₂ são nulas. Em um segundo cenário, a conservação se efetivaria através da não construção tanto de plantas hidrelétricas quanto termelétricas, sendo esta construção evitada na mesma proporção da expansão prevista no ano.

Para ambos os cenários é adotada a hipótese de que os primeiros 5% de energia conservada corresponderiam a geração elétrica em horário de pico, cujo atendimento é realizado por usinas termelétricas. Portanto, para ambos os cenários, os primeiros 5% de conservação causariam impactos sobre a ampliação de plantas termelétricas.

A partir da quantidade de energia conservada por tipologia das usinas de geração (hidrelétrica/termelétrica), foram aplicados fatores de emissão de CO₂ por unidade de energia gerada, segundo a mesma tipologia. Para as centrais termelétricas, utilizou-se o fator apresentado por La Rovere & Americano (1998) em conformidade com metodologia proposta pelo IPCC⁷. Segundo estes autores, as emissões referentes à termelétricas a gás natural com ciclo combinado são da ordem de 449 t CO₂ /GWh. Em função da postura cautelosa do trabalho, o fator de emissão das hidrelétricas foi considerado nulo.

hidrelétrica. Mantendo-se a postura conservadora do trabalho, considera-se como sendo nulas as emissões de GEE provenientes da geração hidrelétrica.

⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (ou Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima), grupo de trabalho encarregado de respaldar, através de trabalhos técnicos e científicos, as negociações da UNFCCC e do Protocolo de Quioto (ver seção VII).

A partir destes fatores de emissão e em função da quantidade de energia conservada através da reciclagem de resíduos sólidos (variável exógena), obteve-se a quantidade de CO₂ evitada, segundo tipologia das usinas de geração (variável endógena). Para cada um dos dois cenários descritos acima, são apresentadas variantes acerca da variável exógena, ie, do volume de resíduos utilizados e portanto da conservação de energia obtida. Estas variantes são obtidas através da aplicação de taxas percentuais de 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 5, e 1 sobre o volume total de resíduos com potencial de reciclagem apresentado por Calderoni (1997), utilizando por hipótese composição percentual dos materiais idêntica a da Tabela III.

De forma conservadora, as emissões evitadas em decorrência da conservação efetiva de energia, dada pelo volume de resíduos reciclado, fica, por hipótese, limitada ao acréscimo anual da oferta de energia descrito na Tabela IV. A diferença positiva entre a energia conservada e a expansão máxima da oferta prevista no Plano permitiria a redução de oferta das plantas já instaladas e operantes, mas, por hipótese, considera-se que esta redução é realizada em plantas hidrelétricas, não evitando, pois, a emissão de CO₂.

V.2 - Cenário I - Redução prioritária na expansão de usinas hidrelétricas

Neste cenário mais conservador, após atingido os primeiros 5% referentes à conservação da energia em horário de pico, as primeiras plantas a sofrerem adiamento da ampliação/construção seriam do tipo hidrelétricas, com emissão zero de CO₂.

Na primeira variante, no ano 1999 seriam conservados 29,9 TWh em decorrência da reutilização hipotética de 100% do volume de resíduos gerados em 1996⁸. Os primeiros 5% da energia, correspondentes a horário de pico, ou seja, 1,5 TWh (0,05 x 29,9), seriam conservados através do adiamento de plantas termelétricas. Posteriormente, a conservação seria realizada pelo adiamento das obras referentes às plantas hidrelétricas, limitada, neste ano, de acordo com o Plano Decenal, a 5,33 TWh. Todavia, esta conservação mas não traria benefício algum em termos de emissões evitadas de CO₂. Restariam ainda 16,36 TWh, que apenas poderiam ser gerados em plantas termelétricas, visto que toda a expansão prevista para as hidrelétricas naquele já havia sido adiada. O adiamento das plantas termelétricas sim evitaria emissões da ordem 8,02 mega toneladas de CO₂ (449 t CO₂ x 17,86TWh) naquele ano, em consequência da conservação de energia decorrente da reciclagem de resíduos. Note-se que a expansão evitada total (23,19 TWh) é menor que a conservação possível de 29,91 TWh, estando limitada pelo cenário de referência dado pelo Plano de Expansão.

⁸ Tudo o mais constante, ou seja, composição dos resíduos, tecnologias de transformação, etc.

No período seguinte, o Plano indica uma expansão planejada da oferta de energia de 10,56 TWh (hidrelétrica) e 4,24 TWh (termelétrica). Lembre-se porém que a esta capacidade de oferta deve-se adicionar aquela cujas obras foram adiadas no período anterior, ou seja, 17,86 termo e 5,33 hidro, restando um Potencial Acumulado de Conservação da ordem de $10,56 + 5,33 = 15,89$ TWh hidro e $17,86 + 4,24 = 22,10$ TWh termo, perfazendo um total de 37,99 TWh.

Tabela V - Cenário I - Redução prioritária na expansão de usinas hidrelétricas
Variante 100% de reciclagem

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Conservação (TWh)=>	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	
Expansão Prevista da Oferta- Cenário de Referência									
Termelétrica (TWh)*	17,86	4,24	7,64	1,24	3,27	1,87	1,40	2,32	
Hidrelétrica (TWh)*	5,33	10,56	19,07	16,63	13,19	9,41	16,64	5,42	
Total (TWh)*	23,19	14,80	26,72	17,87	16,47	11,28	18,04	7,75	
Potencial Acumulado de Conservação (TWh) = Expansão prevista em t + Redução da oferta em t-1									
Termelétrica (TWh)*	17,86	22,10	21,66	2,73	4,77	3,37	2,90	3,82	
Hidrelétrica (TWh)*	5,33	15,89	34,97	45,04	41,61	37,82	45,05	33,84	
Total (TWh)*	23,19	37,99	56,62	47,78	46,38	41,19	47,95	37,66	
Redução da oferta devido à conservação (TWh)									
Termelétrica (Pico 5%)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
Hidrelétrica (Base)	5,33	15,89	28,41	28,41	28,41	28,41	28,41	28,41	
Termelétrica (Base)	16,36	12,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	23,19	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	
Emissões Evitadas por ano (Mega Tonelada CO2)									Total
Term. (pico + base) (a)	8,02	6,29	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	18,34
Hidrelétrica (b)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	8,02	6,29	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	18,34
Emissões Evitadas por ano (Mega Tonelada Carbono)									Total
Term. (pico + base) (a)	2,91	2,28	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	6,66
Hidrelétrica (b)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2,91	2,28	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	6,66

Em termos gerais o modelo é descrito a seguir:

- $EEA = \sum EE_i$ = Emissão Evitada Acumulada ao longo do período em t CO₂. (i= 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007)
- $\sum EE_i = \sum RO_i \times FE$ (I), onde (i= 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007)
- EE_i = emissão evitada no ano i
- RO_i = Redução de Oferta (GWh), no ano i, subdividida em :
 - $RO_i = ROT_i + ROH_i$ (II), onde
 - ROT_i = Redução de Oferta em Termelétricas no ano i (GWh)
 - ROH_i = Redução de Oferta em hidrelétricas no ano i (GWh)
- FE = Fator de Emissão (t CO₂ / GWh), subdividido em :
 - FET = Fator de Emissão plantas termelétricas = 449 t CO₂/ GWh (III)
 - FEH = Fator de Emissão plantas hidrelétricas = 0 CO₂ / GWh (IV)

Também são definidas as seguintes variáveis:

- CE_i = Conservação de Energia no ano i , variável exógena, função do volume de resíduos reutilizado.
- PAC_i = Potencial Acumulado de Conservação no ano i , igual a expansão prevista pelo Plano Decenal no ano i mais a redução da oferta verificada no ano $i-1$. Esta também pode ser subdividida em duas outras ($PAC_i = PACT_i + PACH_i$):
 - $PACT_i$ = Potencial Acumulado de Conservação, até o ano i , pelo adiamento de Plantas Termelétricas.
 - $PACH_i$ = Potencial Acumulado de Conservação, até o ano i , pelo adiamento de Plantas Hidrelétricas.

De (I), (II), (III) e (IV) tem-se que:

- $\sum EE_i = \sum ROT_i \times FET + \sum ROH_i \times \text{zero}$, logo
- $\sum EE_i = \sum ROT_i \times FET$ (V)

Neste cenário, a redução da oferta se dá primeiramente pelo adiamento de construção de plantas hidrelétricas, à exceção dos primeiro 5% de horário de pico. Sendo assim, a redução de oferta de termelétricas é calculada de forma residual:

- $ROT_i = PAC_i - ROH_i$ (VI), onde
- $ROH_i = \text{mín} [PACH_i; CE_i \times 0,95]$, ou seja, redução de oferta de energia hidrelétrica no período i é o menor valor entre o potencial acumulado de conservação em hidrelétricas até o período i e os restantes 95% da Energia Conservada pela reciclagem no período.

Aplicando o exemplo citado:

$$CE_{2000} = 29,91;$$

$$ROT_{2000} = 23,19 - ROH_{2000};$$

e

$$ROH_{2000} = \text{mín} [5,33 ; 29,91 \times 0,95]$$

$$ROH_{2000} = 5,33$$

$$ROT_{2000} = 23,19 - 5,33 = 17,86$$

$EE_{2000} = 17,86 \times 1.000 \times 449 = 8.020.000 \text{ t CO}_2 = 8,02 \text{ M t CO}_2$ correspondente ao adiamento das obras previstas para 2000. Na tabela VI abaixo, encontram-se as emissões evitadas por ano, segundo variantes da Conservação de Energia pela Reciclagem (variável exógena).

Tabela VI - Emissões Evitadas de CO₂ (Mega Toneladas) - Resumo das Variantes

Variável Exógena		Variável Endógena								
(percentual de Reciclagem)*	Conservação de Energia (TWh/ano)	EE2000	EE2001	EE2002	EE2003	EE2004	EE2005	EE2006	EE2007	TOTAL
Cenário I										
100%	29,91	8,02	6,29	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	18,34
90%	26,92	8,02	4,95	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	16,59
70%	20,94	7,00	2,27	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	12,09
50%	14,96	4,32	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	6,67
30%	8,97	1,63	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	3,04
10%	2,99	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,54
5%	1,50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,27
1%	0,30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Cenário II										
100%	29,91	8,02	4,33	4,32	1,56	3,03	2,79	1,66	2,71	28,41
90%	26,92	8,02	3,90	3,89	1,40	2,87	2,51	1,50	2,54	26,62
70%	20,94	7,35	3,03	3,02	1,09	2,25	1,95	1,17	2,21	22,06
50%	14,96	5,25	2,16	2,16	0,78	1,60	1,39	0,83	1,88	16,06
30%	8,97	3,15	1,30	1,30	0,47	0,96	0,84	0,50	1,35	9,86
10%	2,99	1,05	0,43	0,43	0,16	0,32	0,28	0,17	0,45	3,29
5%	1,50	0,52	0,22	0,22	0,08	0,16	0,14	0,08	0,22	1,64
1%	0,30	0,10	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,33

* Sobre o volume total de 1996.

V.3 - Cenário II - Redução proporcional à participação na expansão anual

Neste cenário, permanece a hipótese dos 5% iniciais correspondentes ao horário de pico. Entretanto, a redução remanescente de oferta se daria pelo adiamento de plantas tanto termelétricas quanto hidrelétricas. E a distribuição desta redução se efetivaria conforme a participação de cada planta na expansão anual.

Além das variáveis do cenário anterior, são utilizadas as variáveis EP_i e PEP_i , suas respectivas subdivisões EPT_i , EPH_i , $PEPT_i$, $PEPH_i$.

EP_i = Expansão Total Prevista no ano i = $EPT_i + EPH_i$

EPT_i = Expansão Prevista Termelétrica no ano i .

EPH_i = Expansão Prevista Hidrelétrica no ano i .

PEP_i = Participação na Expansão Total Prevista no ano i = $PEPT_i + PEPH_i = 1$

$PEPT_i$ = Participação da Expansão Termelétrica Prevista no ano i sobre Expansão Total Prevista no ano i = EPT_i/EP_i

$PEPH_i$ = Participação da Expansão Hidrelétrica Prevista no ano i sobre Expansão Total Prevista no ano i = EPH_i/EP_i

Tabela VII - Cenário II - Redução proporcional à participação na expansão anual

Variante 100% de reciclagem									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Conservação =>	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	29,91	
Expansão Prevista									
Em Termelétrica (TWh)*	17,86	4,24	7,64	1,24	3,27	1,87	1,40	2,32	
Em Hidrelétrica (TWh)*	5,33	10,56	19,07	16,63	13,19	9,41	16,64	5,42	
Total (TWh)*	23,19	14,80	26,72	17,87	16,47	11,28	18,04	7,75	
Participação									
Termelétrica (%)	77,00	28,67	28,60	6,93	19,89	16,58	7,78	30,00	
Hidrelétrica (%)	23,00	71,33	71,40	93,07	80,11	83,42	92,22	70,00	
Potencial Acumulado de Conservação (TWh) = Expansão prevista em t + Redução da oferta em t-1									
Em Termelétrica (TWh)*	17,86	22,10	17,28	10,86	6,74	8,61	7,61	6,03	
Em Hidrelétrica (TWh)*	5,33	15,89	34,97	36,92	39,64	32,17	40,34	31,62	
Total (TWh)*	23,19	37,99	52,25	47,78	46,38	40,78	47,95	37,66	
Redução da oferta (TWh)									
Termelétrica (Pico 5%)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
Hidrelétrica (Base)	5,33	15,89	20,29	26,44	22,76	23,70	26,20	19,89	
Termelétrica (Base)	16,36	8,15	8,13	1,97	5,24	4,71	2,21	4,54	
Total	23,19	25,53	29,91	29,91	29,50	29,91	29,91	25,92	
Emissões Evitadas por ano (Mega Tonelada CO2)									
Term. (pico + base) (a)	8,02	4,33	4,32	1,56	3,03	2,79	1,66	2,71	Total 28,41
Hidrelétrica (b)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	8,02	4,33	4,32	1,56	3,03	2,79	1,66	2,71	28,41
Emissões Evitadas por ano (Mega Tonelada Carbono)									
Term. (pico + base) (a)	2,91	1,57	1,57	0,56	1,10	1,01	0,60	0,98	Total 10,31
Hidrelétrica (b)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2,91	1,57	1,57	0,56	1,10	1,01	0,60	0,98	10,31

Ademais ROT_i e ROH_i são calculados de forma diferente, conforme descrito a seguir.

- $ROT_i = CE \times 0,05 + \{\min [PAC_i - CE_i \times 0,05 ; CE_i \times 0,95 \times PEPT_i]\}$; isto é, a redução de oferta pelo adiamento de plantas termelétricas no ano i será igual aos 5% correspondentes ao horário de pico mais o menor valor entre i) o Potencial Acumulado (até o ano i) de Conservação pelo adiamento de plantas térmicas remanescente, ie, menos os 5% e ii) A Conservação de Energia ainda possível $[CE_i - (CE_i \times 0,05)]$, multiplicada pela Participação da Expansão Termelétrica Prevista no ano i sobre Expansão Prevista Total no ano i.
- $ROH_i = \min (PACH_i; CE_i \times 0,95 \times PEPH_i)$ similar a ROT_i , porém exclui os 5% iniciais correspondentes ao horário de pico. Na tabela VI, encontram-se, para este cenário, as emissões evitadas, por ano (EEi) e total (EEA), segundo variante da variável exógena Conservação de Energia pela Reciclagem.

O nível de concentração atmosférica dos gases causadores do efeito estufa (GEE)⁹ vem aumentando significativamente a partir da Revolução Industrial. É especialmente preocupante o aumento da concentração atmosférica de CO₂, que guarda correlação com a forte aceleração no uso de combustíveis fósseis. A influência do homem sobre este aumento de concentração é fato consensual.

O fenômeno do Efeito Estufa fornece indícios de que o aumento de concentração de GEE, sobretudo do CO₂, esteja causando ou venha a causar um aumento da temperatura média do globo terrestre. Entretanto, a magnitude e as consequências deste aquecimento não representam consenso nos meios científico e acadêmico. Tendo em vista não apenas o efeito retardado dos GEE na atmosfera, mas também o caráter desastroso das possíveis consequências decorrentes de um eventual aquecimento global, mesmo diante desta incerteza científica, torna-se crucial a adoção de medidas preventivas, já que medidas corretivas podem se mostrar muito custosas ou mesmo ineficazes.

Portanto, é fundamental que sejam adotadas medidas de âmbito mundial com o objetivo de reversão ou estabilização das taxas de concentração de GEE (Pereira, 1999c). Neste sentido, em 9 de maio de 1992, foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, ou UNFCCC¹⁰, na sede da Organização das Nações Unidas em Nova York. A UNFCCC reconhece a mudança do clima como "uma preocupação comum da humanidade" e propõe uma estratégia global "para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras" e para estabilizar "as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático." (PNUMA 1992).

Em dezembro de 1997 acontecia em Quioto, no Japão, a Terceira Conferência das Partes, órgão supremo da Convenção, onde foi decidida, por consenso, a adoção do Protocolo de Quioto, segundo o qual um grupo de países integrantes do Anexo I¹¹ do Protocolo deverá reduzir, entre 2008 e 2012, 5% em média as emissões de GEE em relação aos níveis de 1990.

Desta forma, o Protocolo busca obter uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões antrópicas de GEE na atmosfera, de acordo como objetivo final da UNFCCC. A poluição global causada pela emissão de CO₂ tornou-se uma grande preocupação da humanidade, e mais que muito bem vindas, todas as políticas de redução de emissão de CO₂ são cada vez mais cruciais em termos globais.

⁹ Dentre os principais gases causadores do efeito estufa cuja emissão é influenciada pela atividade humana destacam-se o CO₂ (dióxido de carbono) e o CH₄ (metano), entre outros.

¹⁰ United Nations Framework Convention on Climate Change.

VII – Considerações Finais

O artigo evidencia, sob diversos aspectos e, sobretudo, em termos emissões evitadas de CO₂, a importância da reciclagem de resíduos sólidos e da conservação de energia decorrente. Mostrou-se por exemplo que, um índice de reciclagem de 100%¹² e a consequente conservação de 29,91 TWh engendraria uma emissão evitada, ao longo do período compreendido pelos anos 2000 e 2007, da ordem de 18,3 M t CO₂ para o cenário I (extremamente conservador) e de 28,4 M t CO₂ para o cenário II (razoavelmente conservador).

Sendo assim, a reciclagem de resíduos sólidos urbanos representa uma importante forma de atenuar os impactos da poluição global causada pelo CO₂ e, mais precisamente, daqueles relacionados às influências antrópicas sobre o efeito estufa e a um possível aquecimento global decorrente.

Em termos qualitativos, dentre os benefícios diretos da reutilização de resíduos, destaca-se a redução do volume de lixo destinado aos aterros e “lixões” e, portanto, a redução dos problemas socio-econômicos e ambientais relacionados aos mesmos. Dentre seus benefícios os indiretos, estariam todos aqueles relacionados à conservação de energia descritos na quarta seção.

É importante, pois, aumentar o volume de resíduos reciclados na economia brasileira, já que o que é atualmente utilizado encontra-se bem aquém do potencial total¹³. Entretanto, existem barreiras econômicas e não econômicas que precisam ser identificadas e eliminadas, gerando benefícios locais e globais.

Quanto às barreiras não econômicas, destacam-se a não difusão da tecnologia dos processo e dos materiais com potencial para reciclagem. Do ponto de vista econômico, o custo do material a ser reutilizado assim como o investimento em novas plantas para a reciclagem também representam entraves à reciclagem.

Para ingressar novamente no processo produtivo, os resíduos sólidos urbanos com potencial de reciclagem precisam estar separados com elevado grau de homogeneidade, isto é, estar separados segundo algumas especificidades físicas e químicas. É exatamente a dificuldade e o custo de separação deste material que muitas vezes inviabiliza sua reutilização.

Visto que em pequenas quantidades seu valor é nulo, estes resíduos em geral são dispostos nos lixos domiciliares e urbanos pela população, podendo ser encontrados como bens livres. Entretanto, quando dispostos juntamente de forma não seletiva, especialmente com resíduos

¹¹ Basicamente os países desenvolvidos e as chamadas economias em transição (países que pertenciam a antiga URSS e do leste europeu).

¹² Ou seja, 100% do volume total de resíduos gerados no Brasil ao longo de 1996 que poderiam ser ofertados como matéria-prima secundária a ser reutilizada.

¹³ Atualmente, menos de 30% dos resíduos sólidos urbanos, mais especificamente plásticos, papel, vidro e metais é reciclado.

orgânicos, os custos do processo de separação podem inviabilizar economicamente a utilização do material reciclável.

O desenvolvimento de sistemas de coleta seletiva balizados pela triagem dos resíduos no momento de sua geração constitui solução para este problema, tendo sido aplicada com eficácia comprovada em diversos países. A disposição seletiva do lixo por parte da população conjugada à coleta também seletiva vêm possibilitando, em muitos países e até mesmo em algumas cidades brasileiras, a geração de uma oferta de matéria-prima secundária de boa qualidade a custos menores, tornando economicamente viável o reaproveitamento no processo produtivo de um volume maior de resíduos.¹⁴

A eliminação das barreiras econômicas e não econômicas à reciclagem traz à sociedade local importantes benefícios econômicos, ambientais e sociais. O artigo mostra que, além destes benefícios locais, a reciclagem também traz, em função das emissões evitadas de CO₂, benefícios globais, pois vai ao encontro dos objetivos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), reduzindo, ainda que marginalmente, os riscos associados ao aquecimento global. Portanto, a reciclagem de resíduos contribui fortemente para o desenvolvimento sustentável do país e do mundo - ainda que, neste último caso, em menor escala.

Para que um maior volume de resíduos possa ser reutilizado no processo produtivo, possibilitando assim que os benefícios decorrentes possam ser efetivamente desfrutados, é necessário que a reciclagem seja vista e revista por diversos setores da sociedade: pela população, que pode viabilizar a reciclagem através da disposição seletiva; pelas universidades, que podem contribuir de forma decisiva na pesquisa de tecnologias, no desenvolvimento de soluções e na difusão do assunto de forma isenta e desinteressada; por parte dos órgãos responsáveis pela coleta de lixo, que podem implementar a coleta seletiva, aumentando a qualidade e quantidade dos insumos secundários ofertados e também pela indústria, que pode investir em tecnologias e processos industriais que maximizem o uso dos materiais reciclados, aumentando com isto a demanda por este tipo especial de insumo.

¹⁴ Argumenta-se que o custo operacional da coleta seletiva de lixo seria maior do que o da coleta convencional. Entretanto, segundo Oliveira (1999), para efeito de comparação entre estes dois tipos de coleta de lixo, não podem ser desprezados os custos externos associados à poluição do ar, da água e do solo causada pela disposição dos resíduos em aterros e “lixões”. Estes custos podem, segundo este autor, ser significativamente reduzidos através da reciclagem, e a internalização destes custos evidenciaria uma significativa vantagem da coleta seletiva vis-à-vis a coleta convencional.

VIII - Referências Bibliográficas

CALDERONI, S. (1997) *Os Bilhões Perdidos no Lixo*, Humanitas, São Paulo.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (1986), *Manual do Gás Natural*, Coleção José Ermírio de Moraes, COASE.

ELETROBRÁS (1991) *Cadernos do Plano 2015 - Anais dos Seminários Temáticos: Utilização de Termelétricidade*, Volume 4, Rio de Janeiro.

_____ (1998) *Plano Decenal de Expansão 1998/2007 – Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos*.

LA ROVERE, E. L. (1999) *Política Ambiental e Planejamento Energético*; PPE/COPPE/UFRJ; mimeo.

_____ (1996) *Energia e Meio Ambiente*: in Margulis, S. Meio Ambiente – Aspectos Técnicos e Econômicos, IPEA, Brasília.

_____ (1986) *Um enfoque alternativo para o Planejamento Energético*, Revista ABG, São Paulo, nº 5, junho, p. 28-32.

LA ROVERE, E. L. & AMERICANO, B.B. (1998) *Environmental Impacts of Privatizing the Brazilian Power Sector*; PPE/COPPE/UFRJ; mimeo.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1998) *Balanço Energético Nacional*

OLIVEIRA, L.B. (1999) *Internalizações da coleta seletiva*. PPE/COPPE/UFRJ, mimeo.

OLIVEIRA, L.B, PEREIRA, A.S. e REIS, M.M. (1999) *Reciclagem e Utilização do Gás do Lixo e as Emissões Evitadas de GEE*, mimeo.

PEREIRA, A. S. (1999a) *Aspectos Técnicos (e Econômicos) da Cadeia de Gás Natural Liquefeito*, PPE/COPPE/UFRJ, mimeo.

_____ (1999b) *Geração Termelétrica a Gás Natural: Algumas Considerações Técnicas, Econômicas e Ambientais* PPE/COPPE/UFRJ, mimeo.

_____ (1999c) *Aspectos Econômicos (e Políticos) do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*, PPE/COPPE/UFRJ, mimeo.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (1992) *Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, Texto integral, Genebra.

POOLE, A.D, HOLLANDA, J.B & TOLMASQUIM, M.T. (1998) *Conservação de Energia e Emissões de Gases do Efeito Estufa no Brasil*; Instituto Nacional de Eficiência Energética.

REIS, M. M (1999) – *O Efeito Estufa, a Economia e os Custos de Abatimento* – COPPE/UFRJ - mimeo

VOIGT, N. et Alli (1999) *Poluição Causada por Aterros Sanitários – Estudo de Caso do Aterro Metropolitano de Gramacho*, PPE/COPPE/UFRJ, mimeo.