

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E
ABATIMENTO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Luciano Basto Oliveira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO
ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

Prof. Lucio Guido Tapia Carpio, D.Sc.

Prof. Sabetai Calderoni, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2000

OLIVEIRA, LUCIANO BASTO

Aproveitamento energético de
resíduos sólidos urbanos e
abatimento de emissões de gases do
efeito estufa [Rio de Janeiro] 2000

VII, 136 p. 29,7 cm

(COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento
Energético, 2000)

Tese – Universidade Federal do
Rio de Janeiro, COPPE

1. Aproveitamento Energético de
Resíduos;

2. Abatimento de Gases de
Efeito Estufa;

3. Internalização de Custos

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

DEDICATÓRIA

Àqueles que se
dedicam a combater o
desperdício, em todas suas
formas de existir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, por sua fundamental participação cotidiana.

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro que viabilizou a realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Luiz Pinguelli Rosa pela valiosa orientação.

Agradeço ao Professor Lucio Guido Tapia Carpio por sua atenção.

Agradeço a todos os Professores do Programa de Planejamento Energético, pela oportunidade de continuar este trabalho.

Agradeço aos ilustres componentes da Banca de Avaliação externos à UFRJ, por terem aceito participar desta importante etapa de minha formação.

Agradeço aos demais Professores da COPPE/UFRJ e de outras Instituições, que auxiliaram neste projeto.

Agradeço aos colegas do Programa de Planejamento Energético e do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, pelas discussões técnicas e filosóficas e pelos momentos de lazer que facilitaram esta caminhada.

Agradeço aos funcionários da COPPE/UFRJ pela qualidade dos serviços prestados.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E
ABATIMENTO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Luciano Basto Oliveira

Setembro/2000

Orientador: Luiz Pinguelli Rosa

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho mostra que os problemas ambientais dos resíduos sólidos urbanos podem ser transformados em solução do déficit de energia com abatimento de gases do efeito estufa e geração de empregos. Para isto é necessário que seja usado o sistema de coleta seletiva, cuja viabilidade econômica foi comprovada através da metodologia de internalização de custos, que contabiliza os impactos indiretos de cada atividade. O potencial anual encontrado de 50 TWh de energia elétrica, 10 milhões de toneladas de carbono equivalente evitadas em gases de efeito estufa e faturamento de R\$ 9,5 bilhões fez com que o custo da coleta seletiva represente aproximadamente a metade do custo da coleta tradicional.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

ENERGETICAL UTILIZATION OF URBAN SOLID WASTE AND ABATEMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Luciano Basto Oliveira

September/2000

Advisor: Luiz Pinguelli Rosa

Department: Energetic Plainning

This work shows which the environmental impacts of urban solid waste can be converted in energy deficit solutions with abatement of greenhouse gas emission and job creation. The curbside process is necessary for this goal, using costs internalization to prove the economic viability, which input in operational costs the indirect impacts of each activity. The annual potential founded was 50 TWh of electric energy, avoided 10 millions of tons of equivalent carbon in greenhouse gas and US\$ 5 billions of revenue, does that the cost of curbside system roughly means the half of the traditional collect costs.

ÍNDICE:

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	4
1.1 CONCEITO DE RESÍDUO	4
1.2 AS ROTAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	5
1.2.1 FORMAS DE ACONDICIONAMENTO	9
1.3 POTENCIAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	11
1.3.1 ECONOMIA DE MATÉRIA-PRIMA	13
1.3.2 ECONOMIA DE ENERGIA	15
A) CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	18
B) GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	20
1.3.3 A ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	27
1.4 DESENVOLVIMENTO SÓCIO-ECONÔMICO	28
1.5 EXPERIÊNCIAS DE GERENCIAMENTO INTEGRADO	29
1.5.1 INTERNACIONAIS	29
1.5.2 NACIONAIS	34
CAPÍTULO II - O EFEITO ESTUFA ANTROPOGÊNICO	49
2.1 CONVENÇÃO DO CLIMA	52
2.2 AS EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	54
2.3 LIMITAÇÕES DESTA ANÁLISE	66
CAPÍTULO III - CUSTOS EXTERNOS DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	67
3.1 VANTAGENS DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RSUs	68
3.2 DIREITOS DE PROPRIEDADE	69
3.3 INTERNALIZAÇÕES E EXTERNALIDADES	70
3.4 COMPARAÇÕES COM CUSTOS OPERACIONAIS	76
3.5 DISCUSSÃO SOBRE CUSTOS OPERACIONAIS	77
CAPÍTULO IV - ESTUDO DE CASO SOBRE O PRO-LIXO	83
4.1 O PRO-LIXO COMO PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	86
4.1.1 ALGUMAS CRÍTICAS À CONCEPÇÃO DO PRO-LIXO	87
4.2 DISCUSSÃO ENTRE COMPOSTAGEM E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	89
4.3 MODELO DE LOCALIZAÇÃO	93
4.3.1 METODOLOGIA	94
4.3.2 APLICAÇÃO	97
4.3.3 PRIMEIRA FASE	100
4.3.4 SEGUNDA FASE	107
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS	132

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) caracterizam-se como uma consequência do atual padrão de consumo – talvez o mais negativo, devido a todos seus efeitos perniciosos. Entretanto, também estes efeitos podem ser atenuados caso seja modificada a destinação pós-consumo dos RSU, em virtude do seu potencial de aproveitamento como matéria-prima para reciclagem e/ou para gerar energia. Neste caso pode haver desdobramento multi-setorial, uma vez que este aproveitamento atende a requisitos de crescimento econômico sem agredir à sociedade, que caracterizam o Desenvolvimento Sustentável.

Os diversos ganhos que podem ser acarretados pelo aproveitamento de resíduos já configuram um consenso internacional entre especialistas. Estes benefícios envolvem por um, lado a economia de energia e por outro lado a geração de energia¹, redução do consumo de matéria-prima, aumento da vida útil dos depósitos de resíduos e a diminuição de custos ambientais – dentre os quais cabe ressaltar a poluição global referente às emissões de gases do efeito estufa. Ademais, há um potencial de geração de empregos para pessoas pouco qualificadas, em atividades relacionadas ao aproveitamento dos resíduos nas cidades, onde o desemprego e a pobreza são graves e contribuem para o aumento da violência e dos conseqüentes gastos públicos com segurança.

O conhecimento e valoração destas “externalidades”²– definidas no vocabulário econômico – é fundamental para internalizá-las nos custos, com vistas a encontrar os **custos operacionais reais**, tanto da forma tradicional, em que o material coletado é encaminhado para os depósitos de lixo – quando existem –, quanto na forma de um

¹ Há solicitação, aprovada pela ANEEL desde 1999, para construção de uma usina termelétrica que use lixo na cidade de São Paulo, mas cujas obras ainda não iniciaram.

² As quais tendem a ser mais positivas que negativos, na medida em que atenderão às normas técnicas e ao bom senso.

sistema integrado de gestão de resíduos sólidos (SIGRS), a partir do qual os resíduos são convertidos em insumo. A partir disto, torna-se possível decidir com base na comparação dos custos operacionais reais das duas soluções.

O objetivo da tese é identificar o potencial energético dos resíduos sólidos urbanos e seus reflexos sociais e econômicos, em particular a internalização dos custos ambientais, a relação com os problemas atuais do efeito estufa e da geração elétrica. O capítulo I explora a questão dos resíduos sólidos urbanos propriamente ditos, com sua conceituação, as normas que envolvem o manuseio e disposição, as alternativas de destinação final e o aproveitamento energético – cujo potencial, como será visto neste trabalho, chega a 50 TWh anuais –, enfim, o sistema integrado de gestão de resíduos sólidos.

No segundo capítulo são abordados, sucintamente, as causas e conseqüências do efeito estufa, assim como a Convenção do Clima, o Protocolo de Kyoto e os Mecanismos de Flexibilização da Convenção, para fundamentar o estudo sobre as emissões de gases de efeito estufa provenientes dos resíduos sólidos urbanos – que somam 10 milhões de toneladas de carbono equivalente por ano.

Em seguida é desenvolvido um estudo sobre os custos externos envolvidos com o SIGRS. Como a coleta seletiva é requisito para a otimização do aproveitamento energético dos RSUs e, mesmo assim, as discussões sobre o tema versam sobre seu custo operacional ser maior que o custo operacional da coleta tradicional – sendo divulgada como média o fator de oito vezes e meia –, foi desenvolvida metodologia de internalização dos custos externos, com vistas a normalizar a discussão sobre custos entre opções tão diferentes. Para tanto, foram identificados os benefícios que a coleta seletiva pode proporcionar e os desperdícios oriundos do sistema tradicional, dos quais foram selecionados os itens que já dispunham de mensuração do potencial de conservação e geração de energia. É também considerado no estudo o potencial de captação de recursos internacionais para o abatimento de emissões de gases do

efeito estufa. Estes itens quantificáveis foram internalizados nos custos operacionais da coleta tradicional para comparação com a alternativa de coleta seletiva, cujo custo operacional é discutido ao final. Mesmo que esta escolha ainda subestime a realidade, os custos da coleta tradicional encontrados com a internalização acima ultrapassaram o dobro dos custos operacionais da coleta seletiva.

Por fim foi elaborado estudo de caso sobre a viabilidade do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, com base em programa do governo do estado do Rio de Janeiro, PRO-LIXO. Este estudo subdivide o programa, analisando separadamente a coleta seletiva e reciclagem de papéis, plásticos, vidros e metais – para o que calcula-se taxa interna de retorno – e a utilização dos restos alimentares, para o que propõe a criação de aterros energéticos consorciados, identificando-se suas localizações e potências para geração elétrica, ao contrário da opção do PRO-LIXO de apenas fazer a compostagem do lixo.

CAPÍTULO I

1. OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

1.1. CONCEITO DE RESÍDUO:

O termo resíduo engloba os diversos objetos utilizados pelo homem que tenham perdido sua utilidade para cumprir o fim a que foram destinados inicialmente (VOIGT et al., 1999) - diferentemente do significado usual de lixo como sujeira ou “aquilo que se varre para tornar limpa uma casa, rua, jardim, etc; varredura; imundice, sujeira; escória, ralé” (Michaelis, 1998). Entretanto, a reutilização de resíduos, que se pode efetivar de várias formas (reciclagem, recuperação do biogás, compostagem, reutilização direta) é importante quanto aos aspectos ambientais, sanitários, sociais, energéticos e econômicos, aproximando-se da visão de que resíduo pode significar matéria-prima fora do lugar ou dinheiro jogado fora.

Formalmente, os resíduos podem ser classificados segundo sua origem, ou segundo suas modalidades físicas, como a seguir:

- Quanto à sua origem:
 - a) resíduos urbanos – provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares.
 - b) resíduos industriais – gerados pelos processos de transformação.
 - c) resíduos agrícolas. – decorrentes da atividade produtiva do setor primário.

- Quanto às suas qualidades físicas:
 - a) materiais inertes - vidros, metais, terras e cinzas e restos inertes
 - b) materiais combustíveis, como papéis, cartões, plásticos, madeira, gomas, couro, alimentos e outros.

Os resíduos tratados neste trabalho, definidos como sólidos pela Norma Brasileira 10.004, são aqueles:

“(...) resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 1987).

Apesar desta definição ser, segundo Teixeira et al. (1997), muito ampla, é a oficial e servirá como base a este estudo.

1.2 AS ROTAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS:

As rotas de destinação e disposição final dos resíduos sólidos urbanos podem ser hierarquizadas. Quando esta hierarquia está baseada no critério de resíduo final mínimo, é conhecida como Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS). Para o SIGRS, as rotas devem ser priorizadas na seguinte ordem: redução da geração de lixo na fonte, reutilização do material produzido, reciclagem, recuperação de energia e aterro sanitário. (SERÔA DA MOTTA e CHERMONT, 1996)

Em virtude das indispensáveis e profundas mudanças necessárias – envolvendo o comportamento da população e os interesses dos setores econômicos –, os dois primeiros estágios do SIGRS serão considerados como metas futuras. Isto deve-se ao fato de que a Redução na Fonte e o Reaproveitamento, apesar de serem as práticas mais convenientes, do ponto de vista ambiental e, portanto, socio-econômico,

requererem grande investimento em conscientização e reestruturação do sistema. Têm sido fomentadas nos EUA (USEPA, 1998) iniciativas para redução de peso nas embalagens, sem mudanças qualitativas no conceito de descartável, permitindo o incremento no uso de materiais leves e ambientalmente danosos, como o plástico. Como prova de que o atual modelo de desenvolvimento não favorece este tipo de mudança, pode ser citada a obsolescência planejada, voltada para o consumismo e seus inseparáveis mecanismos de realimentação, as montanhas de lixo assimiladas como “preço” da atividade econômica e a contabilização do extrativismo como importante setor para o cálculo do PIB, estratégias que serão prejudicadas por estas alternativas.

Os resíduos sólidos oriundos dos setores industrial, comercial e residencial, após recolhidos, passam por um sistema de gerenciamento que identifica sua destinação, em função de algumas características. Esta destinação pode ser para a reciclagem³, para a compostagem ou para a geração de energia – a partir da queima, da gaseificação direta, da produção de celulignina ou através do biogás (GDL) de um aterro energético – ou, ainda, para um aterro sanitário, de acordo com as três fases finais do SIGRS, como mostram o quadro 1 e a figura 1.

³ Cujo desempenho é função da prática de coleta seletiva, podendo saltar do potencial atual de 25% para cerca de 85% dos materiais descartados.

QUADRO 1 – Destinações recomendadas pelo SIGRS

DESTINAÇÃO	DESCRIÇÃO
RECICLAGEM	Aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir como insumo na fabricação de novos materiais
COMPOSTAGEM	Aproveitamento dos restos alimentares e componentes orgânicos (papéis, madeira, poda de jardins) para produção de adubo natural
RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	Forma de aproveitar os resíduos e reduzir seus impactos, cujas alternativas serão vistas na seção a respeito
ATERRO SANITÁRIO	Local de disposição final dos resíduos imprestáveis, com garantias sanitárias

Fonte: USEPA (1998).

É importante ressaltar que a figura 1 não especifica se teve, ou não, incorporada a coleta seletiva. Caso não tenha, será necessária uma etapa de catação após a coleta.

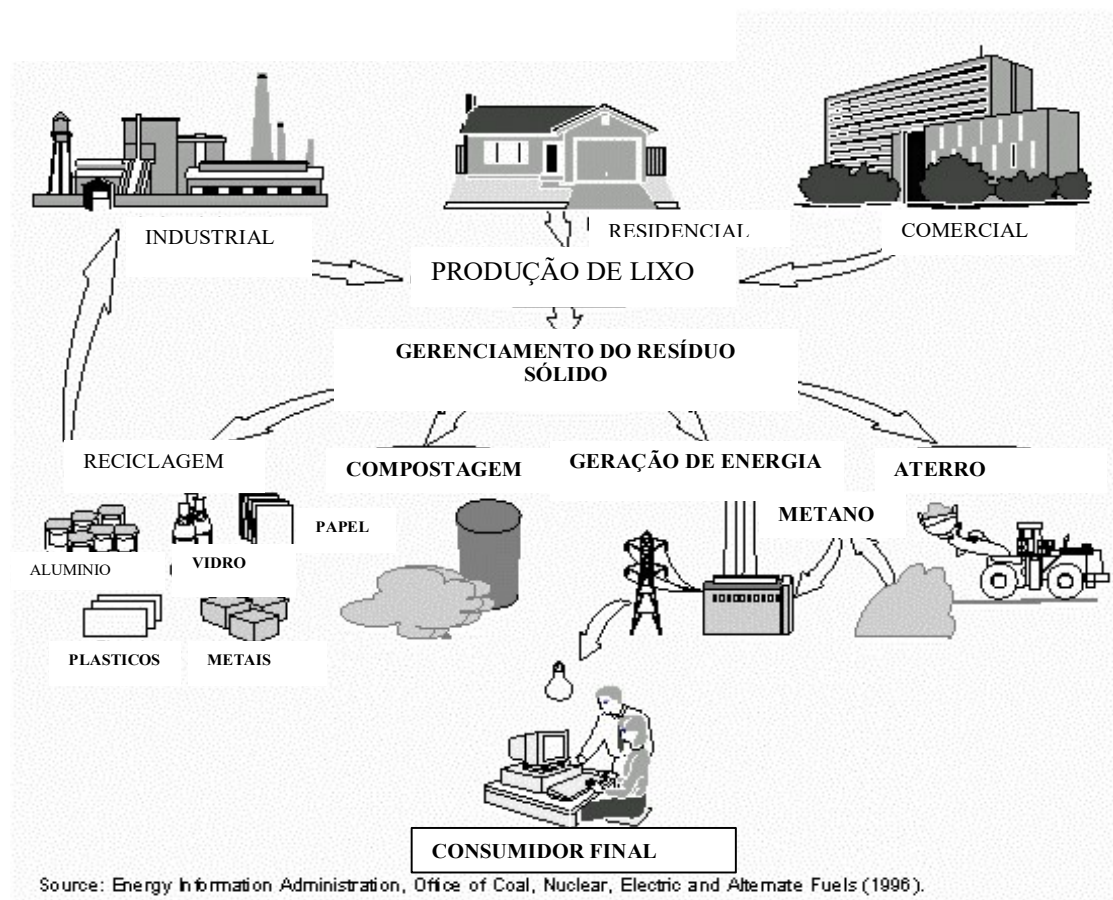


Figura 1 – As Rotas dos Resíduos Sólidos

A reciclagem da fração seca – vidros, papéis, plásticos e metais – não exclui as demais etapas – compostagem ou recuperação energética e disposição final. Isto tornou-se possível para a parte úmida, pois atualmente a compostagem e a recuperação energética já são consorciáveis, permitindo aproveitar a redução de disponibilidade de áreas para armazenar resíduos e o incremento exponencial do mercado de agricultura orgânica (SCHARF, 1998a), além do déficit de energia no país. As pesquisas sobre tecnologias desenvolvidas na França e na Bélgica, que compatibilizaram as rotas (PENIDO, 2000) já estão em operação na Europa (DE BAERE, 1999).

1.2.1. FORMAS DE ACONDICIONAMENTO

A ABNT dispõe de normas sobre critérios para acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos, as quais, a partir de suas características, tratam dos recipientes a serem usados – como sua resistência e coloração (NBR 10.004) –, além de normas para caracterizar sua periculosidade e tipo de destinação (NBR 10.703). Apesar disto, quanto à seleção prévia visando otimizar o aproveitamento não há normas, mas existem duas formas de acondicionamento dos resíduos por parte de seus produtores, a tradicional e a seletiva.

Na forma tradicional, o fato de ser utilizado um único recipiente para o depósito dos resíduos facilita a coleta, mas, ao homogeneizá-los reduz significativamente o potencial de aproveitamento. Como exemplo tem-se o caso do papel que, misturado e contaminado, requer uma usina de triagem para o mínimo beneficiamento, ou, ainda, os restos alimentares, que mesmo encaminhados à compostagem não se prestam ao uso em agricultura, em decorrência dos metais pesados que vazam de pilhas e baterias, ou mesmo da presença de agulhas que podem passar pelas peneiras de separação de contaminantes com facilidade, causando riscos aos agricultores e consumidores. Neste caso deve-se considerar a hipótese, ainda que menos provável, de ser vencido o obstáculo da necessidade de conquistar mercado para escoamento da produção deste adubo, operação normalmente inviável em função do baixo valor do produto face ao custo do frete do transporte entre os produtores (centros urbanos) e os consumidores (áreas rurais).

A outra forma de acondicionamento é conhecida como seletiva, cujo diferencial com relação à anterior é a disposição de resíduos em recipientes separados, no ato de sua produção – ação também conhecida como segregação na fonte. Estes resíduos

podem dispor de dois⁴ ou mais recipientes para depositá-los, de acordo com o grau de seleção pretendido.

O potencial de aproveitamento da coleta seletiva é próximo da massa do material produzido⁵, apesar de requerer mais um recipiente, ao menos, em todos os locais de produção de resíduos, o que envolve custos individuais, bem como a mudança de hábito da população. Isto requer investimento em propaganda, normalmente muito elevado⁶ –, bem como certo incremento no custo de transportes e na disponibilização de área para as Centrais de Triagem⁷. Assim, a coleta seletiva aumenta a vida útil dos locais usados para aterros sanitários (quando já atingiram este nível de controle, ou dos locais usados como “lixões”, ampla maioria na realidade brasileira), bem como o custo pós-coleta por material recuperado.

Com isso, inicia-se um círculo virtuoso capaz de modificar a realidade em pouco tempo, uma vez que a poluição transforma-se em insumo produtivo, sustentável através de uma simples distinção entre resíduos secos e úmidos. Daí eleva-se a oferta de matéria-prima secundária de boa qualidade, propiciando o aumento da reciclagem e a conseqüente conservação dos recursos naturais, através de duas vertentes: a conservação de energia e a redução de uso de recursos naturais. A conservação pode ser obtida pela redução de consumo energético decorrente da menor exigência característica destes insumos (ver próxima seção), ou em virtude da redução das distâncias entre o fornecedor de insumo e o consumidor, enquanto a redução do uso de recursos naturais decorre da própria diminuição de extração dos recursos naturais (e aumento da vida útil das reservas), de uso de água e dos reservatórios naturais – corpos d’água, atmosfera, solo – para onde os poluentes são direcionados.

⁴ Um para papéis, plásticos, vidros, metais, pilhas e baterias e outro para restos alimentares.

⁵ Do que deve-se descontar os papéis sanitários, os livros e embalagens que ficam em estoque.

⁶ Os espaços para veiculação na mídia podem ser gratuitos, desde que solicitados como serviços comunitários (Cunha, 2000).

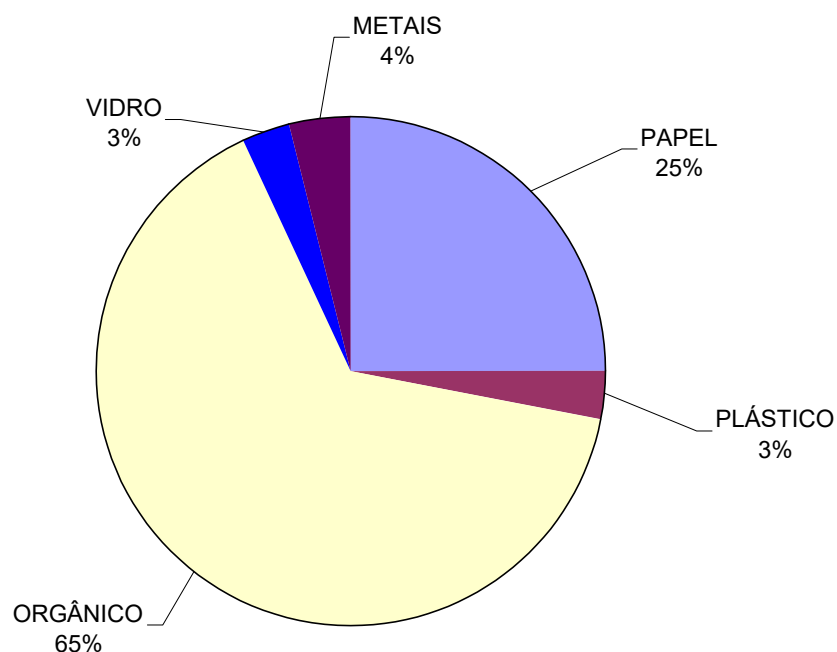
1.3 POTENCIAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRASILEIROS:

Para melhor compreensão do potencial de (re)aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos é fundamental conhecer sua composição, qualidade e quantidade coletada e disposta de forma correta, alternativas de uso e benefícios diretos e indiretos possíveis. A figura 2 mostra a composição média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, enquanto a primeira – e única até o momento – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE,1989), informa que 85% do total de lixo gerado no país era coletado, sendo que apenas 10% do material coletado tinha destinação apropriada.

Esta situação de descaso, apesar de lastimável em virtude de todos os custos sanitários e sociais – discriminados no capítulo 3 –, permite ao país vencer etapas e ir diretamente para o estágio de aproveitamento dos resíduos, aplicando técnicas disponíveis, sem precisar passar por todas as etapas de desenvolvimento – estratégia conhecida como “pulo do sapo” ou “efeito túnel” –. Assim, o Brasil estará se aproximando do cenário de referência internacional dos próximos 20 anos, o qual requer o uso máximo dos recicláveis e da biomassa – conforme recomendações e do IPCC e do Banco Mundial, que inclusive estão disponibilizando recursos para estas áreas – e, acarretando melhoria das condições de higiene da população – externalidade positiva da destinação mais condescendente de seus resíduos – e o irreversível combate ao desperdício no consumo de matéria-prima, refletindo no aumento da vida útil das reservas extrativistas⁸ e dos aterros, além de reduzir o consumo energético e as emissões de GEE.

⁷ Diferentes daquelas que atendem ao sistema atual, pois os recicláveis chegarão com um nível de separação muito maior, inclusive sem restos alimentares.

⁸ O que requer um aprimoramento da metodologia do PIB Verde, de forma que o cálculo do PIB não seja reduzido.



FONTE: IPT/CEMPRE, 1997

FIGURA 2 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL MÉDIA DO LIXO BRASILEIRO
EM PESO

A convergência de diversos fatores poderá aumentar o nível de atendimento de serviços de infra-estrutura para a população, sobretudo para aquelas classes sociais nas quais está concentrada a demanda reprimida, “pavimentando” o acesso ao desenvolvimento sócio-econômico, uma vez que implantar este modelo gera oportunidades de trabalho nas comunidades produtoras de lixo, as concentrações urbanas, onde incide o desemprego e seu desdobramento, a violência. Estes fatores são: a desaceleração do consumo energético devida à conservação possível pelo consumo de insumos industriais menos energívoros – os recicláveis – e o melhor uso das fontes renováveis de energia – como a geração termelétrica através dos gases emitidos pela fermentação anaeróbica dos resíduos ou da celulignina catalítica

produzida pela tecnologia BEM –, mesmo que os prazos de conclusão das termelétricas em construção não sejam cumpridos.

1.3.1 ECONOMIA DE MATÉRIA-PRIMA

Quando são utilizados materiais secundários – provenientes de coleta seletiva – como insumo na produção industrial, aquela atividade econômica preserva a matéria-prima natural, ampliando a vida útil de suas reservas (quando finitas) ou reduzindo o custo com seu manejo (quando renováveis).

O potencial brasileiro é significativo nesse sentido, pois os relatórios dos principais setores produtivos revelam baixo índice de reciclagem, menos de 30% – com exceção das latas de alumínio, que requerem uma discussão à parte –, o que pode servir como sinalização de que há muito a expandir nesse sentido. Com base em CALDERONI (1997), o valor monetário alcança os R\$ 3,4 bilhões/ano, referindo-se à redução de extração da bauxita para latas de alumínio; barrilha, areia, feldspato e calcário para o vidro; madeira e produtos químicos para o papel; resinas termoplásticas para o plástico; e ferro-gusa para a lata de aço, cujos cálculos podem ser acompanhados na tabela 1.

TABELA 1 – ECONOMIA DE MATÉRIA-PRIMA PERDIDA NO BRASIL EM 1996

RECICLÁVEIS	PRODUÇÃO (Mil Ton/ano)	ÍNDICE DE RECICLAGEM (%)	CUSTO POR TONELADA (R\$/Ton)	ECONOMIA PERDIDA (R\$ mil)
LATA DE ALUMÍNIO	66	70,00	12,00	1.188
VIDRO	800	35,09	97,42	50.590
PAPEL	5.798	31,70	184,22	729.514
PLÁSTICO	2.250	12,00	1.310,00	2.593.800
LATA DE AÇO	600	18,00	122,00	60.024
TOTAL	9.514			3.465.116

Fonte: Calderoni, 1997.

O processo de reciclagem é, também, menos intensivo em recursos naturais que a produção com base nos recursos virgens, uma vez que a extração polui em decorrência de sua baixa eficiência, obtendo, normalmente, uma pequena parte do total do material disponibilizado, ao contrário da matéria-prima secundária, cujo refugo é muito pequeno. Apesar de poucas informações sobre os custos ambientais, a diferença no consumo de água e de emissão de poluentes que pode ser notada no trabalho de CALDERONI (1997), contabiliza cerca de R\$ 480 milhões anuais de economia possível.

1.3.2. ECONOMIA DE ENERGIA:

É possível economizar energia com o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. As duas principais formas são a Conservação de Energia – decorrente da redução do consumo, da reutilização ou do uso de materiais recicláveis no processo de produção, deslocando materiais que tornam os processos energo-intensivos – e a Geração Elétrica – através de várias rotas, dentre as quais a queima do biogás recuperado dos depósitos de lixo, a combustão de celulignina catalítica, a incineração ou a gaseificação.

O potencial teórico de energia disponível chega a 15% da oferta atual (50 TWh), valor muito importante, pois soma significativa parte do plano de expansão, o qual passaria a utilizar combustível nacional, com custo baixo e em moeda corrente. É fundamental notar que parte disto pode ser apropriado imediatamente, graças à conservação ser vinculada a capacidade de absorção instantânea, pela indústria, dos recicláveis – menos energo-intensivos que seus concorrentes insumos virgens. Já a parte referente à geração de energia elétrica vinculada aos resíduos urbanos demandará um prazo mais longo, devido à aquisição e instalação dos equipamentos necessários, os quais permitirão a obtenção dos benefícios da geração descentralizada, fruto da redução das distâncias para transmissão e suas perdas, decorrente dos resíduos (e as usinas que o consumirão), via de regra, estarem próximos aos consumidores, o que aumenta a confiabilidade.

Estas formas de expansão da oferta de energia podem ser avaliadas, comparativamente, utilizando-se dois índices que norteiam os investimentos do setor elétrico nacional, o custo marginal de expansão e o risco de déficit. Aquele diz respeito ao custo estimado do aumento na oferta de uma unidade de eletricidade, atualmente na faixa de US\$ 84/MWh, enquanto este relaciona-se à probabilidade de faltar energia subitamente e está vinculado às perdas que isto poderia causar, cuja relação atual do

risco de déficit oficial está entre 10 e 15% e o custo envolvido é de US\$ 997/MWh. (ELETROBRAS, 2000).

Estes valores indicam que os empreendimentos com custo marginal de expansão menor que o custo médio do setor seriam vantajosos para o sistema e para os investidores. Como as usinas que utilizam resíduos como combustível não tem sido muito utilizadas, em virtude de diversos fatores, e a conservação possível se dará sobre energia já gerada, o cálculo da receita possível através da comercialização da energia disponibilizada pelo aproveitamento energético dos RSUs utilizou os valores normativos da ANEEL, sendo o de biomassa (R\$ 80,80/MWh) para geração e o de usina competitiva (R\$ 57,20/MWh) para conservação.

A figura 3, abaixo, mostra as rotas energéticas possíveis pelos resíduos sólidos urbanos, as quais serão detalhadas a seguir.

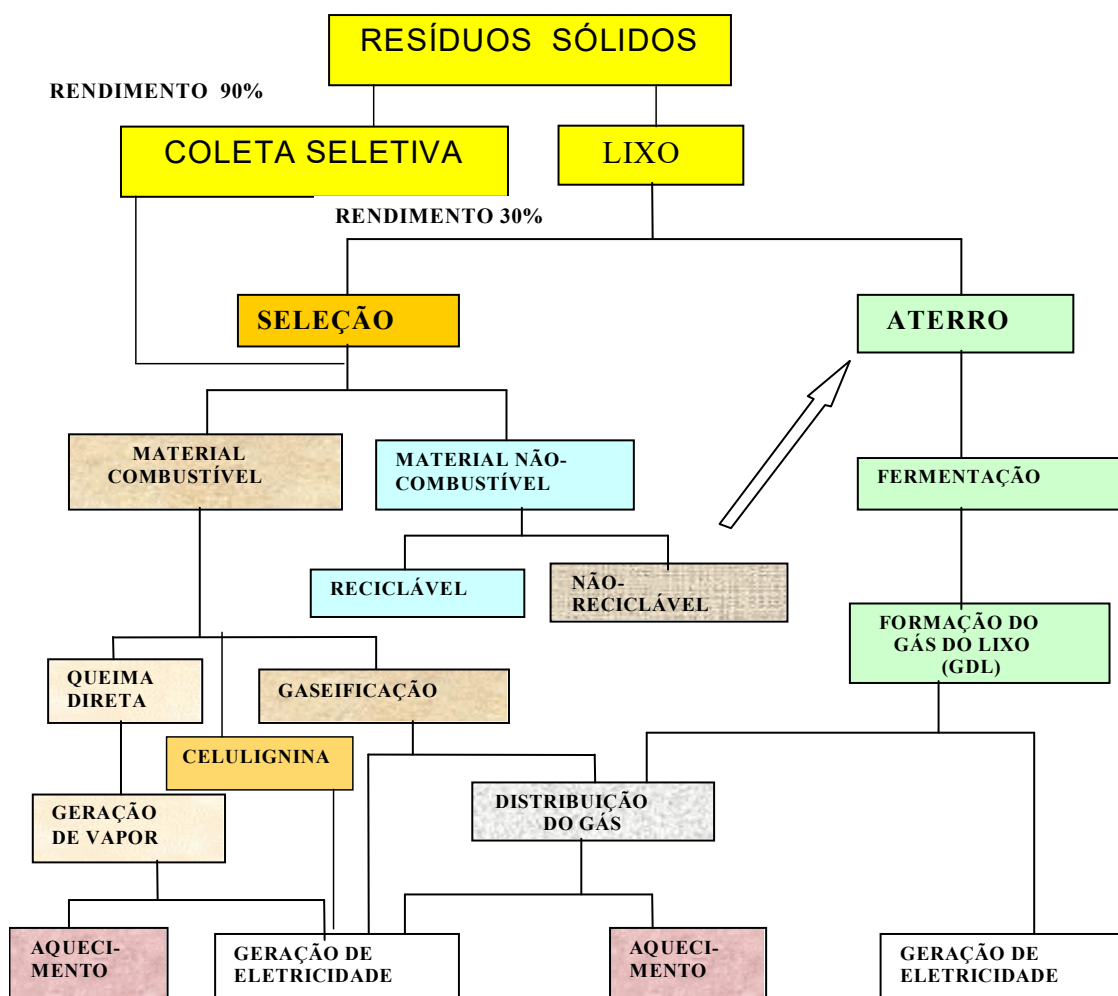


Figura 3 – Rotas Energéticas dos Resíduos Sólidos Urbanos

A).CONSERVAÇÃO:

A reciclagem usa os resíduos como insumos e, face a seu baixo consumo energético em comparação ao insumo virgem, contabilizado com base na análise de ciclo de vida, viabiliza a conservação de energia. Esta atividade econômica data da década de 1950, no Brasil, quando difundiu-se através dos “garrafeiros” e “papeleiros”, comerciantes que recolhiam estes materiais pela cidade, atualmente conhecidos como aparistas ou sucateiros.

A conservação de energia revela que é possível uma redução no vínculo atual entre consumo de energia e crescimento econômico, negando a idéia de que o crescimento da oferta de energia seja condição *sine qua non* para o crescimento econômico. Sendo assim, os países do Terceiro Mundo poderiam queimar etapas em seu desenvolvimento, sem repetir os padrões de consumo energético do Norte e, mesmo assim, viabilizar seu tão necessário desenvolvimento.

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 crescimento da oferta de energia. A redução do seu uso final – direto ou indireto – principalmente através de programas de conservação, desempenha importante papel neste sentido. (PINGUELLI ROSA, 1999)

Então, 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. De fato, “o mais interessante é que se pode economizar muita eletricidade a um custo menor do que o necessário para gerar, transmitir e distribuir a mesma quantidade de energia elétrica.” (LA ROVERE, 1999).

Outras duas questões importantes relacionam-se à conservação de energia: sua utilização de forma mais eficiente – a qual 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), uma vez que realizada em grande escala, a conservação de energia pode vir a representar cerca de 9% da oferta atual, como mostra a tabela 2 – e o potencial de redução de impactos sobre o meio ambiente causados pela produção e uso de energia, sendo “a única ‘fonte’ de energia que não gera, de modo geral, impactos ambientais negativos...” (idem).

TABELA 2 – Potencial de Conservação de Energia Elétrica usando RSU no Brasil 1996

MATERIAL	PRODUÇÃO NÃO RECICLADA (MIL TON/ANO)	ENERGIA ECONOMIZADA TONELADA DE (MWh/TON)	ELÉTRICA POR PROUTO	ENERGIA ELÉTRICA ECONOMIZADA TOTAL (GWh/ANO)
METAL	546	5,3		2.893
VIDRO	550	0,64		352
PAPEL	3.942	3,51		13.836
PLÁSTICO	1.980	5,06		10.018
TOTAL	7.018	-		27.101

Fonte: Calderoni, 1997.

Portanto, a conservação de energia é importante: i) para melhorar o desempenho e a produtividade econômica das empresas e do país; e ii) para minimizar os impactos ambientais extremamente perniciosos relacionados a geração e uso da energia. Existem diversas experiências que merecem ser destacadas, a maioria em desenvolvimento – apesar de nem todas serem viáveis – e algumas que, apesar de viáveis, não conseguiram vencer barreiras construídas pela administração pública, como pode ser visto na seção sobre experiências nacionais e estrangeiras.

B). A GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO LIXO:

Apesar da geração de energia através dos resíduos sólidos urbanos ainda ser muito pouco utilizada, a continuidade das pesquisas visando aumentar sua eficiência tem permitido significativos avanços, como demonstram algumas publicações recentes (PINATTI et al, 1999), (MOREIRA et al, 1997) e (NOGUEIRA e WALTER, 1997).

Dentre as rotas para aproveitamento energético do lixo, estão a utilização do poder calorífico deste através da queima direta⁹ ou da gaseificação; o aproveitamento calorífico do biogás ou GDL, que é produzido lentamente a partir do lixo orgânico disposto em um aterro energético; ou a produção de um combustível sólido a partir dos restos alimentares, a celulignina, para ser queimada em caldeira e mover turbina a vapor ou em combustor externo e mover turbina a gás – sendo possível o aproveitamento do ciclo combinado.

Em função da indisponibilidade de dados mais recentes e da incompatibilidade entre os dados disponíveis, foi preciso estimar alguns valores. Dentre os dados disponíveis estão: a geração de resíduos sólidos urbanos de 120.000 toneladas diárias (IBGE, 1989), o que leva a 43,8 milhões de toneladas anuais; o desperdício de 7 milhões de toneladas de recicláveis – papéis, plásticos, vidros e metais – (CALDERONI, 1997); e a média nacional de participação de recicláveis nos RSU é de 35% (CEMPRE, 1998). Ao comparar o desperdício com o total de RSUs, a taxa encontrada foi de 16%, menos da metade da taxa do IPT. Quanto à confiabilidade, seria difícil identificar qual o melhor, uma vez que os dados das indústrias tendem a ser maquiados por servirem de base ao recolhimento de impostos, enquanto a informação das Prefeituras podem superestimar a quantidade de resíduos gerados com o intuito de obter maiores recursos públicos. Com vistas a padronizar os cálculos, foi aceita a produção industrial – por ser menor – e a taxa de participação do IPT, a partir do que

⁹ Processo Waste to Energy.

foram obtidos 20 milhões de toneladas anuais de RSU, sendo 13 milhões de toneladas de restos alimentares.

I). INCINERAÇÃO:

A incineração é o aproveitamento do poder calorífico do material combustível presente no lixo através da sua queima para geração de vapor. É aconselhável o uso de resíduos de maior poder calorífico como plásticos, papéis, etc...

Entre as vantagens deste uso podemos citar: i) Resulta em uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica, ii) Necessita de alimentação contínua de resíduos, iii) Relativamente sem ruído e sem odores e iv) Requer pequena área para instalação. Entre as desvantagens temos: i) Inviabilidade com resíduos de menor poder calorífico e com aqueles clorados, ii) Umidade excessiva e resíduos de menor poder calorífico prejudicam a combustão, iii) Necessidade de utilização e equipamento auxiliar para manter a combustão, iv) Metais tóxicos podem ficar concentrados nas cinzas, v) Possibilidade de emissão de dioxinas e furanos, cancerígenos e vi) Altos custos de investimento e de operação e manutenção.

A figura 4 nos mostra uma planta de incineração:

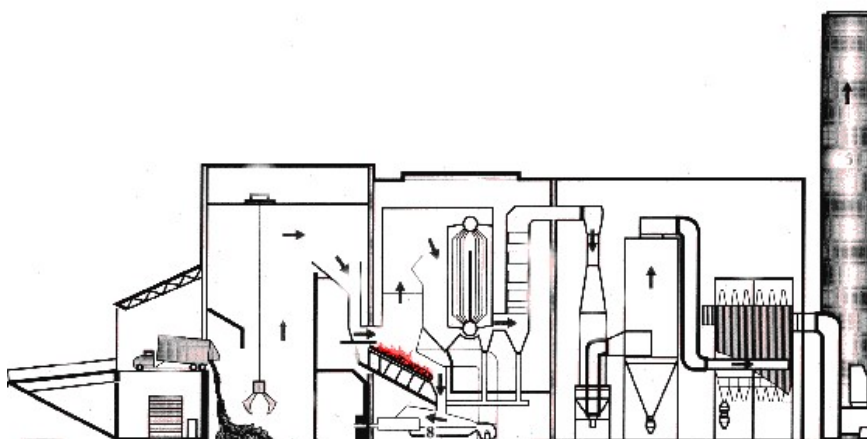


Figura 4 – Planta de Incineração

O potencial de geração de energia elétrica através da incineração leva em consideração a oferta de material, calculada em 13 milhões de toneladas anuais (ver capítulo 2), o poder calorífico do material, estimado em 1.500 kcal/kg (NOGUEIRA e WALTER, 1997), em virtude da presença de umidade. O resultado, 19,5 milhões de kcal/ano é multiplicado pelo fator de conversão para Joule, 4.180 J/kcal, de forma a ser convertido integralmente em Watt-segundo. Dividindo-se este valor, 81.510 Ws por 3.600 segundos, encontra-se a energia disponível, 22,7 TWh, sobre a qual deve ser aplicada a eficiência de conversão deste calor em energia elétrica, considerado como 30%, com o que se obtém 6,8 TWh/ano.

II). GASEIFICAÇÃO:

Na gaseificação é fornecido calor para a desintegração das cadeias poliméricas do material do lixo e são formados gases mais simples como CH_4 , CO , CO_2 , e H_2 , que são coletados e aproveitados. Esta tecnologia ainda não é utilizada comercialmente. O gás fruto desse processo pode ser utilizado diretamente para aquecimento, utilizado para motores a combustão interna ou em turbinas, ou distribuído em gasodutos. A figura 5 nos mostra o exemplo de uma planta de gaseificação.

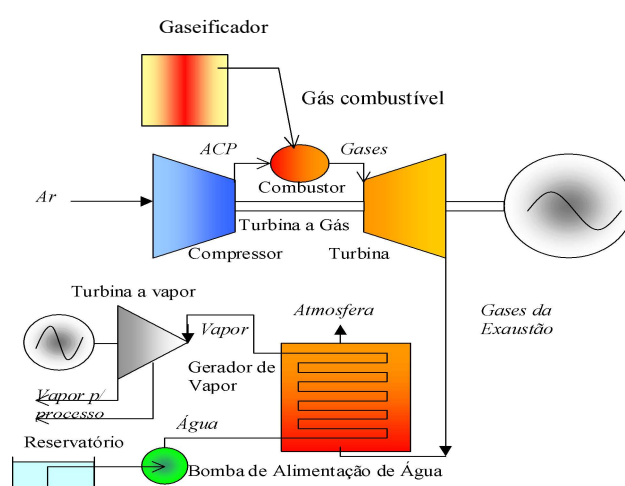


Figura 5 – Planta de Gaseificação

III). UTILIZAÇÃO DO GÁS DO LIXO (GDL):

A utilização do GDL, ou Biogás, é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos, bem como mundialmente o mais utilizado. O GDL é um gás composto em percentual molar de: 40 – 55% de metano, 35 – 50% de dióxido de carbono, e de 0 – 20% de nitrogênio. O poder calorífico do GDL é de 14,9 a 20,5 MJ/m³, ou aproximadamente 5.800 Kcal/m³.

De um modo geral¹⁰ o GDL tem as vantagens de:

- Redução dos gases de efeito estufa;
- Baixo custo para o descarte de lixo;
- Permitir utilização para geração de energia ou como combustível doméstico.

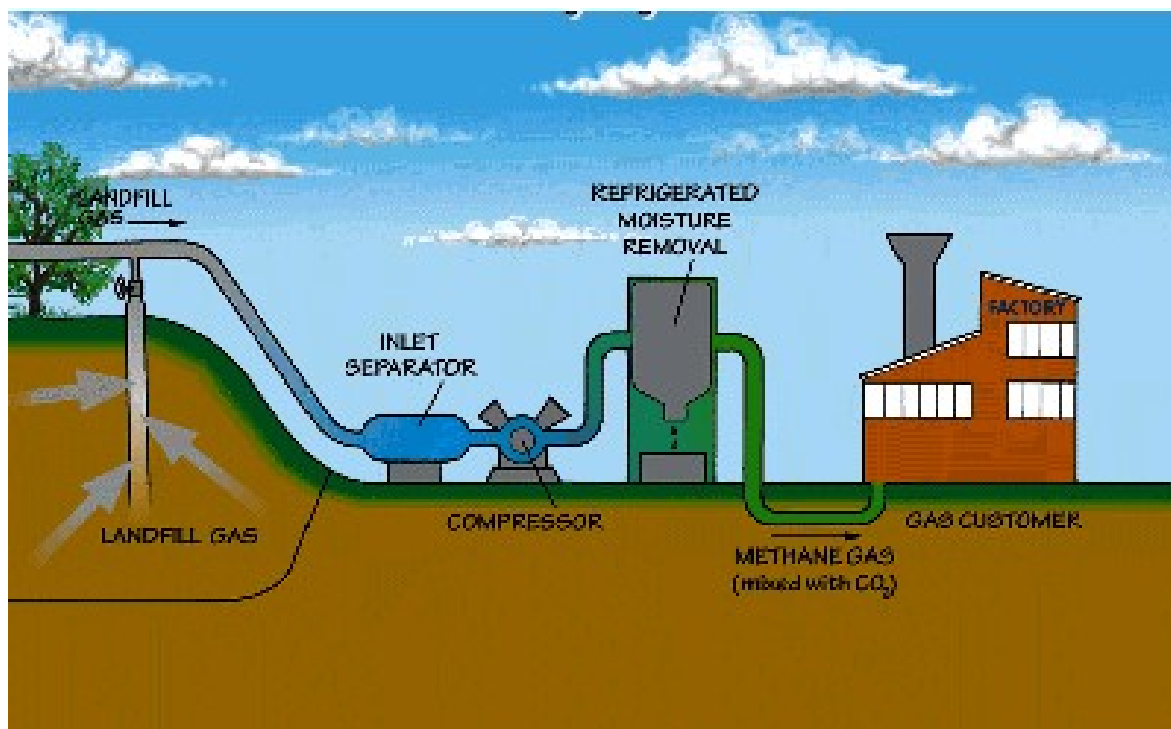
Como desvantagens são citadas:

- A ineficiência no processo de recuperação do gás, que permite um aproveitamento de aproximadamente 50% do total de GDL produzido (correspondente a cerca de 90% do metano);
- A inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos;
- O alto custo para “upgrade” de uma planta;
- Remotas possibilidades de ocorrência de auto ignição e/ou explosão pelas altas concentrações de metano na atmosfera.

É preciso ressaltar que as vantagens acima relacionadas tem impactos maiores que as desvantagens.

A figura 6 mostra uma planta de aproveitamento energético do GDL.

¹⁰ No item 3 estas serão abordadas de forma mais detalhada.



Fonte: Peres, 1999.

Figura 6 – Planta de Aproveitamento Energético do GDL

Seu potencial de geração é decorrente da oferta de gás, da capacidade de recuperação e da eficiência da geração. Segundo a CETESB (1999), a geração de metano em depósitos de RSUs é de 677 Gg, cuja densidade é de $0,716 \text{ kg/m}^3$, o que representa 945 milhões de metros cúbicos por ano. Como o metano representa 55% do volume do biogás, é possível calcular o volume total como vinte e onze avos do metano, o que representa 1.718 milhões de metros cúbicos anuais. Como a recuperação típica é de 90%, estariam disponíveis 1.546 Mm^3 para geração elétrica. Multiplicando este valor pelo poder calorífico do biogás, 5.800 kcal/m^3 e o resultado por 4.180 J/kcal , obtém-se $3748122,4 \times 10^{10}$ Joules. Como cada joule corresponde a 1 Watt-segundo, dividindo este valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o resultado pela eficiência do motor a combustão interna, normalmente usado neste sistema, na faixa de 20%, encontra-se a energia disponível de 2,1 TWh.

A opção pelo GDL face às alternativas de geração elétrica deve-se a seu largo uso internacional, nas mais diversas condições, como no temperado clima da

Inglaterra e no mais aquecido clima da Califórnia. Este método aplicado individualmente compete com a compostagem, processo de produção de adubo orgânico. Entretanto, existe uma tecnologia que consorcia estas duas rotas, a qual será vista no próximo item.

IV) CONSÓRCIO ENTRE COMPOSTAGEM E RECUPERAÇÃO DE METANO – TECNOLOGIA DRANCO

Esta tecnologia tornou-se viável a partir de pesquisas desenvolvidas na França e na Bélgica (PENIDO, 2000) e da redução na presença de pilhas compostas por metais pesados – cujo aproveitamento exigia caro controle de qualidade do adubo –, permitindo aumentar a vida útil das áreas utilizadas para disposição final de resíduos.

Segundo DE BAERE (1999) algumas cidades européias já estão utilizando esta tecnologia, que a cada 250 toneladas diárias de resíduos sólidos urbanos com a composição média brasileira – 35% “recicláveis” e 65% “orgânicos” – consegue gerar 80 toneladas de “recicláveis” e, das 165 toneladas de “orgânico”, 2 MW de energia e 60 toneladas de adubo.

No caso de implantar exclusivamente esta tecnologia em todo o território brasileiro, seria possível gerar, a partir das 13 milhões toneladas anuais de restos orgânicos – 13 milhões de toneladas divididas por (165 t/d x 365 d/a) e multiplicada por 2 MW – algo como 430 MW, que significa cerca de 3 TWh, caso seja considerado fator de capacidade de 80%.

V) A TECNOLOGIA B.E.M.

A tecnologia Biomassa-Energia-Materiais (B.E.M.), totalmente desenvolvida no Brasil (PINATTI et al, 1999), visa fomentar o aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Sua aplicação permite que 70% desta fração seja

transformada em celulignina catalítica, enquanto os demais 30% são convertidos em uma solução de açúcares. A celulignina catalítica é um combustível sólido, com poder calorífico de 4.500 kcal/kg, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica, através do tradicional sistema de queima de biomassa em caldeira para produção de vapor, que movimenta uma turbina, ou através de ciclo combinado, como pesquisa proposta ao CNPq. Já a solução de açúcares tem sua terça parte convertida em furfural – insumo da indústria petroquímica, atualmente importado pelo Brasil ao preço de US\$ 1,500.00 por tonelada –, enquanto o restante produz um fertilizante com alta concentração de potássio e livre de contaminantes, em função do processo dispor de uma fase com temperatura elevada e presença de ácidos, cuja combinação tornou viável aprovação em todos os testes realizados pela CETESB – agência ambiental do estado de São Paulo – para Licenciamento Operacional.

A estratégia desenvolvida pelos detentores das patentes desta tecnologia pode ser classificada como bastante conservadora, na medida em que delineia seu incremento gradual, mas também demonstra sua responsabilidade junto ao consumidor, uma vez que a principal fonte de consumo da celulignina – principal produto do sistema – é a geração elétrica, setor sobre o qual este grupo não detém conhecimento, levando-os a considerar a segurança de parcerias com especialistas nesta atividade, com vistas a não gerarem estoques de celulignina sem escoamento definido – o que acabaria por constituir uma mudança da destinação de resíduos sólidos de vazadouros ou aterros para silos. O investimento necessário para a instalação de uma planta capaz de consumir 300 toneladas diárias de restos alimentares e gerar 24,2 MW elétricos é de US\$21 milhões, o que representa uma taxa interna de retorno de 116%, para 20 anos, no caso do ciclo combinado, enquanto no ciclo simples a TIR atinge cerca de 40% no mesmo período.

O potencial de geração elétrica da tecnologia BEM usando como insumo os resíduos sólidos urbanos é de 20 TWh, que considerando a perda evitada, na média

10%, chega a 22 TWh. Este cálculo deve-se à divisão das 13 milhões de toneladas de restos alimentares em plantas de 109500 toneladas de capacidade anual, cujo resultado dado em quantidade de usinas (119) deve ser multiplicado pela potência de cada usina (24,2 MW), por seu fator de capacidade (80%) e pelo número de horas por ano (8.760), resultando em 20 TWh anuais.

A fim de sintetizar os potenciais de geração de energia elétrica utilizando os resíduos sólidos urbanos, foi elaborada a tabela 3, abaixo:

TABELA 3 – Potencial de Geração de Energia Elétrica usando RSU

	INCINERAÇÃO	GASEIFICAÇÃO	GDL	CONSÓRCIO	B.E.M.
Potencial de Energia (TWh/ano)	6,8	ND	2,1	3	22

Fonte: Elaboração Própria.

1.3.3 ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL

Considerando-se o deslocamento de gás natural decorrente do aproveitamento das fontes renováveis supra-citadas, é possível aumentar a vida útil das reservas que utilizamos, ou direcioná-las para fins mais nobres, como pólos gas-químicos (uma vez que o contrato com a Bolívia prevê o pagamento mesmo que o gás não seja utilizado), o que economizará divisas na aquisição de petróleo importado. O deslocamento do gás natural da geração de energia elétrica pode chegar a ordem de R\$ 0,9 bilhões/ano, considerando que os cerca de 50 TWh obtidos entre conservação e geração viessem a ser gerados com gás natural, de acordo com o planejamento do setor elétrico. Para tanto foi aceito que: o custo do gás natural é de US\$ 2,96/MBTU (PETROBRÁS, 2000), cada BTU representa 252 calorias (BEN, 1999), cada caloria é igual a 4,18 joules (idem), a conversão monetária está na faixa de R\$ 1,80 por dólar

americano e o custo do gás natural refere-se a energia elétrica produzida, o que leva o custo a US\$ 10,12/MWh, que pode ser convertido em R\$ 18,22/MWh.

1.4. DESENVOLVIMENTO SÓCIO-ECONÔMICO

O aproveitamento consorciado dos insumos existentes nos resíduos sólidos urbanos permite o desenvolvimento de Sistemas Integrados de Reaproveitamento de Resíduos Sólidos (SIRRS), que vem a ser módulos de beneficiamento e/ou produção de materiais/produtos que utilizam o GDL ou a Incineração como fonte térmica e/ou energética para beneficiar as matérias-primas recicláveis, de forma a agregar-lhes valor, utilizando mão-de-obra local pouco qualificada.

É fundamental que sua produção seja desenvolvida em função das oportunidades de mercado, cuja abrangência espacial será fruto de análises que incorporarão os diversos aspectos de viabilidade técnica e econômica tradicionalmente usados, além de incorporar os fomentos aos empreendimentos que incentivem reduções nas emissões de gases estufa, utilizem fontes de combustíveis renováveis e desenvolvam o potencial sócio-econômico das populações menos favorecidas.

Há dois bons exemplos a citar: um é o sucesso obtido pelas telhas produzidas com papelão reciclado e banho asfáltico vinculada ao sistema de coleta seletiva de Goiânia, que está permitindo a participação de cidades vizinhas; outra é a proposta de beneficiar as cascas de coco verde coletadas nos quiosques da orla marítima carioca com o gás do lixo do aterro sanitário da Baixada Fluminense, de forma a secá-las com o calor, desfiá-las e prensá-las com a eletricidade produzida pelo GDL, para a produção de briquetes para queima ou coxim (xaxim de coco).

1.5 EXPERIÊNCIAS DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

As experiências com sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (SIGRS) refletem o aumento da disposição a pagar de uma população por este serviço, na medida em que o custo inicial para sua implantação é superior ao custo médio do sistema tradicional. Esta opção é justificada através do cálculo de custos externos do sistema tradicional, que normalmente comprova a maquiagem ambiental e econômica nos custos operacionais desta forma de coleta e disposição (capítulo 3), cuja internalização é capaz de levá-los muito acima dos custos do SIGRS.

Em diversos países estes custos já foram calculados¹¹ e, em função dos resultados obtidos, serviram para viabilizar a implantação de SIGRSs nacionais, cujos mecanismos de gestão aplicados podem ser vistos a seguir.

1.5.1 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Existem mecanismos legais e financeiros sendo utilizados para viabilizar as políticas de resíduos sólidos no exterior. É possível destacar acordos voluntários, reciclagem obrigatória, índices de reciclagem e proibições de materiais como exemplo de mecanismos legais, enquanto a aplicação de taxas e impostos, as cauções financeiras e sistemas de depósito-retorno como mecanismos financeiros.

Mais especificamente, os mecanismos legais tem as seguintes características: os Acordos voluntários são a adoção de uma proposta comum entre setores da Indústria e o Governo, a Reciclagem obrigatória é a determinação, através de uma lei, para que certas embalagens sejam obrigatoriamente recicladas, enquanto os Índices de reciclagem ocorrem quando percentuais de reciclagem são estabelecidos e devem ser atingidos dentro de um determinado prazo; já as Proibições de materiais são

¹¹ Os custos externos destes países não estão disponíveis. A metodologia será aplicada na seção sobre custos externos da coleta e disposição de resíduos brasileiros.

aplicadas é quando um tipo de material (alumínio, lata, plástico) é banido dentro do processo de fabricação da embalagem de um produto.

Os instrumentos econômicos usados são as Taxas e impostos, que representam a tributação que incide sobre um certo produto visando um determinado fim, as Cauções financeiras, as quais servem como uma garantia pecuniária para o cumprimento de uma determinada obrigação e os sistemas de Depósito-Retorno, que se resumem na cobrança de um determinado valor para uma embalagem.,

Essas restrições são mais adotadas em relação às embalagens e, ao se proceder à análise da legislação de cada país, ficará evidente a utilização dessas medidas.

TABELA 4 – Reciclagem com Coleta Seletiva e Destino Final dos Resíduos Sólidos nos Países – 1998

<i>PAÍS</i>	<i>% DE LIXO RECICLADO</i>	<i>DESTINO FINAL (ATERROS)</i>	<i>DESTINO FINAL (INCINERAÇÃO)</i>	<i>DESTINO FINAL (COMPOSTAGEM)</i>
ALEMANHA	16	46	34	2
ÁUSTRIA	6	65	11	18
DINAMARCA	19	29	48	4
EUA	15	67	16	2
FRANÇA	8	43	40	9
HOLANDA	15	45	35	5
ITÁLIA	3	74	16	7
JAPÃO	*	20	75	5
NORUEGA	7	67	22	4
REINO UNIDO	2	90	8	-
SUÉCIA	16	34	47	3
SUIÇA	22	12	59	7
BRASIL	<1%	99**	<1	<1

* Japão faz coleta seletiva e reciclagem do lixo que é incinerado, não se conhecendo o percentual

** Sendo entre 76 e 88% depositados em Lixões e Vazadouros a Céu Aberto – PNSB, 1989

Fonte: Artigo “O negócio é reciclar”, revista Carta Capital, 19 de agosto de 1998.

Percebe-se, na tabela 4, que a destinação final em aterros e incineração constituem a principal alternativa internacional. Os países relacionados dispõem de normas rígidas para o licenciamento destas atividades, o que leva a crer que as emissões de metano destes aterros estão sendo recuperadas e aproveitadas para gerar energia, assim como deve estar ocorrendo nos incineradores.

Pode-se notar, ainda, que os quatro países com maiores índices de reciclagem – Suíça, Dinamarca, Alemanha e Suécia – também tem índices de incineração entre os seis maiores, enquanto o Brasil está posicionado no outro extremo, com menos de 1% de reciclagem e incineração e com 80% dos resíduos sendo depositados em lixões e vazadouros a céu aberto.

TABELA 5 – Principais Aplicações de Instrumentos Econômicos para Resíduos Sólidos

<i>Países</i>	<i>Créditos para Reciclagem</i>	<i>Cobrança pela Disposição em aterros</i>	<i>Cobrança pela Geração de lixo</i>	<i>Impostos sobre Produtos</i>	<i>Sistemas Depósito- Retorno</i>
Alemanha		X	X		
Austrália		X			X
Áustria		X			
Bélgica		X	X	X	X
Canadá		X	X	X	
Coréia			X		X
Dinamarca		X	X	X	X
EUA	X	X	X		X
Espanha		X			
Finlândia		X		X	X
França		X	X		
Holanda		X	X	X	X
Irlanda		X			
Itália		X		X	
Noruega				X	X
Reino Unido	X	X			X
Suécia		X		X	X
Suiça				X	
Turquia		X	X		

Fonte: Seroa & Chermont, 1996.

A tabela 5 mostra que o instrumento econômico mais utilizado nos 19 países relacionados é a cobrança pela disposição em aterro, ao contrário dos créditos para reciclagem. Os demais instrumentos são utilizados na mesma proporção.

TABELA 6 - Mecanismos de Comando e Controle na Gestão de Resíduos Sólidos

PAÍSES	LEI / ACORDO	ENFOQUE	METAS / ANO	INCINE- RAÇÃO
ALEMANHA*	Töpfer 1991	EMBALAGENS	100% ANO 2000	PROI- BIDA
ÁUSTRIA	1992	EMBALAGENS	CRESCENTE	
BÉLGICA	ACORDO VOLUNTÁRIO		28% APÓS 1995	66%
CANADÁ	1988	EMBALAGENS	50% ANO 2000	
CORÉIA				
DINAMARCA	1984	EMBALAGENS (+ de BEBIDAS)	50% ANO 2000	AUTORI- ZADA
EUA**	1976 - RCRA	TUDO	35% ANO 2000***	
FRANÇA	Eco-Emballages 1993	REJEITOS EM GERAL	75% ANO 2000	AUTORI- ZADA
HOLANDA	ACORDO VOLUNTÁRIO	EMBALAGENS	75% ANO 2000	25% PARA GERAR ENERGIA
INGLATERRA	ACORDO VOLUNTÁRIO	EMBALAGENS		
ITÁLIA	1990	SENDO REVISTAS	ACORDO COM DIRETIVAS EUROPÉIAS	20% DE INCINE- RAÇÃO
SUIÇA	1988	EMBALAGENS	PVC e LATAS PROIBIDAS	85% DOS NÃO- RECICLÁ VEIS
DIRETIVAS EUROPÉIAS	1996	EMBALAGENS	60% ATÉ ANO 2000	30% PARA GERAR ENERGIA

* Em 1974 foi instituída uma Lei Federal que criou as Estatísticas Ambientais, ação fundamental para o planejamento, considerado um dos principais responsáveis pelo avanço tecnológico e a liderança no setor.

** LEIS ESTADUAIS

*** META FEDERAL

Já a tabela 6 permite visualizar que as embalagens são o principal enfoque dos mecanismos de Comando e Controle, sendo possível identificar, ainda, que todas as leis ou acordos federais tiveram início a partir da década de 1980. Também se consegue apreender que a incineração é vista como método necessário pela maioria dos países, assim como o estabelecimento de metas de reciclagem.

Os países considerados na análise acima, vem desenvolvendo seus instrumentos de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos há cerca de três décadas. Suas “performances” apontam para duas características fundamentais, sendo a primeira delas a utilização complementar de mecanismos legais e financeiros em busca de resultados – numa espécie de Planejamento Estratégico. A segunda característica está voltada ao diagnóstico realista do perfil do consumidor, através de uma leitura cultural, para viabilizar a aplicação ótima desses mecanismos – levando, como visto, à opções entre Acordos Voluntários e Leis amplas ou restritivas, combinadas a cobrança por uso de aterro, geração de lixo ou créditos para reciclagem.

1.5.2 - EXPERIÊNCIAS NACIONAIS

Ao contrário do exterior, o Brasil ainda não dispõe de custos externos calculados para seus sistemas de coleta e disposição de resíduos sólidos urbanos. Entretanto, em decorrência de fatores diversos, como pode ser visto abaixo, existem algumas experiências que vem construindo uma base cultural sobre o assunto e demonstrando seu potencial.

A) AÇÕES DE FOMENTO

Serão listados os principais instrumentos legais federais que motivam o desenvolvimento do segmento econômico vinculado à coleta seletiva de lixo e à reciclagem.

i) PROGRAMA BRASILEIRO DE RECICLAGEM (PBR)

É preciso salientar a Portaria n.º 92 do Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo, a qual criou Grupo de Trabalho para elaborar a proposta de um programa visando incrementar e valorizar a utilização, como matérias-primas, de resíduos urbanos, industriais, minerários e agropecuários, bem como o desenvolvimento do parque industrial reciclador. Para isso considerou a crescente importância econômica, ambiental e social que a reciclagem de materiais apresenta, face às suas contribuições à preservação do meio ambiente, redução de desperdícios, conservação de energia, economia de recursos naturais e geração de empregos,.

Na minuta que deu origem a esta Portaria, é ressaltada a importância do reforço estrutural desta atividade no país, para que seja possível cumprir os objetivos dos projetos propostos pela EMBRATUR quanto à redução em 50% da insatisfação dos turistas com a limpeza urbana no âmbito do PNMT. O trabalho somou mais de 500 páginas, versando sobre as experiências ao redor do planeta, bem como sobre as potencialidades e peculiaridades nacionais para a implantação e o êxito do programa. Foi divulgado que no primeiro semestre do ano 2000 seria o lançamento oficial, o que não se confirmou.

ii) PROGRAMA NACIONAL DE MUNICIPALIZAÇÃO DO TURISMO (PNMT)

A EMBRATUR, instituto ligado ao Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo, mantém o Programa Nacional de Municipalização do Turismo (PNMT), o qual gera incentivos aos municípios, dentre os mais de 1200 cadastrados, que se adequem a determinadas proposições.

Na versão 1998, em coordenação com a Secretaria de Políticas Urbanas (SEPURB) do Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ministério do Meio Ambiente e contando com o apoio logístico-institucional da Casa Civil da Presidência, dispõe de um projeto, o qual deu origem à Meta Mobilizadora Nacional n.º 6, coordenado pelo

Comitê Nacional da Qualidade e Produtividade, que visa reduzir em 50% a insatisfação do turista com a limpeza urbana das cidades participantes do PNMT.

Para tanto, foi sugerida a adoção de legislação similar a que está sendo aplicada em Brasília, com multas elevadas para os infratores que forem flagrados sujando o espaço público, além de ter sido realizada uma “Oficina” para sugerir caminhos e alternativas de soluções nas cidades turísticas brasileiras e definir uma pauta de ações futuras.

Da “Oficina” produziu-se um relatório, no qual constam os principais problemas relacionados à limpeza pública, uma análise da situação e os objetivos estratégicos para viabilizar o desenvolvimento do setor.

Quanto aos problemas, foram identificados quatro segmentos. Um deles está relacionado ao processo, no que inclui o crescimento do volume de lixo, a coleta de lixo ineficiente, o tratamento inadequado, o baixo índice de reciclagem e a destinação final imprópria. Outro setor está voltado à gestão do processo, que envolve o modelo de gestão, a capacitação gerencial, a educação, a vontade política, a oportunidade de negócio, a política nacional, a regulamentação e os recursos tecnológicos. O terceiro setor trata dos efeitos dos dois anteriores e o último analisa as prioridades das ações a serem desenvolvidas, com relação à gravidade desses efeitos e urgência de suas causas.

A respeito da análise da situação, esta foi desenvolvida para quatro: áreas estratégicas: educação e conscientização, instrumentos técnicos e tecnológicos, instrumentos legais e financeiros: e modelo de gestão, tendo sido, para todas, consideradas as limitações, as ameaças e as oportunidades. Por fim, os objetivos estratégicos abordaram três temas, Comunidade conscientizada e envolvida no processo de limpeza urbana, Modelo político-institucional desenvolvido e implantado e Modelo tecnológico desenvolvido e implantado, os quais foram desdobrados em sub-áreas.

Como próximos passos ficaram estabelecidos, a definição de responsáveis para conduzir cada tema, bem como do cronograma de compromissos/recursos, a exigência de cada responsável elaborar uma oficina para aprofundar cada tema, identificação e reunião de instituições e materiais didático-pedagógicos para avaliação, definição de parcerias para desenvolver cada projeto/tema e, à partir da consolidação das ações/estratégia/modelo etc., indicar nomes/coordenadores para continuar o trabalho, com apoio logístico-institucional da Casa Civil. (EMBRATUR, 1998: p. 1).

iii) LEI DE CRIMES AMBIENTAIS

Na Lei 9.605, o artigo que de forma mais contundente atende à questão do lixo é o 54, cujo texto diz: “Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora” e especifica as penas, atenuantes e agravantes, o que as faz variar de detenção de seis meses e multa até reclusão de cinco anos e multa.

Também podem ser citados os artigos 33, sobre o perecimento de espécies da fauna aquática decorrente da emissão de efluentes ou carreamento de materiais; o 40, quanto aos danos diretos ou indiretos causados às Unidades de Conservação e às áreas de que trata o artigo 27 do Decreto n.º 99.274 e o 41, que trata dos incêndios provocados em mata ou floresta – para os quais o gás metano produzido nos aterros e lixões é combustível, além de manter o fogo por dentro do lixo, sem demonstrar labaredas. As penas variam de multa a reclusão de cinco anos.

Os artigos 48 e 50 versam sobre, respectivamente, impedir ou dificultar a regeneração natural de florestas e demais formas de vegetação e destruir ou danificar florestas nativas ou plantadas ou vegetação fixadora de dunas, protetoras de mangues, objeto de especial preservação, além de suas penas.

Já o artigo 68, na seção dos crimes contra a administração pública, trata do indivíduo que tendo o dever legal ou contratual de cumprir obrigação de relevante interesse ambiental deixar de fazê-lo, estipula a pena de detenção, de um a três anos e multa, além do atenuante, no caso de crime culposos, quando a pena passa a ser de três meses a um ano, sem prejuízo da multa.

B) AÇÕES DA INICIATIVA PRIVADA

Uma ação foi posta em prática por intermédio das empresas Reciclagem e Syklus. (EMPRESA ..., 1992a,b), no Rio de Janeiro, de 1992 a 1994, por iniciativa de educadores que perceberam como principal complicador da aprendizagem a dificuldade de aplicação no dia-a-dia, pelo alunado, daquilo que se está tentando ensinar.

Na tentativa de valorizar os conhecimentos pessoais da clientela e de poder trabalhar com um assunto no qual todos pudessem participar, a questão ambiental viabilizou a oportunidade de interagir e motivá-los a mudanças comportamentais conscientes. Isto pode ser considerado uma pequena ação, mas de grande efeito, por analogia com a teoria do caos, na qual "(...) pequenas ações geram grandes repercussões" (GLEICK, 1991: p. 20).

O serviço atingiu os mais variados setores da sociedade, como empresas, condomínios, escolas, clubes e favelas. Foi possível identificar que 30% do potencial foi atingido no momento inicial em todos os estabelecimentos, chegando ao máximo de 65%. (RECICLAGEM ..., 1992 b,c,d, UMA ..., 1992).

Em uma campanha por doação de recicláveis, na Feira da Providência de 1992 e em uma pesquisa de opinião quanto a adesão à coleta seletiva frente a redução da Taxa de Coleta de Lixo e Limpeza Pública (TCLLP), cobrada no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), foram obtidas mais de 2.000 assinaturas, sendo 85% do município do Rio de Janeiro, mas muitas de cidades espalhadas pelo estado, além de

algumas de moradores de outros estados. (TAVARES, 1992 e RECICLAGEM ..., 1992a).

Em favor da importância destas ações, acabou de ser aprovada, no decorrer de 1998, na França, uma lei que concede redução de impostos às empresas que tratam de seu lixo. (MORAES, A. 1998)

A conclusão aqui é que foram poucas as ações privadas voltadas à coleta seletiva.

C) EXPERIÊNCIAS PÚBLICAS E COMUNITÁRIAS

Existem 135 municípios realizando projetos de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos no Brasil (CEMPRE, 1998), cuja concentração se dá nas regiões Sudeste e Sul do País, como pode ser visto no anexo 3. Esta quantidade de municípios significa cerca de 2,5% do total nacional, enquanto a população atendida chega a 6 milhões de habitantes, aproximadamente 4% do universo. Os gráficos 1 a 3 apresentam alguns valores da pesquisa:

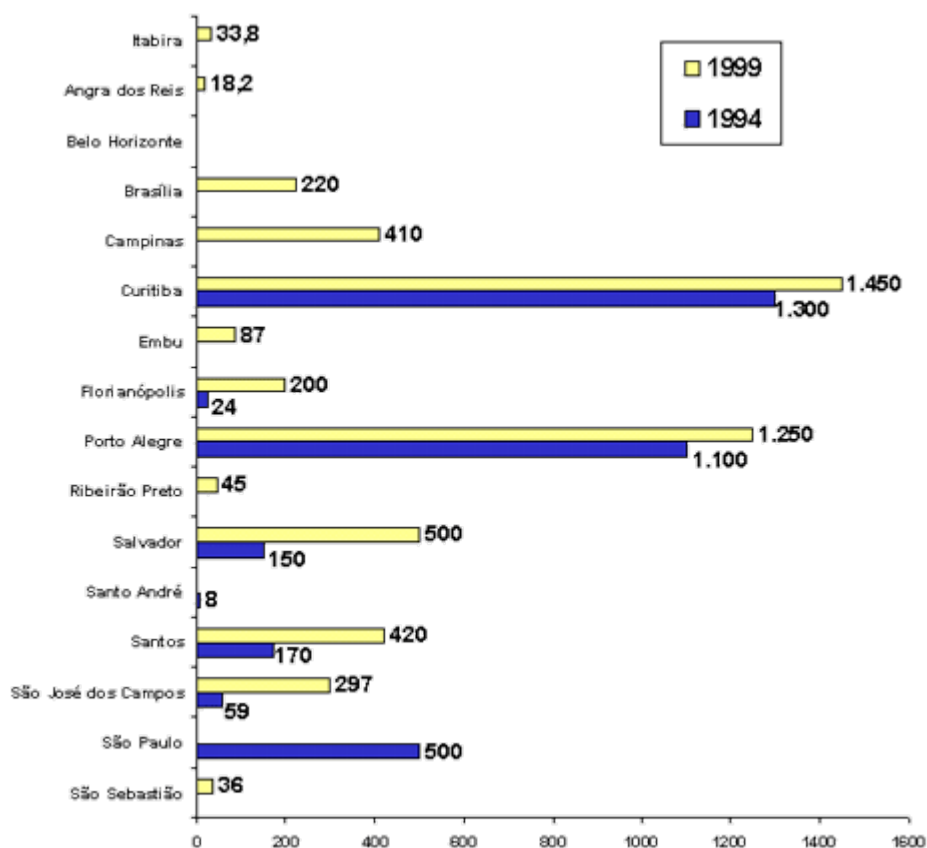


GRÁFICO 1- População atendida por Coleta Seletiva
(mil habitantes)

Fonte: CEMPRE (1998)

É possível notar no gráfico 1, acima, que houve aumento da população absoluta atendida nestes municípios, no intervalo considerado, sobretudo nas cidades maiores, com exceção de São Paulo, onde a coleta seletiva foi extinta. Quanto ao caráter relativo, como pode ser visto no gráfico 2, abaixo, as alterações notadas foram com relação ao aumento significativo das populações atendidas ou pequena redução destas participações.

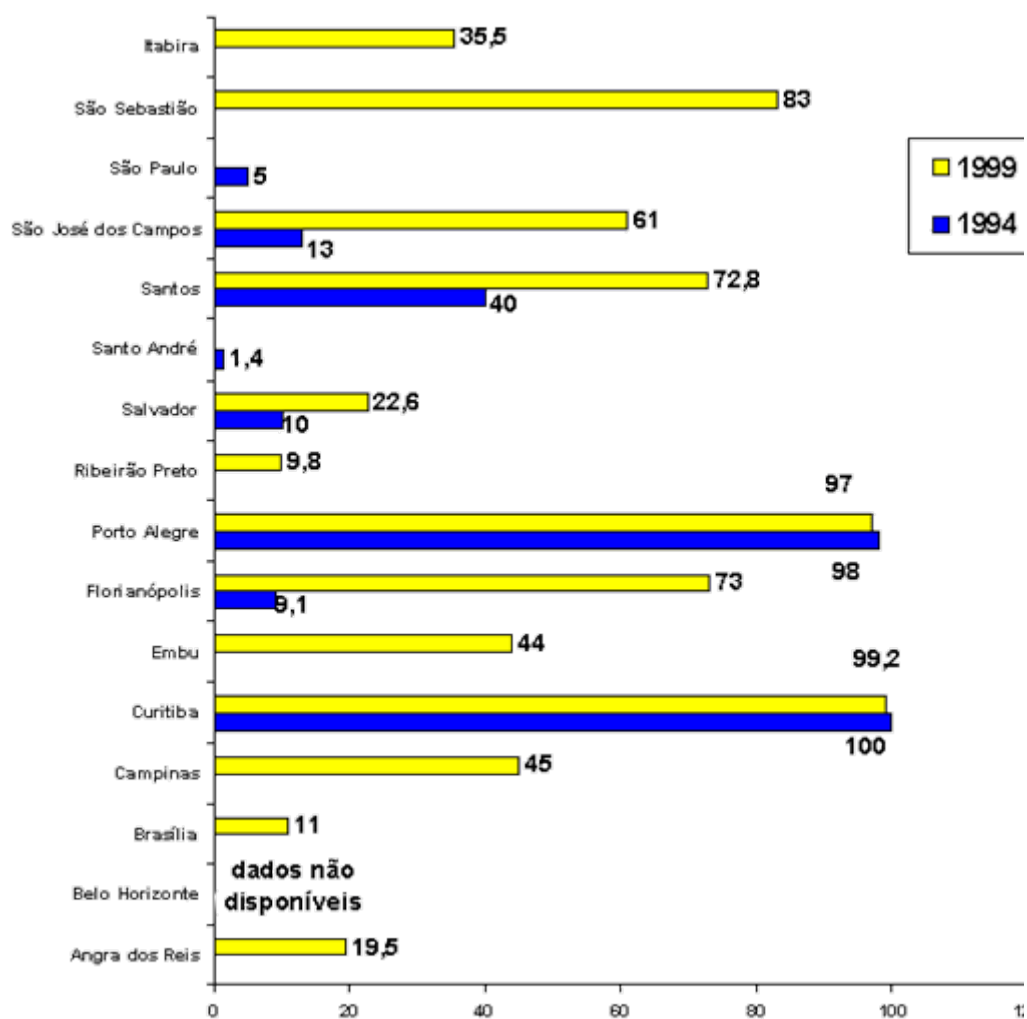


GRÁFICO 2 - População Atendida pela Coleta Seletiva (%)

Fonte: CEMPRE (1998)

No gráfico 3 são analisadas as quantidades de material encaminhado para os programas de coleta seletiva, os quais são mais que proporcionais ao incremento da população atendida, simbolizando uma importante melhoria na participação individual.

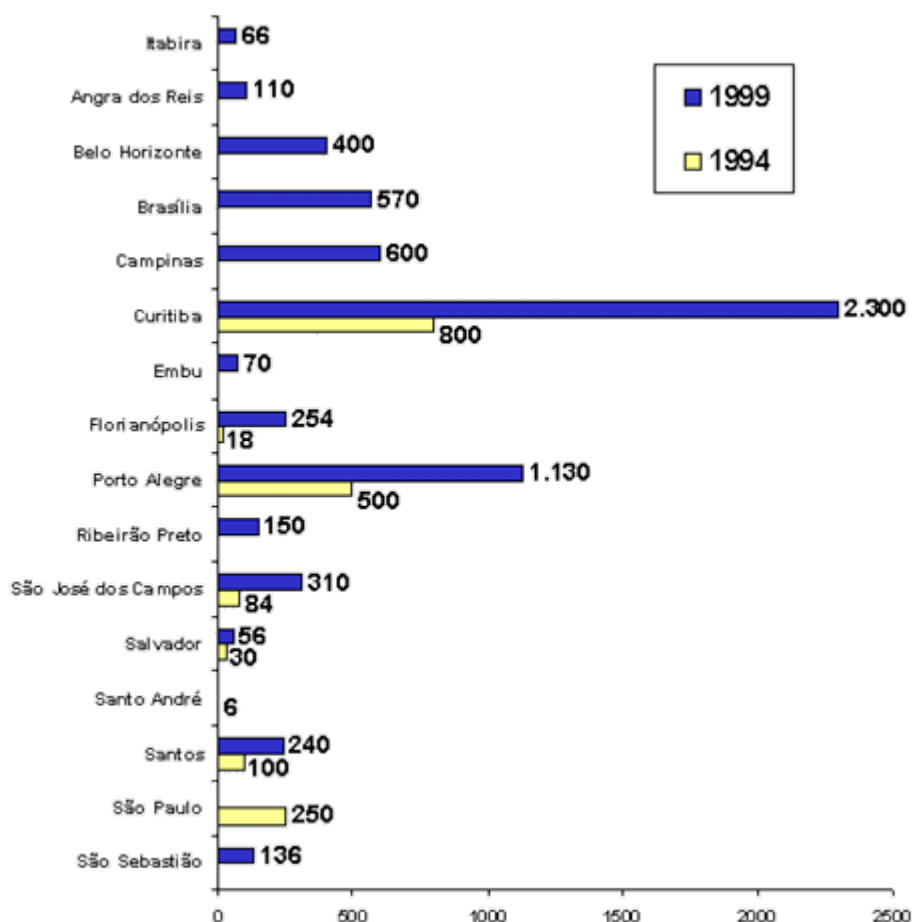


GRÁFICO 3 - Escala de Coleta Seletiva (ton/mês)

Fonte: CEMPRE (1998)

Em seguida são analisados algumas experiências mais relevantes.

i) Niterói

Ainda na linha de poucas atuações da iniciativa privada, há uma ação bastante relevante, pois tem apoiado a manutenção do mais antigo projeto comunitário documentado do país, o de São Francisco, em Niterói – RJ, que completou 15 anos em abril do corrente.

Na verdade, este projeto seria lucrativo caso a Prefeitura repassasse ao Centro Cumunitário, responsável pela administração do sistema, o mesmo valor que paga as

empresas que prestam serviço de coleta tradicional na região. Os recursos atualmente envolvidos nesta operação são US\$ 90 por tonelada da coleta seletiva, US\$ 60 por tonelada de material vendido, US\$ 30 por tonelada que o patrocinador investe e US\$ 65 por tonelada que a Prefeitura gasta com a coleta tradicional.

Como os moradores separam o material voluntariamente, se orgulham do projeto e não precisam de retorno financeiro – uma vez que o bairro é de classe média alta –, os custos são mínimos. “Em outras comunidades é preciso identificar a forma de motivação”, diz o coordenador do projeto, Prof. Emílio Eingerheer, afirmação que requer aos interessados em implantar sistemas similares, a elaboração prévia de produtos, ou serviços, capazes de satisfazer os diversos tipos de retorno esperados por cada agente, se individual ou coletivo, se tangível ou não.

ii) Curitiba

Uma outra experiência muito importante é a de Curitiba, pois é a mais conhecida no país. Atualmente a prefeitura vende 220 toneladas diárias – 20% do lixo municipal - de materiais para empresas recicladoras e gera emprego para 20 mil pessoas, direta e indiretamente, no sistema porta-a-porta. A recuperação atinge 16% de todo o lixo doméstico produzido, significativo frente ao recorde mundial – entre 20% e 25% - de cidades alemãs, que chegam ao requinte de separar os cacos de vidro por cor. Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba, o sucesso deve-se à preocupação com o escoamento do material recolhido. Durante mais de dez anos vêm sendo feitas uma ou duas retiradas semanais, pelos caminhões oficiais, podendo chegar a três em ruas específicas.

Cerca de 4 mil catadores de papel costumam antecipar-se à visita dos caminhões da prefeitura, buscando os materiais de maior valorização. Com isso, o Aterro Sanitário da Caximba teve sua vida útil aumentada em quatro anos e a

prefeitura calcula a economia gerada pela recuperação do lixo em mais de R\$ 9 milhões mensais – ou 0,11% do Produto Interno Bruto local. (SCHARF, 1998b).

iii) Porto Alegre

A terceira experiência importante é a de Porto Alegre, a qual após oito anos de sistema porta-a-porta, já recupera 60 toneladas diárias, utilizando 30 caminhões, oito unidades de triagem na cidade e empregando 300 pessoas nos galpões, garantindo um rendimento mensal de 1,5 salário mínimo. Apesar do serviço atender a todas as ruas do município, só 30% da população efetivamente separa seus resíduos, o que encaminha 900 toneladas diárias para o aterro sanitário.

É importante frisar que aqui são encontrados os menores custos da coleta seletiva porta-a-porta do país, cerca de R\$ 90,00 a tonelada. Mesmo assim, equivale a cerca do triplo do custo de coleta e disposição tradicionais. (*idem*).

iv) Demais Experiências

Existem mais cinco, dentre as 135 experiências identificadas pelo CEMPRE, através de sua pesquisas Ciclosoft de 1999, que merecem atenção especial, que são desenvolvidas em Florianópolis, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Goiânia e Angra dos Reis.

Em Florianópolis, a coleta seletiva vem atendendo a 80% da população, onde recolhe 239 toneladas de lixo reciclável por mês. Destas, 40% vão para um centro de triagem, onde são separadas e comercializadas e o restante é vendido para empresas que comprem o caminhão fechado, a um preço simbólico de R\$ 10,00 a tonelada. O serviço de recolhimento de materiais recicláveis sai, para o município, cinco vezes mais caro que a coleta tradicional.

Devido, justamente, ao alto custo da coleta porta-a-porta, o caso de Belo Horizonte é um exemplo de como cresce o número de cidades que buscam soluções

alternativas. Já existem 70 pontos de coleta espalhados pela cidade. O material recolhido – cerca de 1,5% do lixo doméstico da cidade – é triado e comercializado pelos 200 membros da associação local de catadores. O município também tem uma usina de compostagem de lixo orgânico de origem comercial ou industrial e uma central para o reaproveitamento de entulho de construções.

No Rio de Janeiro, com o objetivo de integrar à sociedade os catadores de rua, a Prefeitura, através da COMLURB, criou as cooperativas de catadores, para as quais fornece área de trabalho com instalação elétrica para poderem receber os equipamentos cedidos pelas indústrias, a fim de fornecerem diretamente para a “ponta final” do sistema. Em agosto de 1998 foi lançado um novo programa, que institui a coleta seletiva porta-a-porta feita por um caminhão e equipe da COMLURB, que repassa às cooperativas o material. Os bairros que inauguraram a nova etapa do processo são a Urca e a Barra da Tijuca. O engajamento vem aumentando.

Uma das mais recentes é a experiência de Goiânia, que foi implantada há três anos em setores da Região Leste da cidade - surgidos de invasões - onde existem mais de 2,5 mil residências com cerca de 15 mil pessoas, a maioria de baixa renda.

Em março de 1999 foi inaugurado o Núcleo Industrial de Reciclagem, contando com uma usina para separar o lixo, vender sucata e industrializar alguns produtos, como telhas asfálticas, grânulos de certos tipos de plástico (PEAD e PEBD), húmus de minhoca e as próprias minhocas. Atuam, no momento, 50 cooperados sobre as 25 toneladas diariamente processadas (um dia o lixo seco, no outro o molhado), capacitados e treinados em parceria com o SEBRAE. Como a capacidade do complexo é o dobro, haverá nova oferta de trabalho quando da expansão.

O projeto desdobra-se ainda em outras unidades, como a Escola de Circo, o Centro de Educação Profissional, o Horto de Plantas Medicinais e o Programa de Educação Ambiental.

Foram investidos R\$ 1,2 milhão entre construção, equipamentos, veículos, educação ambiental, consultoria externa e um terreno de cerca de 7 mil metros quadrados, gerando renda de 3 salários-mínimos para cada trabalhador.

A coleta seletiva nas comunidades do continente em Angra dos Reis é realizada pela Prefeitura, que retira os materiais acondicionados separadamente e contendo a identificação do morador, uma vez por semana. Estes materiais são convertidos, de acordo com seus pesos, em pontos que serão sorteados como prêmios. O custo médio anual é de apenas 1% do orçamento municipal e o programa de troca faz circular entre a população uma média mensal de R\$ 10.000,00 em forma de prêmios e proporciona trabalho para 54 pessoas.

D) AÇÕES JURÍDICAS

O período de moeda estável está levando os grandes grupos econômicos a reivindicar judicialmente a redução dos valores dos serviços básicos, exemplificado por ações que estão questionando cobranças de taxas já derrubadas, por reiteradas vezes, na Justiça, dentre elas a taxa de coleta de lixo.

Este tipo de questionamento pode gerar grande perda aos municípios, uma vez que a arrecadação com a taxa representa significativa parte do recolhimento municipal, podendo ser citados os casos do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte. No Rio de Janeiro, junto com a Iluminação Pública, R\$ 245 milhões este ano - cerca de 35% do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) -; em Belo Horizonte, somadas à Fiscalização de Localização e Funcionamento, cerca de R\$ 77,68 milhões. (WATANABE, 1998).

Diferentemente do imposto, a taxa deve ser cobrada como forma de ressarcir um serviço específico ou poder de polícia oferecido pela administração pública. Quando trata-se de um serviço a cobrança não pode ser exagerada. Além disso, deve ser exigida na proporção do uso ou aproveitamento daquele determinado serviço.

Quando a taxa de limpeza é contestada, um dos argumentos usados é de que o serviço não é oferecido especificamente a alguém, mas sim a toda a comunidade. Outro, bastante comum, é o fato de alegar que a cobrança é feita com base em uma referência que não guarda nenhuma relação com a proporção de uso ou aproveitamento do serviço, pois a maioria das cobranças é feita de acordo com a metragem do terreno, o que faz com que sua base de cálculo coincida com a do IPTU.

É certo que as pessoas, físicas ou jurídicas, que aderirem à coleta seletiva e puderem comprovar de forma quantitativa seu rendimento, obterão um argumento substancial para embasar este tipo de contestação.

E). AÇÕES POTENCIAIS

O PRO-LIXO, Programa do governo do Estado do Rio de Janeiro, visa implantar coleta seletiva em 76 municípios de até 150.000 habitantes, totalizando uma população atendida de cerca de 2,5 milhões de pessoas. Estão sendo alocados recursos do Fundo Estadual de Meio Ambiente, a fundo perdido, para implantar Centrais de Triagem, Aterros Sanitários, Treinamento e Divulgação, para que em 2002 Comitês Gestores formados por técnicos das prefeituras envolvidas, da Secretaria de Meio Ambiente e da Sociedade Civil possam gerenciá-lo.

Está em andamento, simultaneamente, um edital do Fundo Nacional de Meio Ambiente, do Ministério do Meio Ambiente, para investimento a fundo perdido, mas com exigência de contra-partida, em municípios com população entre 20000 e 50000 habitantes, de recursos para Elaboração de Planos Gestores de Resíduos Sólidos e Implantação de Aterros Sanitários, incluindo coleta seletiva. No estado do Rio de Janeiro são 18 os municípios aptos a concorrer, cuja contra-partida pode ser oferecida pelo PRO-LIXO.

O objetivo comum quanto à coleta seletiva e ao aproveitamento energético dos resíduos já encaminhava as duas instituições ao intercâmbio. Este foi acelerado pelo

Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), fruto de convênio entre COPPE/UFRJ e FAPERJ, devido ao potencial destas ações como redutoras de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, até então não consideradas e foco principal de sua existência.

Está em andamento no Congresso Nacional, proposta de Moção de Política Nacional de Resíduos Sólidos, encaminhada pelo CONAMA em meados de 1999, mas ainda em tramitação. Considerada muito boa pelos especialistas da área, de acordo com as manifestações em listas sobre resíduos na Internet, deixa a desejar somente com relação a aplicação de Instrumentos Econômicos como motivadores de mudanças comportamentais.

O caso brasileiro é singular, pois a Moção de Proposta do CONAMA para uma Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos reúne as mais exitosas proposições de mecanismos de Comando e Controle (C&C) do planeta, enquanto abre espaço para os Instrumentos Econômicos serem ajustados à realidade.

CAPÍTULO II

2 EFEITO ESTUFA ANTROPOGÊNICO

A temperatura média próxima à superfície da Terra seria cerca de 17° C abaixo de zero, fruto do processo natural de seu balanço energético com o sol, a atmosfera e o espaço, caso não houvesse na atmosfera certos gases, destacando-se entre eles o CO₂. A presença na atmosfera de gases com características “estufa” – “transparentes” às radiações solares mas absorvedores da radiação térmica emitida pela Terra, re-emitada por eles em todas as direções – aquece o planeta, levando a temperatura média da atmosfera próxima à superfície terrestre a cerca de 15° C, mais favorável a vida como conhecemos.

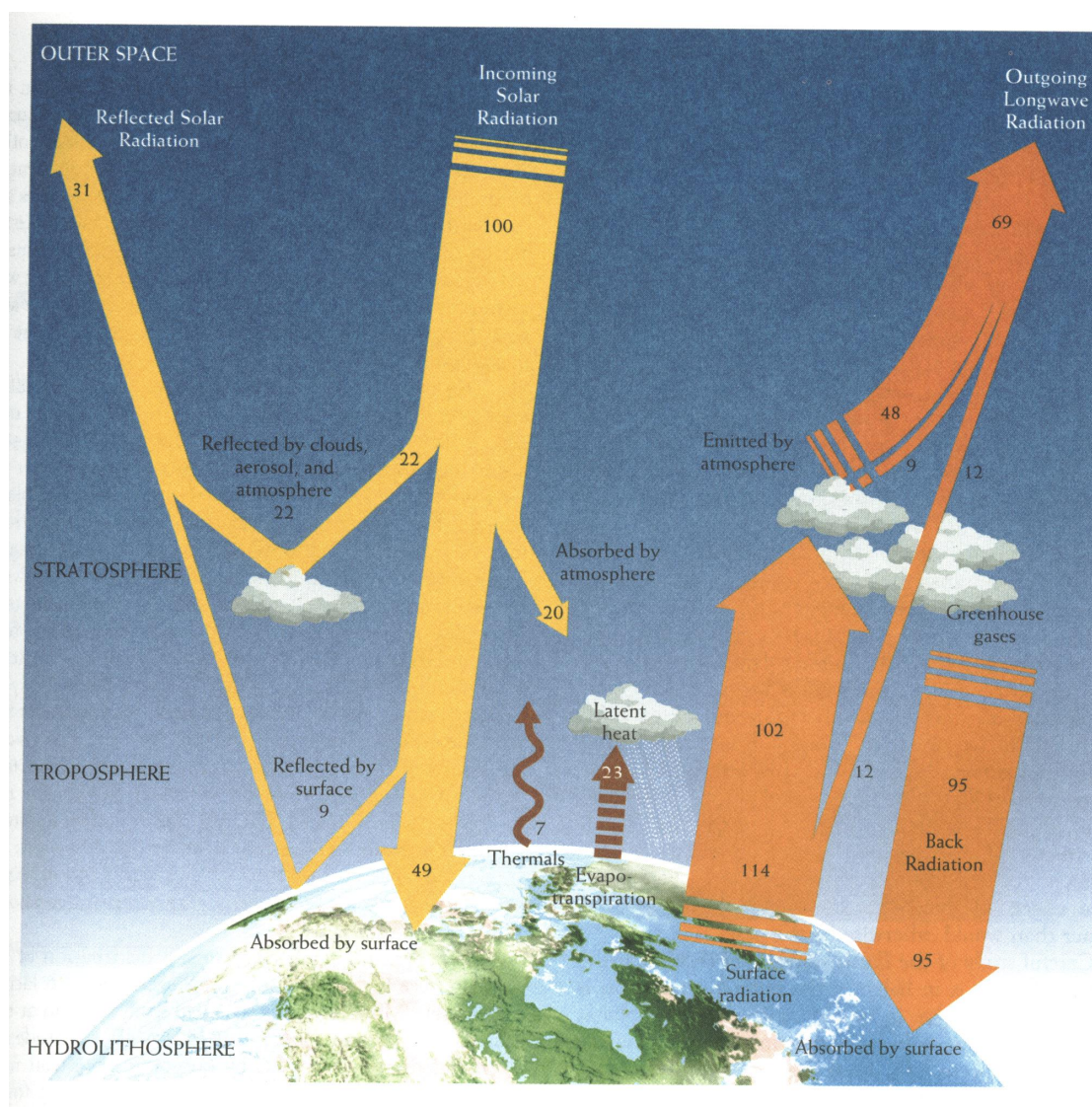
Está comprovado, entretanto, por medições da concentração de dióxido de carbono nas geleiras das calotas polares, que vem aumentando nos últimos dois séculos, na atmosfera, a presença desse gás de uma forma acentuada, capaz de intensificar o efeito estufa e modificar as condições climáticas do planeta. Como este aumento está ocorrendo simultaneamente ao incremento da emissão destes gases provenientes de atividades humanas, como combustão de combustíveis fósseis e fermentação anaeróbica de resíduos, convencionou-se chamar este fenômeno de efeito estufa antropogênico.

Os gases de efeito estufa (GEE)¹² são caracterizados pelo fato de suas moléculas terem níveis de energia capazes de serem excitados por absorção de fótons de ondas eletromagnéticas da radiação térmica emitida pela Terra. Por outro lado eles não absorvem fótons de ondas com frequências da luz solar. (PINGUELLI ROSA, 1997).

A figura 7 mostra que a quantidade de energia que chega à Terra é maior que aquela emitida pelo sol, pois enquanto a maior parte desta é refletida no topo da

atmosfera, nas nuvens e na própria superfície, além de uma pequena fração ser absorvida pela atmosfera, uma parte ainda maior da energia emitida pelo planeta é refletida pelos gases estufa.

FIGURA 7 - O EFEITO ESTUFA:



Fonte: Gradel e Crutzen, 1997.

Além de suas concentrações diferentes, como mostra a tabela 7, os GEE diferem quanto a seus potenciais de aquecimento global (GWP) – capacidade de absorção e redistribuição da energia térmica emitida pela Terra, em função da vida

¹² Os principais gases causadores do efeito estufa antropênicos são: CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), CFC₁₁ e CFC₁₂ (clorofluorcarbonos).

média de cada gás –, tendo sido tomado como unidade o CO₂ e calculada, pelo IPCC¹³, para conversão, a tabela 8:

TABELA 7 – CONCENTRAÇÕES DE GEE NA ATMOSFERA

GEE	CO ₂	CH ₄	O ₃ (ao nível do solo)	N ₂ O	CFCs
%	50	11	9	7	13

Fonte: I. Smith, 1988

TABELA 8 – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP):

Espécies	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizonte de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	1
Metano	CH ₄	12±3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Ozônio	O ₃	0,1 - 0,3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC-23	CHF ₃	264	9.100	11.700	9.800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5,6	2.100	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3,7	490	150	45
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	3.000	1.300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32,6	4.600	2.800	920
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3,8	1.000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48,3	5.000	3.800	1.400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36,5	4.300	2.900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5.100	6.300	4.700
HFC-145ca	C ₃ H ₃ F ₅	6,6	1.800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	SF ₆	3200	16.300	23.900	34.900
Perfluorometano	CF ₄	50.000	4.400	6.500	10.000
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	10.000	6.200	9.200	14.000
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	2.600	4.800	7.000	10.100
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	3.200	6.000	8.700	12.700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	4.100	5.100	7.500	11.000
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	3.200	5.000	7.400	10.700

Fonte: IPCC, 1996

¹³ Intergovernmental Panel on Climate Change – Órgão que assessora as Nações Unidas no estudo sobre o tema, suas causas e seus efeitos, inclusive propondo metodologias para

É importante notar na tabela que o metano (CH₄) emitido pela fermentação dos resíduos sólidos em locais para disposição final tem GWP bastante maior que o do CO₂.

2.1 CONVENÇÃO DO CLIMA

As mudanças no padrão de consumo permitidas à sociedade¹⁴, desde a Revolução Industrial, levaram ao acúmulo de GEEs na atmosfera e RSU na superfície terrestre em quantidades sem precedentes. As consequências do efeito estufa deveriam levar a humanidade à discussão sobre padrões de consumo, principalmente sobre o modelo que tem buscar os países em desenvolvimento, haja vista que o “American way of life” (consumismo americano) não pode ser estendido para todos os seres humanos, pois a natureza não consegue ofertar, com as tecnologias disponíveis, suporte para toda a poluição e extrativismo acelerado oriundos deste “progresso” parcial. Este assunto foi suscitado por PINGUELLI ROSA (1996), quando analisou a visão dos países em desenvolvimento quanto ao efeito estufa e a necessidade de crescimento econômico com base em suas potencialidades.

É importante notar a mudança de foco pelo consenso do problema da poluição global, que transforma todos os habitantes do planeta em vítimas potenciais do efeito estufa e, portanto, interessado em sua solução. Segundo o IPCC: “é fundamental que sejam adotadas medidas de âmbito mundial com o objetivo de reversão ou estabilização das taxas de concentração de GEE.”

Neste sentido, em 9 de maio de 1992, foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, na Organização das Nações Unidas. A

elaboração de inventários e medidas mitigadoras.

¹⁴ Principalmente a queima de combustíveis fósseis em quantidades crescentes; as queimadas e desmatamentos florestais, que fomentam o incremento de uso do solo para atividades produtivas (do ponto de vista financeiro); e a atual obsolescência planejada.

UNFCCC¹⁵ 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 em Kyoto, no Japão, na Terceira Conferência das Partes (COP 3), órgão supremo da Convenção, foi apresentada a proposta brasileira de criação de um Fundo para o Desenvolvimento Limpo. Foram sugeridos critérios para atribuição de responsabilidades históricas pelo aquecimento global e, com isso, mensurar as emissões máximas possíveis, cujo descumprimento seria atrelado a um sistema de multas, que geraria recursos para o Fundo destinar a projetos apresentados pelos países que cumprissem suas metas.

Apesar de não aceita, esta proposta deu origem ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM, da sigla em inglês), um dos quatro instrumentos econômicos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto. Os países desenvolvidos e as chamadas economias em transição (ex-URSS e leste europeu), responsáveis históricos pela maioria das emissões, passaram a integrar um documento conhecido por Anexo I do Protocolo, para os quais foi estipulada a meta de redução, entre os anos de 2008 e 2012, 5% em média as emissão 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 com o objetivo final da UNFCCC, sendo o CDM o único aplicável entre integrantes do Anexo I e Não-Anexo I (os países em desenvolvimento).

Este Protocolo pode ser regulamentado em novembro de 2000, na COP 6, em reunião prevista para Haia, na Holanda, com o intuito de que os compromissos

¹⁵ United Nations Framework Convention on Climate Change.

firmados possam ser atingidos através dos menores custos marginais de abatimento – fato normal nos países não-anexo I – simultaneamente ao fomento do desenvolvimento sustentável nestas nações. É preciso que seja construído um consenso internacional para que estes recursos não sofram com os desperdícios históricos, ou com as destinações benevolentes de alguns negociadores.

Desta forma, percebe-se que a poluição global causada pela emissão de gases de efeito estufa tornou-se uma grande preocupação da humanidade, levando a que todas as políticas para reduzi-las sejam muito bem vindas, como as que enfocam o CO₂ e CH₄ (decorrente da fermentação do lixo) ou N₂O (oriundo da combustão dos combustíveis e do lixo) provenientes do ciclo de vida dos bens encontrados no lixo.

É preciso considerar que as ações pós-consumo, para reduzir os efeitos deletéreos dos resíduos, afetam muito pouco aos interesses estabelecidos do sistema econômico (exceto do setor extrativista), sendo possível contar com seu apoio, ao contrário da profunda discussão sobre mudança nos padrões de consumo, a qual provavelmente sofrerá retaliações e terá dificuldades para ser implantada, embora certamente deva ser tida como meta.

2.2. AS EMISSÕES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS:

De acordo com USEPA (1998), são quatro as principais formas de relação entre os resíduos sólidos urbanos – lixo – e o efeito estufa: **emissão de dióxido de carbono** decorrente do consumo de energia para extração e produção dos bens (incluindo a extração e processamento dos combustíveis a serem usados); **emissão de dióxido de carbono** oriunda do consumo não-energético de combustíveis no processo de produção dos bens; **emissão de metano** dos aterros sanitários em que os materiais acima e os restos de alimentos são depositados¹⁶ e se decompõem; e

¹⁶ O CO₂ emitido pela fermentação do lixo não é contabilizado como GEE pelo IPCC.

fixação de carbono das parcelas dos materiais que não se decompõem nos aterros sanitários.

É importante considerar, ainda, as emissões vinculadas aos transportes dos materiais virgens e dos recicláveis, nas várias etapas do processo, uma vez que o balanço desse fator também deve ser analisado quanto ao potencial de mitigação.

Um exemplo bastante recente é o Inventário sobre emissões de gases estufa da Cidade do Rio de Janeiro, realizado pela COPPE/UFRJ para a Secretaria de Meio Ambiente no ano 2000, seguindo a metodologia IPCC (1996)¹⁷. Foram calculadas somente as emissões de CO₂ e de CH₄, convertendo-as em tonelada equivalente de dióxido de carbono (Gg CO₂ Eq.) pelo GWP (ver tabela 8). Mesmo sem considerar as emissões vinculadas ao consumo energético para confecção dos produtos que compõem os RSUs, as emissões decorrentes do lixo passaram de 2.919 para 4.694 Gg de CO₂ Eq, entre 1990 e 1998, representando participações de 27 e 38% do total. Este percentual é alto por três razões: no período de cem anos, o GWP do metano é 21 vezes maior que o do dióxido de carbono; a geração hidráulica é responsável por cerca de 80% da oferta de energia elétrica do município (tabela 9) – contra a média de 95% da energia elétrica no Brasil (B.E.N., 1999) –, cujas emissões de gases estufa são praticamente nulas; e as emissões de gases estufa referentes ao consumo de combustíveis do município são pequenas, como mostra a tabela 10.

¹⁷ Os Inventários das emissões de GEE são calculados em função dos processos de produção, fomentando a identificação de parâmetros nacionais, sem inviabilizar o cálculo no caso de ausência de alguma fonte, o que vem servindo de base para o desenvolvimento de uma cadastro internacional de emissões, capaz de proporcionar uma visão privilegiada sobre os rumos possíveis para a redução do problema.

TABELA 9 – Participação das Fontes de Geração na Energia Consumida no Município do Rio de Janeiro (%)

	1990	1996	1997	1998
HIDRELÉTRICA	89,9	84	82,3	81,9
TERMELÉTRICA	1,7	7,6	7,4	7,9
TERMONUCLEAR	8,4	8,4	10,3	10,2

Fonte: SMAC-COPPETEC, 2000.

TABELA 10 – Oferta de Energia por Combustíveis Fósseis e Emissões de CO₂ do Município do Rio de Janeiro – 1990 (Gg CO₂).

		Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
1990	Oferta de Energia (TJ)	2.786	21.729	39.734	23.033	10.198	1.441	25.253	2.509	126.683
	Emissões de Gases Estufa (Gg CO ₂)	213	1.469	1.287	1.689	664	105	1.787	67	7.281
1998	Oferta de Energia (TJ)	14.065	13.116	41.067	24.570	9.373	1.475	17.156	0	120.822
	Emissões de Gases Estufa (Gg CO ₂)	1.040	802	2.011	1.802	596	107	1.214	0	7.573

Fonte: SMAC-COPPETEC, 2000.

O incremento de 27% para 38% do total de emissões do município, entre 1990 e 1998, deve-se ao crescimento populacional, ao aumento no nível de atendimento da população e à melhoria das condições sanitárias dos depósitos de lixo (tabela 11), cuja externalidade negativa é devida ao fato do aterro controlado, ou sanitário, emitir mais metano que os “lixões”¹⁸ (SMAC-COPPETEC, 2000). Entretanto, ao invés de caracterizar um problema, é possível atingir nível de recuperação de biogás de até 94% da produção (CPL, 2000, caso seja implantado um sistema de drenagem de gases conforme internacionalmente recomendado, podendo ser utilizado para geração elétrica), similar ao que acontece nos EUA e Inglaterra.

TABELA 11 – Índice de Coleta e Tipo de Disposição Final de RSU no Município

	ÍNDICE DE COLETA DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS (%)	DISPOSIÇÃO FINAL (%)		
		LIXÃO		ATERRO
		ATÉ 5 M	MAIOR 5 M	
1990	90	10	90	0
1998	95	5	28,5	66,5

Fonte: SMAC-COPPETEC, 2000.

Por outro lado, caso venham a ser aplicadas técnicas de gerenciamento diferentes da disposição integral da fração úmida dos resíduos sólidos urbanos, como a incineração ou a BEM, não haverá formação de biogás (metano e dióxido de carbono) de fermentação, em virtude da biomassa estar sendo usada como combustível, além de estar convencionado que o dióxido de carbono que esta combustão emite é totalmente absorvido durante o crescimento da próxima safra de vegetais ou na engorda da pecuária, configurando emissão nula. Este fato acaba por

¹⁸ Locais utilizados para disposição final de resíduos sem nenhuma adequação técnica; clandestinos, mesmo que usados pelos órgãos públicos, cujas externalidades negativas são muito significativas.

reduzir, também, as emissões de dióxido de carbono decorrentes da combustão de derivados de fósseis, uma vez que são substituídos para gerar aquela quantidade de energia, cujo benefício depende do tipo de combustível a ser usado, de acordo com o planejamento do setor elétrico. No Brasil, a expansão está prevista através de usinas termelétricas, a maioria abastecida por gás natural (GN), cuja combustão emitirá para a atmosfera 449 ton CO₂/GWh (LA ROVERE e AMERICANO, 1998), no caso do ciclo combinado, considerado o de melhor rendimento entre as formas de aproveitamento dos combustíveis fósseis. Apesar deste fator ser significativamente grande em relação às emissões da biomassa, quando comparado às emissões decorrentes do uso de óleo diesel em usina térmica a ciclo combinado, 607 t CO₂/GWh (PINGUELLI ROSA e SCHECHTMAN, 1996) e do uso de carvão mineral nacional em usina térmica em ciclo a vapor convencional, cuja emissão pode chegar a 1248 t CO₂/GWh (idem), revela que o gás natural é o mais limpo dos combustíveis não renováveis.

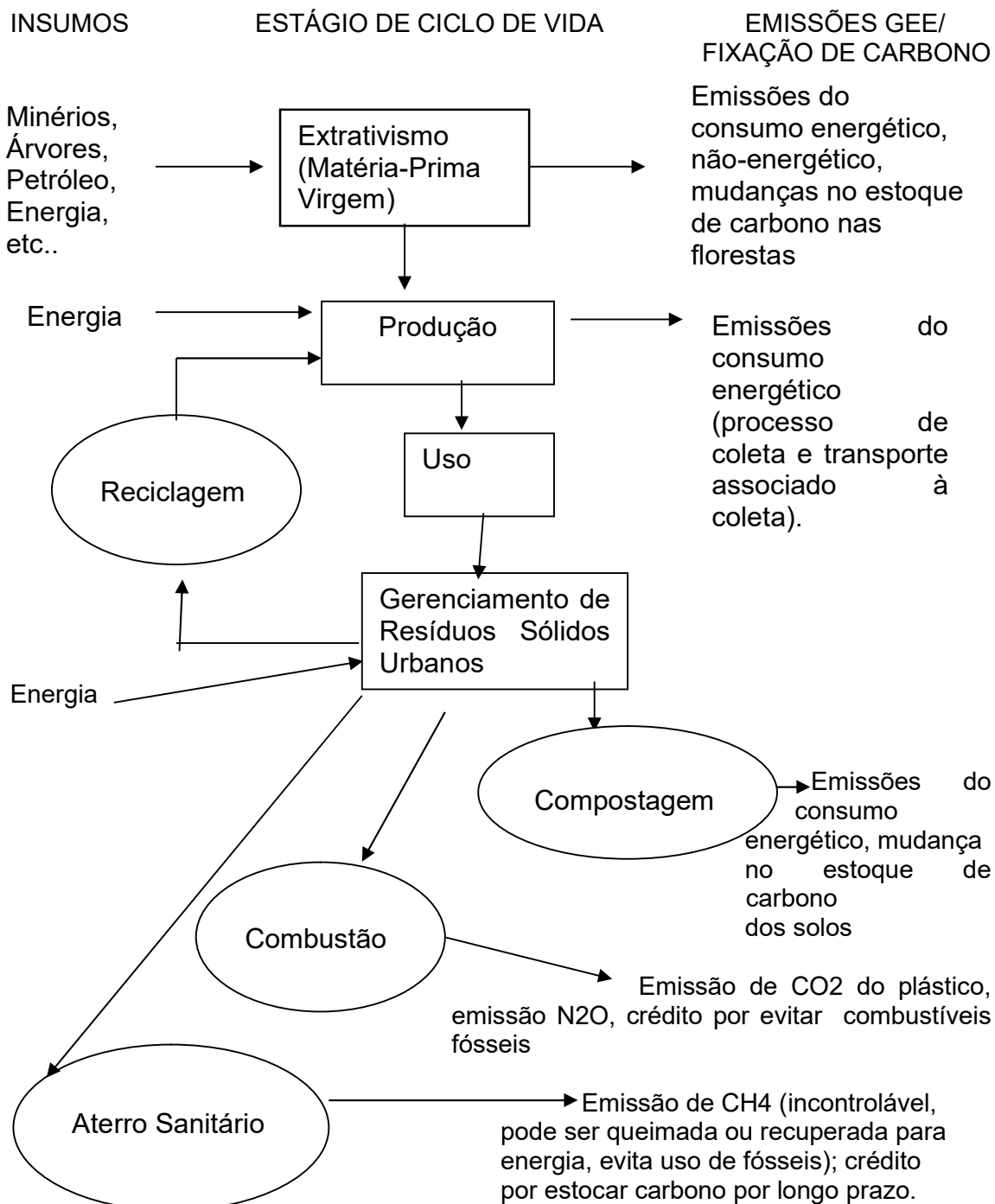
Portanto, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é capaz de permitir uma significativa redução de emissões sem requerer mudanças estruturais nos padrões de consumo da população, o que pode gerar recursos advindos da Bolsa de carbono¹⁹.

As emissões de cada estágio do ciclo de vida dos materiais – que acabam por compor os resíduos sólidos – está apresentada, qualitativamente, no quadro 2, permitindo a quantificação dos potenciais de redução, para o que é preciso calcular coeficientes de emissão por tipo de material. Neste sentido a USEPA elaborou metodologia, divulgada em 1998, com base no balanço energético (gráfico 4) da produção de cada bem – em função do mix de combustíveis utilizados –, em relação ao estágio de gerenciamento de resíduos em que o reaproveitamento está sendo

¹⁹ Bolsa de Carbono é o termo que está sendo usado para o mercado de Certificados de Emissões Evitadas, que deverá ser criado com a regulamentação do Protocolo de Kyoto.

efetivado, além de considerar os consumos de combustíveis de forma não-energética e nos transportes, conforme apresentam as tabelas de 12 a 14, abaixo.

GRÁFICO 4 – FONTES E SUMIDOUROS DE GEE ASSOCIADOS COM MATERIAIS ENCAMINHADOS PARA O LIXO.



Este gráfico permite identificar a complementaridade, entre o extrativismo e a reciclagem, na oferta de insumos para a produção e, conseqüentemente avaliar qualitativamente suas importâncias indiretas.

QUADRO 2 - COMPONENTES DAS EMISSÕES LÍQUIDAS DE VÁRIAS ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

ESTRATÉGIA	FONTES E SUMIDOUROS DE GEE		
	AQUISIÇÃO DE MATÉRIA VIRGEM E PROCESSO PRODUTIVO	MUDANÇA NO ESTOQUE DE CARBONO NA FLORESTA OU NO SOLO	GERENCIAMENTO DE LIXO
REDUÇÃO NA FONTE	Redução nas emissões GEE, relacionadas à referência do processo produtivo	Aumento no estoque de carbono florestal	Sem emissões ou fontes
RECICLAGEM	Redução nas emissões GEE devido ao menor consumo de energia (comparado à produção com insumos virgens) e processos que evitam gee não-energéticos.	Aumento do estoque de carbono florestal	Emissões associadas a processo e transporte são contabilizadas no estágio de produção
COMPOSTAGEM	Sem emissões/fontes	Aumento do estoque de carbono no solo	Emissões do equipamento usado para compostagem e dos transportes
COMBUSTÃO	Sem mudança	Sem mudança	Emissões antropogênicas de CO ₂ e N ₂ O, emissões evitadas de combustíveis fósseis, emissões de transportes
ATERRO	Sem mudança	Sem mudança	Emissões de metano, armazenamento de carbono de longo prazo, emissões evitadas de combustíveis fósseis (parte de metano gerando energia), emissões de transportes

Fonte: USEPA, 1998.

O quadro 2 detalha os tipos de emissão em cada uma das alternativas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, em escala decrescente de vantagens.

TABELA 12 - EMISSÕES LÍQUIDAS DE GEE DA REDUÇÃO NA FONTE E OPÇÕES DE GERENCIAMENTO DE RSU EMISSÕES CONTABILIZADAS COM REFERÊNCIA À GERAÇÃO DE LIXO (TON CARBONO EQUIVALENTE/TONELADA)

MATERIAL	REDUÇÃO NA FONTE	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM	COMBUSTÃO	ATERRO
JORNAL	-0,91	-0,86	NA	-0,22	-0,23
PAPEL DE ESCRITÓRIO	-1,03	-0,82	NA	-0,19	0,53
PAPEL CARTÃO	-0,78	-0,7	NA	-0,19	0,04
PAPEL MISTO	NA	-0,7	NA	-0,19	0,06
LATAS DE ALUMÍNIO	-2,98	-3,88	NA	0,03	0,01
LATAS DE AÇO	-0,84	-0,57	NA	-0,48	0,01
VIDRO	-0,14	-0,08	NA	0,02	0,01
HDPE	-0,61	-0,37	NA	0,21	0,01
LDPE	-0,89	-0,49	NA	0,21	0,01
PET	-0,98	-0,62	NA	0,24	0,01
RESTOS DE ALIMENTOS	NA	NA	0	-0,05	0,15
PODA DE JARDINS	NA	NA	0	-0,07	-0,11
LIXO MISTURADO	NA	NA	NA	-0,04	-0,02
MISTO DE RECICLÁVEIS	NA	-0,76	NA	-0,18	0,03

Fonte: USEPA, 1998.

Notas: NA - Não Aplicável, ou no caso da compostagem do papel, Não Analisado

Redução na fonte considera produção inicial usando o atual mix de insumos virgens e recicláveis

Compostagem tem contabilização incerta

Combustão considera média norte-americana das taxas de recuperação de metais em usinas de incineração

Aterros refletem a projeção das médias de recuperação de metano no ano 2000 para os EUA.

A ordem decrescente de benefícios é dada, na média, pelas atividades listadas da esquerda para a direita.

TABELA 13 - EMISSÕES LÍQUIDAS DE GEE DA REDUÇÃO NA FONTE E OPÇÕES DE GERENCIAMENTO DE RSU
EMISSÕES CONTABILIZADAS COM REFERÊNCIA À EXTRAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA (TON CARBONO EQUIVALENTE/TONELADA)

MATERIAL	REDUÇÃO NA FONTE	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM	COMBUSTÃO	ATERRO
JORNAL	-0,43	-0,38	NA	0,26	0,25
PAPEL DE ESCRITÓRIO	-0,5	-0,3	NA	0,34	1,06
PAPEL CARTÃO	-0,38	-0,3	NA	0,21	0,44
PAPEL MISTO	NA	-0,25	NA	0,28	0,53
LATAS DE ALUMÍNIO	0	-0,9	NA	3,01	3
LATAS DE AÇO	0	0,26	NA	0,35	0,85
VIDRO	0	0,06	NA	0,17	0,15
HDPE	0	0,24	NA	0,81	0,62
LDPE	0	0,4	NA	1,1	0,9
PET	0	0,36	NA	1,21	0,99
RESTOS DE ALIMENTOS	NA	NA	0	-0,05	0,15
PODA DE JARDINS	NA	NA	0	-0,07	-0,11
LIXO MISTURADO	NA	NA	NA	-0,04	-0,02
MISTO DE RECICLÁVEIS	NA	-0,26	NA	0,33	0,53

FONTE: USEPA, 1998.

NOTAS: NA – Não Aplicável, ou no caso da compostagem do papel, Não Analisado

Redução na fonte considera produção inicial usando o atual mix de insumos virgens e recicláveis

Emissões incluem produção inicial dos materiais, exceto para restos alimentares, poda de jardins e lixo misturado

Nesta tabela, a ordem permanece inalterada, mas cabe ressaltar que a técnica de Redução na Fonte coincide, em alguns casos, com as emissões da extração de matéria-prima, demonstrando, com base na tabela anterior, que o potencial de emissões evitadas, nestes casos, está entre a fase de extração de matéria-prima e de geração de lixo.

TABELA 14 - EMISSÕES LÍQUIDAS DE GEE DA REDUÇÃO NA FONTE E OPÇÕES DE GERENCIAMENTO DE RSU
EMISSÕES CONTABILIZADAS COM REFERÊNCIA AO ATERRO (TON CARBONO EQUIVALENTE/TONELADA)

MATERIAL	REDUÇÃO NA FONTE	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM	COMBUSTÃO
JORNAL	-0,68	-0,63	NA	0,01
PAPEL DE ESCRITÓRIO	-1,56	-1,35	NA	-0,72
PAPEL CARTÃO	-0,82	-0,74	NA	-0,23
PAPEL MISTO	NA	-0,76	NA	-0,25
LATAS DE ALUMÍNIO	-2,99	-3,89	NA	0,02
LATAS DE AÇO	-0,85	-0,58	NA	-0,49
VIDRO	-0,15	-0,09	NA	0,01
HDPE	-0,62	-0,38	NA	0,2
LDPE	-0,9	-0,5	NA	0,2
PET	-0,99	-0,63	NA	0,23
RESTOS DE ALIMENTOS	NA	NA	-0,15	-0,2
PODA DE JARDINS	NA	NA	0,11	0,04
LIXO MISTURADO	NA	NA	NA	-0,02
MISTO DE RECICLÁVEIS	NA	-0,79	NA	-0,21

FONTE: USEPA, 1998.

NOTAS: NA - Não Aplicável, ou no caso da compostagem do papel, Não Analisado

Redução na fonte considera produção inicial usando o atual mix de insumos virgens e recicláveis

Compostagem é considerada como tendo emissão nula

Combustão considera média norte-americana das taxas de recuperação de metais em usinas de incineração

Aterros refletem a projeção das médias de recuperação de metano no ano 2000 para os EUA.

Esta tabela permite identificar as melhores opções de gerenciamento do ponto de vista ambiental.

2.3 LIMITAÇÕES DESTA ANÁLISE:

A USEPA elaborou uma lista de considerações sobre as limitações impostas ao cálculo das emissões de GEE com base na análise de ciclo de vida. Dentre elas, cabe destacar que os consumos energéticos dos processos de produção são baseados nas estimativas da indústria norte-americana para energia útil média, em alguns casos utilizando bases limitadas; quanto à compostagem, há a limitação da dúvida sobre o metano gerado e o carbono seqüestrado decorrente do uso do composto, enquanto os cálculos referentes a combustão utilizam valores médios nacionais dos EUA.

Não foi possível comparar as emissões norte-americanas com as brasileiras em virtude da indisponibilidade de dados, como o total de energia consumida na produção de cada material, o mix de combustíveis e de insumos. Ademais, a Análise do Ciclo de Vida não está no escopo desta tese.

CAPÍTULO III

3. CUSTOS EXTERNOS DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Economia do Meio Ambiente associa Poluição à perda de bem-estar não compensada (PEARCE e TURNER, 1990), o que requer sua identificação e abrangência. A poluição oriunda dos resíduos sólidos urbanos vem sendo encoberta, pois algumas de suas externalidades são reduzidas por setores que sofrem com suas consequências, como saúde, meio ambiente e segurança pública, quando isto deveria ser cobrado de quem se beneficia daquela produção, uma vez que está sendo gerado um subsídio da sociedade a uma atividade econômica, o que pode deixar de caracterizar perda de bem-estar.

Apesar disto, a reciclagem – e, inseparavelmente, a coleta seletiva – é um dos principais temas quando o assunto é ganho de eficiência, seja pela redução de consumo de insumos pelas indústrias, seja pela otimização das áreas destinadas a depósitos de resíduos, ou mesmo quanto ao desenvolvimento psico-pedagógico comunitário, devido ao exercício de cidadania envolvido no sistema.

CALDERONI (1997) relaciona os benefícios ambientais oriundos do aproveitamento de papéis, plásticos, vidros e metais, possíveis através da coleta seletiva. Desenvolve, inclusive, metodologia de mensuração dos custos evitados e analisa sua distribuição entre os diversos atores envolvidos. Ademais, de acordo como o próprio autor, há variáveis não exploradas que podem auxiliar na tomada de decisão favorável à coleta seletiva

Objetivando identificar algumas destas variáveis e mensurá-las – com exceção das mortes e dos itens para os quais não foi possível obter os valores dispendidos –, procurou-se traduzir em valores monetários as respectivas externalidades causadas pelos resíduos sólidos urbanos, através dos resultados de pesquisas já realizadas

sobre cada um dos assuntos – na maioria das vezes com base nos custos evitáveis – com o objetivo de internalizá-las e mensurar de forma mais realista os custos da coleta tradicional, pois a comparação ora feita com a coleta seletiva baseia-se apenas nos custos operacionais.

3.1 VANTAGENS DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RSUs

Atualmente, há consenso, pelo menos em nível teórico, que desenvolvimento é algo muito mais amplo do que simples crescimento econômico. “Desenvolvimento” passou a ser visto não apenas como melhoria do bem-estar material, mas também melhoria da qualidade de vida, avanço social, incorporando, inclusive, a proteção ambiental, conforme sugere a metodologia de cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Nações Unidas.

Os materiais passíveis de (re)aproveitamento mais relevantes são aqueles que demandam, na sua produção, de muitos recursos naturais – minerais ou florestais –, ou, ainda, grande quantidade de energia. O aproveitamento energético de resíduos expande as reservas de matéria-prima e energia, na medida em que reduz a demanda por esses recursos naturais, tendo em vista que obriga a um uso mais eficiente dos mesmos, o que é uma resposta racional à crise do setor elétrico. Isso pode representar, ainda, maior competitividade dos produtos nacionais, que atenderiam padrões ambientais internacionais cada vez mais rigorosos.

Do aspecto social, a coleta seletiva mostra-se uma atividade extremamente atraente, podendo envolver os estratos mais fragilizados da sociedade, tendo em vista que a maioria das atividades envolvidas no processo de coleta, reciclagem e geração de energia demanda mão-de-obra não qualificada (catadores, sucateiros, micro e pequenas empresas beneficiadoras, produtores independentes de energia, etc.) Milhares de empregos podem ser criados em programas de coleta seletiva com um

custo muitas vezes menor do que o necessário em atividades para a produção dos insumos substituídos (PARCERIA 21, 1999).

Além disso, a implementação de um amplo programa de coleta seletiva pode contribuir consideravelmente para a diminuição do volume de resíduos sólidos. Tais resíduos – reduzindo a disposição de lixo a céu aberto, a qual chegava a 75% segundo a PNSB (IBGE, 1989) – dispostos muitas vezes próximos a mananciais d'água, contribuem significativamente para a obstrução da rede de drenagem urbana, contribuindo para enchentes e para a difusão de doenças, como dengue, malária, cólera, leptospirose e leishmaniose.

Por tudo isto, as vantagens ambientais da coleta seletiva com reciclagem e produção de energia são transversais e significativas.

3.2 DIREITOS DE PROPRIEDADE

Ao analisar a questão dos resíduos urbanos, é preciso abordar os Direitos de Propriedade sobre o Meio Ambiente. Em virtude da caracterização do caso sobre a propriedade comum, no qual todos são donos e, na verdade, os recursos naturais são propriedade de ninguém, vivencia-se o “Dilema do Carona” (COASE, 1960), o qual requer uma solução cooperativa, pois cada um espera a iniciativa dos demais, causando inércia.

Para o entendimento da situação é preciso notar que existem vários atores no sistema, o produtor de lixo, o serviço de coleta e disposição final, os catadores de recicláveis que atuam nas ruas e nos depósitos de lixo, os aparistas e sucateiros, as indústrias que reciclam, os produtores independentes de energia e o mercado consumidor – que é o próprio produtor de lixo. Esse ciclo poderia aproveitar 90% do material ora descartado, mas o modelo atual não ultrapassa 30% da fração composta por papéis, plásticos, vidros e metais (BASTO OLIVEIRA, 1999), pois o potencial de aproveitamento da outra fração está praticamente intacto. A introdução do Custo

Externo no cálculo dos benefícios propiciados por cada tipo de coleta de resíduos é o primeiro passo para padronizar a discussão, atualmente baseada em custos operacionais.

Esta mensuração permitirá identificar qual das coletas é mais barata e, caso seja a seletiva, saber qual o retorno possível para o investimento requerido, já que é necessária uma adequação bastante realista que considere as peculiaridades brasileiras. Esta adequação deve considerar que o tradicional mercado de sucatas e aparas levou os produtores de resíduos a conhecerem a valoração destes produtos, o que torna contraproducente sugerir, como na maioria das propostas divulgadas, que a seleção de materiais e seu encaminhamento ao ciclo produtivo se dê sem nenhuma participação nos lucros da coleta seletiva e reciclagem, pois a sociedade requer mais do que a motivação ambiental, esperando participar financeiramente das receitas. (BASTO OLIVEIRA, LIMA e FERREIRA, 1999).

3.3 INTERNALIZAÇÕES E EXTERNALIDADES:

Há duas alternativas para a alocação das externalidades entre a coleta tradicional e a seletiva, quais sejam, *(i)* atribuir os benefícios, ou malefícios, diretamente à opção de gerenciamento responsável, diminuindo, ou aumentando, os custos operacionais de forma a encontrar seus custos reais e *(ii)* atribuir todos os benefícios e malefícios das duas opções de gerenciamento a apenas uma delas, mantendo o custo operacional da outra.

Como só a discussão sobre o custo operacional da coleta seletiva é capaz de gerar muitas controvérsias, optou-se por acatar o valor mais alto divulgado pelo CEMPRE (1998) e, como metodologia, reunir todas as externalidades como custos da coleta tradicional dos resíduos sólidos urbanos, sejam aquelas negativas da coleta e destinação tradicionais, ou o desperdício que a coleta seletiva poderia reduzir.

Em virtude deste tipo de abordagem ser recente, são poucas as externalidades já quantificadas e raros os dados existentes para calcular as demais, subestimando o resultado dos significativos benefícios sociais, energéticos, econômicos e ambientais que podem ser proporcionados ao país, como poderá ser visto no decorrer deste capítulo.

O primeiro destes benefícios diz respeito ao uso de recicláveis, o qual permite a redução no consumo de matéria-prima virgem, cujo potencial brasileiro atinge R\$ 3,4 bilhões/ano (ver tabela 1). A comercialização destes recicláveis pode, também, gerar R\$ 1,1 bilhões de receita, como pode ser visto na tabela 15.

TABELA 15 – Potencial de Arrecadação com a Venda de Recicláveis

	TONELADAS DESPERDIÇADAS EM 1996 (mil t)	PREÇO DE VENDA (R\$/t) (Junho/2000)	RECEITA POTENCIAL (milhões R\$)
PAPEL	3.958	120	474,96
PLÁSTICO	1.980	290	574,20
VIDRO	520	55	28,60
METAIS	512	60	30,72
TOTAL	6.970	-	1.105,48

Fonte: CALDERONI (1997) e RECICLOTECA (2000).

Esta substituição de papéis, plásticos, vidros e metais, reduz o consumo de água e custos ambientais em cerca de R\$ 480 milhões anuais (CALDERONI, 1997). Além disso, em virtude da produção industrial usando recicláveis requerer menos energia que o processo primário, o potencial da conservação de energia é da ordem de 27,2 TWh (tabela 2), que pode chegar a 29,9 TWh se consideradas perdas de 10% na transmissão, o que representa cerca de 10% da oferta atual de energia elétrica. Esta economia de energia pode ser traduzida em redução no consumo de Gás Natural

(combustível fóssil menos poluente) para termelétricas que gerassem a energia acima (consideradas como a base da expansão da geração do setor), na faixa de R\$ 18,22/MWh e estaria economizando R\$ 544,8 milhões (ver capítulo 1). Outra economia que estaria sendo feita é referente às emissões evitadas de gases estufa, decorrente do processo de produção de embalagens por indústrias energo-intensivas, perfazendo 3,6 milhões de toneladas de carbono por ano ($29,9 \text{ TWh} \times 449 \text{ ton CO}_2/\text{GWh} \times 12/44$) – sem considerar o biogás evitado pela reciclagem do papel.

Os restos alimentares podem ser tratados através de quatro métodos, compostagem, incineração, B.E.M e Aterro Energético (GDL). Qualquer destas opções é importante na medida em que evita riscos de explosões, acidente comum em depósitos de lixo, normalmente atingindo comunidades carentes.

A Compostagem, que produz adubo orgânico, se desenvolvido controle de qualidade, pode gerar participação na receita crescente do mercado de produtos naturais, bem como de venda de Certificados de Emissões Evitadas (de metano) – podendo ser consorciada à recuperação de GDL, em um processo cuja viabilidade econômica foi obtida recentemente. A opção pelo aterro com recuperação de GDL pode gerar energia da ordem de 2,1 TWh (ver capítulo 1), cerca de 0,7% da oferta atual. Como no caso da reciclagem, esta oferta de energia permite a redução no consumo de Gás Natural para usinas termelétricas que gerassem a energia acima, na faixa de R\$ 18,22/MWh (capítulo 1), economizando R\$ 56,48 milhões, além de evitar emissões de metano na ordem de 3 milhões de toneladas de carbono equivalente²⁰.

²⁰ Este valor é obtido através da conversão de 90% do metano gerado, pelo GWP em 100 anos, em CO₂ ($677000 \times 0,9 \times 21$), do que retira-se a emissão de CO₂ da combustão ($677000 \times 0,9 \times 44/16$) e converte-se o resultado em carbono equivalente ($11,12 \text{ Mt CO}_2 \times 12/44$).

Caso seja escolhida a tecnologia B.E.M. (PINATTI et al., 1999), esta geração pode chegar a 20 TWh (ver capítulo 1), cerca de 6% da oferta atual, cuja redução no consumo de Gás Natural atinge, então, R\$ 364 milhões anuais e as emissões evitadas de metano (3,9 Gg C Eq) e dióxido de carbono (2,5 Gg C Eq) somam cerca de 6,4 milhões de toneladas de carbono equivalente por ano.

Do ponto de vista social, segundo o Ministério do Desenvolvimento, a implantação do Programa Brasileiro de Reciclagem, é capaz de, além de gerar **1.000.000 de empregos**, aumentar entre 30 e 40% o valor dos materiais secundários (BRASIL, 1998); passando dos R\$ 1,1 bilhão/ano (capítulo 1), para R\$ 1,4 bilhões/ano. A isto pode ser acoplado o estudo do BID sobre a América Latina, o qual conclui que o desperdício de recursos é diretamente ligado à falta de oportunidades, acabando por gerar violência e aumentar o consumo de recursos. No caso do Brasil esta cifra chega a R\$ 84 bilhões anuais, entre perda de capital humano, prejuízos materiais, dinheiro que deixa de ser investido, deterioração do consumo e das condições de trabalho, além da transferência de valores – incidindo, principalmente, **sobre a mão-de-obra de menor qualificação** (PASSOS, 1998), **exatamente a que pode ser beneficiadas pelas oportunidades citadas** no PBR. Ainda segundo PASSOS (1998), em média 20% da população é vítima de violência, o que representa 32 milhões de pessoas, o que possibilita estimar o desperdício médio em R\$ 2.500 por vítima/ano, daqueles R\$ 84 bilhões/ano. A geração de um milhão de empregos (PBR, 1999) poderia gerar, caso todos os beneficiados fossem do grupo de atingidos pela violência, aproximadamente R\$ 2,5 bilhões/ano para o país.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, cerca de 60% das verbas municipais de saúde são gastas com doenças causadas pela falta de abastecimento de água, falta de esgotos sanitários e carência de serviço de coleta de lixo (FARRO, 1997). Se o gasto total em saúde em 1985 era de US\$ 11,4 bilhões, sendo US\$ 1,56 bilhões a alocação local (AFONSO, 1993), considerando somente 5% daquele fator, tal valor

chega a R\$ 0,15 bilhão/ano. Como exemplo dos efeitos diretos do lixo, pode ser citado o evento ocorrido durante o verão de 1996, no Rio de Janeiro, em que houve o entupimento do vão de uma ponte por embalagens descartáveis, durante as chuvas daquele ano, causando enchente e onze mortes no Rio de Janeiro, dentre as quais quatro crianças (PINGUELLI ROSA e LACERDA, 1996).

Por fim, é preciso considerar o valor referente a opção por utilização de áreas para servirem à disposição final de resíduos sólidos, quando as municipalidades estão vivenciando a escassez de áreas para expansão econômica e habitacional, cujo valor não foi ainda mensurado, o que converge com o interesse da EMBRATUR, que, através do PNMT, está procurando reduzir a insatisfação do turista com a limpeza pública nacional, aumentando as divisas, nos cerca de 1600 municípios turísticos, valor também ainda não mensurado.

O desperdício de energia que totaliza 50 TWh, dos quais 20 TWh poderiam ser comercializados ao Valor Normativo de Energia oriunda de Biomassa (R\$ 80,80/MWh) (ANEEL, 1998), enquanto os outros 30 TWh podem ser comercializados ao Valor Normativo de Energia proveniente de Hidrelétrica (R\$ 57,20/MWh) (ibidem), pode gerar R\$ 3,33 bilhões anuais.

O potencial de emissões evitadas de 10 milhões de toneladas de carbono equivalentes, pode ser vendido a US\$ 20 cada tonelada de carbono equivalente, perfazendo R\$ 360 milhões anuais. A economia no consumo de matéria-prima virgem, a venda dos recicláveis, o consumo de água e os custos ambientais, o gás natural não consumido que poderá ter um fim mais nobre, e os gastos com saúde pública decorrentes das doenças causadas pela falta de tratamento adequado do lixo, estão sintetizados na tabela 16, abaixo.

TABELA 16 – Desperdício da Coleta Tradicional

FONTE	BILHÕES R\$/ANO
Redução de Consumo de Matéria-prima Virgem*	3,40
Venda de Recicláveis	1,10
Água e Custos Ambientais*	0,48
Gás Natural	0,91
Custos Municipais com Saúde Pública	0,15
Aproveitamento Energético dos Resíduos	3,33
CDM	0,36
TOTAL	9,73

Fonte: Elaboração Própria

* Valores em Reais de 1996

Demais valores em Reais de 2000

Este valor permite calcular o subsídio maquiado à coleta tradicional, bastando dividi-lo pela quantidade de material coletada, que é dada através dos valores aceitos com base nos dados de produção industrial em 1996. Portanto, as 20.000.000 toneladas anuais geram desperdício de R\$ 486,50/tonelada, que acrescido do custo operacional de R\$ 35/ton, totaliza um custo real de R\$ 521,50 por tonelada de resíduos sólidos urbanos coletada e disposta das formas tradicionais.

As variáveis que não foram abordadas por CALDERONI (1997) em sua análise também podem ter seus efeitos associados aos atores do processo. Portanto, o gás natural evitado seria um prejuízo para a PETROBRAS e benefício para a sociedade – se bem que isto pode ser contestado, pois o contrato de aquisição do gás natural é “take or pay” e a população pode acabar pagando por isto. A redução com custos municipais com saúde pública seriam benefícios para as prefeituras e populações e os prejudicados serão os laboratórios. O aproveitamento energético dos resíduos sólidos

urbanos seriam benéficos para prefeituras e empresas geradoras de energia, enquanto o CDM trará benefícios para o governo federal, as prefeituras e as populações, além dos países que tem metas de redução de emissões a cumprir.

3.4 COMPARAÇÃO COM CUSTOS OPERACIONAIS:

Segundo a Pesquisa Ciclosoft, do CEMPRE (1994) o custo operacional médio entre as prefeituras que praticam a coleta seletiva é de R\$ 274,75/ton – valor obtido pelo produto entre o preço em dolar e a taxa de câmbio utilizados –, o que significa R\$ 239,75/ton mais elevado que o custo operacional da coleta tradicional (R\$ 35/ton), mas, ainda, R\$ 246,75/ton mais barato que seu custo real (R\$ 521,50/ton). Considerando-se que todos os resíduos sejam coletados e que o custo da coleta seletiva dos recicláveis incida somente sobre o potencial de material reciclável disponível (35% do total), o custo operacional seria de R\$ 2,4 bilhões anuais, referentes a R\$ 0,5 bilhões dos 65% de materiais coletados pelo método tradicional – mas com destinação voltada para o aproveitamento energético – e a R\$ 1,9 bilhões da coleta seletiva. Este custo corresponde a cerca de 25% do desperdício produzido pela coleta tradicional, fomentando uma receita líquida próxima de R\$ 7,3 bilhões anuais. Ainda que fosse permitida a extrapolação de todos os resíduos sólidos urbanos brasileiros serem coletados pelo custo operacional da coleta seletiva, seriam gastos R\$ 5,5 bilhões anuais, gerando receita líquida de R\$ 4,2 bilhões anuais.

É preciso considerar que não estão internalizados os custos de produção das peças publicitárias para as campanhas, mesmo que sejam caras só no início, bem como o trabalho dos funcionários que operacionalizarão o sistema nos ambientes internos das instituições e prédios residenciais, nem as emissões de gases estufa provenientes do aumento de consumo de combustíveis, necessário para os veículos de coleta atingirem a carga ideal. O trabalho dos funcionários de ambientes internos foi avaliado como pouco oneroso para o sistema (BASTO OLIVEIRA et al.,1999),

enquanto a produção de peças publicitárias deverá dispor de aplicação de parte da receita líquida possível que não reduza a atratividade do empreendimento. Já o aumento das emissões de gases estufa, decorrente da maior combustão de óleo diesel, reduzirá o potencial CDM do sistema. De qualquer forma, é pouco provável que estas mudanças alterem a ordem de grandeza dos benefícios, ao contrário do que pode ocorrer com o preço da energia elétrica vendida e a comercialização do CDM, que tendem a aumentar.

3.5 DISCUSSÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS

De acordo com análise feita acima, um sistema de coleta seletiva conta com dois custos operacionais distintos: custo operacional tradicional para 65% dos materiais e 35% com custo operacional diferenciado. Entretanto, é possível que o custo operacional tradicional seja incrementado, em função da necessidade de aumento das rotas dos caminhões para ocupar o espaço vazio de 35%. É razoável considerar que este custo tenha como principal variável de explicação a densidade demográfica, sendo inversamente proporcionais – quanto maior a densidade, menor o incremento. No melhor caso, o incremento no custo será de 35%, enquanto para o pior aceitou-se que fosse igualar o custo operacional da coleta seletiva, chegando a 750%. A média aritmética entre estas taxas ficaria em 392,5%.

É possível, ainda, discutir o custo operacional atribuído a coleta seletiva, pois como pode ser visto nos gráficos abaixo, as cidades nas quais há maior engajamento populacional e onde estão instaladas as indústrias consumidoras dos recicláveis (como Porto Alegre e Curitiba), o custo da coleta seletiva se reduz sensivelmente, chegando a pouco mais que o dobro do custo operacional da coleta tradicional.

Uma alternativa seria a aplicação da metodologia adotada no estudo sobre as oportunidades de CDM para o setor elétrico (BASTO OLIVEIRA et al., 2000) – que será discutido no estudo de caso –, onde o custo operacional da coleta seletiva foi

avaliado em US\$ 150/ton (R\$ 262,50/ton) valor que corresponde à média de algumas experiências nacionais, desprezando-se o maior e o menor valores mostrados abaixo, face ao preço de coleta atualmente considerado US\$20/ton (R\$ 35/ton). Neste caso, a Taxa Interna de Retorno encontrada foi superior a 30%, o que demonstra a constante necessidade do estudo de demanda e de fomento ao desenvolvimento dos Sistemas Integrados de Reaproveitamento de Resíduos Sólidos (SIRRS) – como é o embrião de Goiânia – de forma local ou, no máximo, regional.

A título de exercício, foi calculado o **custo médio ponderado** de coleta seletiva por tonelada entre os 14 municípios, considerando a quantidade coletada (gráfico 3) e custos informados (gráfico 5), tendo sido encontrado US\$ 108,18, ou R\$ 194,73, cerca de 30% abaixo do valor usado. Caso fossem escolhidos os cinco maiores municípios envolvidos no sistema (Porto Alegre, Salvador, Curitiba, Santos e Campinas), o custo médio ponderado encontrado seria US\$ 85,08/ton, que representa R\$ 153,15, quase a metade do valor divulgado pela pesquisa.

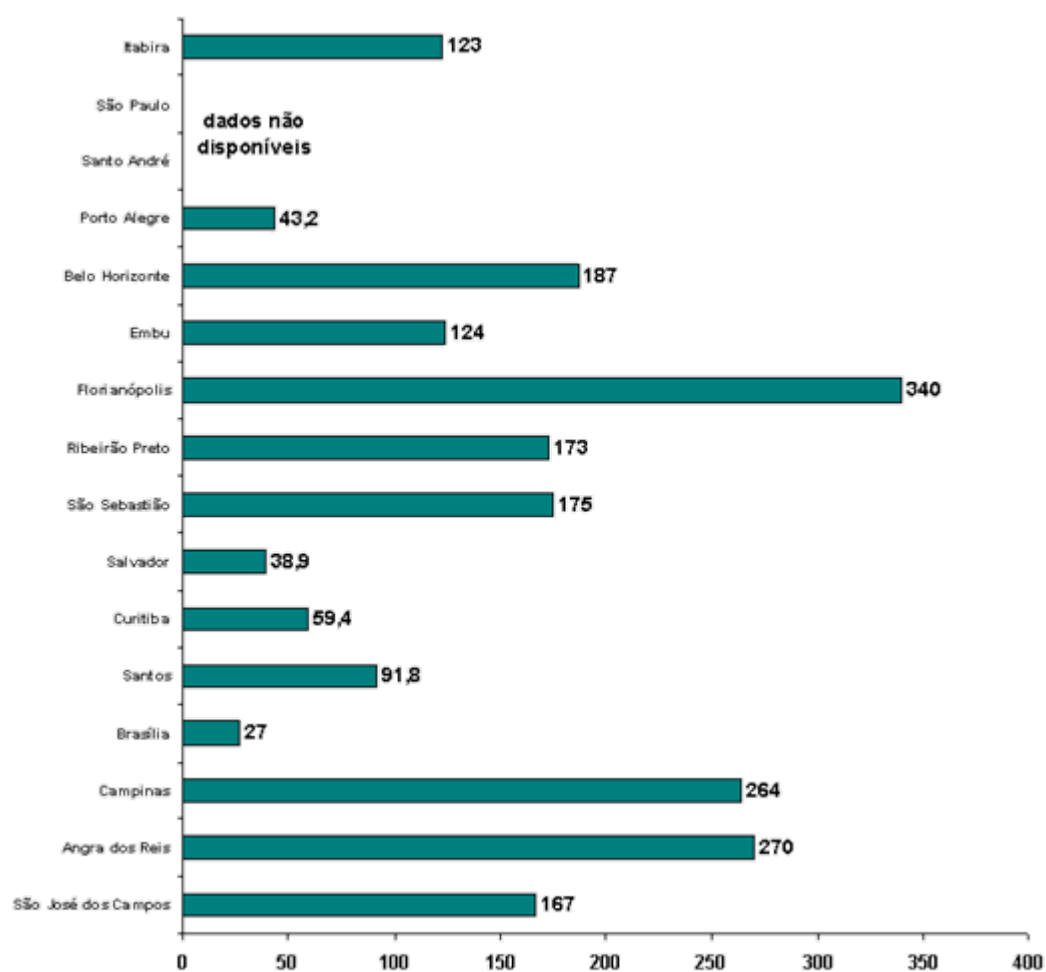


GRÁFICO 5 - Custo com Coleta Seletiva (US\$/ton.)
(US\$=1,85 R\$)

A título ilustrativo, o gráfico 6 mostra a composição média dos resíduos encaminhados ao sistema de coleta seletiva na maioria das cidades pesquisadas pela Ciclossoft – cuja metodologia de cálculo não foi divulgada e pode recair no mesmo erro dos custos da coleta seletiva e da coleta tradicional, a qual calculou o custo médio deste serviço nas 14 cidades (exclui São Paulo e Santo André) pesquisadas, tendo encontrado US\$ 157/ton (R\$ 282,60/ton), valor 8 vezes maior que o custo operacional da coleta tradicional, mas ainda R\$ 229,90 por tonelada menor que o custo real da coleta tradicional.

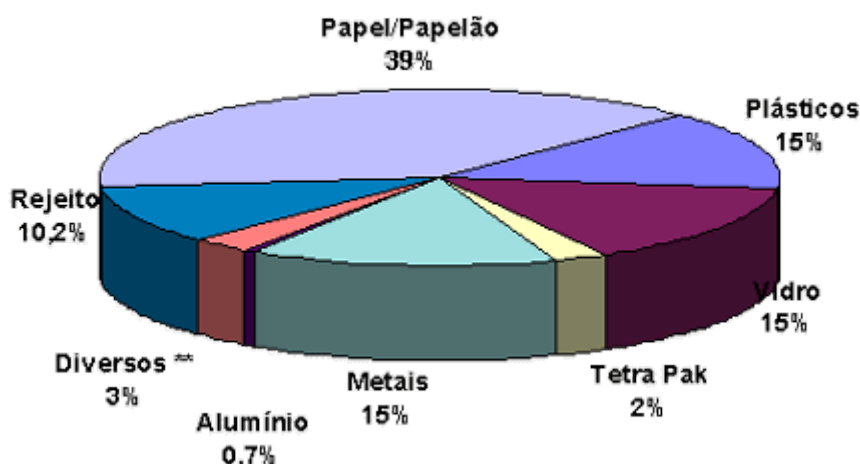


GRÁFICO 6 - Composição da Coleta Seletiva
(Média das cidades*)

* exceto São Paulo , Santo André e Itabira

** inclui outros tipos de materiais recicláveis: baterias , pilhas, borracha, madeira, livros(reutilização) entre outros.

Com base nas análises acima, fica caracterizado que os desperdícios da coleta tradicional devem ser combatidos, pois mesmo se forem gastos os valores, extremamente elevados, de custo operacional da coleta seletiva obtidos pela Pesquisa Ciclosoft (CEMPRE, 1998), o potencial líquido de recursos é da ordem de R\$ 4 bilhões anuais.

Existem, ainda, duas ações em curso que podem amplificar os benefícios do aproveitamento energético dos RSU: O Programa Brasileiro de Reciclagem e a Política Sanitária Nacional. Segundo o PBR, deve haver aumento entre 30 e 40% nos preços dos recicláveis quando for divulgada a relação de benefícios possíveis, o que também aumentará o custo da matéria-prima virgem, que passará a custear seus impactos ambientais. A política sanitária nacional deve fomentar a disposição final dos resíduos sólidos urbanos em aterros, incrementando a geração de biogás em 66% sobre o cálculo da CETESB (1999), cuja recuperação permitirá gerar mais energia e certificados ambientais.

Com todos estes potenciais, chega-se à indagação sobre os obstáculos que dificultam o acesso aos benefícios multisetoriais do aproveitamento energético dos resíduos sólidos. Uma das principais dificuldades é vencer a cobrança de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), que incide sobre os produtos oriundos de insumos recicláveis. Esta cobrança, além de caracterizar bi-tributação, visto que na produção primária o IPI já foi cobrado, fomenta o extrativismo, uma vez que reduz o intervalo no qual o material reciclável é mais atrativo que o similar virgem, considerando-se que aquele é um bem inferior²¹ (SEROA e CHERMONT, 1996).

Um dos problemas diz respeito à falta de conhecimento sobre os custos reais da coleta tradicional, o que configura assimetria de informações, pois permite que a atividade ambientalmente mais onerosa sobreviva perante as demais. A outra questão está relacionada aos custos de transação, reconhecidos pela dificuldade de engajar a pulverizada produção de resíduos em um sistema, mesmo que seja tão simples quanto dispor os resíduos em dois recipientes – caso sejam restos alimentares ou não aos custos de transação. Uma das formas de reduzir os custos de transação é reduzir a assimetria de informação, de forma a distribuir os benefícios e democratizar os interesses e as ações.

Faz-se necessário reiterar a premência de acesso aos espaços gratuitos na mídia para serviços públicos, de maneira que os escassos recursos possam ser aplicados na implantação do sistema operacional e dos instrumentos de motivação – dentre os quais a campanha publicitária, que já é bastante dispendiosa. Estes espaços de mídia são similares àqueles utilizados pelos partidos políticos, mas são pouquíssimo aproveitados para qualquer atividade de serviço público – fato que merece uma avaliação aprofundada, a fim de identificar os motivos deste outro tipo de desperdício.

²¹ Bens que só são adquiridos enquanto seus preços não concorrem com os de produtos substitutos.

Há um exemplo pertinente, sobre empresas que receberam créditos para reciclagem, adquiriram equipamentos e contrataram funcionários, mas não conseguiram motivar os fornecedores potenciais e fracassaram.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDO DE CASO SOBRE O PRO-LIXO.

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro (SEMADS), está licitando a elaboração dos projetos executivos do Programa Estadual de Controle de Lixo Urbano - Pró-Lixo, cujo objetivo é atender aos 76 municípios do estado cujas populações sejam de até 150.000 habitantes, promovendo desta forma: a redução de impactos ambientais; a melhoria das condições sanitárias e de saúde; o aumento da eficiência econômica e energética de algumas indústrias e a conservação de energia elétrica.

O Programa prevê a criação de cerca de 1.200 postos de trabalho diretos, cuja grande maioria aceita profissionais com pouca qualificação, cujos investimentos estavam previstos para as seguintes áreas: atividades de educação ambiental; unidade de reaproveitamento de resíduos; unidade de compostagem de resíduos; aterro sanitário; e treinamento de pessoal.

As atividades de educação ambiental visam inserir a população, como agente participativo, nos novos procedimentos a serem implementados no gerenciamento do lixo urbano em cada município. As atividades propostas buscam facilitar a implementação tanto de processos de coleta seletiva de materiais e reciclagem de resíduos, quanto de melhorias na limpeza da cidade, principalmente de seus recursos hídricos, encostas de morros, galerias pluviais, etc.

O programa visa, num primeiro momento, arcar com a divulgação da nova política, mas requer a criação de Grupos Gestores locais para administração de todas as etapas, com a supervisão da SEMADS.

A unidade de reaproveitamento de resíduos é constituída por um galpão com cerca de 500 m² de área construída e munido de área de segregação, banheiros,

refeitório, escritório, depósito e boxes de armazenamento de recicláveis. O galpão, totalmente coberto, receberá resíduos previamente separados nas residências, comércio, indústria e outros estabelecimentos. Este sistema de coleta seletiva dos resíduos requer somente a separação em duas frações: uma com papéis, plásticos, vidros e metais – conhecidos como recicláveis, ou secos – e outra com os demais materiais (úmidos). Depois de recebidos, os materiais são classificados e preparados para serem encaminhados como matéria-prima para artesãos ou profissionais locais.

Para facilitar a classificação dos recicláveis, a unidade contará com uma esteira transportadora, com capacidade dimensionada de acordo com a população residente. Os materiais classificados serão armazenados nos boxes em forma de fardos, amarrados ou a granel, conforme suas características. Os materiais serão escoados de forma integrada entre os municípios do programa, de forma a obter melhores condições de escoamento e comercialização.

Também será implantado nos municípios um pátio de compostagem de resíduos orgânicos, no intuito de produzir composto orgânico. A este processo de compostagem só serão enviados resíduos previamente separados e classificados, de modo que o composto disponha de condições de ser amplamente utilizado pela Prefeitura e outros interessados no município. O processo de decomposição dos resíduos será efetuado de forma natural, em pátio aberto, sendo eles dispostos em leiras (montes), sendo revolvidas periodicamente até sua total transformação em composto orgânico.

O pátio será construído em solo compactado, em declive, com uma rede de drenagem superficial em seu perímetro, de modo a recolher toda a água da chuva incidente e encaminhá-la ao sistema de tratamento de efluentes líquidos. O composto orgânico produzido será encaminhado a uma peneira rotativa para extração de elementos indesejáveis e geração do produto em diversas granulometrias.

Com vistas a dispor os materiais sobre os quais não houver interesse, ou ainda, receber o lixo bruto quando da inviabilidade da aplicação de qualquer processo de

tratamento, serão construídos aterros sanitários para atender a todos os municípios. Estes aterros estarão de acordo com as normas técnicas e serão totalmente licenciados pela FEEMA, havendo a possibilidade de que alguns sejam consorciados. Muitos municípios deverão dispor de novas áreas para aterramento do lixo urbano, de forma a atender requisitos estabelecidos pela legislação ambiental. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável dará apoio técnico às Prefeituras Municipais, tanto para a escolha das áreas como para a elaboração dos projetos básicos.

Para implementar as operações de compactação, extração de terra e recobrimento dos resíduos, os municípios contarão com equipamento próprio que deverá ser total e exclusivamente agregado às atividades do aterro sanitário.

Finalizando o programa, serão executadas atividades voltadas a capacitar os profissionais da cidade, funcionários da Prefeitura ou de empresas prestadoras de serviços para implementar as ações, sejam elas de educação ambiental, reaproveitamento, segregação, compostagem ou destinação dos resíduos. São consideradas ações de treinamento a elaboração de mecanismos de monitoramento e avaliação do programa, assim como o estabelecimento dos critérios para atuação do Grupo Gestor do programa Pró-Lixo.

Além de treinamento básico, o Programa procura também executar atividades voltadas a capacitar profissionais que atuarão na limpeza de logradouros, valas, galerias e na melhoria da urbanização do município, de forma a ampliar as condições do turismo e do desenvolvimento econômico e social.

Apesar de estar dimensionado para 76 municípios e cerca de 2,5 milhões de habitantes, não foram divulgados os novos investimentos, ao contrário do que ocorreu quando o programa estava orçado para **66 municípios** e atenderia a 1,6 milhão de habitantes. Naquela oportunidade, as previsões de investimento eram de R\$ 4,84 milhões para construção de aterros; R\$ 2,16 milhões para as unidades de reciclagem,

que em verdade atuam como centrais de triagem; R\$ 780 mil para unidades de compostagem, R\$ 1,413 milhão para educação; R\$ 600 mil para treinamento e R\$ 882,38 mil para o gerenciamento do programa, perfazendo um total R\$ 10,68 milhões²².

4.1. O PRO-LIXO VISTO COMO UM PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA²³:

A SEMADS pretende que o Pro-Lixo incremente a oferta de materiais recicláveis com a qualidade mínima requerida pelo mercado, o que levará este aumento a ser absorvido pela demanda, representando um aumento efetivo do volume de material reciclado. Desta forma, o Pro-Lixo estaria promovendo, além de todos os benefícios ambientais, a conservação de energia nos processos industriais, cujo cálculo depende do quantidade de resíduos sólidos urbanos produzida pelos municípios atendidos, segundo tipo de material.

Como o investimento conhecido refere-se à primeira fase do Pro-Lixo, quando a população atendida seria de aproximadamente 1,6 milhões de habitantes, com uma produção per capita de resíduos correspondente a um quilograma por dia, os cálculos foram elaborados com o volume de resíduos produzido anualmente de 584 mil toneladas. Visto que não há dados sobre composição dos resíduos disponíveis para os municípios atendidos pelo Pró-Lixo, foram utilizados dados do município do Rio de Janeiro, oriundos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/CEMPRE, 1997) e confirmados pela COMLURB (1999), onde 45% seria composto por papel/papelão, vidros, plásticos e metais.

²² Para efeito de cálculo de taxas de retorno, convencionou-se um valor correspondente a US\$ 6.000 milhões.

²³ Síntese de trabalho realizado sobre fontes renováveis para o setor elétrico com potencial CDM. (ANEEL/IVIG, 2000).

Para o cálculo da energia conservada, também foram utilizados os fatores de conservação líquida de energia elétrica fornecidos por CALDERONI (1997) - já apresentados na Tabela 2. Com base nestes dados, o Pró-Lixo poderia proporcionar a conservação de energia da ordem de um milhão de MWh/ano.

Entretanto, para a elaboração deste estudo de caso, foram utilizados dados mais conservadores, tanto em relação ao volume de lixo per capita gerado anualmente, quanto em relação à composição do lixo. Para esta, ao invés de um percentual de 45% para vidros, plásticos, metais e papel, utilizou-se 30% e, para o volume de lixo per capita diário, 0,4 kg ao invés de 1 kg. Utilizando-se estes dados, a conservação obtida foi de 279.743 MWh/ano.

As taxas internas de retorno encontradas foram de 36,5 e 39,5%, desconsiderando e acatando o CDM, respectivamente, para cujo cálculo foram estabelecidas diversas hipóteses, dentre as quais vale ressaltar que: foi tomada como base a Resolução ANEEL nº 242/1998, para a qual projetos de conservação podem receber investimentos específicos do setor elétrico, para o que existe uma rubrica com 1% do faturamento anual do setor para serem aplicados a fundo perdido; o valor inicial do investimento é US\$ 6 milhões, o que significa menos de 5% dos recursos disponíveis para conservação nos próximos quatro anos (BARBOSA e TAVARES, 2000); os benefícios trazidos pela reciclagem são apropriados como receitas por vários agentes, de acordo com suas cotas de investimento, consideradas em relação aos custos evitados.

4.1.1.ALGUMAS CRÍTICAS À CONCEPÇÃO DO PRÓ-LIXO:

O Pró-Lixo apresenta algumas lacunas que podem impedir a obtenção do volume previsto de recicláveis e, portanto, a conservação de energia esperada. Dentre

estas lacunas, destacam-se aquelas referentes a: mobilização da população para a disposição seletiva e demanda pelos materiais disponíveis.

A mobilização da população será afetada tanto pela insuficiência e descontinuidade dos recursos destinados à educação, quanto pelo desprezo aos instrumentos econômicos, pois o sucesso do programa depende da população realizar a disposição seletiva dos resíduos sólidos urbanos. Então, mesmo que esteja sendo garantido espaço de mídia gratuito para serviços públicos e R\$ 1,4 milhão para elaboração de campanha – o que corresponde a menos de R\$ 1,00 por habitante – há risco substancial de continuidade do programa. A solução para este problema está no maior aporte de recursos, o qual pode ser feito através de receita própria ou mediante o incentivo à participação da iniciativa privada.

Já quanto à mobilização propriamente dita, poderia ser considerada a adoção de Instrumentos Econômicos como forma de estimular a ação popular, complementando as ações de comando e controle e educacionais necessárias e tornando possível a obtenção de resultados menos onerosos e mais imediatos. Diversas experiências mostram que esta “ferramenta” tem contribuído com a implementação de programas de coleta seletiva dentre as quais o sistema depósito-retorno e a Loteria da Coleta Seletiva, que parte do prêmio individual para o coletivo (BASTO OLIVEIRA, LIMA e FERREIRA., 1999).

A demanda por material reciclado e por composto orgânico deve ser analisada, de forma a antecipar o grau de aceitação destes produtos. A estrutura de mercado também deve ser levada em consideração, pois o potencial de instalação de indústrias regionais para processamento destes insumos secundários pode ser incentivado pelo governo. Em alternativa ao composto, reconhecido como produto de difícil controle de

qualidade, sendo rejeitado pela população, há a possibilidade de geração de energia elétrica, sobre o que versa a segunda parte deste estudo de caso²⁴.

O preenchimento destas lacunas requereu aumento do investimento, o que tornou necessário que os fluxos de caixa fossem recalculados, cujos resultados foram 22,7% sem CDM e 36,5% com CDM (BASTO OLIVEIRA, PEREIRA e REIS, 2000), o que significa boa atratividade econômica para a coleta seletiva e reciclagem de papéis, plásticos, vidros e metais.

4.2. DISCUSSÃO ENTRE COMPOSTAGEM E GERAÇÃO DE ENERGIA

Com relação a fração dos resíduos não aproveitada na conservação de energia, é necessário estudar a opção entre a compostagem e a geração elétrica com base no biogás oriundo dos aterros sanitários, uma vez que as informações disponíveis na época de elaboração desta análise propagavam que o uso simultâneo destas alternativas era, ainda, inviável devido ao custo, de acordo com relato de PENIDO (2000) em artigo sobre o assunto.

Para comparar as opções, foi considerada a proposta em que as composteiras sejam criadas em cada um dos municípios, o que evitará as emissões decorrentes do transporte caso fosse escolhida a solução consorciada. É, também, fundamental que fique clara a inexistência de qualquer estudo sobre demanda do composto orgânico na região, a partir do qual poderia ser calculado um coeficiente técnico para contabilizar o sequestro de carbono decorrente do crescimento da cobertura vegetal como sendo, em parte, responsabilidade do composto. Precisa-se, ainda, notar que há restrições quanto ao uso do composto na agricultura em virtude de sua qualidade, o que é função da presença de poluentes (pilhas e baterias, entre outros), muito comum no lixo

²⁴ O GDL é uma fonte importante de energia mundialmente utilizada. Há usinas com capacidade instalada variando de 1 MW até 100MW. Sobre esta alternativa, cabe um estudo por localidade em função da logística de transporte e da maior ou menor necessidade de adubo na região.

urbano. Portanto, o reflorestamento e o paisagismo seriam os principais consumidores potenciais, ainda que requerendo análise sobre o impacto que os ecossistemas poderiam sofrer.

O critério usado para esta comparação foi o balanço financeiro das alternativas, levando em conta o balanço de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa decorrentes de cada opção, que serão valorados com base na estimativa de comercialização do CDM. Caso a geração seja mais vantajosa ambiental e financeiramente, pretende-se analisar as opções de localização das plantas (que só podem ser coletivas), suas capacidades e municípios consorciados a cada uma, de forma a otimizar o aproveitamento do gás do lixo (GDL), mediante viabilidade econômica.

Considerou-se, com base na metodologia do IPCC, que a emissão líquida de dióxido de carbono da compostagem seja nula, uma vez que as emissões serão capturadas quando do crescimento das plantações e dos rebanhos, além deste processo ser capaz de evitar a produção e emissão de metano. Para conhecer esta produção evitada é necessário saber a quantidade total e a composição dos resíduos sólidos encaminhados à disposição final, que permitirá calcular o carbono organicamente degradável, fator indispensável para a obtenção da geração de metano. A fórmula do IPCC (1996) para cálculo do COD é:

$$\text{COD} = 0,4 (\text{participação de papel/papelão}) + 0,17 (\text{participação de folhas}) + 0,15 (\text{participação de matéria orgânica total}) + 0,3 (\text{participação de madeira})$$

Considerando que a coleta seletiva tenha sido capaz de coibir o desperdício da maior parte dos “recicláveis” e a fração restante seja composta de 3% de papéis, 5% de folhas, 2% de madeira e 90% de matéria orgânica, o COD será igual a 0,16. Com a aplicação deste valor aos fatores do IPCC, tomando por base que a disposição destes

materiais seria feita em aterros sanitários, obtém-se como fator de geração de metano 8,21% do material disposto. A partir daí torna-se possível estimar a produção de metano dos resíduos sólidos urbanos, completamente evitada pela compostagem, já convertida pelo GWP e pela estequiometria, através da seguinte fórmula:

$$\mathbf{C\ Eq_{Comp} = 0,4704\ (RSU)}$$

Sabendo-se que a produção destes resíduos é de 1.228 toneladas diárias, as emissões evitadas chegam a 210.739 toneladas anuais de carbono equivalente. Deve-se considerar a falta de dados sobre a produção de fertilizantes químicos e sobre a existência de diferença entre as emissões dos fertilizantes químico e orgânico quando aplicados ao solo.

Quanto às emissões evitadas decorrentes da opção pela geração elétrica temos que o dióxido de carbono do biogás terá emissão líquida nula, conforme aludido acima, em virtude do IPCC ainda não contabilizá-lo, ao contrário do que acontecerá com o CO₂ produzido pela queima do metano recuperado para geração elétrica, o qual estará deslocando um combustível fóssil, cujo fator de emissão é de 449 ton CO₂/GWh (LA ROVERE e AMERICANO, 1999), em usinas a ciclo combinado usando gás natural. Quanto à recuperação do metano, segundo a média internacional, é possível de 85% a 94% da produção nos aterros sanitários, quando bem operados – a opção foi por utilizar 90% nas simulações. O cálculo precisa levar em conta, ainda, as emissões decorrentes do transporte, visto que cada litro de óleo diesel emite, de acordo com IPCC (1996), cerca de 0,68 kg de C Eq, o que corresponde a 0,136 kg de C Eq por quilômetro rodado – caso a autonomia seja de 5 km/l.

Portanto, a fórmula para emissões evitadas pela geração é a seguinte:

$$\mathbf{C\ Eq_{Geração} = 0,43(RSU) + 122,46\ kg/MWh - 0,136\ kg/km\ rodado}$$

A partir desta fórmula é possível encontrar valores para comparar às emissões evitadas da compostagem. Considerando as mesmas 1.228 toneladas diárias de resíduos e sabendo-se que o metano recuperado seja utilizado para gerar energia

elétrica em motores a combustão interna – cuja eficiência é de 20% e possa ofertar cerca de 107 GWh anuais, além de tomar como nulas as distâncias neste primeiro momento, encontra-se uma emissão evitada máxima de 202.834 toneladas de C Eq/ano para a geração elétrica, com o que é possível constatar a diferença de 8 Gg de C Eq/ano evitados a favor da compostagem. Com isto, é possível estimar as receitas possíveis para cada uma das opções, de forma a identificar se o benefício econômico-ambiental pertinente a cada uma delas é significativo à sua aplicação, como pode ser visto na tabela 17, abaixo.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE COMPOSTAGEM E GERAÇÃO (valores em Reais do ano 2000)

	COMPOSTAGEM	GERAÇÃO ELÉTRICA
CUSTO DE INSTALAÇÃO	PÚBLICO	PRIVADO
CUSTO DE MANUTENÇÃO	PRIVADO	PRIVADO
CONTROLE DA QUALIDADE	FUNDAMENTAL	DESNECESSÁRIO
OFERTA ANUAL	224.000 TONELADAS	107.415 MWh
DEMANDA	ESTIMADA/REGIONAL	GARANTIDA/NACIONAL
POTENCIAL CDM (R\$/ANO)	7.587.256,27	7.302.057,99
RECEITA DE VENDA	2.016.990,00	8.679.186,29
DIVISAS EVITADAS	2.016.990,00	1.957.113,55
TRANSPORTE	-	(7.302.057,99)
TOTAL	11.621.236,27	10.636.299,84

Fonte: Elaboração própria.

CDM foi considerado ao preço de US\$ 20 por tonelada de carbono equivalente.

Preço de venda da energia elétrica foi R\$ 80,80/MWh, máximo permitido pelo Valor Normativo da ANEEL

Preço do Composto foi estimado em US\$ 5 por tonelada.

A relação entre investimento e receita anual possível está balizada pela demanda reprimida de um produto e o consequente comportamento do mercado face ao aumento da oferta. No caso da energia elétrica, a crise sistêmica, decorrente da falta de investimentos em expansão, levou o risco de déficit para o patamar oficial de

12% – nunca antes atingido – o que praticamente anula o risco de venda deste produto, sem falar de seu potencial nacional de distribuição, para o que basta ao produtor e consumidor arcar com o pedágio da transmissão, tendendo a estabilizar o preço médio. Já o adubo orgânico, mesmo com todo incremento do mercado de produtos naturais, padece da dependência do frete baseado em combustíveis fósseis – o que reduzirá seu potencial CDM e sua região de influência – e da necessidade de alteração do baixo conceito deste produto no mercado tradicional, além do preço médio tender a reduzir, em função do aumento da oferta. Isto foi sintetizado na tabela 18:

TABELA 18 – Comparação entre Compostagem e Geração de Energia

	COMPOSTAGEM	ENERGIA
RISCO	ALTO	MÍNIMO
TENDÊNCIA DE PREÇO MÉDIO	REDUÇÃO	ESTABILIZAÇÃO

Fonte: Elaboração Própria

Do ponto de vista da sociedade, a opção pela geração elétrica é mais atraente em virtude do investimento ser privado – o qual terá o interesse acentuado em função do risco mínimo e rentabilidade elevada –, bem como da possibilidade de resolução de uma questão nacional como a crise energética. Para isto é crucial o estudo de localização das plantas de geração elétrica, avaliando aspectos técnicos, econômicos e ambientais, tema estudado a seguir.

4.3. MODELO DE LOCALIZAÇÃO

A alternativa de geração elétrica através do gás do lixo (GDL), dispensa os pátios para compostagem e as máquinas, mas reduz a vida útil dos aterros, pois como a demanda reprimida por energia continuará no horizonte de cinco anos, até que todas

as 49 usinas termelétricas planejadas pelo governo federal estejam em operação, a lógica do capital que investir na tecnologia GDL será de aproveitar ao máximo seu potencial. Como foi mostrado na tabela 17, os créditos ambientais serão convertidos em custeio dos transportes, para reunir o material necessário a geração de energia, o que reduzirá a quantidade de divisas envolvidas com a importação de combustíveis fósseis para geração elétrica ou energia, como vem acontecendo.

4.3.1 METODOLOGIA

Utilizou-se a população como referência para a geração de resíduos, calibrado por um fator “ad hoc” em relação a cada região, conforme tabela 19, o que permitiu calcular o valor do potencial energético com base nos Valores Normativos (máximos) de geração com Biomassa.

TABELA 19 - PRODUÇÃO DE LIXO POR REGIÃO

ANO	1998	2000		
DADOS			Kg LIXO/hab-dia	TOTAL 2000 (Gg/ano)
POP RM	10.192.097	10.506.782	1,2	4.601,97
POP NOF	283.596	292.377	0,5	53,36
POP NF	653.915	689.207	0,7	176,09
POP RS	711.940	732.919	1,0	267,52
POP BL	469.941	536.974	0,7	137,20
POP MP	740.783	779.568	1,5	426,81
POP CS	234.448	239.449	0,7	61,18
POP BIG	119.659	128.128	1,0	46,77
POP ERJ	13.406.379	13.905.404	1,1	5.770,89

Obs.: Dados sobre população obtidos no *site* da Fundação CIDE em 01/02/2000, às 11:30 hs.

Fatores de produção diária: Elaboração Própria

Em virtude das características de produção de lixo da população de todos os municípios integrantes do PRO-LIXO, verificou-se que o potencial de geração elétrica, com base na tecnologia GDL, aproxima-se de 12 MW, o que mesmo parecendo pouco dispõe de viabilidade econômica, como comprova pesquisa realizada pela internet que

demonstrou a existência de dezenas de usinas GDL em funcionamento na Inglaterra, abastecidas por resíduos de cerca de 60.000 pessoas, o que permitiria identificar o potencial de 40 usinas no universo em análise.

Como são 76 os municípios do programa, a viabilidade econômica do aproveitamento energético dos resíduos sólidos produzidos requer o consorciamento de alguns deles, cujas alternativas para solução podem ser dadas através da aplicação de técnicas de programação, mediante comparações feitas com base em cálculo que utiliza as distâncias inter-municipais e fatores de importância. A construção destes fatores de importância requer cuidado especial, com vistas a contemplar as vantagens comparativas de cada município, de forma que ao serem informadas a quantidade de consórcios e, se desejar, os municípios preferíveis para sediá-los, o “software” (REIS, 1999) que aplica o Algoritmo de Partição (MARAZANA,1964), identifique as melhores cidades para servirem de sede e os integrantes de cada consórcio, tendo como consequência as potências instaladas de cada usina – valores encontrados na tabela 22.

A mecânica do processo seria “rodar o modelo” para valores menores que 40 consórcios, e calcular o custo para reunir os RSUs em cada consórcio e somá-los para comparar com a receita disponível, até identificar o menor número de aterros energéticos possível. Mas, em decorrência do limite de capacidade de processamento do “software” utilizado, que só aceita 50 variáveis, a opção encontrada foi realizar duas partições. Na primeira partição foram agregados os municípios com distâncias inferiores a um valor estipulado, tendo sido utilizado o software para identificar o município-sede e calcular os custos de cada consórcio e o custo total. A Segunda partição depende da existência de superávit financeiro na primeira, a qual utilizaria o “software” para buscar a solução do problema desde o início.

O parâmetro de distância adotado foi obtido a partir dos recursos CDM disponibilizados para transportes (tabela 17), que somam R\$ 7,3 milhões anuais e

permitiriam aos 201 caminhões dos 76 municípios gastar diariamente R\$ 100,00. Para saber a distância que esta cota de recursos permite percorrer é preciso calcular o custo do quilômetro rodado, para o que foram considerados o custo do óleo diesel, a manutenção e mão-de-obra por quilômetro rodado²⁵, tendo sido encontrado o fator R\$ 2,54, que permite a cada caminhão transportar por 40 quilômetros sua carga, somando ida e volta. Entretanto, como os 76 municípios serão agrupados e as sedes destes consórcios tendem a ser as cidades de maiores produções de resíduos – portanto as responsáveis pelas maiores quantidades de caminhões – estimou-se, através da técnica de ensaio-erro, que 30% dos municípios seriam responsáveis por mais de 50% dos resíduos, elevando este limite de distância percorrida para cerca de 100 quilômetros diários por caminhão, o que significa distâncias de 50 quilômetros entre os municípios.

Com isso, o transporte será superestimado (uma vez que não foram aplicadas técnicas de roteamento que permitiriam otimizar o sistema), pois utilizará a quantidade de lixo produzido em cada cidade, a qual será dividida pela capacidade dos caminhões disponíveis, encontrando-se um número inteiro (ou arredondando-se para cima no caso de número fracionário), que será multiplicado pelo dobro da distância percorrida até a sede do respectivo consórcio, para garantir o retorno dos caminhões. Esta distância total será dividida pela autonomia média de cada litro de óleo diesel nos caminhões, possibilitando que seja conhecido o consumo de cada município para fornecer o material e, através da soma dos consumos dos consorciados será conhecido o consumo de cada grupo.

O consumo de combustível transformado em dióxido de carbono produzido e recursos financeiros disponibilizados, servirá como insumo ao cálculo de viabilidade

²⁵ As emissões da queima deste combustível, que reduzirão este potencial, deveriam fazer parte deste cálculo, mas foram desprezadas em função de reduzir 1 centavo a cada dois quilômetros.

econômica, junto à receita possível decorrente das emissões evitadas de metano e a outros custos operacionais e de manutenção dos transportes.

Em seguida, caso haja superávit financeiro, deve-se refazer o processo mais uma vez, aplicando o “software”, com vistas a encontrar os consumos referentes aos consorciamentos entre aqueles grupos e as sedes das novas aglomerações.

Por fim, o óleo diesel consumido nos transportes para consorciar os RSUs e viabilizar o GDL, deve ter seu potencial de geração elétrica via grupo gerador comparado à energia gerada pelo biogás, a fim de identificar se o aproveitamento energético dos resíduos sólidos é justificável.

4.3.2 APLICAÇÃO

Foram tomados os 76 municípios contemplados pelo PRO-LIXO (dos 91 que compõem o estado), com os quais foram criados grupos de municípios cujas distâncias fossem de até 50 quilômetros, embasados na Matriz de Distâncias desenvolvida pelo Laboratório Planet, do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, para o DETRO. Houve algumas discrepâncias em virtude desta matriz estar balizada pelos centróides dos municípios, o que acarretou em agrupamentos não contíguos, os quais necessitaram de ajuste com base no conhecimento “ad hoc” e na utilização de mapas, tendo sido usado o Algoritmo das Partições (MARAZANA, 1964) para identificar as sedes de cada consórcio e a população como fator principal, resultando na tabela 20, abaixo:

TABELA 20 – CONSÓRCIOS DO PRO-LIXO

SEDE	COMPONENTES
ANGRA DOS REIS	INDIVIDUAL
BARRA DO PIRAÍ	MENDES, PINHEIRAL, PIRAÍ, VALENÇA, VASSOURAS
CABO FRIO	ARARUAMA, ARMAÇÃO DOS BÚZIOS, ARRAIAL DO CABO, CASIMIRO DE ABREU, IGUABA GRANDE, SÃO PEDRO DALDEIA
CACHOEIRAS DE MACACU	GUAPIMIRIM
CARMO	DUAS BARRAS
CONCEIÇÃO DE MACABU	INDIVIDUAL
ITAGUAÍ	MANGARATIBA, RIO CLARO
ITAPERUNA	ITALVA, SÃO FRANCISCO DO ITABAPOANA, SÃO JOSÉ DE UBÁ
JAPERI	INDIVIDUAL
MACAÉ	BOM JARDIM, CANTAGALO, CORDEIRO, MACUCO, TRAJANO DE MORAIS
MARICÁ	INDIVIDUAL
NATIVIDADE	BOM JESUS
PARATI	INDIVIDUAL
PATY DO ALFERES	MIGUEL PEREIRA, RIO DAS FLORES
PORCIÚNCULA	INDIVIDUAL
QUEIMADOS	ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIN, PARACAMBI, SEROPÉDICA
QUISSAMÃ	CARAPEBUS
RESENDE	ITATIAIA, PORTO REAL, QUATIS
RIO BONITO	SAQUAREMA, SILVA JARDIM, TANGUÁ
RIO DAS OSTRAS	INDIVIDUAL
SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	APERIBÉ, ITAOCARA, LAJE DO MURIAÉ, MIRACEMA
SÃO FIDÉLIS	CAMBUCI, CARDOSO MOREIRA, SANTA MARIA MADALENA, SÃO SEBASTIÃO DO ALTO
SÃO JOÃO DA BARRA	INDIVIDUAL
SAPUCAIA	SUMIDOURO
TERESÓPOLIS	SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO
TRÊS RIOS	AREAL, COMENDADOR LEVY GASPARIAN, PARAÍBA DO SUL
VARRE-SAI	INDIVIDUAL

Como os custos para reunir os RSU e o potencial CDM de cada consórcio são particulares, assim como as potências energéticas de cada planta (tabela 21), é preciso avaliar o balanço financeiro de cada consórcio e, se houver um ou mais negativos, realizar um balanço total. A metodologia de cálculo refere-se à conversão

em CDM das emissões evitadas de gases responsáveis pelo efeito estufa produzidos pelos resíduos sólidos, subtraídas dos gases emitidos pelos transportes usados para reuni-los – desconsiderando a emissão de CO₂ da geração elétrica com biogás, que seria a mesma da geração elétrica com gás natural –, valor monetário do qual deve ser deduzido o custo com combustíveis, manutenção e mão-de-obra usada nos transportes.

TABELA 21 – POTÊNCIA DOS CONSÓRCIOS

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	POTÊNCIA MÁXIMA GDL (MW)
ANGRA DOS REIS	0,17
BARRA DO PIRAI	1,84
CABO FRIO	1,19
CACHOEIRAS DE MACACU	0,41
CARMO	0,15
CONCEICAO DE MACABU	0,02
ITAGUAI	0,76
ITAPERUNA	0,45
JAPERI	0,17
MACAE	0,90
MARICA	0,21
NATIVIDADE	0,14
PARATI	0,05
PATY DO ALFERES	0,23
PORCIUNCULA	0,02
QUEIMADOS	1,48
QUISSAMA	0,09
RESENDE	1,18
RIO BONITO	0,62
RIO DAS OSTRAS	0,04
SANTO ANTONIO DE PADUA	0,28
SÃO FIDELIS	0,36
SÃO JOAO DA BARRA	0,04
SAPUCAIA	0,15
TERESOPOLIS	0,83
TRES RIOS	0,48
VARRE-SAI	0,01
TOTAL	12,26

4.3.3 A PRIMEIRA ETAPA:

A aplicação da metodologia para cálculo da viabilidade econômica toma por base as produções de lixo orgânico de cada município, as quais devem ser transformadas em número de caminhões necessários para transportá-las, fator que, ao ser multiplicado pelo dobro das distâncias até as sedes dos consórcios, calcula o deslocamento e, inserindo a autonomia do combustível, seu consumo. Com este conclui-se sobre o custo financeiro e as emissões de gases de efeito estufa, as quais deduzidas do potencial de metano do biogás a ser recuperado para geração de energia, possibilitam o cálculo do potencial CDM do sistema, que deve custear combustível, manutenção e mão-de-obra.

A tabela 22 mostra o consumo de óleo diesel e as emissões de cada município para encaminhar seus resíduos sólidos urbanos para as sedes dos consórcios.

TABELA 22 – PRODUÇÃO DE LIXO, DISTÂNCIA DA SEDE, CONSUMOS E EMISSÕES POR MUNICÍPIO

	PRODUÇÃO LIXO	CAMINHÕES	SEDE	DISTÂNCIA DA SEDE (KM)	DISTÂNCIA PERCORRIDA (KM/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO DE DIESEL (R\$/ANO) (R\$ ano 2000)	EMISSIONES DE C Eq (TON/ANO)
MUNICÍPIOS	ton/dia								
Angra dos Reis	98,35	7,00	Angra dos Reis	0	-	0	-	-	-
Aperibé	3,97	1,00	Santo Antonio de Pádua	27,8596	55,72	11,14384	4.067,50	2.643,88	2,77
Araruama	50,47	4,00	Cabo Frio	46,72502	373,80	74,760032	27.287,41	17.736,82	18,56
Areal	6,76	1,00	Três Rios	19,32311	38,65	7,729244	2.821,17	1.833,76	1,92
Armação dos Búzios	13,41	1,00	Cabo Frio	115,42688	230,85	46,170752	16.852,32	10.954,01	11,46
Arraial do Cabo	16,07	2,00	Cabo Frio	43,89488	175,58	35,115904	12.817,30	8.331,25	8,72
Barra do Pirai	135,84	10,00	Barra do Pirai	0	-	0	-	-	-
Bom Jardim	22,79	2,00	Macaé	38,81722	155,27	31,053776	11.334,63	7.367,51	7,71
Bom Jesus do Itabapoana	17,10	2,00	Natividade	1,07184	4,29	0,857472	312,98	203,44	0,21
Cabo Frio	85,63	6,00	Cabo Frio	0	-	0	-	-	-
Cachoeiras de Macacu	32,35	3,00	Cachoeiras de Macacu	0	-	0	-	-	-
Cambuci	7,42	1,00	São Fidélis	3,19958	6,40	1,279832	467,14	303,64	0,32
Cantagalo	18,18	2,00	Macaé	31,80956	127,24	25,447648	9.288,39	6.037,45	6,32
Carapebus	6,20	1,00	Quissamã	31,92738	63,85	12,770952	4.661,40	3.029,91	3,17
Cardoso Moreira	7,85	1,00	São Fidélis	44,81942	89,64	17,927768	6.543,64	4.253,36	4,45
Carmo	15,73	2,00	Carmo	0	-	0	-	-	-
Casimiro de Abreu	16,81	2,00	Cabo Frio	39,73709	158,95	31,789672	11.603,23	7.542,10	7,89
Comendador Levy Gasparian	5,40	1,00	Três Rios	23,02393	46,05	9,209572	3.361,49	2.184,97	2,29
Conceição de Macabu	13,47	1,00	Conceição de Macabu	0	-	0	-	-	-
Cordeiro	18,25	2,00	Macaé	40,5392	162,16	32,43136	11.837,45	7.694,34	8,05
Duas Barras	9,98	1,00	Carmo	186,54253	373,09	74,617012	27.235,21	17.702,89	18,52
Engenheiro Paulo de Frontin	9,06	1,00	Queimados	47,72639	95,45	19,090556	6.968,05	4.529,23	4,74
Guapimirim	43,76	4,00	Cachoeiras de Macacu	75,15826	601,27	120,25322	43.892,42	28.530,08	29,85
Iguaba Grande	7,76	1,00	Cabo Frio	63,93968	127,88	25,575872	9.335,19	6.067,88	6,35
Itaguaí	93,60	7,00	Itaguaí	0	-	0	-	-	-
Italva	6,78	1,00	Itaperuna	77,51123	155,02	31,004492	11.316,64	7.355,82	7,70
Itaocara	11,78	1,00	Santo Antonio de Pádua	41,35042	82,70	16,540168	6.037,16	3.924,15	4,11
Itaperuna	43,27	3,00	Itaperuna	0	-	0	-	-	-
Itatiaia	38,26	3,00	Resende	18,3859	110,32	22,06308	8.053,02	5.234,47	5,48
Japeri	95,18	7,00	Japeri	0	-	0	-	-	-

	PRODUÇÃO LIXO	CAMINHÕES	SEDE	DISTÂNCIA DA SEDE (KM)	DISTÂNCIA PERCORRID A (KM/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO DE DIESEL (R\$/ANO) (R\$ ano 2000)	EMISSIONES DE C Eq (TON/ANO)
MUNICÍPIOS	ton/dia								
Laje do Muriaé	3,84	1,00	Santo Antonio de Pádua	32,4691	64,94	12,98764	4.740,49	3.081,32	3,22
Macaé	90,45	7,00	Macaé	0	-	0	-	-	-
Macuco	6,78	1,00	Macaé	43,57559	87,15	17,430236	6.362,04	4.135,32	4,33
Mangaratiba	25,85	2,00	Itaguaí	0,98105	3,92	0,78484	286,47	186,20	0,19
Mendes	12,37	1,00	Barra do Piraí	34,22052	68,44	13,688208	4.996,20	3.247,53	3,40
Miguel Pereira	14,44	1,00	Paty do Alferes	22,00009	44,00	8,800036	3.212,01	2.087,81	2,18
Miracema	11,96	1,00	Santo Antonio de Pádua	33,29714	66,59	13,318856	4.861,38	3.159,90	3,31
Natividade	7,76	1,00	Natividade	0	-	0	-	-	-
Paracambi	50,35	4,00	Queimados	32,65989	261,28	52,255824	19.073,38	12.397,69	12,97
Paraíba do Sul	23,51	2,00	Três Rios	26,61144	106,45	21,289152	7.770,54	5.050,85	5,28
Parati	29,80	3,00	Maricá	0	-	0	-	-	-
Paty do Alferes	16,30	2,00	Paty do Alferes	0	-	0	-	-	-
Pinheiral	31,29	3,00	Barra do Piraí	14,9292	89,58	17,91504	6.538,99	4.250,34	4,45
Piraí	37,12	3,00	Barra do Piraí	30,77313	184,64	36,927756	13.478,63	8.761,11	9,17
Porciúncula	8,06	1,00	Porciúncula	0	-	0	-	-	-
Porto Real	13,42	1,00	Resende	15,89667	31,79	6,358668	2.320,91	1.508,59	1,58
Quatis	16,14	2,00	Resende	31,69202	126,77	25,353616	9.254,07	6.015,15	6,29
Queimados	139,94	10,00	Queimados	0	-	0	-	-	-
Quissamã	10,04	1,00	Quissamã	0	-	0	-	-	-
Resende	154,13	11,00	Resende	0	-	0	-	-	-
Rio Bonito	33,33	3,00	Rio Bonito	0	-	0	-	-	-
Rio Claro	22,66	2,00	Itaguaí	49,14536	196,58	39,316288	14.350,45	9.327,79	9,76
Rio das Flores	9,44	1,00	Paty do Alferes	44,65643	89,31	17,862572	6.519,84	4.237,90	4,43
Rio das Ostras	25,46	2,00	Rio das Ostras	0	-	0	-	-	-
Santa Maria Madalena	10,83	1,00	São Fidélis	45,85482	91,71	18,341928	6.694,80	4.351,62	4,55
Santo Antonio de Pádua	17,41	2,00	Santo Antonio de Pádua	0	-	0	-	-	-
São Fidélis	26,72	2,00	São Fidélis	0	-	0	-	-	-
São Francisco de Itabapoana	23,37	2,00	Itaperuna	31,17272	124,69	24,938176	9.102,43	5.916,58	6,19
São João da Barra	23,94	2,00	São João da Barra	0	-	0	-	-	-
São José de Ubá	2,90	1,00	Itaperuna	40,00162	80,00	16,000648	5.840,24	3.796,15	3,97

	PRODUÇÃO LIXO	CAMINHÕES	SEDE	DISTÂNCIA DA SEDE (KM)	DISTÂNCIA PERCORRID A (KM/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO DE DIESEL (R\$/ANO) (R\$ ano 2000)	EMISSIONES DE C Eq (TON/ANO)
MUNICÍPIOS	ton/dia								
São José do Vale do Rio Preto	16,65	2,00	Teresópolis	33,71607	134,86	26,972856	9.845,09	6.399,31	6,69
São Pedro da Aldeia	46,41	4,00	Cabo Frio	28,24178	225,93	45,186848	16.493,20	10.720,58	11,22
São Sebastião do Alto	8,11	1,00	São Fidélis	45,74771	91,50	18,299084	6.679,17	4.341,46	4,54
Sapucaia	12,72	1,00	Sapucaia	0	-	0	-	-	-
Saquarema	34,39	3,00	Rio Bonito	31,89236	191,35	38,270832	13.968,85	9.079,75	9,50
Seropédica	68,50	5,00	Queimados	18,61745	186,17	37,2349	13.590,74	8.833,98	9,24
Silva Jardim	13,84	1,00	Rio Bonito	33,80224	67,60	13,520896	4.935,13	3.207,83	3,36
Sumidouro	13,70	1,00	Sapucaia	31,45412	62,91	12,581648	4.592,30	2.985,00	3,12
Tanguá	28,13	2,00	Rio Bonito	27,86356	111,45	22,290848	8.136,16	5.288,50	5,53
Teresópolis	128,81	9,00	Teresópolis	0	-	0	-	-	-
Trajano de Moraes	10,56	1,00	Macaé	4,00392	8,01	1,601568	584,57	379,97	0,40
Três Rios	46,51	4,00	Três Rios	0	-	0	-	-	-
Valença	93,44	7,00	Barra do Piraí	42,77024	598,78	119,75667	43.711,19	28.412,27	29,72
Varre-Sai	3,96	1,00	Varre-Sai	0	-	0	-	-	-
Vassouras	20,55	2,00	Barra do Piraí	47,06194	188,25	37,649552	13.742,09	8.932,36	9,34
TOTAL		201,00				1363,7674	497.775,10	323.553,82	338,49

A tabela 23 sintetiza o consumo de óleo diesel e as emissões apresentadas na tabela acima por consórcio.

TABELA 23 – CONSUMOS E EMISSÕES POR CONSÓRCIO

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO DE DIESEL (R\$/ANO) (R\$ ano 2000)	EMISSIONES DE C Eq (TON/ANO)
ANGRA DOS REIS	-	-	-
BARRA DO PIRAI	82.467,09	53.603,61	56,07761999
CABO FRIO	94.388,66	61.352,63	64,18429166
CACHOEIRAS DE MACACU	43.892,42	28.530,08	29,84684821
CARMO	27.235,21	17.702,89	18,51994238
CONCEICAO DE MACABU	-	-	0
ITAGUAI	14.636,91	9.513,99	9,95309997
ITAPERUNA	26.259,31	17.068,55	17,85633103
JAPERI	-	-	0
MACAE	39.407,07	25.614,60	26,79681074
MARICA	-	-	0
NATIVIDADE	312,98	203,44	0,21282455
PARATI	-	-	0
PATY DO ALFERES	9.731,85	6.325,70	6,617659306
PORCIUNCULA	-	-	0
QUEIMADOS	39.632,17	25.760,91	26,9498737
QUISSAMA	4.661,40	3.029,91	3,169750286
RESENDE	19.628,01	12.758,21	13,34704534
RIO BONITO	27.040,14	17.576,09	18,38729536
RIO DAS OSTRAS	-	-	0
SANTO ANTONIO DE PADUA	19.706,53	12.809,25	13,40044309
SAO FIDELIS	20.384,74	13.250,08	13,8616255
SAO JOAO DA BARRA	-	-	0
SAPUCAIA	4.592,30	2.985,00	3,122765034
TERESOPOLIS	9.845,09	6.399,31	6,694662859
TRES RIOS	13.953,21	9.069,59	9,488181658
VARRE-SAI	-	-	0
TOTAL	497.775,10	323.553,82	338,49

Fonte: Elaboração Própria.

Na tabela 24, abaixo, é possível notar que o consumo de combustível e o custo de manutenção e operação dos transportes somente torna viável a primeira etapa de consórcios prevista, em decorrência do reduzido superávit verificado. Outro fator importante a considerar são os consórcios deficitários, cujo custo é assimilado pela receita proveniente dos demais.

TABELA 24 – ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA 1ª ETAPA – 27 CONSÓRCIOS (valores em Reais do ano 2000)

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	PRODUÇÕES DOS GRUPOS (Kg LIXO ORG/DIA)	EMISSIONES EVITADAS GDL (t C Eq/ANO)	EMISSIONES DE DIESEL (T C Eq)	BALANÇO EMISSIONES (t C Eq/ANO)	1º GRUPO (KM/ANO)	CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$/ANO)	RECEITA POSSÍVEL (R\$/ANO)	CUSTO DO DIESEL (R\$/ANO)	RESULTADO (R\$/ANO)
ANGRA DOS REIS	50.892,60	7.861,06	0	7.861,06	-	0	282.998,11	0	282.998,11
BARRA DO PIRAI	172.260,22	26.607,95	56,08	26.551,87	412.335,44	1.043.208,67	955.867,27	53.603,61	-140.945,01
CABO FRIO	68.349,05	10.557,45	64,18	10.493,27	471.943,32	1.194.016,60	377.757,58	61.352,63	-877.611,65
CACHOEIRAS DE MACACU	16.740,57	2.585,81	29,85	2.555,96	219.462,12	555.239,16	92.014,57	28.530,08	-491.754,67
CARMO	8.346,25	1.289,19	18,52	1.270,67	136.176,05	344.525,40	45.744,21	17.702,89	-316.484,08
CONCEICAO DE MACABU	7.009,31	1.082,68	0	1.082,68	-	0	38.976,62	0	38.976,62
ITAGUAI	71.334,95	11.018,66	9,95	11.008,71	73.184,56	185.156,93	396.313,54	9.513,99	201.642,62
ITAPERUNA	38.141,95	5.891,55	17,86	5.873,69	131.296,55	332.180,28	211.452,70	17.068,55	-137.796,13
JAPERI	48.265,80	7.455,31	0	7.455,31	-	0	268.391,28	0	268.391,28
MACAE	89.944,80	13.893,21	26,8	13.866,41	197.035,37	498.499,49	499.190,59	25.614,60	-24.923,50
MARICA	61.314,00	9.470,79	0	9.470,79	-	0	340.948,31	0	340.948,31
NATIVIDADE	16.652,63	2.572,23	0,21	2.572,02	1.564,89	3.959,16	92.592,60	203,44	88.430,00
PARATI	14.919,85	2.304,58	0	2.304,58	-	0	82.964,70	0	82.964,70
PATY DO ALFERES	21.567,04	3.331,32	6,62	3.324,70	48.659,26	123.107,93	119.689,36	6.325,70	-9.744,27
PORCIUNCULA	4.236,93	654,45	0	654,45	-	0	23.560,27	0	23.560,27
QUEIMADOS	138.743,06	21.430,76	26,95	21.403,81	198.160,84	501.346,92	770.537,32	25.760,91	243.429,49
QUISSAMA	7.972,20	1.231,42	3,17	1.228,25	23.306,99	58.966,68	44.216,83	3.029,91	-17.779,76
RESENDE	110.308,28	17.038,62	13,35	17.025,27	98.140,04	248.294,30	612.909,85	12.758,21	351.857,34
RIO BONITO	61.324,45	9.472,40	18,39	9.454,01	135.200,70	342.057,77	340.344,38	17.576,09	-19.289,48
RIO DAS OSTRAS	10.820,81	1.671,42	0	1.671,42	-	0	60.171,20	0	60.171,20
SANTO ANTONIO DE PADUA	26.572,43	4.104,48	13,4	4.091,08	98.532,67	249.287,65	147.278,72	12.809,25	-114.818,18
SAO FIDELIS	33.180,02	5.125,11	13,86	5.111,25	101.923,72	257.867,00	184.004,94	13.250,08	-87.112,14
SAO JOAO DA BARRA	10.829,67	1.672,79	0	1.672,79	-	0	60.220,47	0	60.220,47
SAPUCAIA	13.869,74	2.142,37	3,12	2.139,25	22.961,51	58.092,61	77.013,04	2.985,00	15.935,43
TERESOPOLIS	77.680,35	11.998,79	6,69	11.992,10	49.225,46	124.540,42	431.715,72	6.399,31	300.775,99
TRES RIOS	44.807,46	6.921,13	9,49	6.911,64	69.766,04	176.508,09	248.818,88	9.069,59	63.241,20
VARRE-SAI	2.077,35	320,88	0	320,88	-	0	11.551,50	0	11.551,50
TOTAL	1.228.161,72	189.706,39	338,49	189.367,90	2.488.875,52	6.296.855,06	6.817.244,28	323.553,82	196.835,40

Para finalizar esta etapa, é preciso avaliar se o potencial de geração elétrica através de grupos geradores abastecidos pelo óleo diesel consumido nos transportes, cerca de 500.000 litros por ano, é menor que o do aproveitamento do GDL, já conhecido de cerca de 12MW.

Este cálculo requer o conhecimento da massa específica do óleo diesel (853 kg/m³), que será multiplicada pela milésima parte do total de litros consumidos, para ser possível obter o trabalho disponível, será multiplicado este produto pelo poder calorífico inferior e pelo fator de conversão de calor para trabalho (4.180 kcal/J). Em seguida, iguala-se esta medida de trabalho para energia em função do tempo (Ws), no caso segundos, o que facilita encontrar a potência instalada equivalente, se conhecida a eficiência (1/5) e dividindo pela quantidade de segundos por ano.

$$\text{Potência (MW)} = 500.000/1000 \times 852 \times 9.000 \times 4.180 / (3.600 \times 24 \times 365 \times 5 \times 10^6)$$

$$\text{Potência (MW)} = 0,10 \text{ MW}$$

Significa que a opção GDL é mais interessante que a utilização de grupo geradores abastecidos pelo óleo diesel consumido nos transportes para reunir os resíduos, na proporção de 120 vezes.

Para incrementar a discussão, caso a Conta de Consumo de Combustível (CCC) – Resolução ANEEL (1999b), nº 245, que serve de incentivo à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, em sistemas isolados –, seja estendida a geração descentralizada em locais atendidos pelo sistema interligado, uma vez que há tendência de aumento no uso de grupos-geradores nestas localidades, poderiam ser alocados, mesmo que só em parte, os recursos disponibilizados para manutenção e operação, cerca de 6,3 milhões de reais, ou aproximadamente 10 milhões de litros, vinte vezes mais que o consumo supra-citado, o que seria capaz de gerar cerca de 2 MW, ainda 6 vezes menos que o GDL.

4.3.4 A SEGUNDA ETAPA:

Caso seja possível utilizar os recursos economizados (como as divisas para aquisição de energia ou combustíveis importados) para diminuir o número de usinas e aumentar suas potências – se é que isto pode ser justificável –, deveria ser aplicado com maior ênfase o Algoritmo da Partição (MARAZANA, 1964). Os procedimentos abaixo desenvolvidos visam demonstrar a importância do planejamento – além de possibilitar o exercício da técnica –, uma vez que a opção trivial de implantação de uma usina em cada uma das 8 regiões do estado do Rio de Janeiro configuraria um desperdício, como pôde ser comprovado pela viabilidade encontrada para o caso anterior, com 27 consórcios.

Com a configuração de superávit na etapa anterior, seria possível implementar os procedimentos a seguir, com vistas a identificar como agrupar os 27 consórcios, quais as sedes e seus componentes, através do “software” e poder calcular os custos e a existência, ou não, de viabilidade econômica.

A partir daí foi novamente aplicado o Algoritmo das Partições (MARAZANA, 1964), cujos fatores foram calculados de acordo com a equação abaixo:

Fórmula para cálculo dos Fatores:

$$F = A (P + E + G) / D$$

Sendo:

F – Fator de importância de cada município;

A – Disponibilidade de Água;

P – Potencial de Geração Elétrica da produção estimada de biogás;

E – Demanda por Energia;

G – Emissões de Gases Estufa Evitadas;

D – Densidade Demográfica.

Considerou-se que a Disponibilidade de água para refrigeração da usina de geração elétrica como sendo uma variável binária e, portanto decisiva, entretanto

desnecessário para estes casos, pois a geração elétrica utilizando GDL nos municípios do PRO-LIXO não atinge 13MW, o que requer pouca refrigeração.

As variáveis Potencial de Geração Elétrica, Demanda por Energia Elétrica e Emissões dos Gases de Efeito Estufa são compatibilizadas através da valoração econômica, através das seguintes conversões:

- $P = \text{População do Município} \times \text{Fator de Geração de lixo per-capita} \times 365 \text{ dias/ano} \times \text{Fator de geração de Biogás do Lixo Urbano} \times \text{Conversão em Energia} \times \text{Valor Normativo da ELETROBRÁS para Energia gerada por Biomassa};$
- $E = \text{Demanda por Energia Elétrica} \times \text{Valor Normativo da ELETROBRÁS para Energia gerada por Hidroelétricas};$
- $G = \text{População do Município} \times \text{Fator de Geração de lixo per-capita} \times 365 \text{ dias/ano} \times \text{Fator de geração de Biogás do Lixo Urbano} \times \text{Participação do Metano no Biogás} \times \text{Conversão do Metano em Dióxido de Carbono via GWP} \times \text{Conversão do Dióxido de Carbono em Carbono Equivalente} \times \text{Valor Estimado da Tonelada de Carbono Equivalente no Mercado Internacional}.$

Já a densidade demográfica é utilizada com seu valor absoluto, a fim de permitir relacionar a receita das atividades econômicas ao espaço e à população, viabilizando uma visão sobre a distribuição geográfica da produção de riqueza per capita.

Do ponto de vista da energia demandada, partindo da base de dados do Fundação CIDE, considerou-se que toda energia fosse negociada ao Valor Normativo para energia elétrica gerada por Hidrelétricas²⁶.

Quanto à emissão evitada de gases responsáveis pelo efeito estufa, foram aplicadas as considerações anteriores, dando origem à tabela 25.

²⁶ Portaria ANEEL nº232/98

TABELA 25 - FATORES DOS MUNICÍPIOS DO PRO-LIXO

MUNICÍPIOS	FATORES
ANGRA	12.070.913,52
BARRA DO PIRAI	31.643.227,41
CABO FRIO	29.737.783,54
CACHOEIRAS DE MACACU	8.232.274,82
CARMO	2.039.570,90
CONCEIÇÃO DE MACABU	987.590,00
ITAGUAÍ	17.878.415,43
ITAPERUNA	9.491.970,09
JAPERI	3.017.033,90
MACAÉ	33.778.560,83
MARICÁ	5.675.709,57
NATIVIDADE	2.702.952,89
PARATI	1.893.494,70
PATY DO ALFERES	3.712.481,79
PORCIÚNCULA	720.901,87
QUEIMADOS	35.583.058,66
QUISSAMÃ	1.390.113,90
RESENDE	21.191.093,27
RIO BONITO	11.403.467,20
RIO DAS OSTRAS	2.572.214,90
SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	7.121.075,73
SÃO FIDÉLIS	4.107.854,35
SÃO JOÃO DA BARRA	2.327.922,78
SAPUCAIA	1.487.651,46
TERESÓPOLIS	28.933.028,79
TRÊS RIOS	11.815.372,68
VARRE-SAI	284.168,76

Foram elaborados testes para identificar as sedes e os componentes de cada grupo, de forma a permitir que seja realizado um estudo de roteamento, melhorando os resultados aqui apresentados, para otimizar a lista de possibilidades de aproveitamento do gás do lixo oriundo da produção de resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro, fornecendo aos tomadores de decisão um documento de auxílio substancial.

Então, foi desenvolvida uma série de testes levando em conta o número de usinas que poderiam ser instaladas, de 2 a 8 para os municípios do PRO-LIXO,

sugerindo cidades com amiores fatores. Assim, foi possível elaborar a relação abaixo, cujas algarismos são códigos que representam cidades, com base na tabela 26:

TABELA 26 - CÓDIGOS DOS MUNICÍPIOS

CÓDIGO	SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO
1	ANGRA DOS REIS
2	BARRA DO PIRAI
3	CABO FRIO
4	CACHOEIRAS DE MACACU
5	CARMO
6	CONCEICAO DE MACABU
7	ITAGUAI
8	ITAPERUNA
9	JAPERI
10	MACAE
11	MARICA
12	NATIVIDADE
13	PARATI
14	PATY DO ALFERES
15	PORCIUNCULA
16	QUEIMADOS
17	QUISSAMA
18	RESENDE
19	RIO BONITO
20	RIO DAS OSTRAS
21	S. A. PADUA
22	SAO FIDELIS
23	S.J. BARRA
24	SAPUCAIA
25	TERESOPOLIS
26	TRES RIOS
27	VARRE-SAI

RELAÇÃO DE SOLUÇÕES OBTIDAS COM A APLICAÇÃO DO MODELO

PARA 2 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

1 2 7 9 11 13 14 16 18 19 26 27

As cidades próximas a 10 são:

3 4 5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23 24 25

PARA 3 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

7 9 11 13 16 19

As cidades próximas a 10 são:

3 4 5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23 24 25

As cidades próximas a 2 são:

1 2 14 18 26 27

PARA 4 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

7 9 11 13 16

As cidades próximas a 10 são:

4 5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23 24 25

As cidades próximas a 2 são:

1 2 14 18 26 27

As cidades próximas a 3 são:

3 19

PARA 5 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

7 9 13 16

As cidades próximas a 10 são:

5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23

As cidades próximas a 2 são:

1 2 14 18 27

As cidades próximas a 3 são:

3 19

As cidades próximas a 25 são:

4 11 24 25 26

PARA 6 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

7 9 13 16

As cidades próximas a 10 são:

5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23

As cidades próximas a 2 são:

1 2 14 27

As cidades próximas a 3 são:

3 19

As cidades próximas a 25 são:

4 11 24 25 26

As cidades próximas a 18 são: a própria 18

PARA 7 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

9 16

As cidades próximas a 10 são:

5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23

As cidades próximas a 2 são:

2 14

As cidades próximas a 3 são:

3 19

As cidades próximas a 25 são:

4 11 24 25 26

As cidades próximas a 18 são:

18

As cidades próximas a 7 são:

1 7 13 27

PARA 8 USINAS

As cidades próximas a 16 são:

9 16

As cidades próximas a 10 são:

5 6 8 10 12 15 17 20 21 22 23

As cidades próximas a 2 são:

2 14

As cidades próximas a 3 são:

3 19

As cidades próximas a 25 são:

4 11 24 25 26

As cidades próximas a 18 são:

18

As cidades próximas a 7 são:

7 13

As cidades próximas a 1 são:

1 27

Quanto à possibilidade de serem sugeridos outros municípios para sediar os consórcios, o algoritmo só aceita aqueles que contemplem a distribuição geográfica inter-regional e forem mais próximos dos centros de produção regionais.

A tabela 27 mostra o número de caminhões necessários para transportar os resíduos sólidos urbanos e a economia potencial de divisas decorrente da substituição de gás natural importado por GDL para gerar energia, por consórcio.

TABELA 27 – QUANTIDADE DE CAMINHÕES NECESSÁRIOS E DIVISAS DISPONÍVEIS POR CONSÓRCIO

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	PRODUÇÕES DOS GRUPOS (Kg LIXO ORG/DIA)	Nº CAMINHÕES NECESSÁRIOS /DIA	DIVISAS EVITADAS GN (R\$/ANO) (R\$ ano 2000)
ANGRA DOS REIS	50.892,60	7	27.720,06
BARRA DO PIRAI	172.260,22	22	294.210,64
CABO FRIO	68.349,05	9	190.260,42
CACHOEIRAS DE MACACU	16.740,57	3	65.520,14
CARMO	8.346,25	2	23.310,05
CONCEICAO DE MACABU	7.009,31	1	3.780,01
ITAGUAI	71.334,95	9	121.590,27
ITAPERUNA	38.141,95	5	71.190,16
JAPERI	48.265,80	7	26.460,06
MACAE	89.944,80	12	144.270,31
MARICA	61.314,00	8	33.390,07
NATIVIDADE	16.652,63	3	22.050,05
PARATI	14.919,85	2	8.190,02
PATY DO ALFERES	21.567,04	3	36.540,08
PORCIUNCULA	4.236,93	1	2.520,01
QUEIMADOS	138.743,06	18	236.880,52
QUISSAMA	7.972,20	1	13.860,03
RESENDE	110.308,28	14	188.370,41
RIO BONITO	61.324,45	8	98.280,21
RIO DAS OSTRAS	10.820,81	2	5.670,01
S. A. PADUA	26.572,43	4	45.360,10
SAO FIDELIS	33.180,02	5	56.700,12
S.J. BARRA	10.829,67	2	5.670,01
SAPUCAIA	13.869,74	2	23.940,05
TERESOPOLIS	77.680,35	10	132.930,29
TRES RIOS	44.807,46	6	76.860,17
VARRE-SAI	2.077,35	1	1.260,00
TOTAL	1.228.161,77	167	1.956.784,27

Fonte: Elaboração Própria.

É preciso notar que a necessidade por caminhões foi reduzida, com relação a primeira etapa, em virtude da concentração dos resíduos.

As tabelas 28 e 29 comparam os custos de transportes para abastecer de RSUs 2 e 8 usinas, respectivamente, com a receita economizada pelas compras de gás natural evitadas.

TABELA 28 – ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA 2 AGRUPAMENTOS (valores em Reais do ano 2000)

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	SEDE	DISTÂNCIA À SEDE (KM)	DISTÂNCIA PERCORRIDA - IDA E VOLTA (KM/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO (R\$/ANO)	EMIÇÃO DE C Eq (TON/ANO)	MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO (R\$/ANO)	BALANÇO FINANCEIRO (R\$/ANO)
ANGRA DOS REIS	16	124,02	1.736,32	347,26474	126751,63	82.388,56	86,19	1.603.408,10	-1.658.076,60
BARRA DO PIRAI	16	69,36	3.051,77	610,35489	222779,53	144.806,70	151,49	2.818.161,11	-2.668.757,17
CABO FRIO	10	117,52	2.115,44	423,08892	154427,46	100.377,85	105,01	1.953.507,32	-1.863.624,75
CACHOEIRAS DE MACACU	10	65,42	392,54	78,507144	28655,108	18.625,82	19,49	362.487,11	-315.592,79
CARMO	10	65,36	261,43	52,285584	19084,238	12.404,75	12,98	241.415,61	-230.510,31
CONCEICAO DE MACABU	10	52,58	105,15	21,030336	7676,0726	4.989,45	5,22	97.102,32	-98.311,76
ITAGUAI	16	37,79	680,3	136,06085	49662,21	32.280,44	33,77	628.226,95	-538.917,12
ITAPERUNA	10	182,29	1.822,92	364,584	133073,16	86.497,55	90,49	1.683.375,47	-1.698.682,86
JAPERI	16	14,56	203,78	40,755792	14875,864	9.669,31	10,12	188.179,68	-171.388,93
MACAE	10	0 -		0	0	0	0	0	144.270,31
MARICA	16	80,91	1.294,62	258,92458	94507,47	61.429,86	64,27	1.195.519,50	-1.223.559,29
NATIVIDADE	10	168,15	1.008,91	201,78254	73650,629	47.872,91	50,08	931.680,45	-957.503,31
PARATI	16	68,18	272,73	54,546232	19909,375	12.941,09	13,54	251.853,59	-256.604,66
PATY DO ALFERES	16	77,86	467,16	93,4323	34102,79	22.166,81	23,19	431.400,29	-417.027,02
PORCIUNCULA	10	165,58	331,17	66,233752	24175,319	15.713,96	16,44	305.817,79	-319.011,74
QUEIMADOS	16	0 -		0	0	0	0	0	236.880,52
QUISSAMA	10	101,86	203,73	40,745848	14872,235	9.666,95	10,11	188.133,77	-183.940,69
RESENDE	16	110,87	3.104,43	620,88662	226623,61	147.305,35	154,1	2.866.788,73	-2.825.723,67
RIO BONITO	16	125,52	2.008,39	401,67869	146612,72	95.298,27	99,7	1.854.650,92	-1.851.668,98
RIO DAS OSTRAS	10	66,1	264,42	52,883592	19302,511	12.546,63	13,13	244.176,77	-251.053,39
S. A. PADUA	10	123,75	989,96	197,9929	72267,407	46.973,81	49,14	914.182,70	-915.796,41
SAO FIDELIS	10	93,3	933,02	186,6037	68110,351	44.271,73	46,32	861.595,93	-849.167,54
S.J. BARRA	10	186,36	745,46	149,09154	54418,411	35.371,97	37	688.392,89	-718.094,85
SAPUCAIA	10	114,68	458,7	91,740968	33485,453	21.765,54	22,77	423.590,98	-421.416,47
TERESOPOLIS	10	119,3	2.385,99	477,19808	174177,3	113.215,24	118,44	2.203.342,83	-2.183.627,78
TRES RIOS	16	126,05	1.512,61	302,52283	110420,83	71.773,54	75,09	1.396.823,55	-1.391.736,92
VARRE-SAI	16	187,21	374,42	74,884668	27332,904	17.766,39	18,59	345.761,23	-362.267,62
TOTAL			26.725,41	5.345,08	1950954,6	1.268.120,49	1.326,65	24.679.575,60	-23.990.911,82

TABELA 29 – ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA 8 AGRUPAMENTOS

SEDE DOS GRUPOS: PRO-LIXO	SEDE	DISTÂNCIA À SEDE (KM)	DISTÂNCIA PERCORRIDA - IDA E VOLTA (KM/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/DIA)	CONSUMO DE DIESEL (L/ANO)	CUSTO (R\$/ANO)	EMIÇÃO DE C Eq (TON/ANO)	MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO (R\$/ANO)	BALANÇO FINANCEIRO (R\$/ANO)
ANGRA DOS REIS	1	0	0	0	0	0	0	0	27.720,06
BARRA DO PIRAI	2	0	0	0	0	0	0	0	294.210,64
CABO FRIO	3	0	0	0	0	0	0	0	190.260,42
CACHOEIRAS DE MACACU	25	61,93607	371,61642	74,32	27.128,00	17.633,20	18,45	343.169,18	-295.282,24
CARMO	10	65,35698	261,42792	52,29	19.084,24	12.404,75	12,98	241.415,61	-230.510,31
CONCEICAO DE MACABU	10	52,57584	105,15168	21,03	7.676,07	4.989,45	5,22	97.102,32	-98.311,76
ITAGUAI	7	0	0	0	0	0	0	0	121.590,27
ITAPERUNA	10	182,292	1822,92	364,58	133.073,16	86.497,55	90,49	1.683.375,47	-1.698.682,86
JAPERI	16	14,55564	203,77896	40,76	14.875,86	9.669,31	10,12	188.179,68	-171.388,93
MACAE	10	0	0	0	0	0	0	0	144.270,31
MARICA	25	65,79191	1052,67056	210,53	76.844,95	49.949,22	52,25	972.088,63	-988.647,78
NATIVIDADE	10	168,15212	1008,91272	201,78	73.650,63	47.872,91	50,08	931.680,45	-957.503,31
PARATI	7	38,38563	153,54252	30,71	11.208,60	7.285,59	7,62	141.788,84	-140.884,41
PATY DO ALFERES	2	77,17209	463,03254	92,61	33.801,38	21.970,89	22,98	427.587,40	-413.018,21
PORCIUNCULA	10	165,58438	331,16876	66,23	24.175,32	15.713,96	16,44	305.817,79	-319.011,74
QUEIMADOS	16	0	0	0	0	0	0	0	236.880,52
QUISSAMA	10	101,86462	203,72924	40,75	14.872,23	9.666,95	10,11	188.133,77	-183.940,69
RESENDE	18	0	0	0	0	0	0	0	188.370,41
RIO BONITO	3	81,66989	1306,71824	261,34	95.390,43	62.003,78	64,87	1.206.688,96	-1.170.412,53
RIO DAS OSTRAS	10	66,10449	264,41796	52,88	19.302,51	12.546,63	13,13	244.176,77	-251.053,39
S. A. PADUA	10	123,74556	989,96448	197,99	72.267,41	46.973,81	49,14	914.182,70	-915.796,41
SAO FIDELIS	10	93,30185	933,0185	186,6	68.110,35	44.271,73	46,32	861.595,93	-849.167,54
S.J. BARRA	10	186,36442	745,45768	149,09	54.418,41	35.371,97	37	688.392,89	-718.094,85
SAPUCAIA	25	56,54677	226,18708	45,24	16.511,66	10.732,58	11,23	208.872,46	-195.664,99
TERESOPOLIS	25	0	0	0	0	0	0	0	132.930,29
TRES RIOS	25	64,31314	771,75768	154,35	56.338,31	36.619,90	38,31	712.679,63	-672.439,36
VARRE-SAI	1	64,56042	129,12084	25,82	9.425,82	6.126,78	6,41	119.236,64	-124.103,42
TOTAL			11.344,59	2.268,92	828.155,35	538.300,97	563,15	10.476.165,13	-9.057.681,83

Para finalizar a análise, pode ser calculado o potencial de geração elétrica caso todo o óleo diesel necessário para reunir os resíduos em 2 ou 8 usinas fosse utilizado para abastecer um grupo gerador, complementar ao resultado da primeira etapa, onde os 500 m³ anuais geravam 0,10 MW e usando os recursos de operação e manutenção (O&M) chegavam a 2 MW. No caso de 2 usinas, seriam consumidos mais 2.000 m³, enquanto a outra opção consumiria cerca de 900 m³ complementares. Através de um regra de três simples, pode-se identificar que no caso de 2 usinas, os 2.500 m³ de óleo diesel gastos com transportes seriam capazes de gerar 0,5 MW, enquanto a outra opção, com 1.400 m³ poderia gerar cerca de 0,3 MW. Caso fossem consumidas as verbas gastas com manutenção e operação, estes valores poderiam adquirir 39 e 17 milhões de litros, respectivamente, elevando o potencial para 7,8 e 3,4 MW, como pode ser visto na tabela 30, valores bem inferiores ao potencial do GDL, de 12 MW.

TABELA 30– POTENCIAIS DE GERAÇÃO ELÉTRICA COM ÓLEO DIESEL

	1ª ETAPA	1ª ETAPA COM O&M	TOTAL 1ª ETAPA	2ª ETAPA PARA 2 USINAS	2ª ETAPA PARA 2 COM O&M	TOTAL 1ª + 2ª ETAPAS COM 2 USINAS	2ª ETAPA PARA 8 USINAS	2ª ETAPA PARA 8 COM O&M	TOTAL 1ª + 2ª ETAPAS COM 8 USINAS
POTENCIAL DE GERAÇÃO (MW)	0,1	1,9	2,0	0,5	7,3	9,8	0,3	3,1	5,4

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A novidade desta tese não está na apresentação de possibilidades de aproveitamento do lixo, como provam as atividades econômicas já existentes de reciclagem, em geral artesanal ou com pouco uso de tecnologia, e as solicitações à ANEEL para instalação de usinas termelétricas abastecidas por resíduos sólidos urbanos. O caráter inovador está na análise do potencial energético das diversas possibilidades e de seus reflexos ambientais e econômicos, visto que o aproveitamento desta fonte renovável, cuja oferta é descentralizada e totalmente nacional, implica em mudanças para diversos setores.

O potencial de expansão da oferta de energia elétrica usando os RSUs foi calculado em cerca de 50 TWh, algo como 15% da oferta atual, o que representa a parte brasileira da usina de Itaipu. Como aproximadamente 60% disto refere-se a conservação de energia, a qual é proveniente da reciclagem de materiais, o que não requer modificações em equipamentos das indústrias, a apropriação imediata deste potencial depende de uma política nacional.

Quanto aos reflexos deste aproveitamento energético, foram encontrados: i) o potencial de emissões evitadas de gases do Efeito Estufa, na faixa de 10 milhões de toneladas anuais de carbono equivalente, podendo vir a contar com recursos internacionais, até mesmo a fundo perdido; ii) a redução do risco de déficit do setor elétrico e a atenuação dos efeitos da crise, permitindo a substituição de parte do gás natural, combustível importado sobre o qual está embasado o planejamento de expansão do setor elétrico, possibilitando economia próxima de R\$ 1 bilhão por ano; iii) a redução do consumo de matéria-prima virgem pelas indústrias, que passarão a usar materiais recicláveis, reduzindo os desperdícios na ordem de R\$ 4,2 bilhões por ano; iv) geração de empregos na ordem de 1 milhão em todo o país, a maioria para pessoas com baixa qualificação profissional; e v) redução das doenças causadas pela disposição inadequada de resíduos, que somam custos de R\$ 0,15 bilhões por ano.

Como pôde ser visto, a viabilização das políticas de resíduos sólidos requer o estudo prévio do comportamento da população perante o mecanismo de gestão dos RSUs, para a construção de uma base de dados. Este sistema de dados permite o avanço da política do setor na medida em que funciona como um simulador, pois relaciona as aplicações dos mecanismos de gestão com as características socioculturais, econômicas e ambientais das populações, além de avaliar a participação dos setores público e privado, assim como da sociedade civil.

Nos países mais avançados no setor, o planejamento e a gestão das políticas de resíduos sólidos estão calcados em dados obtidos através de sistemas de estatísticas ambientais, sendo o conhecimento de dois deles considerados primordiais: a disposição a pagar da população e os custos externos das opções de gerenciamento. A disposição a pagar decorre da consciência coletiva sobre os problemas evitados pela disposição sanitariamente correta dos resíduos, a qual é fruto de décadas de combate à disposição inadequada e, mesmo, à coleta e disposição tradicionais dos resíduos. Nestes países, a disposição a pagar das populações por estes serviços tradicionais – apesar de ser maior do que nos demais –, normalmente, é menor que a disponibilidade para selecionar materiais na fonte de geração e encaminhá-los para reciclagem, em sistemas de coleta seletiva.

A outra importante ação que a tese analisou nos países mais avançados no setor de resíduos sólidos foi a obtenção dos custos reais das opções de gerenciamento, através do cálculo dos custos externos de cada uma delas, que podem ser acrescidos aos, ou deduzidos, dos custos operacionais – devendo ficar claro que esta valoração tende a ser subestimada, uma vez que grande parte das externalidades é de difícil mensuração –. De posse destes dois parâmetros, foi possível o desenvolvimento de mecanismos de gestão realistas, os quais incentivam a iniciativa privada a participar de forma mais contundente, reduzindo os custos públicos e, conseqüentemente, realimentando o planejamento.

Para os países atrasados no desenvolvimento deste setor, foi visto que é possível a aplicação da técnica conhecida como “efeito túnel” ou “pulo do sapo”, a qual adequa as experiências alheias à realidade local, com vistas a “queimar” etapas, utilizando, por exemplo, pesquisas de opinião para identificar a disposição a pagar, ou o desenvolvimento de experiências-piloto. Nestes casos faz-se necessário atentar para os riscos das análises com base no custo operacional da coleta seletiva, o qual é inversamente proporcional à escala destas iniciativas.

As experiências brasileiras de coleta seletiva mostradas tem sua importância relacionada à disposição a pagar da população, como comprovam os sistemas que já ultrapassaram uma década de existência. Apesar de serem pontuais e conviverem com muitos obstáculos, dentre os quais o pouco apoio da iniciativa privada, a viabilidade econômica destas iniciativas e o engajamento popular que as sustenta demonstram a importância das propostas de políticas nacionais serem transformadas em realidade, de forma a democratizar os benefícios.

Quanto aos custos externos, foram identificados os reais impactos de cada opção de gerenciamento, para tornar possível comparar as alternativas de maneira sensata. Este trabalho identificou que menos da metade de todos os custos externos relacionados à questão é passível de valoração. Mesmo assim, sua internalização revelou que a coleta tradicional é mais cara que a coleta seletiva, uma vez que seus custos vem sendo pagos por diversas fontes, ainda que tenha sido considerado para a coleta seletiva o maior custo operacional obtido nas pesquisas nacionais, como revela a tabela 31, abaixo.

TABELA 31 – Comparação entre as Opções de Gerenciamento (Bilhões R\$/Ano)

	COLETA TRADICIONAL	COLETA SELETIVA *	COLETA SELETIVA **	COLETA SELETIVA ***
Redução no Consumo de Matéria-Prima Virgem ¹	3,40	-	-	-
Venda de Recicláveis	1,10	-	-	-
Água e Custos Ambientais ¹	0,48	-	-	-
Gás Natural	0,91	-	-	-
Custos Municipais com Saúde Pública	0,15	-	-	-
Aproveitamento Energético dos Resíduos	3,33	-	-	-
CDM	0,18	-	-	-
Custo Operacional	0,70	2,54	4,61	5,50
TOTAL	10,25	2,54	4,61	5,50

Fonte: Elaboração Própria

¹ Valores em Reais do ano 1997.

Demais valores em Reais do ano 2000.

* Custo Operacional da parte tradicional acrescido de 35%, chegando a R\$ 47,25 por tonelada.

** Custo Operacional da parte tradicional acrescido da média entre 35% e 750%, chegando a R\$ 172,375 por tonelada.

*** Custo Operacional da parte tradicional acrescido de 750%, chegando a R\$ 274,75 por tonelada.

No custo operacional da coleta seletiva há dois valores diferenciados: o da coleta da fração reciclável – papéis, plásticos, vidros e metais –, que correspondem a cerca de 35% dos resíduos sólidos urbanos e o custo da coleta dos 65% restantes. Os materiais recicláveis requerem tratamento diferenciado, o qual é capaz de justificar o

custo pertinente à coleta seletiva, segundo o CEMPRE (1998), de R\$ 274,75 por tonelada. A coleta dos demais materiais tem custo operacional variável, tendo sido analisadas três possibilidades: R\$ 47,25, R\$ 172,38 e R\$ 274,75, por tonelada, conforme está discutido no capítulo 3. Neste caso, a tabela 32 permite visualizar que os custos externos elevam o custo da coleta tradicional a valores entre o dobro e o quádruplo do custo operacional da coleta seletiva. É preciso notar que este cálculo não considerou o incremento de emissões decorrente do maior consumo de óleo diesel nos transportes, o que requer maior detalhamento da pesquisa, mas este, certamente, não será capaz de modificar a ordem de grandeza dos valores encontrados na tabela 31. Em síntese, os R\$ 10,25 bilhões anuais, os 50 TWh de oferta possível de energia e as 10 milhões de toneladas de carbono equivalente cuja emissão pode ser evitada, correspondem à média de consumo por quilograma de resíduo sólido urbano, com composição média, produzido no Brasil e gerenciado da forma tradicional de R\$ 0,51, 2,5 KWh e 0,5 Kg C Eq., enquanto a coleta seletiva é capaz de reduzir o custo em 75%, quase todo o consumo energético e parte significativa das emissões de carbono.

Outra forma de olhar estes benefícios é comparando-os a dados concretos, como identificar que a energia disponibilizada aproxima-se da parte brasileira da usina de Itaipu, que as emissões evitadas de gases estufa podem representar a substituição de 30% do consumo de óleo diesel consumido (B.E.N., 1999) por combustível renovável e, caso fosse uma empresa, sua receita operacional líquida figuraria entre a 20ª e a 50ª posições no ranking brasileiro (GAZETA,2000).

Também é possível negociar a antecipação dos créditos ambientais para investimentos sustentáveis, os quais podem ser feitos até a fundo perdido. Neste caso, seria possível trocar os 10 milhões de toneladas de carbono equivalentes anuais, em certificados de emissões evitadas futuras dos próximos 20 anos, considerando US\$ 20 por tonelada de carbono equivalente, por cerca de US\$ 4 bilhões, o que representa

160% do investimento necessário para instalar as 119 plantas de geração de energia elétrica do sistema B.E.M. Mesmo assim, a comparação entre os custos operacionais reais dos dois tipos de coleta não vai se alterar, pois o CDM representa menos de 3% dos custos externos.

Para atingir o máximo destes benefícios, é preciso que seja elaborado e implantado um plano nacional de aproveitamento energético de resíduos urbanos, capaz de mapear o potencial e hierarquizar os empreendimentos, o qual deve passar a orientar a política nacional de resíduos sólidos. Este Plano Nacional terá muitos obstáculos pela frente, tanto vinculados à conservação quanto à geração.

Quanto à conservação, é possível identificar que a atual localização das indústrias consumidoras de recicláveis pode inviabilizar o aproveitamento total dos recicláveis disponíveis, visto que muitas cidades devem estar fora de seu raio de ação. Nestes casos é preciso desenvolver Sistemas Integrados de Reaproveitamento de Resíduos Sólidos (SIRRS), que são consórcios entre cidades distantes dos parques recicladores, com objetivo de ganhar escala de oferta de recicláveis e atrair indústrias interessadas na matéria-prima secundária, no mercado regional e em parte dos recursos que estão sendo gastos em externalidades, cuja realocação ampliará a atratividade econômica do empreendimento e permitirá melhoria de qualidade-de-vida para as populações atendidas. No caso da geração de energia elétrica utilizando os resíduos sólidos urbanos, o desenvolvimento dos SIRRS também é aplicável, pois fora dos grandes centros a baixa densidade demográfica torna inviável o empreendimento, o que também requer o consorciamento de prefeituras, sendo interessante considerar a oportunidade da unidade recicladora consumir esta energia.

Também deve ser considerada a possibilidade de utilização imediata de tecnologias com menor eficiência, em função de permitirem o incremento gradual no nível de engajamento de população na seleção dos materiais, até que seja possível viabilizar ações com melhor desempenho.

O Estudo de caso sobre o PRO-LIXO foi composto de duas partes: na primeira foi sintetizada uma análise anterior sobre a coleta seletiva, com poucas sugestões sobre a proposta original e, na segunda, ao contrário, é ensaiada uma proposta inovadora de SIRRS para geração elétrica de 12MW. A taxa interna de retorno da coleta seletiva, acatando as sugestões, foi superior a 30%, o que configura boa atratividade econômica. Quanto à geração elétrica via GDL, o único dado disponível sobre viabilidade foi a quantidade mínima de pessoas produzindo RSU diariamente, na faixa de 60.000, o que configura o máximo de 41 usinas. Para identificar o menor número de plantas GDL possível utilizou-se um “software”, o qual identificou a composição dos consórcios, quais os municípios-sede e as potências das usinas, que totalizam 27.

Portanto, o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos é uma solução integrada para setores normalmente tidos como desvinculados, cuja confluência de interesses serve, inclusive, como garantia de continuidade para o sistema.

O aproveitamento energético dos RSUs reduz sua disposição em aterros sanitários, ao mesmo tempo em que atenua a crise no setor elétrico, permite a captação de CDM, gera empregos para as pessoas com baixa qualificação profissional e, face a atratividade econômica, motiva o interesse da iniciativa privada em investir mediante concessão de exploração. Este sistema é capaz de expandir-se com rapidez, aumentando o consumo dos RSUs e, através da aplicação das técnicas de planejamento e gestão, fazer da redução do desperdício prioridade máxima e conduzir o Brasil à independência do jargão “em desenvolvimento”.

As sugestões nesse sentido são, principalmente, com vistas à complementaridade entre mecanismos de Comando e Controle e Instrumentos Econômicos, à criação de um sistema nacional de estatísticas ambientais, item crucial para o setor, o aumento do investimento em pesquisas no setor e o fomento à

participação mais efetiva das Instituições formadoras de opinião, como Universidades, Associações de Moradores e Sindicatos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *Resíduos Sólidos: classificação*. NBR 10.004. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). *Aterros Sanitários*. NBR 10.703. Rio de Janeiro.
- AFONSO, J.R.R. (1993). “Financiamento e gasto público na área ambiental no Brasil e na região metropolitana do Rio de Janeiro”. In: Em busca do desenvolvimento sustentável – O caso do Rio de Janeiro. Anais do seminário: *Degradação ambiental e vulnerabilidade urbana*. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. pag 81-121.
- ANEEL (1998). *Resolução nº 242*. Versa sobre Fundo para Conservação de Energia..
- _____ (1999a). *Resolução nº 233*. Versa sobre Valores Normativos.
- _____ (1999b). *Resolução nº 245*. Versa sobre a Conta de Consumo de Combustíveis.
- BARBOSA, F. e TAVARES, M. (2000). “Governo exige consumo menor em prédio público”, *O Globo*. Rio de Janeiro. p.27. 10-set.
- BASTO OLIVEIRA, L, LIMA, J.P.C.e FERREIRA, A.M.M. (1999). *Loteria da coleta seletiva*. Rio de Janeiro, ENCE/IBGE. Monografia (Especialização em Análise Ambiental e Gestão do Território).
- BASTO OLIVEIRA, L. (1999). *Internalizações da coleta seletiva*. COPPE/UFRJ. Mimeo.
- BASTO OLIVEIRA, L., PEREIRA, A.S. e REIS, M.M. (2000). “Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos”. In: PINGUELLI ROSA, L., FREITAS, M.A e MUYLEAERT, M. S. *Relatório de Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL - Estudos de Caso* – PNUD – ANEEL – MCT - IVIG/COPPE/UFRJ.
- BEN (1999). *Balanço energético nacional*. Capturado no site <http://www.mme.gov.br> em 12 jun 2000.
- BRASIL (1998). Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo. *Portaria nº 92* de 06 de agosto de 1998. Cria Grupo de Trabalho para propor Programa Brasileiro de Reciclagem. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, n. 150, 7 ago. Seção 1.
- CALDERONI, S. (1997). *Os bilhões perdidos no lixo*. São Paulo. Humanitas Publicações.
- CEMPRE (1998). *Pesquisa CICLOSOFT*. São Paulo: IPT, 1994. Disponível: <http://www.cempre.org.br/index2.htm> [capturado em 20 set.].
- CETESB (1999). *Pesquisa sobre emissões de metano dos depósitos de lixo no Brasil*. São Paulo. 1999. Disponível em <http://www.mct.gov.br/residuo9.htm> [capturado em 23 mai].

- CHAYB, L. (1998). "E o lixo do Brasil?", *ECO-RIO*, Rio de Janeiro, set. / out. p. 21 - 5.
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (1986), *Manual do Gás Natural*, Coleção José Ermírio de Moraes.
- COASE, R.H. (1960). "The problem of social cost", *The Journal of Law & Economics*, 3, p. 1 – 44.
- COELHO, S. T. (1999). "Biomassa: um produto nacional", *CENBIO Notícias*, São Paulo. ano 2, número 5. p. 2, jan-fev.
- CUNHA, I. (2000). *Marketing ambiental. A questão dos resíduos sólidos urbanos*. Dissertação (de Mestrado). UFF. Rio de Janeiro.
- DE BAERE, L. (1999). Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. In: *II International symposium on anaerobic digestion of solid waste*. Barcelona, 15-17 june.
- DETRO. (1999). *Matriz de distâncias do estado do Rio de Janeiro*. PET/COPPE/UFRJ.
- DIAS Fº, O. (1998). *Estrutura do serviço de coleta e disposição final do lixo no estado do Rio de Janeiro*. PNUD.
- ECOLOGY AND ENVIRONMENT INC (1998), *Preliminary Environmental Report for Bom Jardim Energética Thermal Electric Plant*.
- ELETROBRÁS (1991) *Cadernos do Plano 2015 - Anais dos Seminários Temáticos: Utilização de Termoelectricidade*, Volume 4, Rio de Janeiro.
- ELETROBRÁS (1998) *Plano Decenal de Expansão 1998/2007* – Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos.
- ELETROBRÁS (2000). Capturado no site www.eletrobras.gov.br em 10-ago
- EMBRATUR. (1998). *Limpeza urbana nos municípios turísticos*. Brasília, DF, MICT/ Oficina de Planejamento. Relatório.
- EMPRESA coleta lixo e vende a indústrias. (1992a) *O Globo*, Rio de Janeiro, 25 ago. Jornal de Bairro: Botafogo.
- EMPRESA coleta lixo e vende a indústrias. (1992b). *O Globo*, Rio de Janeiro, 17 ago. Jornal de Bairro: Copacabana, p. 8.
- FARRO, W. (1997). Sucata vira matéria-prima e gera lucro. *Revista da Indústria*, São Paulo, p. 22 – 6, set.
- FUNDAÇÃO CIDE. ACESSO AO SITE EM 01/02/2000, ÀS 11:30 HS.
- GAZETA Mercantil (2000), *Ranking das maiores empresas da América Latina*. Capturado em <http://www.gazetamercantil.com.br/1000maiores>, em 20-set.
- GLEICK, J. (1991). *Caos – A criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Ed. Campus.

- GRADEL, T. E., CRUTZEN, P.J., (1997). *Atmosphere, climate and change*. Scientific American Library, New York.
- IBGE (1989). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*.
- IPT/CEMPRE. (1998). *Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado*. 2. reimp. São Paulo: CEMPRE.
- 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.
- LA ROVERE, E. L & AMERICANO, B.B. (1998) *Environmental Impacts of Privatizing the Brazilian Power Sector*; PPE/COPPE/UFRJ; mimeo.
- MARAZANA, F.E. (1964). *On the location of supply points to minimize transports costs*. Operat. Res. Quart., vol 15, 261-270.
- MCT E BNDES. (2000). *Efeito estufa e a convenção do clima*.
- MICHAELIS. (1998). *Moderno dicionário da língua portuguesa*. 1ª ed. São Paulo. Melhoramentos.
- MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (1998) *Balanço Energético Nacional*
- MORAES, A. L. (1998). Spal faz campanha para uso de PET reciclado. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 24 set. p. C-7.
- MOREIRA, J.R., CORRÊA, F. FREITAS, M.A.V. (1997). Foro permanente das energias renováveis plano nacional de energias renováveis biomassa, *CENBIO*.
- NOGUEIRA, L.A.H. E WALTER, A.C.S. (1997) Geração de energia elétrica a partir de biomassa no brasil: experiências e perspectivas. *CENBIO*.
- PARCERIA 21. (1999). IBAM – ISER – REDEH. Cidades Sustentáveis – Formulação e implementação de políticas públicas compatíveis com os princípios de desenvolvimento sustentável definidos na Agenda 21. *Ministério do Meio Ambiente*, Projeto PNUD BRA/94/016.
- PASSOS, J. M.(1998). Violência freia o crescimento da AL. *O Globo*, Rio de Janeiro, 17/03. p.21.
- PBR – Programa Brasileiro de Reciclagem. *Ministério do Desenvolvimento*. Disponível em: [www://http.reciclagem.ibict.br/pbr](http://www.reciclagem.ibict.br/pbr) [capturado em 20 abr. 1999].
- PEARCE, D. e TURNER, R. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. London, 287 p.
- PENIDO, J.H. (2000). Compostagem. RESOL Engenharia. Capturado no site www.resol.com.br em 23 de janeiro.

- PERES, S. (1999) Aproveitamento energético do lixo, uma nova alternativa para geração de energia. In: *CENBIO Notícias*, São Paulo. ano 2, número 5. p. 3, jan-fev.
- PETROBRÁS. (2000). *Custo do gás natural para geração elétrica*. Diretoria de Gás e Energia. Jun.
- PINATTI, D.G et al (1999). Report on bioenergy in Brazil. In: *Annual meeting of international energy agency*. Auburn University Conference Center. Auburn, Alabama, USA
- PINGUELLI ROSA, L., LA ROVERE, E.L., PIRES RODRIGUES, A. (1985). *Economia e tecnologia da energia*.
- PINGUELLI ROSA, L. (1996). Risks, uncertainty and the equity issue in GHG emissions: A latin american view point. p.261-2. In: ROSA, L.P. & SANTOS, M.A. (editors). *Greenhouse gas emission under developing countries poin of view*. COPPE/ENERGE/ALAPE. 283 p. Rio de Janeiro.
- PINGUELLI ROSA, L e LACERDA, W. (1996). *Tormentas cariocas COPPE*. Rio de Janeiro.
- PINGUELLI ROSA, L. e SCHECHTMAN, R. (1996). Avaliação de custos ambientais da geração termelétrica: inserção de variáveis ambientais no planejamento da expansão do setor elétrico. In: ROSA, L.P. (Coord. Geral) *Cadernos de Energia*, nº 9. março.
- PINGUELLI ROSA, L. (1999) O Efeito Estufa. Mimeo. COPPE/UFRJ.
- 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 Energia Energética.
- RECICLAGEM (Ltda.) tenta reduzir IPTU. (1992a). *O Globo*, Rio de Janeiro, 16 nov.. Jornal de Bairro: Copacabana, p. 8-9.
- RECICLAGEM: o papel ecológico do lixo. (1992b) *O Globo*, Rio de Janeiro, 17 fev. Jornal de Bairro: Copacabana.
- RECICLAGEM: o papel ecológico do lixo. (1992c) *O Globo*, Rio de Janeiro, 09 mar. Jornal de Bairro: Botafogo.
- RECICLAGEM: o papel ecológico do lixo. (1992d). *O Globo*, Rio de Janeiro, 09 mar. Jornal de Bairro: Ipanema, p. 6.
- RECICLOTECA, (2000). Informativo da. Número 13. Rio de Janeiro.
- REIS, M.M. (1999). "SOFTWARE" Algoritmo da partição de Marazana. COPPE/UFRJ.

RIO DE JANEIRO, ESTADO. (2000). Edital de concorrência PRO-LIXO.

SCHARF, R. (1998a). Certificados ambientais viram negócio bilionário, *Gazeta Mercantil*. São Paulo.

_____. (1998b). Coleta seletiva cresce e chega a cidades médias. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 14 set.. p. A-8.

SERÔA DA MOTTA, R. & CHERMONT, L. (1996). Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: *IPEA* (Texto para discussão nº 416).

SMAC-COPPETEC. (2000). *Inventário de emissões de gases do efeito estufa do município do Rio de Janeiro*.

TAVARES, P. (1992). Universidades investem na melhoria da qualidade de vida. *Jornal da FACHA*, Rio de Janeiro, nov. p. 2.

TEIXEIRA, E.N., et al. (1997). Potencial de minimização de resíduos sólidos domésticos em termos de matéria orgânica e embalagens. *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19º. Foz do Iguaçu: ABES, 14 a 19 set. Anais em CD-ROM.

UMA solução limpa e muito econômica. (1992). *Mulher de Hoje*, Rio de Janeiro. n.º 149, p. 54, abr.

U.S. A.I.D. (1997). *Characterization of landfill sites in Brazil for landfill gas recovery*. Business Focus Series. 106 p.

U.S.E.P.A (1998). *Greenhouse gases emissions of management of municipal solid waste*. 144 p.

VOIGT, N. et al. (1999). *Gestão ambiental de resíduos*. COPPE/UFRJ.. Mimeo.

Sites na World Wide Web

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – <http://www.aneel.gov.br>. Acessado em 20 de outubro de 1999.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – <http://www.ipcc-ch.org>. Acessado em 23 de outubro de 1999.

GAZETA MERCANTIL – <http://www.gazetamercantil.com.br> - Acessado em 13 de setembro de 2000.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – <http://www.mme.gov.br>

MCT - MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - <http://www.mct.gov.br>

ANEXO

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS EMISSÕES DE METANO E DIÓXIDO DE CARBONO DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS – IPCC - 1996

A fermentação anaeróbia dos resíduos sólidos libera para a atmosfera quantidades de CH₄ que podem ser expressivas em função da quantidade de lixo produzida, da composição deste lixo e das condições de sua disposição. A fórmula geral adotada pelo IPCC para o cálculo dessas emissões, em Gg/ano, é a seguinte:

$$\text{EMISSÕES DE METANO} = \Sigma(\text{RSU}_D \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_R \times \text{FEM} \times 16/12 - R)(1 - \text{OX}) \quad (2.5.1)$$

Sendo:

RSU_D = Total anual de Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos nos Diferentes Tipos de Vazadouro. São considerados aterros, vazadouros com células de até 5 metros de altura e vazadouros com células maiores. Deve ser expresso em milhares de toneladas, ou Gigagramas.

FCM = Fator de Correção do Metano. Varia em função de cada tipo de local de disposição, podendo valer 0,4 para os vazadouros com células de até cinco metros; 0,8 para os vazadouros com células maiores e 1,0 no caso dos aterros.

COD = Carbono Organicamente Degradável. Seu valor está relacionado à composição orgânica dos resíduos. Depende do teor de papéis e papelões, folhas, madeiras e matéria orgânica total, dados em percentuais do lixo, os quais são aplicados na equação 2.5.2.

$$\text{COD} = 0,4 \text{ Papel e Papelão} + 0,17 \text{ Folhas} + 0,15 \text{ Mat. Org. Total} + 0,3 \text{ Madeira} \quad (2.5.2)$$

COD_R = Fração do COD que realmente degrada. Devido ao processo anaeróbio ser incompleto, parte do carbono potencialmente degradável não atinge a degradação. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 77%.

FEM = Fração de Carbono Emitida como Metano. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 50%.

16/12 = Taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano.

R = Metano Recuperado. Refere-se à parcela recuperada em cada local de disposição, influenciando nas emissões líquidas. Se queimado, produz CO₂ (de acordo com relação apresentada adiante) que é um gás com menor potencial de aquecimento global (GWP). Este valor deve ser informado para o abatimento das emissões.

OX = Fator de Oxidação. Relaciona-se à reação quando há queima espontânea – relacionada a incêndios – do metano.

- **Fator de Correção do Metano (FCM)**

Varia em função de cada tipo de local de disposição, podendo valer 0,4 para os vazadouros com células de até cinco metros; 0,8 para os vazadouros com células maiores e 1,0 no caso dos aterros.

- **Carbono Organicamente Degradável (COD)**

O Carbono organicamente degradável foi calculado segundo a metodologia do IPCC, a qual considera os percentuais de papéis e papelões, restos de comida, folhas e madeiras. Os valores encontrados para o município do Rio de Janeiro são apresentados na tabela 1, abaixo.

Tabela 1– Carbono organicamente degradável para os anos de 1990, 1996 e 1998

Ano	COD
1990	0,190
1996	0,168
1998	0,167

- **Fração do COD que realmente degrada (COD_R)**

A fração do COD que realmente degrada usada é de 77%⁽²⁷⁾.

- **Fração de Carbono Emitida como Metano (FEM)**

A Fração de Carbono Emitida como Metano usada é de 50%⁽²⁸⁾.

- **Taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano**

A taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano é de 16/12.

- **Metano Recuperado (R)**

O metano recuperado para cada um dos anos considerados foi calculado em informações da COMLURB sobre o número de poços em operação e suas vazões de biogás cujas participações são de 55% de metano e 40% de dióxido de carbono, sendo as densidades 0,716 kg/m³ e 1,53 kg/m³, respectivamente.

Além de reduzir o risco de explosões e incêndios, a queima é benéfica para o efeito estufa, pois libera dióxido de carbono em vez de metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior. Mesmo assim, é preciso contabilizar esta emissão antropogênica de CO₂, de acordo com a equação 2.5.3.

$$CO_2 = CH_4 \div D \times PCI \times E \times F \times 44/12 \quad (2.5.3)$$

Sendo:

CO₂ = Quantidade de Dióxido de Carbono gerada (Gg).

CH₄ = Quantidade de metano convertida, em (Gg).

²⁷ O valor sugerido pela metodologia do IPCC

²⁸ O valor sugerido pela metodologia do IPCC

D = Densidade do metano ($0,716 \text{ Kg/m}^3$).
PCI = Poder Calorífico Inferior do metano (aproximadamente o mesmo do gás natural, cerca de $0,771 \times 10^{-3} \text{ tep/ m}^3$).
F = Fator de conversão de terajoule para tonelada equivalente de petróleo ($45,2 \times 10^{-3} \text{ TJ/tep}$).
E = Emissão de carbono por unidade de calor produzida ($15,2 \text{ tC/TJ}$).
44/12 = Fator de conversão de carbono para dióxido de carbono.

- **Fator de Oxidação (OX)**

Refere-se a incêndios nos depósitos de lixo.

EMISSIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO:

As emissões de dióxido de carbono relacionadas aos resíduos sólidos urbanos são oriundas de três fontes, quais sejam, queima do metano recuperado, oxidação da matéria orgânica em incêndios e emissões fugitivas do biogás²⁹.

Quanto à combustão do metano recuperado, a conversão é feita através do poder calorífico inferior, como apresentado acima.

Em relação à emissão oriunda da oxidação, em virtude da metodologia de cálculo do COD não considerar o plástico – que emitirá dióxido de carbono em sua queima – foi considerada como emissão de CO_2 a proporção de presença de carbono – 50% – na matéria orgânica seca, 40% do total.

²⁹ Apesar de não serem consideradas pela metodologia do IPCC, existem emissões fugitivas do biogás, que decorrem de sua composição ter 40% do volume em CO_2 , cuja densidade é $1,53 \text{ kg/m}^3$. Com isto, as emissões fugitivas de CO_2 do biogás recuperado foram de 12,1 Gg por ano, em 1996 e 1998, enquanto as referentes ao biogás não recuperado foram de 202,7 Gg em 1990 e 350 Gg em 1996 e 355,4 Gg em 1998, perfazendo emissões fugitivas totais de CO_2 de 202,7 Gg em 1990, 361,8 Gg em 1996 e 367,2 Gg em 1998.

Composição do Lixo Urbano do Rio de Janeiro

		MÉDIA				
COMPONENTES/ANOS	89	90	91	95	96	98
PAPEL/PAPELÃO (%)	31,54	29,33	27,11	24,05	22,26	22,22
PLÁSTICO (%)	12,55	12,63	12,71	15,07	15,09	16,78
VIDRO (%)	2,83	2,51	2,19	2,62	3,63	3,68
MAT.ORGÂNICA TOTAL (%)	40,98	44,77	48,56	45,43	48,81	48,51
METAL TOTAL (%)	3,5	3,37	3,24	3,49	3,09	2,75
INERTE TOTAL (%)	1,26	0,94	0,61	0,44	0,97	0,89
FOLHA (%)	2,51	2,03	1,54	4,81	2,46	1,97
MADEIRA (%)	0,91	0,66	0,41	0,96	0,53	0,68
BORRACHA (%)	0,66	0,45	0,23	0,17	0,18	0,33
PANO/TRAPO (%)	2,4	2,53	2,66	2,43	2,5	1,92
COURO (%)	0,26	0,37	0,47	0,26	0,16	0,21
OSSO (%)	0,6	0,44	0,27	0,27	0,33	0,08
TOTAL	100	100,00	100	100	100,01	100
PESO ESPECÍFICO (Kg/m3)	208,92	209,04	209,16	203,58	194,79	168,15
TEOR DE UMIDADE (%)	54,48	59,05	63,61	64,54	70,2	63,67

Fonte: COMLURB

Obs: Valores para 1990 criados por interpolação

ANEXO 3

Cidades que têm coleta seletiva (1999)

AC- RIO BRANCO	PR- CURITIBA	SC- JARAGUÁ DO SUL
AL- MACEIÓ	PR- LONDRINA	SC- JOAÇABA
AM-MANAUS	PR- MARECHAL CANDIDO	SC- LAGES
BA- AMARGOSA	RONDON	SC- MARAVILHA
BA- CAMACARI	PR- MARIÁPOLIS	SC- PASSOS MAIA
BA- SALVADOR	PR- MARINGÁ	SC- POMERODE
CE- MONTADA	PR- PARAÍSO DO NORTE	SC- QUILOMBO
CE- FORTALEZA	PR- PARANAGUÁ	SC- SCHROEDER
CE- ITAPAJE	PR- PINHAIS	SE- ARACAJU
CE- MASSAPÉ	PR- PONTA GROSSA	SP- ASSIS
CE- MIRAÍMA	PR- QUATRO BARRAS	SP- BAURU
CE- MORRINHOS	PR- SÃO JOÃO DO	SP- BEBEDOURO
CE- SOBRAL	TRIUNFO	SP- BERTIOGA
CE- SANTANA DO	PR- TOLEDO	SP- CAMPINAS
ARACAÚ	PR- UBIRATA	SP- CAPELA DO ALTO
CE- SENADOR SÁ	RJ- ANGRA DOS REIS	SP- CUBATÃO
CE- SÃO BENEDITO	RJ- CAMPOS	SP- DESCALVADO
CE- URUCOA	RJ- ITATIAIA	SP- DIADEMA
DF- BRASÍLIA	RJ- NITERÓI	SP- DIVINOLÂNDIA
ES- CASTELO	RJ- RIO DE JANEIRO	SP- EMBU
ES- COLATINA	RJ- TRÊS RIOS	SP- FARTURA
ES- VITORIA	RJ- VOLTA REDONDA	SP- FRANCA
GO- GOIANIA	RS- ALECRIM	SP- FRANCO DA ROCHA
GO- PADRE BERNARDO	RS- BOA VISTA DO	SP- GUAÍRA
MG- BELO HORIZONTE	BURICA	SP- GUARUJÁ
MG- BETIM	RS- CACHOEIRINHA	SP- GUARULHOS
MG- IBIRITÉ	RS- CANOAS	SP- ICEM
MG- ITABIRA	RS- CAXIAS DO SUL	SP- JALES
MG- JUIZ DE FOR A	RS- FARROUPILHA	SP- JUNDIAÍ
MG- PASSOS	RS- IGREJINHA	SP- LIMEIRA
MG- TEÓFILO OTONI	RS- LAJEADO	SP- LORENA
MG- VARGINHA	RS- MARAU	SP- MONTE ALTO
MS- CAMPO GRANDE	RS- NOVA PRATA	SP- PAULÍNIA
PA- ABAETETUBA	RS- PALMEIRA DAS	SP- PIRACAIA
PB- JOÃO PESSOA	MISSÕES	SP- RIBEIRÃO PRETO
PB- PRINCESA ISABEL	RS- PORTO ALEGRE	SP- RIO CLARO
PB- SÃO MAMEDE	RS- SÃO BORJA	SP- SALESÓPOLIS
PE- ITAPISSUMA	RS- SÃO LOURENÇO DO	SP- SANTOS
PE- OLINDA	SUL	SP- SÃO SEBASTIÃO
PE- RIBEIRÃO	RS- SANTO AUGUSTO	SP- SÃO JOSÉ DOS
PE- RECIFE	RS- TRÊS PASSOS	CAMPOS
PR- ALMIRANTE DE	SC- ANITAPOLIS	SP- SANTA BÁRBARA
TAMANDARÉ	SC- BALNEÁRIO	D'OESTE
PR- ARAUCÁRIA	CAMBORIÚ	SP- SANTA RITA D'OESTE
PR- CAMPINA GRANDE	SC-BRUSQUE	SP- SANTO ANDRÉ
DO SUL	SC- CAÇADOR	SP- SOROCABA
PR- CASCAVEL	SC- CHAPECÓ	SP- TACIBA
PR- CORNÉLIO	SC- FLORIANÓPOLIS	SP- TIÊTE
PROCÓPIO	SC- ITAJAÍ	SP- VOTUPORANGA