



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL

MODELO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DA
RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

GUILHERME CARDIM GOUVEIA DE LIMA

Orientadora: Prof.^a Danielle Costa Moraes, D.Sc.

RECIFE, DEZEMBRO / 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

L732m Lima, Guilherme Cardim Gouveia de.
Modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos / Guilherme Cardim Gouveia de Lima – Recife: O Autor, 2012.
ix, 84f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Danielle Costa de Moraes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2012.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Reciclagem. 3. Ecoelce. 4. Dióxido de Carbono. 5. Resíduos Sólidos Urbanos. 6. I. Moraes, Danielle Costa de (Orientadora). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.) UFPE/BCTG-2013 / 018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO PROFISSIONAL DE

GUILHERME CARDIM GOUVEIA DE LIMA

***"MODELO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DA RECICLAGEM DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS"***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato GUILHERME CARDIM GOUVEIA DE LIMA **APROVADO**.

Recife, 20 de dezembro de 2012.

Profª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Doutor (UFPE)

Prof. MANOEL AFONSO DE CARVALHO JÚNIOR, PhD (UFPE)

À minha mãe Márcia e ao meu pai Milton.

Aos meus avós Olavo, Hilda, Milton e Teresa.

Aos meus irmãos Henrique e Flávio.

À minha esposa e companheira de todas as horas, Daniela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar com a saúde e as virtudes necessárias à conclusão dessa importante etapa da minha vida.

Aos professores, à secretaria e aos colegas de turma do PPGE/UFPE pelos conhecimentos transmitidos e pela atenção e apoio dispensados durante todo esse período, em especial à professora Danielle Moraes, orientadora deste trabalho.

À Companhia Energética do Ceará, por financiar este estudo e confiar na capacidade das pessoas que se envolveram neste trabalho, disponibilizando as informações necessárias à sua realização. Um agradecimento especial ao gerente Sérgio Araújo, Nilo Rodrigues, Patrícia Simões, Rafael Coelho e Eduardo Jucá.

Ao colega de trabalho, amigo pessoal e referência profissional, Paulo Gama, a quem devo a oportunidade e a motivação para iniciar este mestrado. Não obstante, o agradeço também pelas relevantes contribuições e discussões a respeito das possibilidades e potencialidades deste estudo.

Agradeço ao suporte e apoio incondicional de toda minha família, que sempre me ofereceu as condições necessárias para concluir os estudos e alcançar mais essa vitória.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, vibrando e celebrando juntos a cada etapa concluída com êxito.

Agradeço à minha esposa Daniela, que desde o início de nosso casamento teve que dividir o marido com o mestrado, os livros e o computador, mas que teve a paciência e a compreensão necessária para estar ao meu lado nos momentos mais difíceis ou para entender minha ausência em momentos importantes.

A todos vocês, meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos vem se tornando um tema cada vez mais relevante, uma vez que os espaços para disposição final do lixo nos centros urbanos são escassos e valorizados. A prática da reciclagem desponta como uma das melhores alternativas para a redução do volume de resíduos enviados aos lixões e aterros sanitários, ao mesmo tempo em que possibilita seu reaproveitamento, preservando os recursos naturais e gerando economia de energia. Como forma de promoção dessa prática, a Companhia Energética do Ceará (COELCE), desenvolveu em 2007 um programa de incentivo à coleta seletiva e reciclagem de resíduos, que concede descontos na conta de energia mediante a entrega de resíduos recicláveis. Chamado de Ecoelce, o programa já reciclou mais de 13 mil toneladas de resíduos, sendo concedidos mais de R\$ 1,5 milhão em descontos na conta de energia elétrica dos cearenses. Como forma de permitir a mensuração e dar visibilidade aos benefícios ambientais do Ecoelce, o presente trabalho apresenta um modelo que relaciona a reciclagem de resíduos sólidos à redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂). Os resultados do modelo apontam o alumínio como material cuja reciclagem proporciona a maior redução de emissões, seguido pelo papel/papelão, plásticos, aço, metais e vidro. Já a aplicação piloto do modelo aponta que, em apenas 3 meses, cerca de 836 toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidas na atmosfera devido às atividades do Ecoelce.

Palavras-Chave: Reciclagem, Ecoelce, Dióxido de Carbono, Resíduos Sólidos Urbanos

ABSTRACT

The solid waste management is becoming an increasingly important issue, since the spaces for trash disposal in urban centers are scarce and valued. The practice of recycling emerges as one of the best alternatives for reducing the volume of waste sent to waste disposal sites and landfills. At the same time, it enables their reuse, conserving natural resources and saving energy. As a way of promoting this practice, the Energy Company of Ceará (COELCE), developed a program in 2007 to encourage separate collection and recycling of waste, which grants discounts on energy bills through the delivery of recyclables. Called Ecoelce, the program has recycled more than 13 tons of waste, being awarded more than R\$ 1.5 million in rebates on electric bill. As a means of measuring and give visibility to the environmental benefits of Ecoelce, this paper presents a model that relates solid waste recycling to reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions. The model results suggest aluminum as recycling material which provides the greatest emissions reductions, followed by paper / cardboard, plastics, steel, metals and glass. The pilot application of the model suggests that, in just three months, about 836 tons of CO₂ were not issued in the atmosphere due to Ecoelce activities.

Keywords: Recycling, Ecoelce, Carbon Dioxide, Solid Waste

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Relevância do Estudo	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo Geral	4
1.3. Metodologia da Pesquisa	4
1.4. Estrutura da Dissertação	5
2. BASE CONCEITUAL	6
2.1. Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos	6
2.1.1. Geração e Coleta de RSU no Brasil	7
2.1.2. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	10
2.2. O Processo de Reciclagem dos Resíduos Sólidos Urbanos	12
2.2.1. A Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil	14
2.2.2. Os Benefícios da Reciclagem	19
2.3. As Alterações Climáticas e o Desenvolvimento Humano	21
2.3.1. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima	23
2.3.2. O Protocolo de Quioto	24
2.4. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	27
2.4.1. Estrutura Institucional do MDL	30
2.4.2. Requisitos de Elegibilidade de Projetos de MDL	32
2.5. Redução de Emissões de CO ₂ Através da Reciclagem	34
2.5.1. A metodologia AMS.III-AJ	34
2.5.2. Emissões da Linha de Base (BE)	36
2.5.3. Emissões do Projeto (PE)	38
2.6. Considerações Finais do Capítulo	40
3. O PROGRAMA ECOELCE	41
3.1. Concepção do Programa ECOELCE	41
3.2. Benefícios do Programa Ecoelce	44
3.3. Resultados Alcançados	45
3.4. Considerações Finais do Capítulo	48
4. MODELO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS	49
4.1. Descrição do Modelo	49
4.2. Etapas para Construção do Modelo	52
4.2.1. Definição do Fator de Emissão de CO ₂	52
4.2.2. Cálculo dos Fatores de Emissão de CO ₂ de Combustíveis Fósseis	57
4.2.3. Emissões Decorrentes da Produção dos Materiais (BE)	59
4.2.4. Emissões Decorrentes da Reciclagem dos Resíduos (ER)	62

4.3. Considerações sobre o Modelo de Valoração Ambiental da Reciclagem dos Resíduos	66
4.4. Proposta de Criação do Programa Conta Verde	67
4.5. Aplicação Piloto do Modelo e do Programa Conta Verde	70
4.5.1. Simulação dos Resultados do Programa Conta Verde	72
4.6. Considerações Finais do Capítulo	74
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	75
5.1. Sugestões para Futuros Trabalhos	77
5.1.1. Pesquisa Junto à Indústria	77
5.1.2. Criação de Certificação Ambiental para Indústrias de Reciclagem.....	77
5.1.3. Pesquisa Junto à População	78
5.1.4. Registro do Programa Conta Verde no MDL	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 - Geração de RSU no Brasil em 2010</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.2 - Coleta de RSU no Brasil em 2010</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.3 - Objetivos da PNRS.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2.4 - Triagem dos Resíduos</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.5 - Reciclagem global de resíduos sólidos no Brasil, 1999-2008</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.6 - Índice de reciclagem de latas de alumínio.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.7 - Índice de Reciclagem de papel no Brasil e outros países.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.8 - Destino das Embalagens de Vidro Pós-Consumo no Brasil em 2007</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.9 - Emissões globais antrópicas de GEE</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.10 - Panorama dos Países em Relação ao Protocolo de Quioto</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.11- Gases de Efeito Estufa e Setores Responsáveis pelas Emissões.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.12 - Estrutura Institucional do MDL.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.13 - Emissões da Linha de Base</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.14 - Economia de energia através da reciclagem.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.1 - Destinação Final de RSU no Brasil em 2010</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.2 - Posto de Coleta do Ecoelce</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.3 - Cartão Ecoelce para registro das transações.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.4 - Resíduos Aceitos pelo Programa Ecoelce.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4.1 - Modelo de Valoração Ambiental</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.2 - Geração de Energia na Margem</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4.3 - Extrato de Entrega de Recicláveis ao Ecoelce</i>	<i>69</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 2.2 - Municípios brasileiros com iniciativas de coleta seletiva</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2.3 - Índices de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2.4 - Potencial de Aquecimento Global dos Gases de Efeito Estufa.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 2.5 - Fator de Ajuste dos Materiais.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4.1 - Fator de Emissão de CO₂ da Energia Elétrica Gerada no Brasil</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 4.2 - Dados Combustíveis Fósseis.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 4.3 - Consumo de Energia Elétrica para Produção dos Materiais.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 4.4 - Consumo de Combustíveis Fósseis para Produção dos Materiais.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 4.5 - Consumo de Energia Elétrica para Reciclagem dos Materiais.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 4.6 - Consumo de Combustíveis Fósseis para Reciclagem dos Materiais.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 4.7 - Modelo de Valoração Ambiental dos Resíduos</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 4.8 - Número de clientes que participaram do Ecoelce nos meses da pesquisa</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 4.9 - Quantidade em Kg de resíduos coletados pelo Ecoelce nos meses da pesquisa ..</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 4.10 - Emissões evitadas devido às ações do Programa Ecoelce</i>	<i>72</i>

1. INTRODUÇÃO

O exponencial crescimento econômico e o desenvolvimento das forças produtivas têm gerado consequências imprevistas nas economias industrializadas. A exploração predatória dos recursos naturais do planeta e as mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas começam a ameaçar a qualidade de vida no planeta e a própria integridade do sistema de produção que se consolidou no século XX (DEMAJOROVIC, 2003).

Essas ameaças impulsionaram o desenvolvimento de novos modelos de negócio, onde a sustentabilidade norteia as estratégias organizacionais e as principais restrições estão relacionadas não só com os avanços tecnológicos, mas também com a forma de utilização e reaproveitamento dos recursos. O crescimento econômico deve vir, portanto, acompanhado de padrões de produção e prestação de serviços mais ajustados aos novos paradigmas de sustentabilidade (FRONDIZI, 2009).

Com base nestes novos paradigmas, a Companhia Energética do Ceará (COELCE) lançou em 2007 o Programa Coelce de Desenvolvimento Social pela Energia Consumida (ECOELCE), que concede descontos na conta de energia elétrica dos seus clientes mediante a entrega de resíduos recicláveis. Segundo a Coelce (2012), já foram cadastrados quase 400 mil clientes e recicladas mais de 13 mil toneladas de resíduos, sendo concedidos mais de R\$ 1,5 milhão em descontos na conta de luz.

O Programa foi eleito pela revista Exame em conjunto com o *Monitor Group* uma das 25 melhores inovações brasileiras da última década. Além disso, foi um dos dez ganhadores do World Business and Development Awards (WBDA), premiação concedida pela Organização das Nações Unidas (ONU), como um dos projetos mais importantes quanto ao alinhamento com os princípios do Pacto Global (MANSO, 2009).

Atualmente, os descontos concedidos pelo Ecoelce são calculados com base na conservação de energia que a reciclagem de cada material proporciona, o que permite uma fácil mensuração e divulgação dos benefícios energéticos dessa iniciativa. No entanto, o programa gera diversos outros benefícios ambientais que atualmente não são mensurados e divulgados.

O presente trabalho visa desenvolver um modelo de valoração ambiental dos resíduos reciclados pelo Ecoelce, que estabeleça uma relação entre o tipo de material reciclado e a redução das emissões de GEEs que sua reciclagem proporciona. Com base no modelo, tais benefícios oriundos do Ecoelce poderiam ser mensurados e divulgados à sociedade.

Além disso, novos benefícios poderiam ser concedidos aos clientes que conseguissem compensar - através da reciclagem - as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) provenientes de seu consumo de energia elétrica mensal. Para tanto, torna-se necessário desenvolver um modelo de valoração ambiental da reciclagem desses resíduos que permita mensurar essa compensação.

A utilização do modelo proposto em conjunto com o banco de dados do Ecoelce permitirá à distribuidora identificar os clientes que conseguem neutralizar as emissões de GEEs provenientes de seu consumo de energia elétrica. De posse dessa informação, a Coelce poderá criar e conceder novos benefícios aos clientes, incentivando ainda mais a participação da população e conferindo uma nova dinâmica ao Programa.

1.1. Relevância do Estudo

Um dos maiores problemas dos centros urbanos brasileiros é a destinação final do lixo, situação agravada pelo atual modelo econômico vigente nos países industrializados, que se caracteriza pelo alto consumo, aumentando consideravelmente a geração de resíduos. A coleta seletiva e a reciclagem de materiais estão entre as principais soluções para esse problema. (HISATUGO & JÚNIOR, 2007)

No ano de 2010, o governo brasileiro sancionou a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que impõe ao país um marco regulatório, estabelecendo princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, desde a adoção da coleta seletiva até o fim dos lixões (BRASIL, 2010).

As ações do Programa Ecoelce - que hoje é considerado um caso de sucesso no meio empresarial em relação a práticas de sustentabilidade - vão ao encontro dos objetivos da PNRS e contribuem para que estados e municípios cumpram os requisitos dessa nova lei. Ao incentivar a entrega de resíduos recicláveis, a concessionária estimula na população o hábito da coleta seletiva, exercendo um papel educacional e pedagógico.

A importância do Programa é ainda mais significativa quando se constata que nos núcleos urbanos mais carentes inexitem ações governamentais voltadas para a coleta seletiva, reciclagem de resíduos e educação ambiental. Observa-se ainda que os bônus concedidos pelo Ecoelce se configuram como uma forma de geração de renda, permitindo aos moradores fazer face aos dispêndios relacionais ao consumo de energia elétrica, reduzindo a inadimplência, os furtos de energia e conferindo uma nova dinâmica econômica e social a essas localidades.

Do ponto de vista energético e ambiental o Ecoelce também exerce um papel de grande relevância. Calderoni (2003) destaca a contribuição em termos de conservação de energia proporcionada pela reciclagem, que fornece à indústria matérias-primas prontas para uso, as quais somente seriam obtidas através de processos que apresentam significativo consumo de energia.

Nos primeiros cinco anos do programa, de 2007 a 2012, o número de clientes cadastrados superou as expectativas da empresa e o Ecoelce alcançou resultados e marcas expressivas. Para garantir a continuidade e os números positivos do programa, faz-se necessário lançar mão de diversas estratégias para retenção dos atuais clientes e cadastramento de novos participantes. Nesse sentido, a empresa investe em campanhas publicitárias e na instalação de novos postos de coleta, além de firmar parcerias que viabilizem o crescimento e a continuidade do Programa.

No entanto, para determinada parcela da população, o desconto oferecido na conta de energia não se configura como atrativo suficiente para garantir sua adesão ao Programa, fato potencializado pelo crescimento econômico do país e o consequente aumento da renda da população. Portanto, a abordagem puramente financeira pode não ser suficiente para garantir a participação popular.

Com o passar dos anos, nota-se certa estabilização do número de cadastrados, bem como da quantidade de resíduos coletados pelo Programa, fato que pode indicar a necessidade de ampliação dos atrativos. A definição de uma nova estratégia de atuação, ampliando o foco para as questões ambientais e as mudanças climáticas pode dar novo fôlego ao Programa, atraindo novos clientes, retendo os atuais e conferindo uma nova dinâmica ao Ecoelce.

Neutralizar as emissões de seu consumo de energia elétrica seria, portanto, um novo atrativo para a participação dos clientes, principalmente para aquela parcela da população cujos descontos na conta não se configuram como fator determinante para adesão ao Programa.

A Coelce, assim, inovaria em suas práticas socioambientais, compartilhando a responsabilidade pela redução das emissões de GEEs com a população, que passaria a dispor de uma nova ferramenta para exercer de forma ativa seu papel na luta contra as mudanças climáticas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Propor um modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos, visando mensurar os benefícios da reciclagem desses materiais em termos de emissões evitadas de GEEs.

Os objetivos específicos são:

- Estimar a redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) através da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos (RSU) aceitos no Ecoelce;
- Análise dos dados de relatórios sobre os consumos específicos de energia elétrica e combustíveis fósseis para produção dos materiais através da matéria-prima virgem e para sua reciclagem;
- Propor a criação de um Programa complementar ao Ecoelce, com foco na neutralização das emissões dos clientes;
- Simular a aplicação do modelo e do programa proposto e avaliar os resultados obtidos.

1.3. Metodologia da Pesquisa

De acordo com Barros e Lehfeld (2000, p. 78), a pesquisa aplicada tem como motivação a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados, com o objetivo de “contribuir para fins práticos, visando à solução mais ou menos imediata do problema encontrado na realidade”. Portanto, quanto à sua finalidade, o presente trabalho pode ser classificado como pesquisa aplicada, de natureza quantitativa.

Quanto aos dados, pretende-se realizar uma modelagem que terá como objetivo quantificar as emissões evitadas de CO₂ através da prática da reciclagem de resíduos sólidos urbanos, mais precisamente aqueles aceitos pelo Programa Ecoelce.

A metodologia utilizada para tal foi a de estimar as emissões associadas à produção dos materiais a partir da extração da matéria-prima virgem e subtrair destas as emissões associadas à sua reciclagem. O resultado dessa equação é o benefício líquido da reciclagem em termos de redução de emissões.

O cálculo das emissões decorrentes da produção e reciclagem dos materiais foram realizadas com base na metodologia AMS-III.AJ, utilizada para emissão de créditos de carbono em projetos de reciclagem registrados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Por fim, serão utilizados dados históricos do Ecoelce para simular a aplicação do modelo e verificar os resultados obtidos, dentre eles a quantidade de CO₂ que deixou de ser emitida em função das atividades do Programa.

1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo descreve em linhas gerais a relevância do presente estudo, bem como apresenta os objetivos e a metodologia utilizada para realização da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a base conceitual e a revisão da literatura que serviu como referência para o desenvolvimento do trabalho. São apresentados conceitos sobre resíduos sólidos urbanos, reciclagem, alterações climáticas e trata do Protocolo de Quito e do funcionamento dos mercados de carbono. O capítulo detalha ainda, com base na literatura técnica e na metodologia AMS-III. A.J, a fórmula de cálculo da redução de emissões de carbono através da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos.

O terceiro capítulo trata do Programa Ecoelce, iniciativa da concessionária de distribuição de energia do Estado do Ceará, que concede descontos na fatura de energia dos clientes mediante a entrega de resíduos recicláveis. São apresentados os benefícios advindos do programa, bem como os resultados alcançados desde sua implementação.

O quarto capítulo faz uma descrição do modelo de valoração proposto pelo presente trabalho e apresenta os cálculos realizados para obtenção dos resultados. Além disso, apresenta uma proposta de aplicação prática para o modelo através da criação de um programa complementar ao Ecoelce, o Programa Conta Verde. O capítulo descreve ainda os resultados de uma simulação da aplicação do modelo e do programa proposto com base nos dados históricos do Ecoelce.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais da dissertação, assim como suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. BASE CONCEITUAL

Neste capítulo são apresentados dados estatísticos sobre a geração, coleta e disposição dos RSU no Brasil, assim como os benefícios sociais, ambientais e econômicos relacionados à reciclagem desses materiais.

São também abordados e discutidos os conceitos e classificações necessários para melhor compreensão do modelo ora desenvolvido, o qual busca representar os benefícios ambientais da reciclagem de RSU em termos de redução de emissões de CO₂.

A redução das emissões de GEEs é atualmente um dos principais objetos de discussão das Convenções e Tratados internacionais sobre o clima, motivando inclusive a criação de mercados internacionais para comercialização de emissões, com destaque para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As regras e normas de funcionamento do MDL são também apresentadas no presente capítulo e constituem a base metodológica para a construção do modelo.

2.1. Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Zanta & Ferreira (2003), os RSU compreendem aqueles resíduos produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas.

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

“resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição 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 tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (ABNT, 2004).

Já de acordo com Zveibil *et al.* (2001, p. 25), resíduo sólido é “todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato”. Esta definição é a que mais se adequa ao conceito de resíduo utilizado pelo presente trabalho, pois ressalta que a condição de

inutilidade do resíduo é relativa àquele que o descarta. Aquilo que já não se configura útil para uns, pode apresentar grande valia para outros.

Ainda segundo Zveibil *et al.* (2001), a forma mais comum de classificação dos resíduos sólidos é realizada de acordo com a sua origem e os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes, a saber:

- a) **Lixo doméstico ou residencial:** São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
- b) **Lixo comercial:** São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida.
- c) **Lixo público:** São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
- d) **Lixo domiciliar especial:** Grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os entulhos de obra correspondem a algo em torno de 50% da quantidade, em peso, de RSU coletada em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil.
- e) **Lixo de Fontes Especiais:** São resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final, tais como os lixos industriais, lixo radioativo, de portos aeroportos e terminais rododferroviários e o lixo agrícola.

A maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades brasileiras é composta pelo lixo público juntamente com os lixos doméstico e comercial, os quais em conjunto são denominados “lixo domiciliar” (ZVEIBIL *et al.*, 2011).

2.1.1. Geração e Coleta de RSU no Brasil

Segundo pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2010), a geração de RSU no Brasil alcançou a marca de 60 milhões de toneladas, registrando um crescimento de quase 7% em comparação com o ano anterior, conforme Figura 2.1.

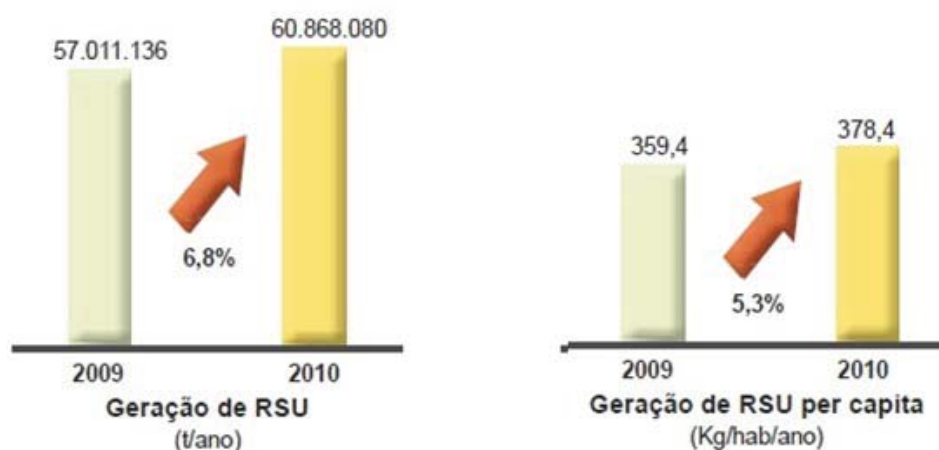


Figura 2.1 - Geração de RSU no Brasil em 2010
Fonte: ABRELPE (2010)

Registre-se que a taxa de crescimento da geração de RSU acompanhou a evolução do PIB nacional, que em 2010 apresentou alta de 7,5% em relação a 2009 (IBGE, 2011). No entanto, nesse mesmo período a taxa de crescimento populacional urbano no país foi de apenas 1% (IBGE, 2011).

Esse dado comprova a existência de um paradoxo entre o aumento da consciência ambiental da população e o consumo indiscriminado de produtos e serviços que geram impactos prejudiciais ao meio ambiente.

Ainda segundo a pesquisa da ABRELPE (2010), a geração per capita de RSU no Brasil foi de quase 380 kg/ano, aumento de 5,3% em relação ao ano anterior. Para efeito de comparação, a geração per capita de RSU nos Estados Unidos, a mais alta do mundo, é de aproximadamente 750 Kg/ano (CORREA, 2011). Já no que diz respeito à coleta dos resíduos, houve um crescimento de cerca de 8% de 2009 para 2010, segundo a ABRELPE (2010). Esse percentual demonstra um discreto aumento na cobertura dos serviços de coleta de RSU no país, já que a geração dos resíduos aumentou cerca de 7% no mesmo período.

Apesar do aumento dessa cobertura, a comparação da quantidade RSU gerada versus coletada em 2010 mostra que 6,7 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletados e, por consequência, tiveram destino impróprio.

A pesquisa da ABRELPE (2010) aponta ainda que houve uma discreta evolução percentual na destinação adequada dos RSU, de aproximadamente 1%. No entanto, a quantidade de RSU destinados inadequadamente cresceu e quase 23 milhões de toneladas de RSU seguiram para rios, nascentes d'água, encostas e lixões, conforme apresentado na Figura 2.2.

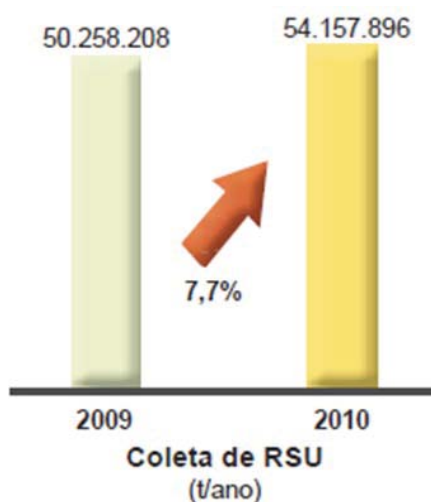


Figura 2.2 - Coleta de RSU no Brasil em 2010

Fonte: ABRELPE (2010)

Tamanha quantidade de resíduos destinada inadequadamente sinaliza o quadro de emergência instalado nas principais cidades brasileiras. Nota-se, através desses dados, que a capacidade de processamento e tratamento do lixo dos municípios já não atende de forma adequada às demandas da sociedade.

Segundo Calderoni (2003), a coleta seletiva e a reciclagem se constituem em umas das principais alternativas para redução desse problema, visto que tais ações reduzem o volume do lixo a ser coletado e processado pelo poder público.

Analisando a composição gravimétrica média dos RSU gerados no Brasil, percebe-se o grande impacto que a coleta seletiva e a reciclagem poderiam causar em relação à redução dos problemas causados pelo lixo nas grandes cidades. A Tabela 2.1 apresenta a composição gravimétrica média dos RSU no Brasil, considerando como base a quantidade coletada no ano de 2008.

Percebe-se que cerca de 30% dos RSU são compostos por materiais recicláveis, que possuem valor econômico e poderiam ser reinseridos no processo produtivo de uma infinidade de produtos. Além disso, existem diversas rotas tecnológicas para transformação da matéria orgânica em energia, permitindo uma destinação mais nobre aos mais de 50% dos resíduos gerados nas grandes cidades do Brasil.

Infelizmente, os dados da ABRELPE (2010) atestam que grande parte desses resíduos é simplesmente enterrada em aterros sanitários ou depositada em lixões a céu aberto em todo o país. Utilizando as tecnologias de reaproveitamento e tratamento de resíduos de forma integrada os municípios poderão alcançar resultados cada vez melhores a custos reduzidos, em termos econômicos, sociais e ambientais.

Tabela 2.1 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008
Fonte: IPEA (2012)

RESÍDUOS	PARTICIPAÇÃO (%)
MATERIAL RECICLÁVEL	31,9
<i>Metais</i>	2,9
<i>Aço</i>	2,3
<i>Alumínio</i>	0,6
<i>Papel/papelão/tetra pak</i>	13,1
<i>Plástico total</i>	13,5
<i>Plástico filme</i>	8,9
<i>Plástico rígido</i>	4,6
<i>Vidro</i>	2,4
MATÉRIA ORGÂNICA	51,4
OUTROS	16,7
TOTAL	100

2.1.2. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

A Lei nº 12.305/10, que instituiu a PNRS, reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O objetivo da PNRS é contribuir para melhorar o cenário da gestão dos RSU no país, através da adoção de medidas que visam não só uma disposição mais adequada dos resíduos, mas também uma redução do volume gerado e ampliação da reciclagem, ilustrado na Figura 2.3.

De acordo com a associação Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE, 2012a), dentre as metas propostas pela lei estão a erradicação dos lixões até 2014 e a construção de aterros sanitários com captura do metano e recuperação energética de gases. Tais metas se configuram como um grande desafio aos municípios brasileiros, visto que o Brasil ainda possui 2.906 lixões distribuídos por 2.810 municípios, segundo o IPEA (2012).



Figura 2.3 - Objetivos da PNRS

Fonte: Brasil (2011a)

Um programa municipal de coleta seletiva envolve atividades de educação ambiental junto à população para incentivar a separação manual nos domicílios, seguido da realização da coleta seletiva e separação complementar em um centro de reciclagem. No Brasil, podem ser citados exemplos de sucesso na implantação de programas dessa natureza, como Curitiba (PR), Itabira (MG), Londrina (PR), Santo André (SP) e Santos (SP), onde 100% das residências são atendidas pela coleta seletiva da prefeitura (IGLESIAS, 2009).

No entanto, como retrata a pesquisa da ABRELPE (2010), apenas 57,6% dos municípios brasileiros apresentam iniciativas de coleta seletiva, conforme apresentado na Tabela 2.2. Em boa parte dos casos, essas iniciativas resumem-se na disponibilização de pontos de entrega voluntária à população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços.

Tabela 2.2 - Municípios brasileiros com iniciativas de coleta seletiva

Fonte: ABRELPE (2010)

Iniciativas de Coleta Seletiva	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
SIM	205	624	129	1.326	923	3.207
NÃO	244	1.170	337	342	265	2.358
TOTAL	449	1794	466	1.668	1.188	5.565

Com a instituição da PNRS, é esperada uma melhora significativa desse cenário, uma vez que a lei compartilha a responsabilidade pela gestão dos RSU com todos os segmentos da sociedade e impõe pesadas multas para os municípios que não cumprirem as obrigações previstas.

A legislação ainda compartilha a responsabilidade pela gestão dos RSU com todos os segmentos da sociedade, a saber, as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado,

responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração dos resíduos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de RSU (BRASIL, 2010).

Define igualmente a logística reversa, uma atividade fundamental para a sociedade de consumo que precisa compensar seus excessos por meio da recuperação e do aproveitamento do valor econômico hoje descartado e objeto de significativas despesas para seu mínimo afastamento das interfaces com a sociedade.

Além de contribuir para uma melhor gestão dos resíduos sólidos urbanos, a PNRS impacta positivamente na redução das emissões de GEE, uma vez que determina o fim dos lixões, os quais são responsáveis pela emissão de 158 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente por ano, segundo dados do CEMPRE (2012a).

Segundo o artigo 12 da Lei 12.187/09, que institui a política brasileira sobre clima, o governo brasileiro adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2009). As ações empreendidas pela PNRS representariam uma redução de até 20% do compromisso brasileiro em relação a essa projeção CEMPRE (2012a).

2.2. O Processo de Reciclagem dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Duston (1993), a reciclagem é um processo através do qual qualquer produto ou material que tenha servido para os propósitos a que se destinava é reintroduzido no processo produtivo, transformando-se em um novo produto, igual/semelhante ao anterior ou assumindo características diversas das iniciais.

Powelson (1992) define a reciclagem como sendo a conversão em outros materiais úteis que, do contrário, seriam destinados à disposição final.

Nos termos da lei nº 12.305, a reciclagem é o “processo de transformação dos resíduos sólidos, que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010).

Calderoni (2003, p.52) aplica o termo a uma situação mais específica e conceitua a reciclagem como o “processo sistemático de transformação do lixo sólido tipicamente domiciliar em novos produtos”.

Os resíduos considerados recicláveis são aqueles possuem interessados em sua transformação, ou seja, possuem mercado consumidor e, ainda, cuja tecnologia existente viabilize economicamente seu reaproveitamento industrial (Calderoni, 2003).

O resíduo sólido tipicamente domiciliar, citado por Calderoni e que – segundo Zveibil *et al.* (2001) - engloba os lixos doméstico e comercial, apresenta em sua composição cerca de 30% de materiais como papel, metal, plástico e vidro (IPEA, 2012).

Esses materiais são demandados por diversas indústrias, como a têxtil, cerâmica, construção civil, automobilística, dentre outras, que os utilizam como matéria-prima na fabricação de seus produtos. Segundo a ABRELPE (2010), alumínio, papel, plástico e vidro são os quatro setores industriais que abrigam as principais atividades de reciclagem pós-consumo no país.

É importante destacar que o termo reciclagem é muitas vezes entendido pelo público em geral como sinônimo de coleta de materiais recicláveis ou coleta seletiva. Na verdade essa é apenas uma das etapas do processo, que é descrito a seguir.

O processo de reciclagem inicia-se na coleta do resíduo. Quanto precedida de uma separação realizada nos domicílios, ela é chamada de coleta seletiva, caso contrário, é denominada coleta “regular” ou “usual” (CALDERONI, 2003).

Um fator relevante a se destacar na etapa de coleta (seletiva ou usual) é a participação de trabalhadores informais, chamados de carroceiros, que recolhem os materiais já selecionados ou não, transportando-os para depósitos específicos. Outro elemento de destaque nessa etapa inicial da reciclagem são os catadores, trabalhadores informais que, nos lixões e aterros, dedicam-se a separar e retirar os materiais. Não existem estatísticas oficiais, mas segundo o CEMPRE (2012), existem mais de um milhão de catadores no Brasil.

A etapa seguinte é a triagem, apresentada na Figura 2.4. Mesmo quando há uma prévia separação nos domicílios, o lixo coletado passa por uma nova etapa de separação, mais detalhada do que a primeira. Isso acontece principalmente com os plásticos e os papéis, que, segundo Calderoni (2003), apresentam grande diversidade e precisam ser classificados em dezenas de tipos.

Após a triagem, são realizados processos de grande importância antes do envio desses materiais para a indústria: o beneficiamento e acondicionamento. Nessa etapa, os vidros são triturados e lavados; os metais e papéis são prensados e enfardados; os plásticos são lavados e aglutinados. Tanto a triagem como o beneficiamento e o acondicionamento são tarefas normalmente realizadas em locais especificamente destinados a esta finalidade, denominados centros de reciclagem ou de triagem (CALDERONI, 2003).



Figura 2.4 - Triagem dos Resíduos
Fonte: WWF (2011)

O processo de reciclagem chega ao fim no momento em que todos esses resíduos são processados na indústria, com o efetivo aproveitamento dos materiais para a produção de bens, tanto os dirigidos ao consumidor final, como os destinados a um processamento industrial intermediário (CALDERONI, 2003).

2.2.1. A Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Segundo Figueiredo (2012), até o final dos anos oitenta a indústria de reciclagem era bastante incipiente no Brasil, possuindo uma taxa insignificantes de reciclagem, além de apresentar pouca diversidade de materiais. No entanto, após a realização da Rio-92, a reciclagem passou a integrar mais fortemente o leque de opções para a gestão dos RSU brasileiros e seus números passaram a ser mais representativos, conforme Figura 2.5.

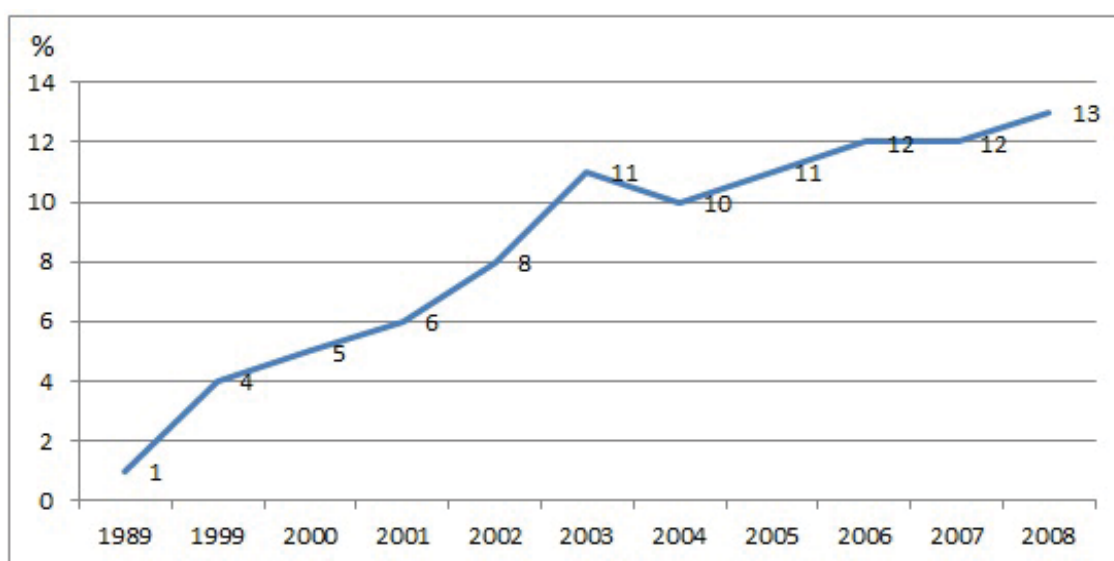


Figura 2.5 - Reciclagem global de resíduos sólidos no Brasil, 1999-2008
Fonte: Figueiredo (2012)

Apesar disso, a década de noventa apresentou discreto crescimento no índice de reciclagem de materiais no Brasil. Apenas a partir dos anos 2000 observou-se um crescimento mais expressivo, saltando de algo em torno de 5% para 13% entre os anos de 2000 e 2008.

Com esses percentuais o Brasil se destaca em relação a outros países latino-americanos, como o México e a Argentina, com 6,5% em 2005 e 4,5% em 2004, respectivamente. No entanto, ainda está distante de países mais desenvolvidos que reciclagem algo em torno de 40% de seus resíduos (Figueiredo, 2012).

No entanto, o potencial desse segmento ainda não é totalmente explorado. Segundo dados da ABRELPE (2010), quase 7 milhões de toneladas de RSU não foram sequer coletadas e, no total, 23 milhões de toneladas tiveram destino impróprio como rios, nascentes d'água, encostas, lixões ou foram simplesmente incinerados, sem a devida separação.

Nesses casos, o valor econômico desses materiais vira fumaça, literalmente. O que é um contrassenso, visto que no Brasil existem 16,27 milhões de pessoas que vivem em situação de extrema pobreza, o que representa 8,5% da população e (PASSARINHO, 2012).

Apesar de estar longe do ideal, vem aumentando o número de iniciativas de coleta seletiva e programas de reciclagem dos setores industriais do país, contribuindo para mudança e melhoria desse quadro. São apresentados a seguir alguns números da reciclagem dos principais RSU gerados no Brasil: alumínio, papel, vidro e plástico.

- *Alumínio*

De acordo com a ABAL (2010), 75% do alumínio já produzido no mundo desde o século XIX ainda está em uso. Este dado mostra o potencial de reciclagem do metal, que pode ser reaproveitado infinitas vezes sem perder suas propriedades.

A reciclagem do alumínio pode ocorrer a partir da sucata industrial – gerada em processos produtivos – ou a partir de produtos com vida útil esgotada. Devido ao seu valor, a sucata de alumínio é um item valorizado pelas cooperativas de reciclagem e pela indústria.

Segundo a ABRELPE (2010), o Brasil ocupa uma posição de destaque mundial em eficiência no ciclo de reciclagem de alumínio, com uma relação de 35,3% entre a quantidade de sucata recuperada e a quantidade de alumínio consumido pelo mercado interno, conforme apresentado na Figura 2.6. Desse montante, aproximadamente 50% é composto pela sucata de latas de alumínio.

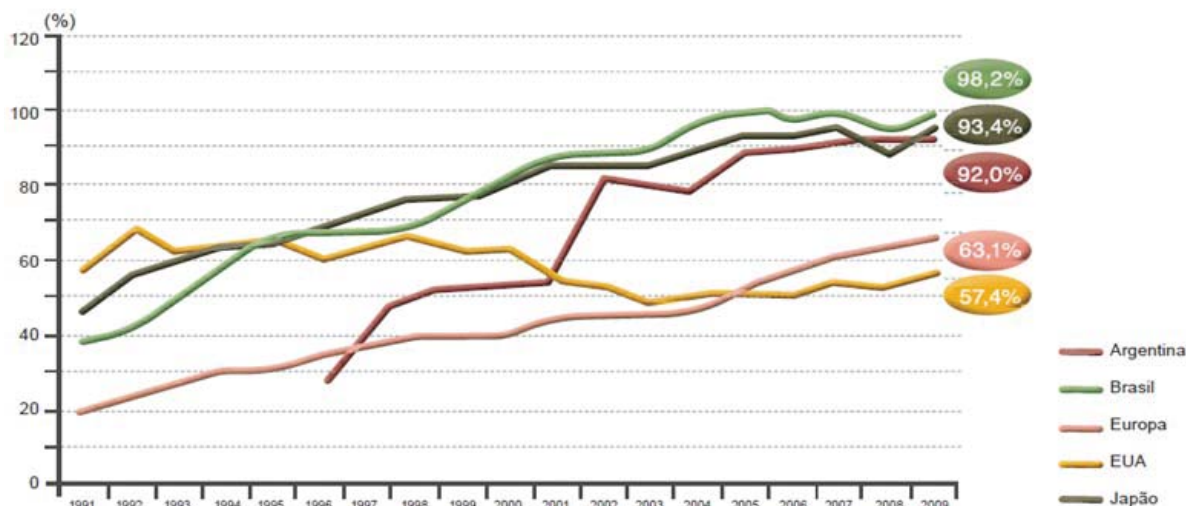


Figura 2.6 - Índice de reciclagem de latas de alumínio
Fonte: ABRELPE (2010)

Em função de sua visibilidade e, principalmente, do seu curto ciclo de vida, a lata de alumínio utilizada no envase de bebidas aparece como um ícone do sucesso da reciclagem de alumínio no Brasil. O Brasil consolidou sua liderança mundial, atingindo a marca de 98,2 % de latas de alumínio recicladas relativamente ao total de latas comercializadas no mercado interno (ABRELPE, 2010).

- *Papel*

Segundo o relatório de sustentabilidade da BRACELPA (2010), para ser considerado reciclado, o papel deve conter pelo menos 50% de fibras recuperadas (pós-consumo ou pré-consumo) e, no mínimo, 25% de material pós-consumo, ou seja, aquele que chegou até o consumidor, foi utilizado e, então, recuperado.

Em 2009, o Brasil registrou uma taxa de recuperação – volume de papel reciclado sobre o total de papel que entrou no mercado brasileiro – de 46% (ABRELPE, 2010). Esse percentual não deixa de ser relevante, muito embora quando comparado ao percentual de reciclagem de papel de países como Coréia do Sul, Alemanha e Japão, conforme ilustra a Figura 2.7. Nota-se que ainda existe um grande potencial a ser explorado.

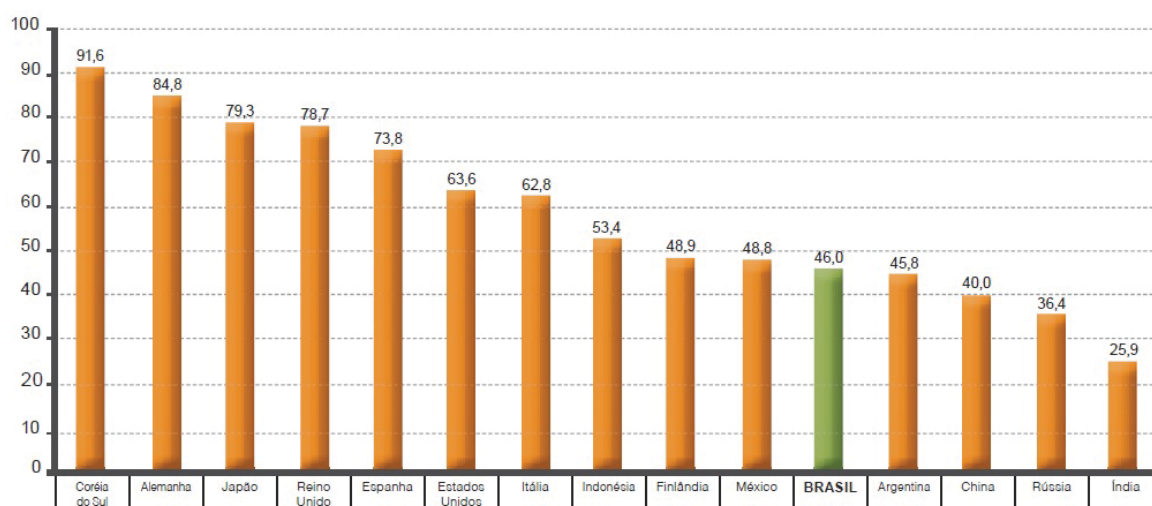


Figura 2.7 - Índice de Reciclagem de papel no Brasil e outros países

Fonte: ABRELPE (2010)

- *Plástico*

De acordo com a PLASTIVIDA (2012) - entidade que representa institucionalmente a cadeia produtiva do setor do setor - os plásticos podem ser reciclados através de processos químicos ou mecânicos.

A reciclagem química reprocessa os plásticos transformando-os em petroquímicos básicos: monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima, em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade (PLASTIVIDA, 2012). O objetivo da reciclagem química é a recuperação dos componentes químicos individuais para serem reutilizados como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos. Essa reciclagem permite produzir plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original.

Já a reciclagem mecânica consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos, que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não alimentícias, dentre outros (PLASTIVIDA, 2012).

A reciclagem mecânica é significativamente menos custosa do que a química e suas etapas são: separação, moagem, lavagem, aglutinação e extrusão. Segundo a PLASTIVIDA (2012), estima-se que sejam reciclados mecanicamente no país apenas 15% dos resíduos plásticos pós-consumo. A Tabela 2.3 apresenta o índice de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil.

Tabela 2.3 - Índices de reciclagem mecânica de plásticos no Brasil
Fonte: ABRELPE (2010)

	2003	2004	2005	2006	2007
Consumo aparente de Transformados Plásticos (mil t)	3840	4249	4240	4562	4959
Quantidade Total de Plásticos Reciclados (mil t)	703	745	860	914	962
Índice de Reciclagem Mecânica (%)	18%	18%	20%	20%	19%

- Vidro

Segundo BRASIL (2011b), os vidros são geralmente classificados em quatro grandes áreas: embalagens, planos, técnicos (ou especiais) e domésticos. De acordo com a ABRELPE (2010), a reciclagem de vidros no Brasil concentra-se amplamente no segmento de embalagens e, assim, torna-se importante observar o perfil do destino das embalagens de vidro pós-consumo.

Segundo a ABRELPE (2010), apenas 20% do vidro utilizado em embalagens teve destinação em aterros sanitários ou de forma ignorada, enquanto que a parcela de reciclagem atingiu a casa dos 47%, conforme apresentado na Figura 2.8. Deduz-se, portanto, que a parcela reutilizada totalizou 33%, percentual bastante significativo.

Nota-se, no entanto, que grande parte dessa reutilização, por volta de 70%, corresponde a reutilizações indevidas, em geral como embalagens de produtos fabricados informalmente (ABRELPE, 2010).

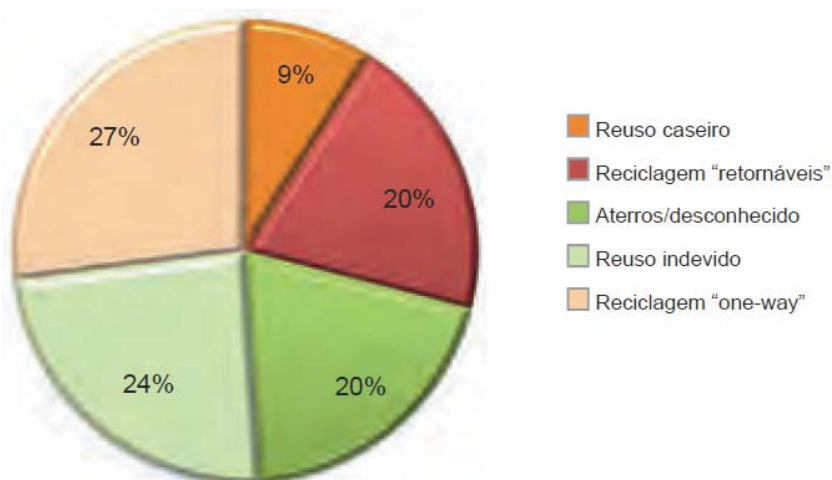


Figura 2.8 - Destino das Embalagens de Vidro Pós-Consumo no Brasil em 2007
Fonte: ABRELPE (2010)

A reciclagem dos demais tipos de vidro no Brasil não é conhecida e admitindo-se que o mínimo reciclado é o que provém das embalagens, pode-se calcular a reciclagem de vidros no país em pelo menos 18% da produção total (Brasil, 2011b).

2.2.2. Os Benefícios da Reciclagem

Em seu livro “Os Bilhões Perdidos no Lixo”, Calderoni (2003) destaca que os ganhos proporcionados pela reciclagem do lixo podem ser expressos em termos econômicos, tecnológicos, ambientais, institucionais, demográficos e sociais. Tal afirmação resume bem o grande potencial dessa prática, que gera benefícios nas mais diversas áreas e setores da sociedade e da economia.

A necessidade e a importância da reciclagem do lixo advêm essencialmente de um conjunto de fatores, os quais são resumidamente listados por Calderoni (2003), como: a exaustão e os custos crescentes das matérias-primas para a indústria; a necessidade da economia de energia; a indisponibilidade e o custo crescente dos aterros sanitários; os altos custos de transportes; a poluição e os prejuízos causados pelo lixo disposto inadequadamente; a oportunidade de geração de emprego e renda e, por fim, a redução dos custos de produção.

Segundo o IPEA (2010), os benefícios potenciais da reciclagem para a sociedade brasileira, caso todo o resíduo reciclável que é encaminhado para aterros e lixões fosse efetivamente reciclado, são estimados em R\$ 8 bilhões anuais.

Esse montante foi calculado como sendo a diferença entre os custos da produção a partir de matéria-prima virgem e os custos da produção dos mesmos bens a partir de material reciclável.

Os benefícios econômicos mensurados pela IPEA (2010) incluem primordialmente os custos evitados em termos de consumo de recursos naturais e de energia, pois utilizando matéria-prima reciclada, as indústrias eliminam parte do processo fabril que seria necessário para obtenção desses insumos.

A geração de emprego e renda derivada da prática da reciclagem também se configura como um importante benefício econômico e social, visto que a atividade demanda mão-de-obra intensiva, principalmente nas suas etapas iniciais, de coleta, triagem e beneficiamento.

Calderoni (2003) destaca que em países da Europa, bem como nos Estados Unidos e Japão, a reciclagem representa uma atividade econômica amplamente desenvolvida, empregando milhões de trabalhadores.

Em termos ambientais, a reciclagem proporciona a preservação da biodiversidade, uma vez que diminui a necessidade de extração de recursos naturais para fabricação das matérias-primas de mandadas pela indústria (IPEA, 2010).

Além disso, proporciona a redução do volume de lixo enviado aos lixões e aterros sanitários, reduzindo os impactos desses empreendimentos ao meio ambiente e reduzindo os custos dos municípios relacionados ao tratamento e destinação final dos resíduos. Ressalta-se ainda que o ato de reciclar impulsiona a criação uma cultura de preservação ambiental na comunidade, influenciando hábitos e comportamentos dos indivíduos em suas relações com o meio ambiente.

Segundo Akimoto et al. (2010), a determinação de redução de emissões potenciais é indispensável para atingir reduções de emissões de grandes dimensões, como é o caso da reciclagem. A prática da reciclagem também contribui para a redução das emissões de GEE decorrentes da geração da energia e da queima dos combustíveis fósseis utilizados no processo de fabricação dos insumos (CALDERONI, 2003).

A reciclagem, inclusive, é uma das oportunidades de mitigação de emissões listadas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) para o setor industrial, reconhecendo a importância dessa prática para o alcance dos objetivos traçados, os quais incluem reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões brasileiras de GEE projetadas até 2020 (BRASIL, 2009).

De forma resumida, Calderoni (2003) destaca a relevância ambiental, econômica e social da reciclagem, com implicações que se desdobram em esferas como:

- Preservação e uso racional dos recursos;
- Conservação e economia de energia;
- Geração de emprego e renda;
- Saneamento básico e proteção da saúde pública;
- Organização espacial; e
- Redução dos desperdícios.

Deve-se ter em mente, no entanto, que a reciclagem não pode ofuscar duas ações que deveriam precedê-la na prioridade para a preservação ambiental: a redução do consumo e a reutilização dos materiais. Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o consumo de recursos naturais já supera em 20% ao ano a capacidade do planeta de regenerá-los (ONU 2002).

2.3. As Alterações Climáticas e o Desenvolvimento Humano

“O progresso humano não é automático nem inevitável. Somos atualmente confrontados com o fato de o amanhã ser hoje, e colocados perante a urgência cruel do agora. Neste enigma da vida e da história é possível ser demasiado tarde” (KING JR., 1967).

As palavras de Martin Luther King Jr., proferidas em um discurso sobre justiça social há cinco décadas, se encaixariam perfeitamente em qualquer discurso realizado nas Conferências da ONU sobre o meio ambiente. A sociedade enfrenta atualmente a urgência de uma crise que envolve o hoje e o amanhã: as alterações climáticas (ONU, 2007).

Seiffert (2009) aponta que o aquecimento global – que tem como consequências as mudanças climáticas – é considerado um dos principais problemas ambientais da atualidade, porque afeta todo o planeta e compromete irremediavelmente o equilíbrio dos ecossistemas.

As alterações climáticas afetam a vida de milhões de pessoas em todo o mundo, reduzindo a biodiversidade, causando o derretimento de geleiras, aumento da desertificação, mudanças nos regimes pluviométricos, dentre vários outros graves problemas. Tais consequências prejudicam os mais diversos setores da economia e do meio ambiente, comprometendo não só a qualidade de vida da população como a capacidade produtiva das nações. (IPCC, 2007)

Com o objetivo de reunir os principais cientistas do mundo para a elaboração de pesquisas científicas sobre as alterações climáticas, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) criaram em 1989 o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (ANDRADE *et al.*, 2010).

Segundo os relatórios divulgados pelo IPCC, as principais causas das mudanças climáticas estão associadas a mudanças na quantidade dos gases causadores do efeito estufa, sendo o CO₂ o mais importante gás estufa antropogênico. Complementa ainda que o aumento global da concentração de CO₂ na atmosfera ocorre principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças no uso do solo do planeta, conforme apresentado na Figura 2.9 (IPCC, 2007).

O aumento da concentração dos GEE na atmosfera é apenas um dos efeitos colaterais do atual modelo de desenvolvimento econômico mundial, que de acordo com Trigueiro (2005), tem como norte a maximização do lucro e o entendimento que a natureza é apenas uma fonte de matéria-prima e energia.

Essa visão faz prevalecer opções menos custosas financeiramente (geralmente as mais poluidoras) em detrimento de opções ambientalmente amigáveis, as quais costumam

apresentar custos mais altos de implementação. A queima de combustíveis fósseis, por exemplo – ação antropogênica que mais contribui para as alterações climáticas - está intrinsecamente associada com a composição da matriz energética dos mais diversos países, particularmente nos mais industrializados (SEIFFERT, 2009).

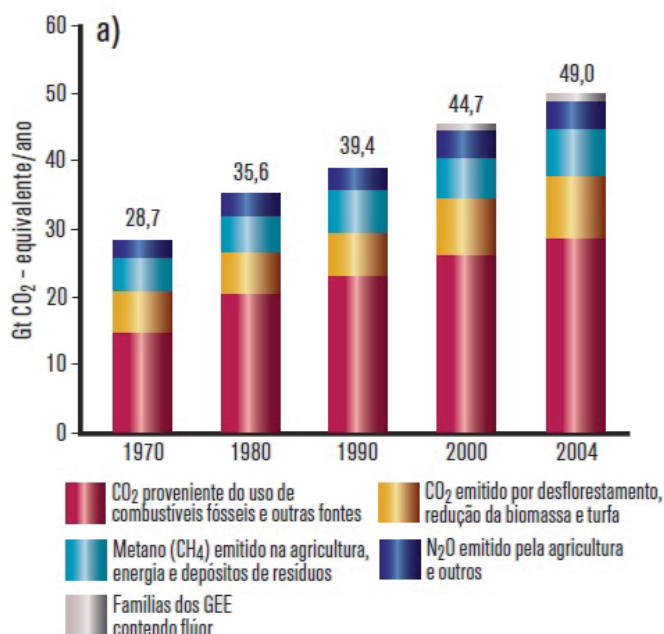


Figura 2.9 - Emissões globais antrópicas de GEE
Fonte: Frondizi et al, 2009

Resta claro, porém, que as ações de preservação ambiental não podem ser utilizadas como pretexto ou impedimento para o desenvolvimento e o progresso econômico das nações, principalmente as de economia emergente. Cabe aos governantes discutirem, formarem acordos e orientar seus países em direção a um novo sistema capaz de satisfazer as necessidades internas de crescimento econômico e social sem violar os limites externos dos recursos e do meio ambiente do planeta (ONU, 2002).

As discussões ambientais globais são bastante delicadas e requerem estratégias e ações integradas, visto que os efeitos causados pelas mudanças climáticas não se dão apenas localmente, mas afetam todo o planeta. A transição de uma economia intensiva em carbono para a chamada economia verde requer a participação de todos os países, o que confere grande relevância para as Conferências internacionais sobre o meio ambiente.

Após a publicação dos primeiros relatórios do IPCC essas Conferências passaram a exercer papel cada vez mais importante, com destaque para a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92, quando um

número sem precedentes de representantes de Estado, da sociedade civil e do setor econômico compareceu à (ONU, 2002).

A Rio 92 contou com a presença de mais de 100 chefes de Estado, cerca de 10 mil delegados, 1.400 organizações não governamentais (ONGs) e aproximadamente 9 mil jornalistas (ONU, 2002). Dentre as principais contribuições desta Conferência destaca-se a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), em inglês UNFCCC, tratado internacional essencial para reduzir o aquecimento global e lidar com as consequências das mudanças climáticas.

2.3.1. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

Diante dos apelos internacionais para a realização de um tratado internacional visando combater as alterações climáticas e o aquecimento global, a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas estabeleceu em 1990 o Comitê Intergovernamental de Negociação (CIN), responsável pela redação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), a qual foi preparada e adotada em maio de 1992. (CQNUMC, 1992)

O texto da Convenção adotava metas voluntárias de redução de emissões de GEEs e foi assinada no mês seguinte à sua elaboração por chefes de Estado e outras autoridades durante a Rio-92. A Convenção entrou efetivamente em vigor no dia 21 de março de 1994, sendo ratificada por 192 países (CQNUMC, 1992).

O objetivo da Convenção é explicitado no seu artigo segundo:

“[...] alcançar [...] a estabilização das concentrações de GEEs na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável.”

A CQNUMC, portanto, estabelece um quadro geral dos esforços intergovernamentais para enfrentar o desafio representado pelas mudanças climáticas. A Convenção não determina como atingir este objetivo, mas estabelece mecanismos que possibilitem negociações em torno dos instrumentos necessários para que ele seja alcançado (MOREIRA & GIOMETTI, 2008).

Os países signatários se reúnem anualmente na chamada Conferência das Partes (COP) para discutirem mecanismos e firmarem acordos globais visando a redução das emissões de GEEs e a melhoria da qualidade de vida do planeta. Além disso, as Partes definiram que a

implementação de qualquer acordo deve dar atenção especial às preocupações de economias vulneráveis (BABIKER, REILLY & JACOBY, 2000).

Os primeiros acordos firmados visavam a estabilização da concentração de CO₂, mas não especificavam seus limites e, segundo Esparta (2009), o caráter voluntário do compromisso fez com que apenas alguns poucos países conseguissem de fato reduzir suas emissões. Estava claro que os países deveriam assumir metas compulsórias de redução de emissões, sujeitando aqueles que não as cumprissem às penas definidas em comum acordo.

Dessa constatação nasce o Protocolo de Quioto, discutido e adotado na COP-3, realizada na cidade de Quioto, Japão, em 1997. Esse Protocolo finalmente estabelecia metas compulsórias de redução de emissões às Partes incluídas no Anexo I (Partes Anexo I) da Convenção. Neste anexo são listados os países responsáveis pela maior parte das emissões de GEEs no passado e no presente, ou seja, os países industrializados e pertencentes à OCDE, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (UNFCCC, 2012a).

Quioto é considerado um dos tratados mais complexos já negociados e foi a partir de sua ratificação que a CQNUMC realmente ganhou impulso para alcançar seus objetivos. A essência do Protocolo, que será tratado mais detalhadamente a seguir, reside em vincular o cumprimento de metas de emissão dos países desenvolvidos através de obrigatoriedades legais (YAMIN, 2006).

2.3.2. O Protocolo de Quioto

A COP-3, realizada em Quioto, Japão, em dezembro de 1997, culminou na decisão por consenso de adotar-se um Protocolo segundo o qual os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de GEEs em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990. O prazo para esse primeiro período de compromisso, com vinculação legal, foi definido como o período compreendido entre os anos de 2008 e 2012 (BRASIL, 1997).

O Protocolo de Quioto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998 e sua ratificação dependia da adesão de pelo menos 55 Partes da Convenção, incluindo os países desenvolvidos que contabilizassem pelo menos 55% das emissões totais de CO₂ registradas em 1990 (BRASIL, 1997).

Em fevereiro de 2005 a Rússia confirmou sua adesão, ratificando o Protocolo após sete anos de espera para sua efetiva implantação. Estava dado o primeiro passo no sentido de minimizar os impactos ambientais das emissões atmosféricas, os quais não apresentam fronteiras (SEIFFERT, 2009).

O conceito básico acertado para Quioto é o da “responsabilidade comum, porém diferenciada”, o que significa que todos os países têm responsabilidade no combate ao aquecimento global, porém aqueles que mais contribuíram historicamente para o acúmulo de GEE na atmosfera têm uma obrigação maior de reduzir suas emissões (SEIFFERT, 2009).

Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), os países desenvolvidos são responsáveis por 70% das emissões antrópicas de GEEs, enquanto os países em desenvolvimento têm uma parcela de 28% e os países mais pobres, de apenas 2%.

Dessa forma, apenas os países listados no Anexo I da CQNUMC são obrigados a reduzir suas emissões, as quais em conjunto representam 55% das emissões globais de GEEs. A obrigação é imposta somente a estes países, pois reconhece que eles são os maiores responsáveis pelos altos níveis atuais de GEEs na atmosfera, resultado de mais de 150 anos de atividade industrial (BRASIL, 1997). O governo japonês, por exemplo, comprometeu-se a reduzir cerca de 6% dos GEE no período 2008-2012, em comparação com as emissões em 1990 (GIELEN & MORIGUCHI, 2002).

Países como Brasil, China e Índia não estão listados no Anexo I da Convenção, conforme observado na Figura 2.10, e não possuem metas de redução. No entanto, observa-se que alguns países estão estipulando metas de forma voluntária, sem, no entanto, estarem sujeitos às penalidades previstas no acordo. Este é o caso do Brasil, que estabeleceu em 2009 uma meta para reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões projetadas para o país até 2020 (BRASIL, 2008a).



Figura 2.10 - Panorama dos Países em Relação ao Protocolo de Quioto
Fonte: Instituto Acende Brasil

2.1.1.1. Mecanismos de Flexibilização

O Protocolo de Quioto define três tipos de mecanismos de mercado - também chamados de mecanismos de flexibilização - para auxiliar seus signatários e viabilizar o cumprimento de suas metas nacionais de emissões. Através desses mecanismos, as Partes Anexo I podem elevar ou reduzir suas emissões permitidas através da negociação com outros países (UNFCCC, 2008). São eles:

- a) *Implementação Conjunta (IC)*;
- b) *Comércio Internacional de Emissões (CIE)*; e
- c) *Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)*.

Esses mecanismos devem ser entendidos como medidas de complementação às ações e políticas domésticas a serem adotadas por esses países, permitindo que a redução das emissões e/ou o aumento da remoção de CO₂ pelas Partes Anexo I sejam, em parte, obtidos além de suas fronteiras nacionais (LOPES, 2002).

Cabe salientar que os países não podem cumprir a totalidade de suas obrigações perante o Protocolo unicamente através dos mecanismos de flexibilização. As ações domésticas devem representar 90% da meta de redução de emissões de GEEs de cada país e somente 10% devem ser negociados através do mercado de carbono. Tal premissa enfatiza o caráter eminentemente complementar desses mecanismos (UNFCCC, 2008).

São exemplos de ações domésticas: a implementação de regulamentação ambiental mais restritiva, taxaço de emissões, aumento dos valores das multas para o caso de desvios em relação a emissões atmosféricas, restrições a instalações de novas empresas em determinadas áreas, dentre outras (SEIFFERT, 2009).

A ideia básica dos mecanismos de mercado é estabelecer um comércio internacional de emissões de modo que aqueles países que não consigam cumprir totalmente suas metas através da implantação de medidas domésticas possam adquirir permissões de emissão de outras Partes Anexo I - como é o caso da IC e do CIE - ou mesmo de países em desenvolvimento, os quais não possuem metas de emissão, no caso do MDL (SEIFFERT, 2009).

As negociações originadas a partir desses mecanismos de mercado originou o que hoje se conhece como o mercado mundial de emissões ou, simplesmente, mercado de carbono. Essa transferência de recursos para os países em desenvolvimento é de fundamental

importância para que estes possam consolidar uma economia menos intensiva em carbono, mas não necessariamente menos intensiva em tecnologia.

As necessidades de financiamento para um “crescimento verde” e para a implementação de uma economia de baixo carbono são enormes, na casa dos bilhões de dólares anualmente, apenas se considerarmos as economias em desenvolvimento (WORLD BANK, 2011).

Os mecanismos de mercado se configuram, portanto, como uma grande oportunidade para países desenvolvidos e em desenvolvimento, pois torna viável a mobilização de recursos dos setores público e privado em ações que visam o cumprimento das metas de emissão e a preservação ambiental, além de promoverem a geração de novas oportunidades de negócio, emprego e renda para a população.

Além disso, os mecanismos de mercado podem contribuir para reduzir os custos das ações necessárias para o atingimento de suas metas de emissões, influenciando as decisões de investimento e encorajando estilos de vida menos intensivos em carbono.

O World Bank, em sua publicação *State and Trends of the Carbon Market 2011*, concluiu que os mercados de carbono podem desempenhar um papel importante na mobilização de até US\$ 100 bilhões por ano a partir de 2020. Segundo a publicação, com alvos previsíveis, ambiciosos e de longo prazo, os fluxos financeiros através dos mecanismos de mercado para países em desenvolvimento podem chegar a US\$ 50 bilhões por ano até 2020.

Segundo Seiffert (2009), a IC e o CIE são mecanismos que envolvem apenas as Partes Anexo I, enquanto o MDL é o único mecanismo que possibilita a participação de países em desenvolvimento e que participam desse mercado de maneira voluntária. Por esse motivo, o MDL será tratado mais detalhadamente a seguir.

2.4. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

A CQNUMC, assim como o Protocolo de Quioto, tem como um de seus pilares de negociação o princípio da “responsabilidade comum, porém diferenciada”, o que significa que todos os países têm responsabilidade no combate ao aquecimento global, porém aqueles que mais contribuíram historicamente para o acúmulo de GEEs na atmosfera têm uma obrigação maior de reduzir suas emissões (SEIFFERT, 2009).

Por outro lado, não é desejável que países sem metas de redução de emissões não participem do esforço global da luta contra as mudanças climáticas, pois os problemas

atmosféricos não conhecem limites e as nações mais prejudicadas pelas mudanças climáticas não são necessariamente aquelas que mais vêm contribuindo para sua ocorrência.

Dentro desse contexto, o governo brasileiro propôs a criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, que seria formado por meio de recursos financeiros dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de emissões de GEEs (FRONDIZI, 2009).

Os recursos desse Fundo seriam utilizados para a execução de projetos nos países em desenvolvimento, servindo como uma forma de punição aos países que não cumprissem com suas obrigações, além de fomentar o fluxo de recursos e transferência de tecnologias dos países industrializados para os países em desenvolvimento, sem comprometer a oportunidade legítima de crescimento econômico e bem-estar social destes últimos (FRONDIZI, 2009).

A proposta brasileira não foi aceita por alguns países desenvolvidos, mas a percepção de que mecanismos de mercado poderiam auxiliar em todo esse processo ganhou consistência com a ideia de criação de um valor transacionável para a redução de emissões de GEEs, formando a base conceitual do que é hoje o MDL (ESPARTA, 2009).

A concepção inicial do Fundo foi então modificada, transformando-se no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O objetivo do MDL, segundo o artigo 12 do Protocolo de Quioto, é assistir:

- (i) às Partes não-Anexo I para que contribuam com o objetivo final da Convenção e para que atinjam o desenvolvimento sustentável por meio da implementação de atividades de projeto; e
- (ii) às Partes Anexo I para que cumpram suas obrigações quantificadas de limitação e reduções de emissões.

O MDL tornou negociável cada unidade de GEE que deixa de ser emitida ou que é capturada por uma atividade de projeto executado nos países em desenvolvimento. Dessa forma, foi criado um ativo financeiro – negociado nas chamadas “Bolsas de Carbono” - denominado Certificado de Redução de Emissões, ou simplesmente CER (ESPARTA, 2009).

Segundo Penteado et al. (2012), o MDL apresenta grandes potenciais de melhorias nas áreas de energia, ambiental e tecnológica, baseado em uma cooperação forte e eficiente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Para garantir uma uniformidade nas quantificações da redução de GEEs nos projetos de MDL foi definido que o CER é uma unidade equivalente a uma tonelada métrica de CO₂,

calculada de acordo com chamado “Potencial de Aquecimento Global”, em inglês, *Global Warming Potencial* (GWP) (UNFCCC, 2002).

Segundo Seiffert (2009), os GEEs apresentam diferentes potenciais de contribuição para o aquecimento global e a equivalência de carbono foi definida como a medida para comparação entre eles. A Tabela 2.4 apresenta o GWP dos principais GEEs listados no Anexo A do Protocolo de Quioto.

O CO₂ equivalente é resultado então da multiplicação da quantidade emitida de um determinado gás pelo seu GWP. Conforme observado na Tabela 2.4, o GWP do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Dessa forma, um projeto cujas atividades reduzam a emissão de uma tonelada de gás metano poderá emitir 21 CERs, pois reduziu 21 toneladas equivalentes de carbono (tCO₂eq).

Tabela 2.4 - Potencial de Aquecimento Global dos Gases de Efeito Estufa
Fonte: Instituto Acende Brasil

NOME	FÓRMULA	GWP
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	310
CFC-12	CCl ₂ F ₂	6.200 – 7.100
HCFC-22	CHClF ₂	1.300 – 1.400
Perfluormetano	CF ₄	6.500
Hexafluoreto de Enxofre	SF ₆	23.900

Os CERs, também chamados de créditos de carbono, podem ser utilizados pelas Partes Anexo I como forma de cumprimento de suas metas de emissões de GEE. Dessa forma, os países que não conseguirem alcançar suas metas exclusivamente através das ações domésticas poderão fazê-lo através da aquisição de créditos de carbono, desde que respeitados os limites já citados anteriormente.

Para efeitos do MDL, entende-se por atividades de projeto as atividades integrantes de um empreendimento que tenham por objeto a redução de emissões de GEEs e/ou a remoção de CO₂ da atmosfera (LOPES, 2002).

As atividades de projeto devem contribuir para reduzir as emissões dos GEEs listados no Anexo A do Protocolo de Quioto, os quais estão relacionados aos setores/fontes de atividades responsáveis pela maior parte das emissões, conforme apresentado na Figura 2.11

A implementação do MDL, portanto, incorpora a noção de “salto tecnológico”, na qual os países ricos possibilitam aos países em desenvolvimento um caminho mais curto para uma economia menos intensiva em carbono. Esse salto de etapas ocorre através do financiamento de iniciativas menos poluentes e da transferência de tecnologias para os países anfitriões dos projetos de MDL (MOREIRA & GIOMETTI, 2008).

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA			
Energia	Processos Industriais	Agricultura	Resíduos
$\text{CO}_2 - \text{CH}_4 - \text{N}_2\text{O}$	$\text{CO}_2 - \text{N}_2\text{O} - \text{HFCs} - \text{PFCs} - \text{SF}_6$	$\text{CH}_4 - \text{N}_2\text{O}$	CH_4
Queima de Combustível • Setor energético • Indústria de transformação • Indústria de construção • Transporte • Outros setores Emissões Fugitivas de Combustíveis • Combustíveis sólidos • Petróleo e gás natural	• Produtos minerais • Indústria química • Produção de metais • Produção e consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre • Uso de solventes • Outros	• Fermentação entérica • Tratamento de dejetos • Cultivo de arroz • Solos agrícolas • Queimadas prescritas de cerrado • Queimadas de resíduos agrícolas	• Disposição de resíduos sólidos • Tratamento de esgoto sanitário • Tratamento de efluentes líquidos • Incineração de resíduos
REMOÇÕES DE CO_2^*			
Florestamento / Reforestamento			
Remove: CO_2 Libera: $\text{CH}_4 - \text{N}_2\text{O} - \text{CO}_2$			

Figura 2.11- Gases de Efeito Estufa e Setores Responsáveis pelas Emissões
Fonte: Instituto Acende Brasil

2.4.1. Estrutura Institucional do MDL

Para garantir a credibilidade e eficácia do MDL, as atividades de projeto bem como a redução das emissões a estas atribuídas são submetidas a um processo de análise, aferição e verificação por meio de instituições e procedimentos estabelecidos na COP-7 (LOPES, 2002).

A estrutura institucional que operacionaliza e regulamenta esse mecanismo de mercado é apresentada na Figura 2.12 e descrita mais detalhadamente a seguir.



Figura 2.12 - Estrutura Institucional do MDL
Fonte: CQNUMC (adaptado pelo autor)

- a) **COP/MOP:** é o órgão responsável por monitorar a implementação do Protocolo, mediante revisão periódica, e tomar as decisões necessárias para promover a sua implementação efetiva. As Partes da Convenção que não ratificaram o Protocolo que Quioto podem participar das reuniões apenas como observadoras, não participando da tomada de decisão (FRONDIZI, 2009).
- b) **Conselho Executivo do MDL (CE-MDL):** supervisiona o funcionamento do MDL sob a autoridade e orientação da COP/MOP. Além disso, é responsável pelo registro dos projetos e emissão dos CERs, bem como pelo estabelecimento e aperfeiçoamento de metodologias para definição da linha de base, monitoramento e emissões fugitivas (LOPES, 2002).
- c) **Autoridade Nacional Designada (AND):** Os governos dos países participantes de uma atividade de projeto do MDL devem designar junto à CQNUMC uma autoridade nacional para o MDL. De acordo com Lopes (2002), a AND atesta que a participação dos países é voluntária e que as atividades contribuem efetivamente para o desenvolvimento sustentável do país anfitrião do projeto. Em 2002, o governo brasileiro estabeleceu a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) como a AND brasileira para aprovação de projetos no âmbito do MDL (MCT, 2012).
- d) **Entidade Operacional Designada (EOD):** é uma certificadora credenciada pelo CE-MDL, e designada pela COP/MOP, que garante que as atividades de projeto estão aplicando corretamente as normas e os procedimentos estabelecidos pelo Protocolo de Quioto e pelo CE-MDL (Frondizi, 2009). É responsável por analisar a documentação dos projetos candidatos ao MDL, bem como pela posterior solicitação de registro do projeto junto ao CE-MDL. Além disso, também se encarrega de verificar a redução das emissões efetivamente obtida pelos projetos registrados. Após essa verificação, a EOD certifica o projeto como apropriado, solicitando ao CE-MDL a emissão dos CERs correspondentes (UNFCCC, 2012b).

Os órgãos e instituições acima descritos são responsáveis, portanto, pela definição e execução de todos os procedimentos para a operacionalização do MDL e garantem que os projetos passem por todas as fases necessárias até conseguir a efetiva comercialização dos créditos, as quais são: elaboração do documento de concepção do projeto, validação, aprovação, registro, monitoramento, verificação/certificação e emissão de CERs (FRONDIZI, 2009).

2.4.2. Requisitos de Elegibilidade de Projetos de MDL

Para que os CERs decorrentes das atividades de projeto do MDL possam ser emitidos pelo CE-MDL e passem a ter valor comercial, os projetos necessitam atender a determinados requisitos de elegibilidade. Os requisitos são condições a serem atendidas com o objetivo de maximizar os benefícios socioambientais das atividades e garantir que tais projetos contribuam efetivamente para o desenvolvimento sustentável dos países anfitriões, bem como para a efetiva redução de emissões de GEEs (SEIFFERT, 2009).

Segundo o texto do Protocolo de Quioto, entre os requisitos básicos para aprovação, registro das atividades do projeto e emissão dos CERs, destacam-se:

- a) **Adicionalidade:** a redução de emissões de GEEs deve ser adicional àquela que ocorreria na ausência do projeto;
- b) **Existência de Metodologia aprovada pelo CE-MDL:** a atividade deve levar a benefícios reais, passíveis de mensuração e monitoramento de acordo com uma metodologia sugerida e/ou previamente aprovada pelo CE-MDL;
- c) **Aprovação Nacional:** o projeto deve ser aprovado pela AND, que emitirá uma carta de autorização, atestando que suas atividades auxiliam o país anfitrião a atingir o desenvolvimento sustentável;
- d) **Participação Voluntária** da Parte anfitriã das atividades do projeto.

Ressalta-se que os projetos de MDL devem, necessariamente, implicar em reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na sua ausência, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança global do clima, nos termos do Artigo 12 do Protocolo de Quioto (FRONDIZI, 2009).

Essa é a premissa do requisito da adicionalidade, cuja comprovação implica em comparar as emissões do projeto com um cenário hipotético - de referência - que retrate as condições que existiriam na ausência do projeto. Esse cenário é conhecido com “linha de base”, que busca representar, de forma razoável, as emissões antrópicas de GEEs que ocorreriam na ausência das atividades do projeto proposto (FRONDIZI, 2009).

Segundo Seiffert (2009), a linha de base é o cenário esperado em relação às emissões, considerando as práticas usuais e as opções tecnológicas e economicamente viáveis no momento da implementação do projeto. Essa é uma premissa fundamental para o cálculo da linha de base, que deve considerar apenas o emprego das tecnologias existentes.

O propósito da linha de base é fornecer informações consistentes do que ocorreria na ausência do projeto em termos de emissões de GEEs, assim como servir de referência para que se avalie a redução das emissões proporcionada pelas atividades do projeto, conforme ilustrado na Figura 2.13

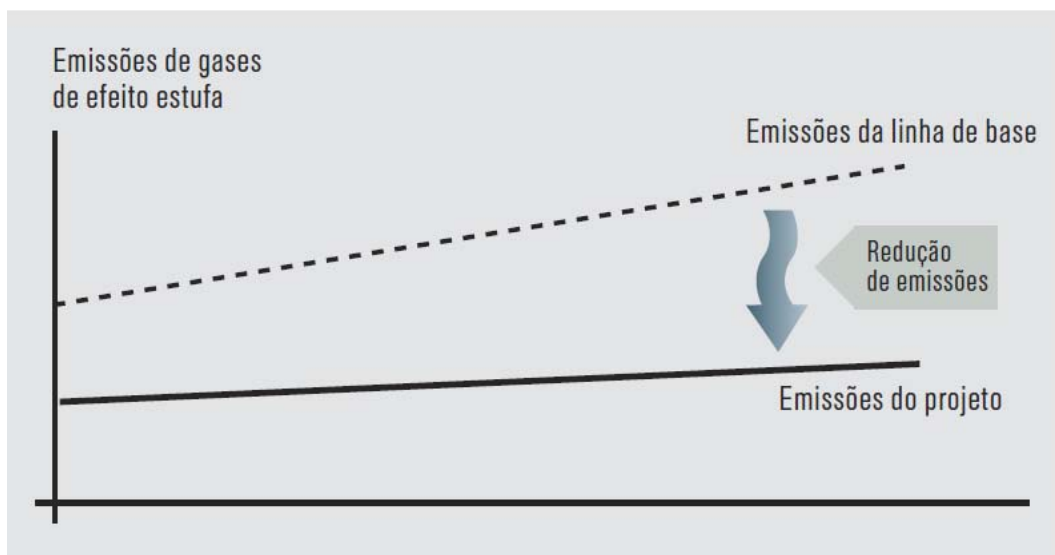


Figura 2.13 - Emissões da Linha de Base
Fonte: Frondizi (2009)

O cálculo das emissões do projeto e da linha de base deve ser realizado de acordo com as metodologias aprovadas pelo CE-MDL, as quais se dividem em metodologias para projetos de redução de emissões, de grande escala ou de pequena escala; e projetos de florestamento e reflorestamento, também segmentados em grande escala e pequena escala (BRASIL, 2008b). Segundo Frondizi (2009), existem centenas de metodologias aprovadas, cobrindo grande espectro de escopos setoriais e de casos específicos.

A comprovação da adicionalidade também visa identificar se o projeto se torna atrativo exclusivamente em virtude da venda de CERs ou se, independentemente dessa receita, ele seria implementado por apresentar retorno econômico atrativo. Ou ainda, se a implantação das atividades do projeto está se dando para viabilizar o cumprimento de requisitos legais da região, como por exemplo, novas leis ambientais mais rígidas (SEIFFERT, 2009). Essas duas últimas condições poderiam invalidar o projeto como MDL por não atender a esse requisito.

Toda essa preocupação em demonstrar a adicionalidade do projeto deve-se à natureza do MDL, que foi constituído como um mecanismo de compensação. Os créditos de carbono gerados nesses projetos serão utilizados pelas Partes Anexo I para compensar reduções de emissões de GEEs não realizadas domesticamente (FRONDIZI, 2009).

2.5. Redução de Emissões de CO₂ Através da Reciclagem

2.5.1. A metodologia AMS.III-AJ

Conforme citado anteriormente, a redução das emissões de GEEs proporcionada pelas atividades de um projeto de MDL deve ser calculada considerando-se as emissões da linha de base como referência. Portanto, um dos requisitos de elegibilidade dos projetos é a existência de uma metodologia, aprovada pelo CE-MDL, que defina – dentre outros aspectos - a fórmula de cálculo da linha de base.

A metodologia AMS-III.A.J - *Emission reductions by using recycling material instead of raw material* - aprovada pelo CE-MDL - trata da redução das emissões de GEE decorrente das atividades de recuperação e reciclagem de materiais, transformando-os em um novo produto final ou em insumo para outras cadeias produtivas (UNFCCC, 2011).

De acordo com a metodologia em questão, a reciclagem de um material permite sua reintrodução na cadeia produtiva, eliminando certas atividades que seriam necessárias para obtenção desse mesmo insumo a partir da matéria-prima virgem, extraída da natureza. Essa reintrodução do material no processo produtivo proporciona economia de eletricidade, combustíveis fósseis e recursos naturais, conforme ilustra a Figura 2.14.

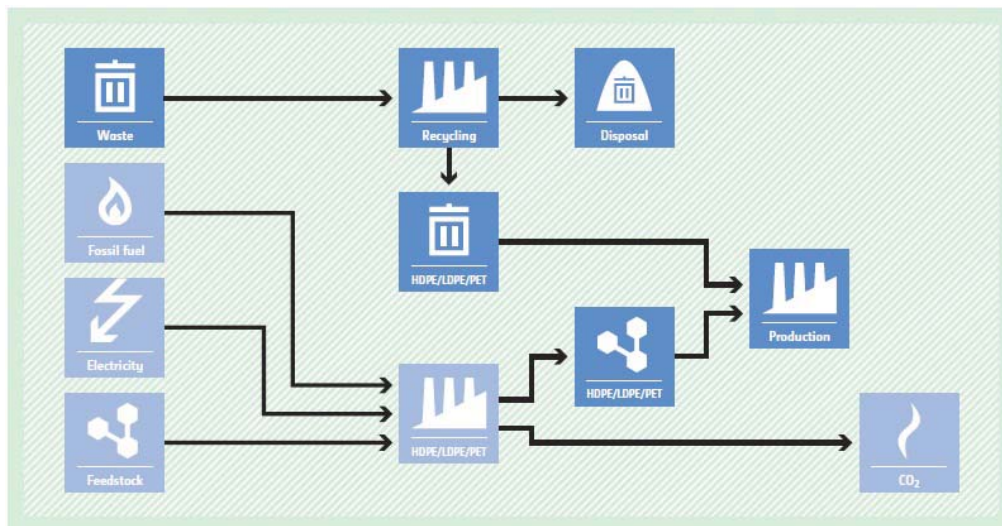


Figura 2.14 - Economia de energia através da reciclagem

Fonte: UNFCCC

A primeira versão da metodologia AMS-III.A.J tratava apenas da redução das emissões através da reciclagem do polietileno de alta densidade (PEAD) e do polietileno de baixa densidade (PEBD). Em março de 2011, a metodologia foi revisada pela primeira vez, incluindo o Politereftalato de etileno (PET) como material passível de emissão de CERs através de sua reciclagem.

A segunda revisão da metodologia ocorreu três meses depois, em julho de 2011, e dentre as principais modificações ocorridas podem ser citadas:

- a) Inclusão da contabilização das emissões evitadas de metano pela reciclagem do papel e papelão que, do contrário, seriam depositados nos lixões municipais;
- b) Distinção entre atividades de projetos que envolvem unidades de reciclagem formais e informais;
- c) Definição de procedimentos mais simplificados para registro de projetos que envolvem o setor informal da reciclagem.

As unidades formais de reciclagem, citadas na metodologia AMS-III.AJ, podem ser públicas ou privadas, mas necessariamente, são regularizadas nos órgãos competentes locais e participam formalmente da economia local. Já as informais são aquelas unidades de reciclagem operadas sem regularização formal, apesar de algumas delas receberem materiais recicláveis provenientes do sistema de coleta público municipal (UNFCCC, 2011).

A redução das emissões decorrente da reciclagem dos materiais citados é obtida através da diferença entre as emissões da linha de base e as emissões do projeto proposto, sendo deduzidas as emissões fugitivas, conforme a Equação (2.1) definida pela metodologia AMS-III.AJ e apresentada a seguir:

$$RE_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (2.1)$$

Onde:

RE_y	Redução das emissões no ano y (tCO ₂ eq)
BE_y	Emissões da baseline no ano y (tCO ₂ eq)
PE_y	Emissões do projeto no ano y (tCO ₂ eq)
LE_y	Emissões fugitivas no ano y (tCO ₂ eq)

Cabe ressaltar que as emissões associadas ao transporte do material dos pontos de coleta até as unidades recicladoras, bem como desta para a indústria são consideradas equivalentes àquelas que ocorreriam na ausência do projeto. Ou seja, caso não existisse o projeto de reciclagem, a indústria demandaria essa matéria-prima de seus fornecedores, acarretando em seu inevitável transporte até uma unidade de processamento (UNFCCC, 2011).

A Equação (2.1) contempla ainda as chamadas “emissões fugitivas”, que corresponde às emissões de GEEs que ocorrem fora do limite da atividade de projeto do MDL e que, ao

mesmo tempo, sejam mensuráveis e atribuídas à atividade do projeto. O referido limite do projeto não se trata de um conceito geográfico. Ele abrange todas as emissões de GEEs sob controle dos participantes das atividades de projeto, que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, a essas atividades (Fronzizi, 2009).

Com a inclusão das emissões fugitivas no cálculo da linha de base são considerados todos os possíveis impactos negativos das atividades do projeto em termos emissão de GEEs. Segundo Seiffert (2009), um exemplo de emissões fugitivas seriam os GEEs que, nos aterros sanitários, escapam pelo encaixe das tubulações, fissuras de taludes, eixos de bombas, etc.

Esse tipo de emissões, apesar de não desejadas, podem ser previstas, mensuradas, monitoradas e atribuíveis à atividade do projeto. Evidentemente, se o volume de emissões fugitivas for consideravelmente elevado, o projeto poderá não ser viável do ponto de vista do MDL. Nas seções seguintes são apresentadas as equações para o cálculo da linha de base e das emissões de um projeto de reciclagem, segundo a metodologia AMS-III.AJ.

2.5.2. Emissões da Linha de Base (BE)

Conforme discutido anteriormente, a linha de base (BE) busca representar de forma razoável as emissões antrópicas de GEE que ocorreriam na ausência do projeto proposto. Ela deve cobrir as emissões de todos os gases emitidos por setores e fontes que estejam dentro do limite do projeto; e, segundo Fronzizi (2009) deve ser estabelecida:

- Pelos participantes do projeto e de acordo com os procedimentos definidos na metodologia aprovada ou em uma nova metodologia proposta;
- De forma transparente e conservadora no que diz respeito às escolhas de abordagem, hipóteses, metodologias, parâmetros, fontes de dados, fatores essenciais e adicionalidade, sempre levando em consideração a incerteza;
- Considerando as especificidades do projeto em questão; e
- Levando em consideração as circunstâncias nacionais, as políticas e as características específicas do local e do setor onde a atividade está sendo proposta.

A metodologia AMS.III-AJ determina que o cálculo da linha de base para projetos de reciclagem candidatos ao MDL deve considerar as emissões associadas ao consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis para a produção do PEAD, PEBD e PET.

Ainda segundo a metodologia, mesmo que a origem do material seja desconhecida, as emissões da produção desse material a partir da matéria-prima virgem são calculadas com base nas condições típicas do país onde é executado o projeto de reciclagem. Isso quer dizer

que deve ser considerado, por exemplo, o fator de emissão de CO₂ da energia elétrica gerada no país anfitrião do projeto, ainda que este material tenha sido produzido em outro país.

As emissões da linha de base para a produção dos materiais são calculadas através da Equação (2.2). Em resumo, deve ser considerada a quantidade de combustíveis fósseis e energia elétrica utilizada na fabricação de determinada quantidade do material.

$$BE_y = \sum_i [Q_{i,y} * L_i * (SEC_{BL,i} * EF_{el,y} + SFC_{BL,i} * EF_{FF,CO_2})] \quad (2.2)$$

Onde:

BE_y	Emissões da Linha de Base no ano y (tCO ₂ eq/y)
i	Índices para o tipo de material i ($i = 1,2,3$ para PEAD, PEBD e PET)
$Q_{i,y}$	Quantidade do plástico tipo i reciclado no ano t (t/y)
L_i	Fator de ajuste para compensar a degradação da qualidade do material e as perdas do material no processo de produção do produto final utilizando o material reciclado
$SEC_{BL,i}$	Consumo específico de energia elétrica para a produção do material virgem tipo i (MWh/t)
$EF_{el,y}$	Fator de emissão do grid de geração de eletricidade, de acordo com a versão mais recente da “ <i>Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema de eletricidade</i> ” (tCO ₂ /MWh)
$SFC_{BL,i}$	Consumo Específico de combustíveis para a produção do material virgem do tipo i (GJ/t)
EF_{FF,CO_2}	Fator de emissão de CO ₂ para o combustível fóssil (tCO ₂ /GJ)

Segundo Vlachopoulos (2009), o processo de reciclagem implica em perdas de materiais que podem ocorrer durante a coleta e em processos necessários à sua reciclagem, como o processo de lavagem. Dessa forma, o rendimento não é de uma tonelada de material reciclado a cada tonelada de sucata/resíduo que entra no processo de reciclagem. Tais perdas seriam estimadas em uma escala de 10% a 30% na indústria de reciclagem.

Por esse motivo, a metodologia sugere o uso de um fator de ajuste (L_i) para compensar as perdas no processo de reciclagem e a degradação da qualidade do material. No caso dos plásticos, Vlachopoulos (2009) sugere a utilização de um L_i igual a 0,75.

Ainda sobre as perdas no processo de reciclagem, a Agência Norte-Americana de Proteção ao Meio Ambiente, EPA (2006), publicou um relatório sobre gestão de RSU e emissões de GEEs no qual cita as taxas de produto reciclado para cada tonelada de sucata/resíduo que entra no processo de reciclagem. Essas taxas, aqui chamadas de “Fator de Ajuste”, são apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Fator de Ajuste dos Materiais
Fonte: EPA (2006)

MATERIAL	FATOR DE AJUSTE (L_i)
ALUMÍNIO	0,93
AÇO	0,98
METAIS	0,81
VIDRO	0,88
JORNAL	0,94
PAPELÃO	0,93
PAPEL MISTO	0,71
PAPEL BRANCO	0,66

O fator de emissão de CO₂ da energia elétrica ($EF_{el,y}$) diz respeito à quantidade de CO₂ equivalente emitida para cada quilowatt-hora (kWh) de energia elétrica gerado no país anfitrião do projeto. Já o fator de emissão dos combustíveis fósseis (EF_{FF,CO_2}) está também relacionado à quantidade de CO₂ equivalente emitida pela queima de cada Joule (J) de energia térmica gerada pelo combustível utilizado.

2.5.3. Emissões do Projeto (PE)

A metodologia AMS.III-AJ determina que o cálculo das emissões de CO₂ das atividades do projeto deve ser realizado considerando as mesmas variáveis utilizadas na linha de base, ou seja: consumo de energia elétrica e consumo de combustíveis fósseis. Nesse caso, deverão ser consideradas as quantidades desses insumos utilizados nas atividades do projeto de reciclagem, conforme Equação (2.3).

$$PE_y = \sum_i (EC_{i,y} * EF_{el} + FC_{i,y} * NCV_{FF} * EF_{FF,CO_2}) \quad (2.3)$$

Onde:

PE_y Emissões do projeto no ano y (tCO₂eq/y)

i Índices para o plástico tipo i ($i = 1,2$)

$EC_{i,y}$ Consumo de energia elétrica da unidade de reciclagem proporcional ao plástico tipo i (MWh/t) no ano y

$FC_{i,y}$	Consumo de combustíveis da unidade de reciclagem proporcional ao plástico tipo i (unidade de massa ou volume/t) no ano y
NCV_{FF}	Poder calorífico do combustível fóssil consumido na unidade de reciclagem no ano y (GJ/unidade de massa ou volume) (uso não obrigatório)
EF_{FF,CO_2}	Fator de emissão de CO_2 para o combustível fóssil consumido na unidade de reciclagem (tCO_2/GJ) (usar valores locais ou nacionais ou valores padronizados pelo IPCC)

Conforme informado anteriormente, o MDL é o único dos mecanismos de flexibilização que envolve a participação de países sem metas de redução de emissões, ou seja, são os países em desenvolvimento que participam do MDL de forma voluntária.

É notório que nesses países as atividades de reciclagem são realizadas, em grande parte, pelo setor informal da economia. Não existe no Brasil um levantamento sobre o número preciso de trabalhadores do setor informal da reciclagem, mas estimativas apontam que existem mais de um milhão de catadores de lixo no país (CEMPRE, 2012).

De forma a considerar essa realidade, a terceira revisão da metodologia AMS.III-AJ faz distinções entre projetos realizados em unidades formais e informais de reciclagem, incluindo requisitos mais simplificados e até valores-padrão de emissões para as atividades de projetos realizadas pelo setor informal.

Tais simplificações visam, principalmente, reduzir os custos associados ao monitoramento e à comprovação da redução das emissões por parte dos proponentes, viabilizando, assim, a aprovação e registro dos projetos do setor informal.

Dessa forma, quando as atividades do projeto de reciclagem forem realizadas em uma unidade de reciclagem informal, os consumos de energia e combustíveis podem ser estimados utilizando os valores-padrão de consumo de energia - 0,83 MWh/t - para reciclagem do PET, PEAD e PEAD definidos pela metodologia

Os consumos também podem ser calculados com base nos dados de placa, na média do tempo de serviço e nível de operação dos equipamentos utilizados. Ou ainda, podem ser estimados através da realização de campanhas de medição sob as condições típicas de operação da unidade (UNFCCC, 2011).

Já no caso de projetos executados em unidades formais de reciclagem, a metodologia determina que os consumos de energia e combustíveis fósseis devem ser diretamente monitorados utilizando os equipamentos adequados e devidamente calibrados.

2.6. Considerações Finais do Capítulo

Através dos dados e informações apresentadas no presente Capítulo, percebe-se a complexidade dos problemas relacionados à coleta e disposição final dos RSU produzidos em todas as principais cidades brasileiras. Embora esse quadro venha apresentando melhoras ao longo dos anos, toneladas de resíduos são descartadas inadequadamente no Brasil, causando graves prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública.

Curioso perceber que boa parte dos resíduos que vão para os lixões possui valor comercial para a indústria, com destaque para o plástico, aço, metais, papel, vidro e alumínio. Conforme visto neste Capítulo, a prática da reciclagem contribui não só para a minimização do volume de resíduos encaminhados aos lixões, mas também promove a reinserção desses materiais na cadeia produtiva, gerando economia para a indústria e preservando os recursos naturais.

A redução da queima de combustíveis fósseis e do consumo de energia elétrica consolida a reciclagem como uma das práticas que contribuem para o esforço global contra as mudanças climáticas, uma vez que o uso de combustíveis fósseis é a principal fonte das emissões antrópicas de GEEs, segundo os relatórios do IPCC aqui discutidos.

Além disso, conforme Henriques Jr., Dantas & Schaeffer (2010), a indústria pode e deve assumir um papel de liderança nesse contexto, por causa de seu alto consumo de energia e volume de emissões de GEE.

O modelo a ser proposto, deverá relacionar a reciclagem de cada tipo de RSU com a redução de emissões de GEEs por ela proporcionada. Para tanto, utilizará da metodologia AMS-III. AJ, utilizada para essa finalidade nos projetos de MDL. No entanto, conforme apresentado neste Capítulo, a AMS-III. AJ contempla apenas a reciclagem do PEBD, do PEAD e do PET.

Portanto, para possibilitar a construção do modelo e complementar o escopo da AMS-III. AJ torna-se necessário pesquisar na literatura os dados relativos ao consumo de energia e combustíveis fósseis necessários para a fabricação e reciclagem de outros tipos de materiais, como vidro, alumínio, metais, aço e papel.

Esses são os materiais mais frequentemente entregues pela população do Ceará ao Programa Ecoelce, desenvolvido pela Companhia Energética do Ceará, em 2007 e que incentiva a coleta seletiva do lixo domiciliar, concedendo um bônus na conta de energia dos consumidores mediante a entrega de resíduos recicláveis. O Programa Ecoelce, seus benefícios e os resultados alcançados desde o seu lançamento são apresentados a seguir.

3. O PROGRAMA ECOELCE

3.1. Concepção do Programa ECOELCE

Após a realização de uma pesquisa envolvendo 184 comunidades de baixa renda situadas na Grande Fortaleza, a Companhia Energética do Ceará constatou que a maior parte do lixo ali produzido era descartada de maneira inadequada no meio ambiente. Além disso, essas comunidades possuíam em comum altos índices de inadimplência no pagamento da conta de energia elétrica, bem como registros frequentes de furtos de energia através de instalações elétricas clandestinas.

Segundo dados da ABRELPE (2010), foram gerados no Estado do Ceará cerca de 8,7 toneladas de RSU por dia, sendo coletados aproximadamente 77% desse total. No entanto, em relação à destinação dos resíduos, apenas 44% tiveram destinação final adequada, conforme Figura 3.1.

Os dados sobre geração e coleta de RSU no Brasil são alarmantes e demonstram a necessidade de adoção imediata de um sistema integrado e sustentável de gestão de resíduos, além da adoção de boas práticas por parte da sociedade, objetivando reduzir as quantidades de resíduos gerados e a promover a gestão da parcela que é gerada de maneira econômica e ambientalmente sustentável.

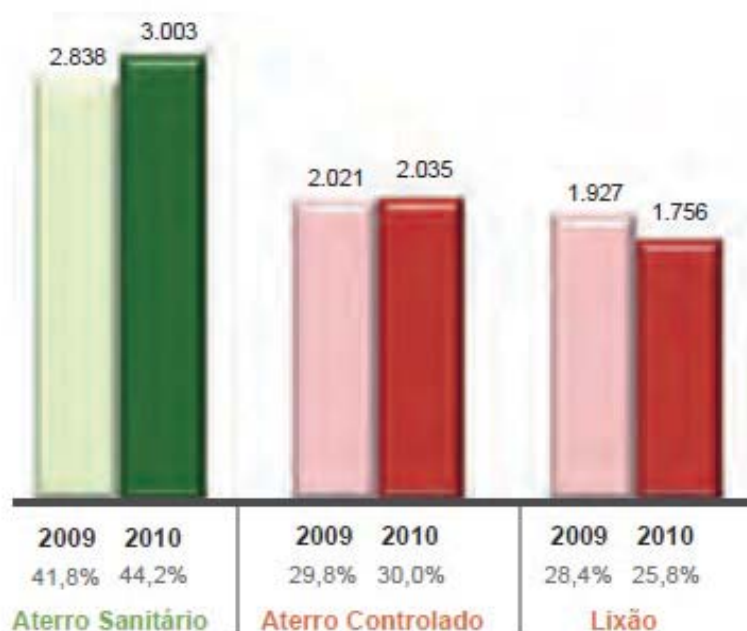


Figura 3.1 - Destinação Final de RSU no Brasil em 2010
Fonte: ABRELPE (2010)

Visando o desenvolvimento de uma solução estruturada para o problema, considerando suas implicações social, ambiental e econômica, a Coelce iniciou em 2006 um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em parceria com a Universidade de Fortaleza e a empresa KNBS. Como fruto desse projeto foi lançado o Programa Coelce de Desenvolvimento Social pela Energia Consumida, ou simplesmente, Ecoelce.

O programa consiste na troca de resíduos por créditos na conta de energia dos consumidores, com destinação organizada do material à indústria de reciclagem. O objetivo do empreendimento é organizar um programa de coleta seletiva de resíduos sólidos com valor de mercado e por meio desses, contribuir com a sua destinação adequada e propiciar a liquidez das contas de energia da população de baixa renda (GRADVOHL *et al.*, 2009).

O Ecoelce tem atuação em todo o estado do Ceará e possui atualmente 58 postos de coleta de resíduos, sendo 11 deles no sertão central do Estado. São 45 postos fixos e 13 móveis (COELCE, 2010). Para a coleta dos resíduos no interior do estado, os postos móveis são mais apropriados e garantem melhores resultados, pois os custos envolvidos e o fluxo de entrega dos resíduos não justifica a instalação de estruturas permanentes.

No ano de 2012 foi iniciado o Ecoelce Itinerante, um caminhão que faz coletas em diversos bairros de Fortaleza, mediante prévio agendamento. Caso se verifique grande adesão ao programa em determinada localidade, é avaliada a possibilidade de instalação de um ponto de coleta móvel no local.

Com a proposta de recolher resíduos e contribuir para a preservação dos ecossistemas do litoral cearense, o projeto Ecoelce Itinerante leva educação ambiental às comunidades, que participam, junto com crianças de escolas públicas, de diversas ações de conscientização ecológica, como a limpeza das praias e dos manguezais. Além disso, o projeto leva palestras de conscientização aos moradores e alertas para a preservação dos ecossistemas, especialmente os manguezais.

Outras ações que promovem o envolvimento da população cearense junto ao Programa é a Olimpíada Ecoelce de Sustentabilidade. Durante o período de realização do evento cerca de 4.500 alunos das redes de ensino cearense correm contra o tempo em busca de resíduos que rendem pontos e bônus para as escolas.

Para participar, os alunos levam uma fotocópia da conta de energia da sua residência para a diretoria da escola. Os clientes repassam os bônus adquiridos com os resíduos coletados para suas Unidades Consumidoras e, no momento da transação, podem escolher para qual escola é repassada a pontuação referente àquela transação.

O objetivo da Olimpíada é estimular a coleta seletiva e apresentar a utilidade do projeto Ecoelce à sociedade e ao meio ambiente. Ao final de evento, a escola que arrecadar a maior quantidade de lixo é vencedora da Olimpíada, sendo premiados também 40 alunos que se destacarem durante a gincana.

O prêmio para a escola vencedora inclui um notebook, um projetor e uma TV LCD. O segundo lugar recebe um notebook e um projetor, enquanto o terceiro recebe um notebook. Os 40 alunos que se destacarem na Olimpíada Ecoelce de Sustentabilidade ganham um passeio ecológico, um tocador de músicas em formato mp3 para cada, além de camisetas da campanha.

Para que os estudantes conheçam a importância da coleta seletiva, os professores foram capacitados para orientar os adolescentes na questão da separação de resíduos. A cada 15 dias, vários exercícios são propostos nas escolas para estimular que os alunos continuem participando e que outros façam adesão à gincana.

O funcionamento do Programa se dá através de três principais agentes que realizam funções distintas:

- I. A Coelce, que tem a função de operar e gerenciar o sistema de coleta dos resíduos e administrar o crédito nas contas de energia dos participantes;
- II. O posto de coleta (Figura 3.2), responsável por arrecadar, pesar e dar destinação aos resíduos; e
- III. O cliente, parte fundamental do processo, que realiza a coleta seletiva, dá destinação adequada aos seus resíduos, recebe descontos na conta de energia e contribui para a preservação do meio ambiente.



Figura 3.2 - Posto de Coleta do Ecoelce

Fonte: Esta pesquisa

Qualquer cliente da distribuidora, pessoa física ou jurídica, pode se cadastrar no projeto munido da conta de energia em qualquer loja de atendimento ou nos pontos de coleta e receber o cartão do Ecoelce, como o ilustrado na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Cartão Ecoelce para registro das transações
Fonte: GRADVOHL et al., 2009

Uma vez cadastrado, o cliente pode levar seus resíduos pré-separados por tipo até o ponto de coleta de sua preferência. Utilizando uma máquina como as de cartão de crédito e um sistema online, os resíduos são pesados e o valor em bônus é creditado automaticamente na conta de energia do cliente.

Em 2010, o Ecoelce lançou o primeiro ponto de autoatendimento para a coleta de resíduos recicláveis do Ceará. Batizado de Auto Ecoelce, o equipamento é capaz de identificar, separar e registrar três tipos de resíduos: garrafas PET, latinhas de alumínio e de aço. A concessionária ainda objetiva aprimorar o equipamento, de forma a fazer a coleta e a seleção de outros 17 tipos diferentes de resíduos (COELCE, 2010).

A Coelce define o valor do desconto de cada resíduo por quilo, unidade ou litro e de acordo com o preço do mercado. Caso o valor da bonificação do cliente seja superior ao total de sua conta, o excedente é creditado automaticamente na fatura seguinte.

3.2. Benefícios do Programa Ecoelce

A implantação de um programa como o Ecoelce contribui para a mitigação dos problemas relacionados aos resíduos sólidos urbanos, visto que não há solução única, medidas isoladas e nem planejamento e solução através de apenas uma ação.

O que se constatou nos últimos anos foi que a política mais eficiente para a gestão de resíduos é a integração de ações por parte dos setores público e privado, migrando-se de uma filosofia de gestão de resíduos para uma filosofia de gestão de recursos. (ABRELPE, 2010).

A coleta seletiva de lixo e a reciclagem são alternativas ecologicamente corretas, pois evitam que esses resíduos se acumulem em aterros sanitários ou lixões. Com isso, a vida útil dos aterros é prolongada e sua capacidade é mais bem aproveitada.

Dentre os diversos benefícios advindos da implantação do Programa destacam-se:

• **Para o Meio Ambiente:**

- Economia de energia elétrica;
- Preservação dos recursos naturais;
- Destinação adequada dos resíduos recolhidos;
- Diminuição dos impactos ambientais provocados pelos resíduos sólidos.

• **Para a Sociedade**

- Redução do descarte de resíduos sólidos nas vias urbanas;
- Possibilidade de quitar completamente as faturas de energia;
- Promoção da conscientização educação ambiental, inclusive por meio da realização de ciclos de palestras educativas;
- Redução das doenças propiciadas pelo acúmulo de resíduos sólidos;
- Redução dos custos dos municípios para destinação e tratamento de resíduos;
- Redução do volume de lixo enviado aos aterros sanitários;
- Melhoria na qualidade de vida da população.

• **Para a Empresa e o Setor Elétrico**

- Reconhecimento da sociedade por sua responsabilidade socioambiental;
- Melhoria da imagem institucional;
- Redução da inadimplência dos clientes.
- Promoção da eficiência energética com o processo de reciclagem;
- Incentivo ao fornecimento seguro de energia elétrica, com menor quantidade; de ligações clandestinas.

3.3. Resultados Alcançados

Segundo a Coelce (2012), já foram cadastrados no programa quase 400 mil clientes distribuídos em mais de 20 municípios do estado do Ceará. Foram ainda recicladas mais de 13 mil toneladas de resíduos, sendo concedidos mais de R\$ 1,5 milhão em descontos na conta de energia elétrica.

Considerando que o valor médio da conta de energia de um cliente de baixa renda gira em torno de R\$ 26,50, os descontos concedidos pelo Programa equivalem ao pagamento integral de aproximadamente 53 mil faturas de energia elétricas.

Em relação à economia de energia, ao longo do período compreendido entre maio de 2010 e abril de 2011, segundo análise realizada pelo Instituto Brasil Ambiente, o Programa Ecoelce viabilizou uma economia de energia através da reciclagem dos resíduos de 5.969 MWh, sendo a média de economia mensal de 474,7 MWh, correspondente a uma potência instalada de 0,66 MW (CALDERONI, 2011).

Nos 12 meses considerados, foram coletadas 1.729 toneladas, o que perfaz a média de 144 toneladas mensais, ou 4,8 t por dia. O valor da economia de energia, por tonelada, foi, em média, de R\$ 1.388,00. A tarifa considerada foi de R\$ 0,40199 por kWh, homologada para um consumidor residencial da Coelce para o entre abril de 2010 e abril de 2011 (CALDERONI, 2011).

O grupo Papel/Papelão mostrou-se predominante, respondendo sozinho por quase 50% do material coletado no período. Em seguida vem o grupo de Plásticos, com 16% e Metais, com quase 15%. Esses três grupos responderam por cerca de 80% do material coletado (CALDERONI, 2011).

O lançamento da Olimpíada Ecoelce de Sustentabilidade também gerou resultados expressivos. Após o lançamento da Olimpíada, houve aumento de 86% na coleta de resíduos, em relação a média de janeiro a abril de 2012.

Houve ainda um aumento de 59% no número de clientes praticando a coleta seletiva em determinados pontos de coleta. Apenas no mês de junho/12, foram arrecadadas 6.909 toneladas de resíduos. Em maio, o número foi de 4.189. Antes das Olimpíadas, os postos citados tinham uma média de 2,9 toneladas por mês (COELCE, 2010).

Devido aos impactos positivos gerados pelo Ecoelce nas esferas social, econômica, ambiental e institucional outras distribuidoras do país iniciaram a implantação de Programas semelhantes. A Light Serviços de Eletricidade S.A, distribuidora de energia do Rio de Janeiro, iniciou as operação do Programa Light Recicla. Assim como a Companhia Energética de Pernambuco, através do Programa Vale Luz e a Companhia Energética do Maranhão, com o Ecocemar, dentre outras.

Programas como o Ecoelce estão exercendo um papel importante na ressocialização de certas comunidades, como no caso do Santa Marta, na cidade do Rio de Janeiro. Após a

implantação da Unidade de Polícia Pacificadora (UPP) na comunidade, os moradores se libertaram do domínio dos traficantes e começaram a sentir novamente a presença do Estado.

No entanto, essa nova realidade vem acompanhada de custos que nem todos estavam preparados para pagar, como é o caso da legalização do fornecimento de água, luz, canais fechados de televisão, dentre outros. A existência de um programa dessa natureza contribui para o processo de reinserção social da população local, uma vez que gera renda para a população, beneficiando o meio ambiente, a sociedade e as empresas.

Na Figura 3.4 são apresentados os resíduos sólidos urbanos recicláveis aceitos pelo Programa Ecoelce e que serão contemplados pelo modelo proposto pelo presente trabalho.

 Papel	Papel branco: papéis brancos em geral, sem revestimento, folhas de caderno, sem carbono, secos e sem manchas de gordura.
	Papel misto: papéis de escritório com cores, folhas de revistas, formulários de computador, listas telefônicas, sacos de papel, cartas, envelopes, cartazes e folhetos, sem carbono e sem manchas de gordura.
	Jornais: em bom estado, limpos e secos, sem revestimentos, sem manchas de gordura.
	Papelão: em bom estado, limpos e secos, sem revestimentos, sem manchas de gordura.
	Embalagem Longa Vida (Tetrapak): Limpas e secas, em bom estado de conservação.
 Plástico	 Politereftalato de etileno: Material transparente, leve e inquebrável, utilizado em embalagens de bebidas carbonatadas (refrigerantes), água mineral, entre outros.
	 Polietileno de alta densidade: Material Rígido com excelente resistência química a altas temperaturas, leve e inquebrável, utilizado em tampas de refrigerantes potes (freezer), cerdas de vassouras, entre outros.
	 PVC Poli(cloreto de vinila): Material rígido, impermeável e resistente à altas temperaturas, utilizado em tubos, conexões, cabos elétricos, entre outros.
	 Polietileno de baixa densidade: Material flexível, leve, transparente e impermeável, utilizado em cabos para embalagens de refrigerantes, cabos e fios de TV e telefone, mangueiras, entre outros.
	 PP Polipropileno: Material brilhante, rígido inquebrável, conservam aroma e são resistentes à altas temperaturas, utilizados em produtos têxteis e cosméticos, entre outros.
	 PS Poliestireno: Material impermeável, rígido, leve e transparente, utilizado em aparelhos de barbear descartáveis, potes para iogurte, sorvete, entre outros.
	 Outros EVA - acetato de vinila, copolímero de etileno: Utilizado em calçados, cola, adesivos, entre outros.
 Metal	Ferro: Utensílios domésticos, ferramentas, peças de automóveis, estruturas de edifícios, latas de alimentos e bebidas.
	 Alumínio: Latas de bebidas e esquadrias, etc.
	 Aço: Material 100% Reciclável. Latas de bebidas, chapas de aço, etc.
	Cobre: Cabos telefônicos e enrolamentos elétricos, encanamentos, haste de cobre, etc.
	Chumbo: Baterias de carros, lacres.
	Níquel: Baterias de celular.
 Vidro	Zinco: Telhados (chapa de zinco), baterias.
	Vidros em geral: garrafas, potes de conservas, frascos em geral, copos e vidros de janelas. Importante: inteiros ou em cacos, os produtos devem ser enrolados em jornal ou papelão.

Figura 3.4 - Resíduos Aceitos pelo Programa Ecoelce

Fonte: Coelce (2010)

3.4. Considerações Finais do Capítulo

O presente capítulo apresentou os diversos benefícios entregues pelo Programa Ecoelce à sociedade, os quais podem ser percebidos nas áreas social, econômica e ambiental. Destacam-se também os benefícios para a empresa, uma vez que a renda gerada pelo Programa auxilia as famílias a pagarem suas contas de energia em dia. O que, por sua vez, gera novos impactos positivos, como a redução no número de acidentes ocasionados pelas ligações clandestinas.

O setor elétrico brasileiro também se beneficia das atividades do Ecoelce, visto que a prática da reciclagem contribui para a redução do consumo de energia da indústria, o que não deixa de se configurar como uma ação de eficiência energética. Pode ser citada ainda a postergação dos investimentos que teriam de ser realizados pelo setor para ampliação do parque de geração, transmissão e distribuição de energia, de forma a atender a demanda que ocorreria na ausência das ações de reciclagem.

Atualmente, todos os benefícios supracitados são - de alguma forma - mensurados e divulgados para a sociedade, para a empresa e para o setor elétrico brasileiro. No entanto, os benefícios ambientais proporcionados pelo Programa Ecoelce, traduzidos em termos de redução de emissões de CO₂, não são mensurados e, portanto, não são divulgados para a sociedade.

De forma a permitir essa mensuração e dar visibilidade a mais esse benefício oriundo da reciclagem, o presente trabalho propõe a construção de um modelo que permita à empresa relacionar essa prática à redução das emissões de CO₂ na atmosfera.

É importante conscientizar a população a respeito dos benefícios ambientais da reciclagem para que essa prática não seja vista apenas como uma forma de complementação da renda familiar. A ausência dessa consciência ambiental aliada a uma interrupção inesperada do Ecoelce faria com que a quantidade de resíduos reciclados no Estado do Ceará reduzisse drasticamente.

Assim, além de possibilitar a mensuração e dar visibilidade à redução das emissões de CO₂ proporcionada pelo Ecoelce, o modelo poderá ser utilizado pela concessionária como base para ampliar o escopo do Programa, oferecendo novos incentivos para participação dos clientes e auxiliando no trabalho de educação ambiental da população.

A seguir, são apresentados a descrição, as etapas e os cálculos realizados para a construção do modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos.

4. MODELO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS

4.1. Descrição do Modelo

O modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos procura estabelecer uma relação entre a reciclagem dos materiais e a redução das emissões de CO₂ que essa prática proporciona, conforme ilustrado na Figura 4.1. A reciclagem de um material permite sua reintrodução na cadeia produtiva, proporcionando economia de energia e combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de GEEs.

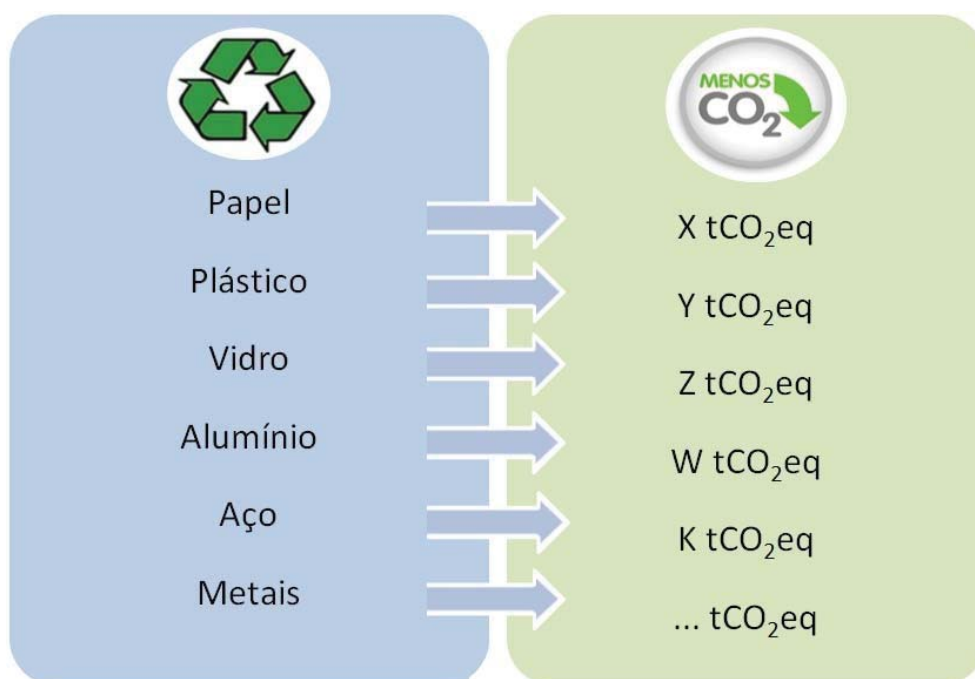


Figura 4.1 - Modelo de Valoração Ambiental
Fonte: esta Pesquisa

A construção do modelo é baseada na metodologia AMS-III.AJ, aprovada pelo CE-MDL para emissão de créditos de carbono relacionados a projetos de reciclagem de três tipos de material: PEBD, PEAD e PET. Conforme essa metodologia, as emissões de CO₂ relacionadas à produção e reciclagem dos materiais dependem basicamente do consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis utilizados no processo.

A redução das emissões de GEEs é calculada, portanto, como sendo a diferença entre as emissões da linha de base (BE) e as emissões do projeto de reciclagem (PE), descontadas as emissões fugitivas.

Como o modelo em questão foi concebido de forma a retratar a redução das emissões proporcionada pela reciclagem de materiais de uma forma geral e não referente a um projeto específico, o termo “emissões do projeto de reciclagem” (PE) é substituído pelo termo “emissões da reciclagem” (ER), conforme se observa na Equação (4.1).

$$RE = BE - ER \quad (4.1)$$

Onde:

<i>RE</i>	Redução das emissões proporcionada pela reciclagem (tCO ₂ eq)
<i>BE</i>	Emissões da baseline (tCO ₂ eq)
<i>ER</i>	Emissões da reciclagem (tCO ₂ eq)

São consideradas como BE as emissões relacionadas à produção dos materiais a partir da matéria-prima virgem, enquanto a ER se refere às emissões decorrentes das atividades de reciclagem dos resíduos.

Cabe ressaltar que o modelo aqui proposto amplia o escopo da metodologia AMS-III.AJ, apresentando também os dados necessários para o cálculo das emissões decorrentes da produção e reciclagem de outros materiais, componentes do típico resíduo sólido urbano gerado nas cidades brasileiras, como vidro, papel, alumínio, aço e metais.

Para tanto, faz-se necessário utilizar o fator de ajuste (L_i) adequado para cada material. O “ L_i ”, utilizado na Equação (2.2) para o cálculo das emissões da linha de base, representa o fator que visa corrigir as perdas e degradações de material ocorridas no processo de reciclagem, conforme explicado na seção 2.5.2. Em outras palavras, a relação entre material coletado e efetivamente reciclado não é de 1 para 1, sendo necessário coletar uma quantidade maior do que aquela que se pretende obter ao final do processo de reciclagem.

No caso dos plásticos, o modelo utiliza o valor sugerido pela própria metodologia AMS-III.AJ, que é de 0,75. Já para os demais materiais, são considerados os valores apresentados no relatório da EPA (2006) e já apresentados na Tabela 2.5.

Por conta das dificuldades na obtenção de dados desagregados da produção e reciclagem do papel branco, misto, jornal e papelão, esses materiais são agregados no grupo papel/papelão e é utilizado o fator de ajuste do papelão, de 0,93, por ser este o material mais abundantemente coletado pelo Ecoelce e, portanto, o mais representativo dessa categoria.

Cabe destacar que o modelo não considera as emissões fugitivas, pois além de não serem significativas em projetos de reciclagem, as mesmas se referem a situações que ocorrem em projetos específicos, como vazamentos, perdas, etc.

E conforme dito, o modelo trata da reciclagem de uma forma mais generalista e não se refere a uma situação específica. Ressalta-se ainda que, por definição, um modelo é “um sistema figurativo que reproduz a realidade de forma mais abstrata, quase esquemática, e que serve de referência” (Behar, 2007, p. 25).

Os materiais considerados pelo modelo são aqueles aceitos pelo Programa Ecoelce e são agrupados da seguinte forma:

- | | |
|--------------|-------------------|
| a) Plásticos | d) Aço; |
| b) Alumínio; | e) Vidro; e |
| c) Metais; | f) Papel/papelão. |

Apesar de existirem diversos tipos de papel, plásticos e metais, os grupos de materiais foram definidos de forma a simplificar a construção do modelo e sua posterior utilização. Dessa forma, o grupo dos metais contempla materiais como ferro, latão, bronze e chumbo. Já o grupo do papel/papelão contempla o papel branco, papel misto, Tetra Pak, jornal e papelão.

Para estimar a quantidade de energia elétrica e combustíveis fósseis utilizados na produção e na reciclagem dos materiais foram utilizados dados já utilizados na aferição dos resultados do Ecoelce, além de relatórios publicados por associações de fabricantes, institutos de pesquisa nacionais e internacionais, visitas a plantas industriais, anuários estatísticos, bem como dados da UNFCCC.

Certamente existirão variações de consumos entre indústrias que fabricam ou reciclam o mesmo tipo de material, pois os consumos dependem da tecnologia, da expertise e dos insumos empregados no processo. No entanto, apesar da complexidade e limitação das informações disponíveis, os dados aqui estimados são extremamente defensáveis, visto que foram extraídos da literatura técnica, além de complementados com visitas a algumas plantas industriais.

Além disso, o objetivo do modelo ora desenvolvido é servir de base para a proposição de programas que visem o estímulo à mudança de hábitos da sociedade em relação ao lixo e não tem o propósito de estabelecer padrões ou parâmetros entre indústrias do mesmo setor.

Nas seções a seguir são apresentadas as estimativas de consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis utilizados na produção e na reciclagem dos materiais, bem como as fontes das quais foram extraídos os dados. Também são apresentados e discutidos os fatores de emissão de CO₂ da energia elétrica gerada no Brasil, bem como os fatores de emissão dos combustíveis fósseis.

Os fatores de emissão compõem o cálculo da BE e da ER e definem o quanto cada kWh de eletricidade gerada no país e o quanto cada Joule de energia térmica gerado pela queima dos diversos combustíveis fósseis emitem de CO₂ na atmosfera.

4.2. Etapas para Construção do Modelo

4.2.1. Definição do Fator de Emissão de CO₂

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) calcula e divulga dois tipos de fatores de emissão de CO₂ para a energia elétrica gerada no Brasil: o primeiro para ser usado em projetos no âmbito do MDL (baseado em metodologias aprovadas pelo CE-MDL) e o segundo para ser usado na elaboração de inventários.

Os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica proveniente do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SIN) são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, em especial, nas usinas termoeletricas.

Os dois tipos de fatores de emissão de CO₂ são apresentados a seguir e, ao final, são analisados e discutidos, definindo-se qual deles melhor se enquadra ao objetivo proposto e será utilizado para a construção do modelo.

4.2.1.1. Fator de Emissão para projetos de MDL

Para obter a aprovação e registro, o projeto candidato ao MDL precisa cumprir uma série de exigências, dentre as quais seguir estritamente uma metodologia aprovada pelo CE-MDL. A metodologia ACM0002, que atualmente encontra-se em sua versão 12.3.0, foi consolidada e aprovada pelo CE-MDL, em setembro de 2004, com base em oito metodologias previamente aprovadas.

Segundo Reis (2009), essa metodologia determina que independente do tipo e escopo do projeto candidato ao MDL, se as suas atividades deslocam eletricidade gerada por centrais do sistema elétrico, a linha de base do projeto será calculada através do uso da ferramenta metodológica: *“Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema de eletricidade”*.

Essa ferramenta orienta como calcular o fator de emissão de CO₂ do sistema elétrico ou a linha de base que representa quanto da eletricidade gerada pelas usinas do sistema será deslocada com a entrada do projeto supostamente mitigador das emissões de GEEs (UNFCCC, 2009).

O deslocamento de eletricidade citado na ferramenta se refere à energia gerada pelas usinas do sistema que é substituída por aquela gerada pelas atividades do projeto, ou ainda, à economia da energia do sistema que é proporcionada pelas atividades do projeto.

A ferramenta, portanto, pode ser aplicada determinar as emissões da linha de base de projetos que geram energia menos poluente para rede elétrica ou para projetos que resultam em economia da energia que seria gerada pelas usinas conectadas à rede elétrica, como projetos de eficiência energética ou de reciclagem de RSU (UNFCCC, 2009).

- Identificação das Fronteiras do Projeto

O cálculo das emissões da linha de base deve ser feito para o sistema elétrico em que o projeto de MDL será implantado. O sistema elétrico do projeto é definido pelo conjunto de usinas que possam ser despachadas sem restrições significativas de transmissão (UNFCCC, 2009).

A ferramenta recomenda que se a AND delimita o sistema elétrico interligado, então essa delimitação deve ser usada. Se essa delimitação não estiver disponível, o proponente do projeto deve definir o sistema elétrico do projeto e o sistema elétrico conectado e justificar suas suposições no documento de concepção do projeto, que descreve o projeto em perspectiva e como este preenche os requisitos de validação do MDL.

Conforme Esparta (2008), no caso do Brasil, somente a interligação Sudeste-Centro-Oeste e Norte-Nordeste apresentava restrição à capacidade de transmissão e, portanto, as fronteiras dos subsistemas brasileiros considerados para efeito de fatores de emissão subdividiriam o SIN em dois subsistemas: Sul-Sudeste-Centro-Oeste e Norte-Nordeste. Vale ressaltar que a restrição identificada refere-se ao período entre 2002-2006.

Após a execução dos aumentos previstos na capacidade de transmissão entre os submercados, a CIMGC passou a considerar o SIN como sistema único. Assim, os fatores de emissões, que anteriormente eram calculados por subsistema, foram revistos, sendo os mesmos recalculados pelo MCT por essa nova configuração desde janeiro de 2006.

- Cálculo do Fator de Emissão

De acordo com a ferramenta citada, o cálculo o fator de emissão da energia gerada é realizado através do conceito de “Margem Combinada”. A Margem Combinada é calculada através de dois componentes: a “Margem de Operação” e a “Margem de Construção”.

A margem de operação é definida pelo conjunto de usinas existentes, cujas gerações podem ser afetadas com as atividades do projeto de MDL. Segundo o MCT, “A margem de

operação visa avaliar a contribuição (emissões) das usinas que seriam despachadas na ausência da geração do projeto” (BRASIL, 2008).

O fator de emissão da margem operacional é calculado com base nas energias geradas pelas usinas que estão operando na margem do sistema elétrico e nos seus respectivos fatores de emissão que refletem, em última instância, o montante de emissões que poderá ser deslocado com a entrada do projeto de MDL. As usinas despachadas na margem são aquelas que geram energia para atender aos picos de demanda do sistema, conforme Figura 4.2. Já a energia de base é aquela quantidade mínima despachada durante todas as horas do ano.

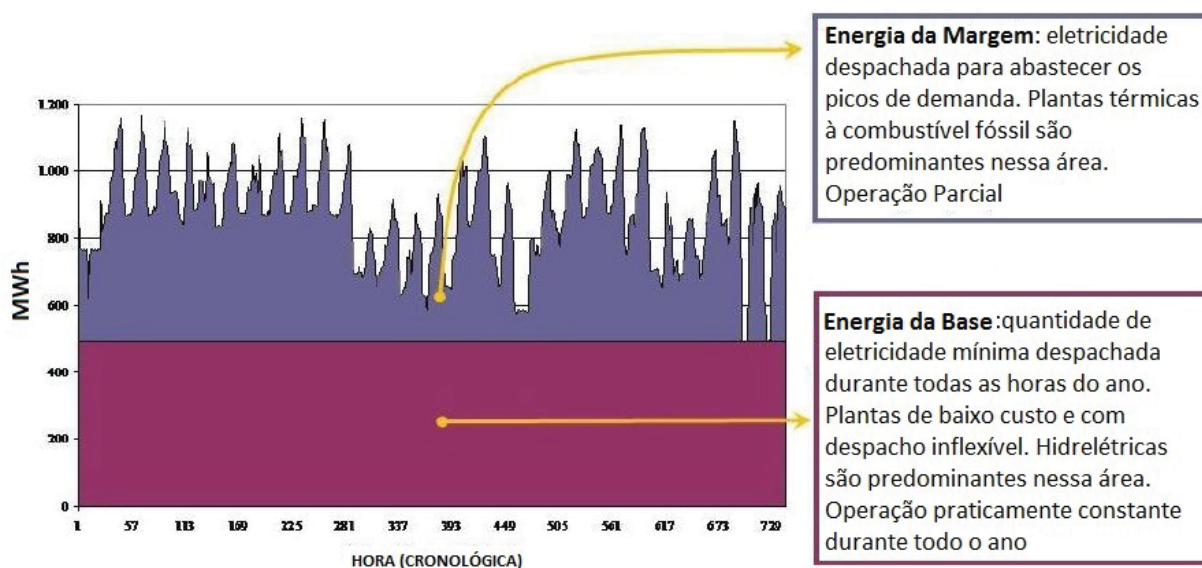


Figura 4.2 - Geração de Energia na Margem

Fonte: Esparta (2008)

De acordo com a ferramenta metodológica, existem diversos métodos para calcular a Margem de Operação. O MCT definiu o método da “Análise dos Dados do Despacho”, por ser o método mais acurado e, portanto, o mais recomendado quando estão disponíveis as informações necessárias.

O fator de emissão da Margem de Operação por análise dos dados de despacho é definido como a média ponderada dos fatores de emissão das usinas que compõem os 10% superiores da curva de prioridade de despacho e é calculado para cada hora (BRASIL, 2008). Dessa forma, pode ser consultado na página da internet do MCT o fator de emissão da margem de operação para cada hora de cada dia do ano.

Já a margem de construção se refere aos empreendimentos, cujas construções poderão ser afetadas com a implementação das atividades do projeto de MDL, ou seja, a margem de construção visa avaliar a contribuição (emissões) das usinas que seriam construídas caso o projeto não existisse (BRASIL, 2008).

O fator de emissão da Margem de Construção deve ser calculado como o fator de emissão médio ponderado do conjunto M de usinas mais recentemente construídas. O conjunto M é constituído pelas usinas mais recentes que compreendam 20% da geração anual do sistema, ou pelas 5 usinas mais recentes, no caso dessas serem responsáveis por mais de 20% da geração do sistema (BRASIL, 2008). Diferentemente do que ocorre com o fator da Margem de Operação, o fator de emissão da Margem de Construção é calculado e disponibilizado anualmente na página da internet do MCT.

Segundo Reis (2009), os empreendimentos registrados no MDL não devem ser incluídos no grupo de usinas que formarão a margem de construção, a menos que sejam despachados compulsoriamente pelo operador do sistema elétrico.

A margem combinada reflete o fator de emissão do sistema elétrico, sendo calculado pela média ponderada dos fatores da margem de operação e da margem de construção, conforme Equação (4.2). Os fatores de ponderação sugeridos na ferramenta são 0,5 para a OM e 0,5 para a BM. No entanto, os proponentes podem sugerir pesos distintos que serão avaliados pelo CE-MDL.

Os cálculos para essa margem combinada devem basear-se em dados de uma fonte oficial, de preferência o centro de despacho, como é o caso do ONS (BRASIL, 2008).

$$FC_y = WO_i * FO_y + (1 - WO_i) * BM_{sy} \quad (4.2)$$

Onde:

FC_y	Fator de emissão de linha de base associado à margem combinada no ano y (tCO ₂ eq/MWh)
WO_i	Valor de Ponderação da margem de operação para um projeto do tipo i (adimensional)
FO_y	Fator de emissão de linha de base associado à margem de operação no ano y (tCO ₂ eq/MWh)
BM_{sy}	Fator de emissão da margem de construção para o sistema s no ano y (tCO ₂ eq/MWh)

Os pesos podem variar em função das tecnologias de geração do projeto e do período de obtenção de créditos. Para projetos de energia eólica e solar, por exemplo, podem ser adotados os pesos 0,75 para a OM e 0,25 para a BM (MCT, 2007). Os pesos adotados devem ser fixados para um período de obtenção de créditos e podem ser revistos quando da sua renovação. Segundo Frondizi (2009), as regras do MDL preveem duas possibilidades de escolha de período de obtenção de créditos por parte dos participantes do projeto: (i) 7 anos, com no máximo duas renovações; ou (ii) 10 anos, sem possibilidade de renovação.

4.2.1.2. Fator de Emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional

Os fatores de emissão de CO₂ da energia elétrica gerada no Sistema Interligado Nacional têm como objetivo simplesmente estimar a quantidade de CO₂ emitida na atmosfera decorrente da geração de certa quantidade de energia elétrica nesse Sistema. Esse método calcula a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia no SIN e não somente aquelas que estejam funcionando na margem.

Se todos os consumidores de energia elétrica do SIN calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN. Nesse sentido, ele deve ser usado quando o objetivo for quantificar as emissões da energia elétrica que está sendo gerada em determinado momento. Ele serve, portanto, para inventários em geral, corporativos ou de outra natureza.

Esse fator, por ser destinado à elaboração de inventários e não à estimativa de redução de emissões, não considera deslocamentos de energia da margem. Também não considera o impacto das atividades de determinado projeto na construção de futuras usinas de geração para o SIN.

4.2.1.3. Conclusões sobre os Fatores de Emissão da Energia Elétrica

Conforme visto acima, a redução das emissões de CO₂ no SIN ocorre quando há um deslocamento da energia gerada na margem, em virtude a execução de projetos que geram energia mais limpa para o SIN ou que economizam energia do sistema, como é o caso do ECOELCE.

A geração/economia de energia do SIN causa uma alteração no despacho das usinas que operam na margem, as quais utilizam predominantemente combustíveis fósseis para gerar energia elétrica, não alterando o regime de operação das usinas que operam na base do sistema.

Portanto, após a análise dos dois fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no SIN publicados pelo MCT, conclui-se que para a construção do modelo proposto deve ser utilizado o fator de emissão de CO₂ da energia elétrica calculado de acordo com a ferramenta metodológica: *“Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema de eletricidade”*, aprovada pelo Conselho Executivo do MDL.

O fator de emissão publicado pelo MCT para a elaboração de inventários considera as emissões do SIN como um todo, inclusive as usinas da base da geração, a qual não é impactada pelas atividades do projeto. Essa metodologia de cálculo do fator de emissão não

tem como objetivo estimar a redução das emissões de CO₂ proporcionadas pelas atividades do projeto, apenas calcula as emissões de certo consumo de energia gerado no SIN em um dado momento.

Na Tabela 4.1 é apresentado o fator de emissão de CO₂ da energia elétrica referente ao ano de 2011 publicado pelo MCT e que é utilizado no modelo para calcular as emissões decorrentes do uso da energia elétrica na produção e reciclagem dos materiais. Para efeito de acompanhamento da variação desse fator, são apresentados os números de anos anteriores, também publicados pelo MCT em sua página na internet.

Tabela 4.1 - Fator de Emissão de CO₂ da Energia Elétrica Gerada no Brasil
Fonte: MCT (adaptado pelo autor)

ANO	MARGEM DE CONSTRUÇÃO	MÉDIA ANUAL DA MARGEM DE OPERAÇÃO	FATOR EMISSÃO (KgCO ₂ / KWh)
2008	0,1458	0,4766	0,3112
2009	0,0794	0,2476	0,1635
2010	0,1404	0,4787	0,3095
2011	0,1056	0,2920	0,1988

4.2.2. Cálculo dos Fatores de Emissão de CO₂ de Combustíveis Fósseis

Segundo a Resolução nº 382 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, o fator de emissão relaciona a massa de um poluente específico lançado na atmosfera com a quantidade específica de material ou energia processada, consumida ou produzida.

O fator de emissão de CO₂ por unidade de combustível fóssil consumido é calculado, conforme a Equação (4.3), com base no poder calorífico dos combustíveis e em fatores de emissão por unidade de energia (BRASIL, 2008).

$$FC_c = CE_c * FE_c * OX_c * \frac{44}{12} \quad (4.3)$$

Onde:

FC_c	Fator de emissão de CO ₂ por quantidade de combustível (U _c) c consumido (tCO ₂ /U _c)
CE_c	Conteúdo de energia por unidade de combustível (J/U _c)
FE_c	Fator de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível c (tC/J)
OX_c	Fator de oxidação do combustível (adimensional)
44/12	Correção da massa molecular de CO ₂ e Carbono

Os valores de conteúdo de energia por unidade de combustível (CE_c), dos fatores de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível (FE_c) e os fatores de oxidação dos combustíveis (OX_c) são apresentados na Tabela 4.2. São listados apenas os combustíveis utilizados na construção do modelo, os quais são empregados na produção e/ou reciclagem dos materiais.

Tabela 4.2 - Dados Combustíveis Fósseis
Fonte: EPE (2011); IPCC (2006)

COMBUSTÍVEL	UNIDADE	ENERGIA (TJ/Unidade)	Fator Emissão Carbono (tC/TJ)	Fator Oxidação
ÓLEO COMBUSTÍVEL	1.000 t	40,15	21,10	0,99
ÓLEO DIESEL	1.000 t	35,52	20,20	0,99
GÁS NATURAL	10 ⁶ m ³	36,84	15,30	0,995
LICOR NEGRO	1.000 t	11,97	26,00	0,99
MADEIRA	1.000 t	12,98	30,50	0,99

Através da utilização da Equação (4.3) e dos dados acima são calculados a seguir os fatores de emissão dos combustíveis fósseis considerados pelo modelo.

$$\begin{aligned}
 FC_{\text{óleo combustível}} &= 40,15 * 21,10 * 0,99 * 44/12 = \mathbf{3.075,21 \text{ tCO}_2/1000t} \\
 FC_{\text{óleo diesel}} &= 35,52 * 20,20 * 0,99 * 44/12 = \mathbf{2.604,54 \text{ tCO}_2/1000t} \\
 FC_{\text{gás natural}} &= 36,84 * 15,30 * 0,995 * 44/12 = \mathbf{2.056,39 \text{ tCO}_2/10^6 \text{ m}^3} \\
 FC_{\text{licor negro}} &= 11,97 * 26,00 * 0,99 * 44/12 = \mathbf{1.129,73 \text{ tCO}_2/1000t} \\
 FC_{\text{madeira}} &= 12,98 * 30,50 * 0,99 * 44/12 = \mathbf{1.437,08 \text{ tCO}_2/1000t}
 \end{aligned}$$

A metodologia AMS-III.AJ indica que os fatores de emissão dos combustíveis fósseis utilizados no cálculo da BE e da PE devem ser expressos em termos de quantidade de CO₂ por Joule. Dessa forma, os valores calculados acima são convertidos para quilograma de CO₂ por mega-joule (KgCO₂/MJ). Considerando, por exemplo, que 40,15 TJ de óleo combustível emitem 3.075,21 tCO₂ e que 1 TJ equivale a 10⁶ MJ, temos:

$$\begin{aligned}
 FC_{\text{óleo combustível}} &= 3.075,21 / 40,15 = 76,59 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \Rightarrow \mathbf{0,07659 \text{ KgCO}_2/\text{MJ}} \\
 FC_{\text{óleo diesel}} &= 2.604,54 / 35,52 = 73,32 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \Rightarrow \mathbf{0,07333 \text{ KgCO}_2/\text{MJ}} \\
 FC_{\text{gás natural}} &= 2.056,39 / 36,84 = 55,82 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \Rightarrow \mathbf{0,05582 \text{ KgCO}_2/\text{MJ}} \\
 FC_{\text{licor negro}} &= 1.129,73 / 11,97 = 94,38 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \Rightarrow \mathbf{0,09438 \text{ KgCO}_2/\text{MJ}} \\
 FC_{\text{madeira}} &= 1.437,08 / 12,98 = 110,72 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \Rightarrow \mathbf{0,11072 \text{ KgCO}_2/\text{MJ}}
 \end{aligned}$$

Os valores acima calculados serão utilizados para expressar a quantidade de CO₂ emitida pela queima de cada MJ dos combustíveis fósseis consumidos na produção e na reciclagem dos materiais que compõem o modelo.

Nota-se que o conteúdo de energia por unidade de combustível e o fator de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível são elementos de grande impacto quando se trata das emissões de GEEs decorrentes de sua utilização.

4.2.3. Emissões Decorrentes da Produção dos Materiais (BE)

Conforme a metodologia AMS-III.AJ, o cálculo das emissões decorrentes da produção dos materiais é realizado através da Equação (4.4). Como informado, as emissões da produção dos materiais correspondem às emissões da BE, onde são considerados os consumos de energia elétrica, combustíveis fósseis e seus respectivos fatores de emissão de CO₂.

$$BE = \sum_i [Q_i * L_i * (SEC_{BL,i} * EF_{el} + SFC_{BL,i} * EF_{FF,CO_2})] \quad (4.4)$$

Onde:

BE	Emissões da Linha de Base (tCO ₂ eq)
i	Índices para o tipo de material i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ para <i>PEAD, PEBD, PET, alumínio, metais, aço, vidro e papel/papelão</i>)
Q_i	Quantidade do material tipo i reciclado (t)
L_i	Fator de ajuste para compensar a degradação da qualidade do material e as perdas do material no processo de produção do produto final utilizando o material reciclado
$SEC_{BL,i}$	Consumo específico de energia elétrica para a produção do material virgem tipo i (MWh/t)
EF_{el}	Fator de emissão do grid de geração de eletricidade, de acordo com a versão mais recente da “ <i>Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema de eletricidade</i> ” (tCO ₂ eq/MWh)
$SFC_{BL,i}$	Consumo específico de combustíveis para a produção do material virgem do tipo i (GJ/t)
EF_{FF,CO_2}	Fator de emissão de CO ₂ para o combustível fóssil utilizado (tCO ₂ eq/GJ)

No caso das emissões da baseline do papel, poderiam ser consideradas também as emissões decorrentes da decomposição desse material nos lixões ou aterros sanitários, visto que a reciclagem evitaria sua ocorrência.

No entanto, o modelo aqui apresentado não considera tais emissões por três motivos principais. Primeiramente, o modelo visa apresentar uma abordagem conservadora quanto à redução das emissões proporcionada pela reciclagem. Além disso, busca-se evitar uma contagem em duplicidade, visto que tais emissões ocorrem apenas uma vez – quando da

decomposição do material – mas seriam contabilizadas inúmeras vezes caso a fórmula da BE as considerasse. Por último, o papel pode ser reciclado uma quantidade limitada de vezes, pois vai perdendo suas características a cada processo de reciclagem. Portanto, ao final de sua vida útil terá como destino provável a decomposição em um lixão ou aterro sanitário.

Logicamente existem outras maneiras de descarte desse material, evitando as emissões de metano na atmosfera. No entanto, como não há como garantir que tal descarte adequado vai ocorrer, o modelo adota uma abordagem conservadora quanto a esse aspecto, admitindo o pior cenário em relação às emissões.

A Tabela 4.3 apresenta os consumos de energia elétrica (em kWh) para produção de 1 tonelada de cada material. Tais valores são os mesmos que a Coelce utiliza atualmente na aferição dos ganhos energéticos do Programa Ecoelce.

Cabe destacar que as atividades do Ecoelce são financiadas com recursos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, cujo objetivo é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia (ANEEL, 2008). Os projetos financiados com recursos desse Programa são auditados para comprovar os ganhos energéticos que proporcionam.

Tabela 4.3 - Consumo de Energia Elétrica para Produção dos Materiais

FONTE	MATERIAL	SEC_{Bl} (kWh)
CALDERONI (2003)	PLÁSTICOS	6.740,00
CALDERONI (2003)	ALUMÍNIO	17.600,00
BIR (2008)	METAIS	2.777,78
CALDERONI (2003)	AÇO	6.840,00
CALDERONI (2003)	VIDRO	4.830,00
CALDERONI (2003)	PAPEL/PAPELÃO	4.980,00

Mais uma vez ressalta-se que certamente existirão variações de consumos entre indústrias que fabricam ou reciclam o mesmo tipo de material, pois os mesmos dependem da tecnologia, da expertise e dos insumos empregados no processo.

No entanto, apesar da complexidade e limitação das informações disponíveis, os dados aqui estimados são extremamente defensáveis, visto que foram extraídos de literatura técnica e relatórios de associações setoriais, além de complementadas com visitas a algumas plantas industriais.

Já na Tabela 4.4 são apresentadas as fontes pesquisadas e os consumos específicos de combustíveis fósseis (em MJ) utilizados para produção de 1 tonelada de cada material considerado pelo modelo.

Tabela 4.4 - Consumo de Combustíveis Fósseis para Produção dos Materiais

FONTE	MATERIAL	COMBUSTÍVEL	SFC_{BI} (MJ)
UNFCCC (2011)	PLÁSTICOS	GÁS NATURAL	15.000,00
IPEA (2010)	ALUMÍNIO	ÓLEO COMBUSTÍVEL	24.974,07
BIR (2008)	METAIS	---	---
IPEA (2010)	AÇO	ÓLEO COMBUSTÍVEL	250,48
		ÓLEO DIESEL	41,71
BRASIL (2011b)	VIDRO	GÁS NATURAL	8.025,60
BRACELPA (2010)	PAPEL/PAPELÃO	GÁS NATURAL	9.550,00
		ÓLEO COMBUSTÍVEL	2.123,00
		LICOR NEGRO	22.122,00

Vlachopoulos (2009) e EPA (2006), afirmam que o processo de reciclagem implica em perdas de materiais e o rendimento não é de uma tonelada de material reciclado a cada tonelada de sucata/resíduo que entra no processo de reciclagem.

Por esse motivo, o cálculo das emissões da BE se vale de um fator de ajuste (Li) para compensar as perdas no processo de reciclagem e a degradação da qualidade do material. O modelo aqui proposto utiliza os fatores de ajuste apresentados na Tabela 2.5.

Conforme explicado na seção 4.1, as dificuldades na obtenção de dados desagregados de produção e reciclagem do papel branco, misto, jornal e papelão fizeram com que esses materiais fossem agrupados no grupo papel/papelão. Também conforme citado, por ser o material mais abundantemente coletado no Ecoelce, e por isso ser o mais representativo da categoria, o fator de ajuste empregado no modelo para essa categoria é o do papelão.

Abaixo são apresentados os cálculos das emissões da BE decorrentes da produção de 1 tonelada dos materiais considerados pelo modelo, expressas em quilogramas de CO₂ equivalente (KgCO₂eq).

Conforme indicado pela Equação (4.4) são utilizados para esse cálculo as quantidades de energia elétrica e combustíveis fósseis consumidos no processo, bem como os fatores de emissão de CO₂ desses insumos, cujos cálculos e valores são apresentados e detalhados nas seções 4.1.1 e 4.1.2.

$$BE_{\text{PLÁSTICO}} = 0,75 * [(6.740,00 * 0,1988) + (15.000,00 * 0,05582)] = \mathbf{1.632,91}$$

$$BE_{\text{ALUMÍNIO}} = 0,93 * [(17.600,00 * 0,1988) + (24.974,07 * 0,07659)] = \mathbf{5.032,83}$$

$$BE_{\text{METAIS}} = 0,81 * [(2.777,78 * 0,1988) + (0,00 * 0,00)] = \mathbf{447,30}$$

$$BE_{\text{AÇO}} = 0,98 * [(6.840,00 * 0,1988) + (250,48 * 0,07659) + (41,71 * 0,07333)] = \mathbf{1.354,39}$$

$$BE_{\text{VIDRO}} = 0,88 * [(4.830,00 * 0,1988) + (8.025,60 * 0,05582) + (9.550,00 * 0,05582)] = \mathbf{1.239,21}$$

$$BE_{\text{PAPEL}} = 0,93 * [(4.980,00 * 0,1988) + (2.123,00 * 0,07659) + (22.122,00 * 0,09438)] = \mathbf{3.509,43}$$

Dentre as emissões de CO₂ equivalente para produção desses materiais, destacam-se a da indústria do alumínio e do papel/papelão, as quais emitem grande quantidade de poluentes devido aos altos consumos de energia elétrica e combustíveis fósseis, quando comparados com os quantitativos utilizados para produção dos demais materiais.

4.2.4. Emissões Decorrentes da Reciclagem dos Resíduos (ER)

O cálculo das emissões decorrentes da reciclagem dos materiais é realizado através da Equação (4.5). Conforme indicado pela metodologia AMS-III.AJ, as emissões da reciclagem também são calculadas em função do consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis utilizados no processo, bem como seus respectivos fatores de emissão de CO₂.

Para calcular as emissões decorrentes da reciclagem dos resíduos (ER), é realizada uma adaptação da Equação (2.3), definida pela metodologia AMS-III.AJ para calcular as emissões dos projetos de reciclagem registrados no MDL. Os aspectos que necessitaram ser adaptados foram:

- a) Por não se tratar de um projeto específico, passa a ser considerada a quantidade do material reciclado (Q_i);

- b) Passam a ser considerados os consumos específicos de energia elétrica (SEC_i) e de combustíveis fósseis (SFC_i) para reciclagem dos materiais;
- c) Uma vez que o cálculo dos fatores de emissão dos combustíveis fósseis já leva em consideração o poder calorífico dos mesmos, não se torna necessária a utilização desse elemento no cálculo das emissões da reciclagem.

A Equação (4.5) é apresentada a seguir contemplando as adaptações comentadas acima.

$$ER = \sum_i Q_i * (SEC_i * EF_{el} + SFC_i * EF_{FF,CO_2}) \quad (4.5)$$

Onde:

ER	Emissões decorrentes da reciclagem do material i (tCO ₂ eq)
i	Índices para o material tipo i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ para <i>PEAD, PEBD, PET, alumínio, metais, aço, vidro e papel/papelão</i>)
Q_i	Quantidade do material tipo i reciclado (t)
SEC_i	Consumo específico de energia elétrica da unidade de reciclagem proporcional ao material tipo i (MWh/t)
EF_{el}	Fator de emissão do grid de geração de eletricidade, de acordo com a versão mais recente da “ <i>Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema de eletricidade</i> ” (tCO ₂ eq/MWh)
SFC_i	Consumo específico de combustíveis da unidade de reciclagem proporcional ao material tipo i (unidade de massa ou volume/t)
EF_{FF,CO_2}	Fator de emissão de CO ₂ para o combustível fóssil consumido na unidade de reciclagem (tCO ₂ /GJ)

A Tabela 4.5 apresenta os consumos de energia elétrica (em kWh) para reciclagem de 1 tonelada de cada material. Assim como no cálculo das emissões da produção dos materiais, são apresentados os mesmos valores utilizados pela Coelce na aferição dos ganhos energéticos do Ecoelce, os quais conforme citado, são auditados pela ANEEL para comprovação dos benefícios do programa.

Tais ganhos são auferidos, pois os recursos que financiam os Programas de Eficiência Energética das concessionárias são incluídos no custo da tarifa de distribuição de energia elétrica. Portanto, todos os consumidores do SIN pagam um certo valor na fatura de energia para que as concessionárias implementem essas ações e revertam esses recursos em benefícios do consumidor, incentivando a adoção de práticas eficientes quanto ao uso da energia elétrica.

Tabela 4.5 - Consumo de Energia Elétrica para Reciclagem dos Materiais

FONTE	MATERIAL	SEC_{Bl} (kWh)
CALDERONI (2003)	PLÁSTICOS	1.440,00
CALDERONI (2003)	ALUMÍNIO	700,00
BIR (2008)	METAIS	35,83
CALDERONI (2003)	AÇO	1.780,00
CALDERONI (2003)	VIDRO	4.190,00
CALDERONI (2003)	PAPEL/PAPELÃO	1.470,00

Percebe-se que foram utilizados dados de visitas técnicas em relação aos consumos de vidro e do papel/papelão. As justificativas para tal são apresentadas a seguir.

Com relação ao vidro, não foram encontrados na literatura técnica mais recente dados relativos ao consumo de energia e combustíveis fósseis utilizados em sua reciclagem. Apesar de os fabricantes de vidro se enquadrarem na indústria de minerais não metálicos e poderem ser classificados como eletro-intensivos, o Balanço Energético Nacional (BEN) não lhes dá um tratamento individualizado, como faz com outros segmentos eletro-intensivos do segmento de minerais não metálicos, como, por exemplo, os produtores de cerâmicas e de cimento (LEITE, 2010).

Além disso, as associações setoriais como a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO, 2007) também não publicam tais dados de forma desagregada. (LEITE, 2010).

Com relação a reciclagem do papel/papelão, também não se dispõe na literatura técnica mais recente de dados sobre o consumo de energia elétrica e combustíveis fósseis para realização desse processo. Assim como acontece em relação ao vidro, as associações setoriais como a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELA, 2010) ou a Associação Brasileira das Indústrias Recicladoras de Papel (ABIRP) não publicam tais dados de forma desagregada.

Diante das dificuldades para obtenção das informações relativas à reciclagem do vidro, são apresentadas estimativas obtidas durante visita a uma das plantas industriais da Owens-Illinois, maior fabricante de embalagens de vidro do mundo. Pelo porte e pela tecnologia empregada na empresa, os valores ali obtidos podem ser considerados como benchmark mundial do setor e perfeitamente aplicáveis ao modelo aqui proposto.

Fonte semelhante foi utilizada para coleta dos dados relativos à reciclagem do papel/papelão, sendo realizada uma visita a uma planta industrial de um dos maiores fabricantes de papel/papelão do Brasil e do mundo, a qual não autorizou a publicação de seu nome no presente trabalho.

Na Tabela 4.6 são apresentadas as fontes pesquisadas e os valores dos combustíveis fósseis (em MJ) utilizados para reciclagem de 1 tonelada de cada material considerado pelo modelo.

Tabela 4.6 - Consumo de Combustíveis Fósseis para Reciclagem dos Materiais

FONTE	MATERIAL	COMBUSTÍVEL	FC_i (MJ)
UNFCCC (2011)	PLÁSTICOS	---	---
IPEA (2010)	ALUMÍNIO	---	---
BIR (2008)	METAIS	---	---
IPEA (2010)	AÇO	---	---
VISITA TÉCNICA	VIDRO	GÁS NATURAL	2.527,00
VISITA TÉCNICA	PAPEL/PAPELÃO	GÁS NATURAL	5.242,33

Através do uso da Equação (4.5), são calculadas as emissões decorrentes da reciclagem de 1 tonelada de cada um dos materiais considerados pelo modelo, expressas em quilogramas de CO₂ equivalente (KgCO₂eq).

$$\begin{aligned}
 BE_{\text{PLÁSTICOS}} &= [(1.440,00 * 0,1988) + (0,00 * 0,00)] = 286,27 \\
 BE_{\text{ALUMÍNIO}} &= [(700,00 * 0,1988) + (0,00 * 0,00)] = 139,16 \\
 BE_{\text{METAIS}} &= [(35,83 * 0,1988) + (0,00 * 0,00)] = 7,12 \\
 BE_{\text{AÇO}} &= [(1.780,00 * 0,1988) + (0,00 * 0,00)] = 353,86 \\
 BE_{\text{VIDRO}} &= [(4.190,00 * 0,1988) + (2.527,00 * 0,05582)] = 974,03 \\
 BE_{\text{PAPEL}} &= [(1.470,00 * 0,1988) + (5.242,33 * 0,05582)] = 584,86
 \end{aligned}$$

Dentre os materiais que menos emitem gases do efeito estufa durante seu processo de reciclagem estão os metais, seguido pelo alumínio, aço e os plásticos em geral. Percebe-se que

o processo de reciclagem envolve, na maioria dos materiais, apenas consumo de energia elétrica.

Essa característica decorre do fato de grande parte dos processos de reciclagem dos materiais envolverem apenas atividades como lavagem, prensagem, trituração, fundição, dentre outros, que costumam ser realizados por máquinas movidas à energia elétrica. Os demais processos de reciclagem são de origem físico-química, os quais não demandam uso de energéticos.

4.3. Considerações sobre o Modelo de Valoração Ambiental da Reciclagem dos Resíduos

Conforme descrito na seção 4.1, o modelo proposto visa relacionar a reciclagem dos principais resíduos sólidos urbanos brasileiros à redução de emissões de CO₂ proporcionada por esse processo. O processo de reciclagem reintroduz o material na cadeia produtiva, gerando economia de energia e combustíveis, preservando o meio ambiente.

Cabe ressaltar que o termo “valoração ambiental” é aqui empregado não no sentido tradicionalmente encontrado na literatura - que é o de valoração econômica dos recursos naturais - mas sim no sentido de valorar os benefícios da reciclagem para o meio ambiente, em termos de emissões evitadas de GEEs.

Em outras palavras, o modelo busca representar a importância, o benefício da reciclagem de cada material para a redução da poluição atmosférica, para a preservação dos recursos naturais e para o meio ambiente.

Uma vez calculadas as emissões decorrentes da produção (BE) e da reciclagem (ER) dos materiais elencados pelo modelo é possível então estabelecer as emissões de CO₂eq evitadas através dessa ação. Conforme descrito nas seções anteriores, as emissões dos processos acima foram calculadas utilizando-se os quantitativos de energia elétrica e combustíveis fósseis encontrados na literatura técnica e através de visitas a plantas industriais.

Tais dados podem e devem ser revistos ao longo do tempo, visto que novas tecnologias são constantemente desenvolvidas visando a eficiência energética do processo e a redução do consumo de combustíveis fósseis. Além disso, ao longo do tempo são aperfeiçoados e modificados também os próprios processos produtivos e as matérias-primas empregadas, gerando variações na quantidade empregada desses insumos.

A Tabela 4.7 sintetiza o modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos, com base na redução das emissões de CO₂ que sua reciclagem proporciona

ao meio ambiente. Os dados são apresentados em quilograma de CO₂ equivalente por tonelada de material (KgCO₂eq/t).

Tabela 4.7 - Modelo de Valoração Ambiental dos Resíduos

MATERIAL	BE (a)	ER (b)	RE (a-b)
PLÁSTICOS	1.632,91	286,27	1.346,64
ALUMÍNIO	5.032,83	139,16	4.893,67
METAIS	447,30	7,12	440,18
AÇO	1.354,39	353,86	1.000,53
VIDRO	1.239,21	974,03	265,18
PAPEL	3.509,43	584,86	2.924,57

Observa-se que o alumínio é o material cuja reciclagem mais contribui para a redução de emissões de CO₂. Tal fato deriva do alto consumo energético para sua produção, ao mesmo tempo em que sua reciclagem demanda poucos recursos energéticos para ser realizada.

Os resultados do modelo acima demonstram a importância de se avaliar a prática da reciclagem considerando todas as suas variáveis energéticas, tanto o consumo de energia elétrica como o de combustíveis fósseis. Normalmente apenas o primeiro aspecto é avaliado, sendo ressaltados os ganhos obtidos nessa esfera, enquanto que os demais consumos não são avaliados.

Fica claro que, em termos de redução de emissões de GEEs, os benefícios esperados não são obtidos reduzindo-se apenas o consumo de energia elétrica com a reciclagem dos resíduos. É necessário que o consumo de combustíveis fósseis também seja reduzido, garantindo assim que a reciclagem contribua efetivamente para a preservação do meio ambiente.

4.4. Proposta de Criação do Programa Conta Verde

Com base nos dados do modelo de valoração ambiental da reciclagem de RSU aqui apresentado, diversos programas ambientais e iniciativas de coleta seletiva e reciclagem podem ser implementadas pelos governos municipais e pela iniciativa privada.

O presente trabalho propõe a criação de um programa complementar ao Ecoelce, lançado em 2007 pela Coelce e que tem como objetivo incentivar a população cearense a realizar a coleta seletiva de resíduos e a prática da reciclagem.

Para tanto, a distribuidora oferece descontos na conta de energia mediante a entrega dos resíduos coletados, gerando benefícios sociais, ambientais e econômicos à sociedade. Além de preservar o meio ambiente, melhorar o aproveitamento dos aterros sanitários e reduzir o volume de resíduos descartados inadequadamente, o Ecoelce se caracteriza como mais uma fonte de renda para a população, contribuindo para a redução da inadimplência e melhoria da qualidade de vida da população.

O Programa Conta Verde seria voltado apenas para os clientes residenciais e teria como objetivo criar mais um estímulo à participação no Ecoelce, visto que para determinada parcela da população o desconto oferecido na conta de energia não se configura como atrativo suficiente. Tal fato é também potencializado pelo crescimento econômico do país e o consequente aumento da renda da população.

A primeira etapa para implantação do Programa Conta Verde seria incluir na fatura de energia elétrica do cliente a quantidade de CO₂ emitida em decorrência do seu consumo de mensal energia. Tal emissão pode ser calculada de acordo com o fator de emissão da energia elétrica gerada no Brasil, descrito na seção 4.2.1.

Seria utilizado o fator de emissão para projetos de MDL, que de acordo com o MCT, foi de 0,1988 KgCO₂eq/kWh no ano de 2011. Dessa forma, o cliente que consumisse 100 kWh/mês estaria emitindo na atmosfera 19,88 KgCO₂eq. Essa seria, portanto, a quantidade de CO₂eq a ser neutralizada pelo cliente para que o mesmo se torne um “cliente verde”.

A neutralização das emissões por parte do cliente seria alcançada através da entrega de resíduos ao Ecoelce, utilizando o modelo aqui proposto como base para o cálculo da redução de emissões.

A sistemática de operação do Conta Verde não alteraria as atividades atualmente realizadas pelos clientes para receber os descontos na fatura de energia, as quais são: a separação do lixo e a sua posterior entrega em um posto de coleta do Ecoelce.

No posto de coleta, o material é pesado e os bônus são creditados na conta do cliente. No entanto, o extrato da operação discriminaria não só o peso dos materiais e os valores monetários creditados na fatura do cliente, mas também as emissões evitadas de CO₂eq proporcionada pela reciclagem dos resíduos entregues. A Figura 4.3 ilustra como seria a inserção dessa informação no extrato atual do Ecoelce.

ecoelce
Trabalhamos com você para reduzir o consumo de energia

DOCUMENTO DE PUNTO

Ponto: WILSON LIMA - RUA 26
Data de Abertura: 26/07/2012 07:52:40
Data de Fechamento: 26/07/2012 17:00:40

RESUMO GERAL

VALOR TOTAL PRESTADO: R\$ 72,23
QUANTIDADE DE OPÇÕES: 100
Peso: 110,000
Volume: 3,000
Medidas: 01,000

redução de emissões de CO2: 1,34 Kg

DETALHAMENTO POR RESÍDUO

Descrição	Qtz	Valor
PAPÉ COLADO	110,000	1,00
COLOREDO	01,000	2,73
PAPÉ DADO	0,000	0,00
PAPÉ DÓ	10,000	1,00
PAPÉ ALUMINIO	13,400	12,00
PAPÉ DADO	2,000	0,00
PAPÉ	3,000	0,00
PAPÉ DÓ	0,000	0,00
PAPÉ DADO	132,500	10,00
PAPÉ DADO	07,400	0,00
PAPÉ DADO	01,000	0,00
PAPÉ DADO	110,000	0,00
PAPÉ	20,000	0,00
PLÁSTICO FOLHA	00,000	0,00
PAPÉ DADO DADO	01,000	0,00
PAPÉ DADO	0,000	0,00

Figura 4.3 - Extrato de Entrega de Recicláveis ao Ecoelce

Fonte: Esta Pesquisa

Para tanto, a estrutura e os valores do modelo aqui proposto teriam de ser integrados ao sistema informatizado que suporta a operacionalização do Ecoelce. Além disso, a fatura de energia discriminaria não só as emissões decorrentes do consumo de energia no mês, como também a quantidade de CO₂ neutralizada pelo cliente através das entregas de recicláveis ao Ecoelce.

A distribuidora de energia poderia avaliar a concessão de prêmios aos clientes que conseguissem neutralizar 100% de suas emissões de CO₂ decorrentes do consumo mensal de energia, bem como imprimir e entregar a fatura na cor verde. Dessa forma, os “clientes verdes” seriam identificados pelos familiares, amigos e vizinhos, incentivando-os a também adotar medidas de preservação do meio ambiente, sendo uma delas a participação ativa no Ecoelce.

O Conta Verde auxiliaria também a solucionar uma das maiores dificuldades do Ecoelce, visto que não só motivaria o cadastramento de um maior número de clientes - inclusive os das classes mais abastadas - como também ajudaria na retenção dos participantes, que estariam sempre motivados buscando neutralizar suas emissões mensais de CO₂.

O programa aqui proposto também auxiliaria no trabalho de conscientização da população acerca dos benefícios ambientais da reciclagem, uma vez que boa parte dos participantes do Ecoelce enxerga o programa apenas como forma de complementação da renda.

Através da implantação do Programa Conta Verde, a Coelce inovaria em suas práticas socioambientais, compartilhando a responsabilidade pela redução das emissões de GEEs com a população, que passaria a dispor de uma nova ferramenta para exercer de forma ativa seu papel na luta contra as mudanças climáticas.

4.5. Aplicação Piloto do Modelo e do Programa Conta Verde

De forma a demonstrar a viabilidade da aplicação do modelo de valoração da reciclagem de RSU e do potencial de implantação do Programa Conta Verde são apresentados nesta seção os resultados de uma simulação realizada com base em dados históricos do Programa Ecoelce.

Foram utilizados dados relativos aos resíduos coletados durante os meses de junho, julho e agosto de 2012. Nestes meses, a operação do Ecoelce se desenvolveu de forma corriqueira, não havendo fatores que alterassem significativamente seus quantitativos de coleta de resíduos recicláveis.

Na Tabela 4.8 é apresentado o número de clientes que compareceu aos postos de coleta e realizou a entrega de resíduos, recebendo descontos na conta de energia. Os descontos concedidos aos clientes não são aqui discriminados, pois esse não é o foco da aplicação piloto do modelo.

Tabela 4.8 - Número de clientes que participaram do Ecoelce nos meses da pesquisa

MÊS/ 2012	Nº DE CLIENTES
JUNHO	2.979
JULHO	3.464
AGOSTO	3.077

Os dados utilizados nessa aplicação piloto compreendem:

- a) Identificação do cliente através do número do contrato de fornecimento de energia com a concessionária;
- b) Quantidade, em Kg, de cada tipo de resíduo entregue pelo cliente ao Ecoelce;
- c) Consumo de energia elétrica do cliente no mês de referência.

Através dos dados acima e do modelo apresentado neste trabalho é possível estimar a quantidade de CO₂ que deixou de ser emitida na atmosfera em função das ações de reciclagem promovidas pelo Programa Ecoelce.

O cálculo de tal estimativa é realizado de forma simples e direta, multiplicando-se a quantidade de cada tipo de resíduo pelo respectivo valor ambiental de sua reciclagem, conforme dados do modelo apresentados na Tabela 4.7

É apresentada na Tabela 4.9 a quantidade, em Kg, de cada tipo de resíduo coletado pelo Programa Ecoelce nos meses supracitados. Como é possível observar, o quantitativo de resíduos coletados nos três meses considerados totalizou mais de 430 mil Kg, montante bastante significativo, quando observado o pequeno período de tempo da coleta de dados.

Tabela 4.9 - Quantidade em Kg de resíduos coletados pelo Ecoelce nos meses da pesquisa

MESES 2012	PLÁSTICOS	ALUMÍNIO	AÇO	METAIS	VIDRO	PAPEL/PAPELÃO	TOTAL (Kg)
JUNHO	28.320,70	2.480,24	4.634,32	20.232,58	11.800,29	58.397,10	125.865,23
JULHO	32.463,84	3.053,21	5.374,54	22.323,17	15.436,27	78.075,38	156.726,41
AGOSTO	33.173,90	2.579,63	2.127,24	22.712,85	15.092,69	75.015,09	150.701,40
TOTAL	93.958,44	47.984,63	8.113,08	12.136,10	65.268,60	42.329,25	433.293,04

Percebe-se que, em relação ao peso, o grupo do papel/papelão representa aproximadamente 49% de todo material coletado pelo Ecoelce nos três meses considerados por essa simulação. Em seguida aparece o grupo dos plásticos, cujo peso representa cerca de 22% do material coletado no período, seguido do grupo dos metais, vidro, aço e alumínio.

Com base no modelo de valoração aqui apresentado, a Tabela 4.10 apresenta a estimativa da quantidade de CO₂eq, em Kg, que deixou de ser emitida na atmosfera devido às ações de reciclagem promovidas pelo Programa Ecoelce.

Tabela 4.10 - Emissões evitadas devido às ações do Programa Ecoelce

MATERIAL	PLÁSTICOS	ALUMÍNIO	AÇO	METAIS	VIDRO	PAPEL/ PAPELÃO	TOTAL
QUANTIDADE COLETADA (em t)	93,96	8,11	12,14	65,27	42,33	211,49	433,29
VALOR AMBIENTAL DA RECICLAGEM (KgCO ₂ /t)	1.346,56	4.893,41	1.000,43	440,13	265,18	2.924,50	---
EMISSIONES EVITADAS (KgCO ₂)	126.520,31	39.700,64	12.141,30	28.726,75	11.224,75	618.496,37	836.810,12

A simulação piloto da aplicação do modelo mostra que em apenas três meses de atividades do Programa Ecoelce, aproximadamente 836 toneladas de dióxido de carbono deixaram de ser emitidas na atmosfera, comprovando os excelentes resultados do programa para a sociedade e para o meio ambiente.

Para que se possa ter uma ideia da dimensão deste número, um estudo da ONG Iniciativa Verde sobre emissões de CO₂ estima que cada pessoa percorre cerca de 850 quilômetros por mês. Realizando esse deslocamento em um carro popular, com motor até 1.4, seriam emitidas aproximadamente 1,55 toneladas de CO₂ na atmosfera. Dessa forma, o Ecoelce neutralizaria as emissões mensais de cerca de 180 carros populares. A empresa estaria compensando, por exemplo, todas as emissões mensais de sua frota de automóveis.

Através da utilização do modelo, a Coelce pode mensurar e dar visibilidade aos resultados do Programa Ecoelce, incentivando ainda mais a participação popular e recebendo o reconhecimento da sociedade pelos benefícios decorrentes dessa ação.

4.5.1. Simulação dos Resultados do Programa Conta Verde

Através dos dados coletados na base histórica do Ecoelce torna-se possível também a simulação dos resultados do Programa Conta Verde, caso o mesmo estivesse em operação nos meses de junho, julho e agosto de 2012.

Para realização da simulação, foram calculadas primeiramente as emissões de CO₂ decorrentes do consumo mensal de energia elétrica de cada cliente individualmente. Esse cálculo é realizado multiplicando o consumo mensal de energia do cliente, em kWh, pelo fator de emissão da energia elétrica gerada no Brasil, que em 2012 foi de 0,1988, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Em seguida, foram calculadas as emissões de CO₂ que esse mesmo cliente conseguiu neutralizar através da entrega de resíduos nos postos de coleta do Ecoelce no período considerado. Para tanto, multiplicou-se a quantidade de cada tipo de resíduo entregue pelo valor ambiental de sua reciclagem, apresentado na Tabela 4.7.

Ao final, foram comparadas as emissões decorrentes do consumo mensal de energia do cliente com a quantidade de CO₂ neutralizada pelo cliente através da entrega de resíduos ao Ecoelce.

Os resultados mostram que aproximadamente 62% dos clientes conseguiriam neutralizar suas emissões e poderiam ser reconhecidos como “clientes verdes” em relação às emissões do consumo de energia elétrica.

Segmentando os clientes por faixa de consumo, percebe-se que 94% dos clientes que consomem entre 0 e 30 kWh/mês neutralizariam suas emissões de CO₂. Já entre os clientes que consomem de 31 a 100 kWh/mês, esse percentual seria de 75%. Entre os que consomem de 101 a 220 kWh/mês, 58%. Entre os que consomem de 221 a 360 kWh/mês, 38%. Entre 361 e 500 kWh/mês, 22%. Por fim, dentre aqueles que consomem mais de 500 kWh/mês, esse percentual seria de 21%.

Percebe-se, portanto, que o Programa Conta Verde tem o potencial de não só atrair um maior número de clientes em busca da neutralização de suas emissões de CO₂, como também de incrementar a quantidade de resíduos coletados pelo Ecoelce.

Essa afirmação pode ser deduzida pela quantidade de clientes que atualmente não estariam neutralizando suas emissões e buscariam reciclar uma quantidade maior de resíduos para alcançar esse objetivo.

Além disso, os clientes da distribuidora que atualmente não participam do Ecoelce podem ser sentir mais motivados e atraídos por essa nova sistemática do programa, que é permitir ao cliente a neutralização das emissões de CO₂ decorrentes do consumo mensal de energia elétrica.

Tal suposição se aplicaria particularmente àqueles clientes mais abastados, cujos descontos atualmente oferecidos não se configuram como atrativo suficiente para participação no Ecoelce.

4.6. Considerações Finais do Capítulo

O modelo de valoração ambiental da reciclagem relaciona cada resíduo à redução das emissões de GEEs que a sua reciclagem proporciona. Conforme explicitado, essa valoração não está relacionada ao valor do material em si, mas sim aos benefícios de sua reciclagem para o meio ambiente, em termos de redução de emissões de GEEs.

O modelo de valoração da reciclagem é apresentado neste Capítulo, assim como as etapas percorridas para sua elaboração. Primeiramente, foi necessário definir qual o fator de emissão de CO₂ da energia elétrica gerada no Brasil seria utilizado, visto que o MCT publica dois fatores para usos distintos. Em seguida, foram realizados os cálculos para definição do fator de emissão de CO₂ de combustíveis fósseis, como o gás natural, óleo diesel, madeira e lixo.

Finalmente foram pesquisados os consumos de energia elétrica e combustíveis fósseis utilizados para produção e reciclagem dos materiais que integram o modelo. Apesar da complexidade e limitações das informações disponíveis, os dados apresentados são inteiramente defensáveis, pois foram extraídos da literatura técnica, além de relatórios setoriais e publicações oficiais do governo. Em alguns casos, os dados ainda foram complementados através de visitas a plantas industriais.

Cumpridas as etapas necessárias para a formulação do modelo, tornou-se possível relacionar a reciclagem dos materiais e as emissões de CO₂ evitadas através dessa prática. Conforme exposto, a reciclagem do alumínio apresenta os maiores benefícios e em termos de redução de emissões de CO₂, seguido pelo grupo do papel/papelão, plásticos, aço, metais e, por último, o vidro.

Adicionalmente, sugere-se uma aplicação para o modelo através da criação de um programa complementar ao Ecoelce, conferindo ao mesmo uma abordagem ambiental em detrimento a uma visão estritamente financeira. O programa proposto, o “Conta Verde” informaria ao cliente as emissões geradas em decorrência do seu consumo de energia mensal e o incentivaria a neutralizar tais emissões através da reciclagem de resíduos do Ecoelce.

Ainda no presente Capítulo foi realizada uma aplicação piloto do modelo e do Conta Verde com as informações dos últimos três meses do banco de dados do Ecoelce. A aplicação piloto demonstrou que devido às ações do programa, cerca de 836 toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidas na atmosfera e que 62 % dos clientes conseguiriam neutralizar suas emissões decorrentes do consumo mensal de energia elétrica.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O presente trabalho teve como objetivo propor um modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos, visando mensurar os benefícios dessa prática em termos de emissões evitadas de GEEs.

Diversos trabalhos e artigos já foram publicados sobre os benefícios da reciclagem para o meio ambiente, destacando a economia de energia e recursos proporcionados por essa prática. No entanto, poucos são os trabalhos que traduzem os benefícios dessa prática em termos de redução de emissões de CO₂ na atmosfera.

Tal relação se reveste de grande relevância, uma vez que os estudos do IPCC apontam que o aquecimento global, observado nas últimas décadas e causador de uma série de catástrofes ambientais, está diretamente relacionado às emissões antrópicas de gases do efeito estufa. Não por acaso, os principais acordos climáticos globais estão relacionados à redução e limitação de emissões de GEE por parte dos países industrializados, fato que motivou inclusive a criação de um comércio mundial de emissões, que movimentava bilhões de dólares anualmente, conforme apresentado pela presente pesquisa.

Portanto, o modelo proposto traduz os benefícios da reciclagem dos típicos resíduos sólidos descartados nas grandes cidades brasileiras. Resíduos estes que são produzidos em quantidades cada vez maiores pela sociedade moderna, aumentando - em uma proporção ainda maior - os custos e os problemas associados à sua gestão.

Os dados apresentados pelo presente trabalho mostram que cerca de 7 milhões de toneladas de resíduos sequer foram coletados no Brasil em 2010, sendo descartadas inadequadamente nos rios, nascentes d'água, encostas, etc. A implementação da PNRS auxilia significativamente na melhoria desse cenário, mas por si só não garante que sejam alcançados os resultados necessários.

A solução para esse problema não passa pela implementação de ações isoladas e pontuais, mas sim por uma série de ações integradas envolvendo o setor público e privado. Esses atores devem lançar mão de ferramentas e técnicas avançadas de gestão, mas também da criatividade e imaginação, promovendo iniciativas que gerem benefícios para a população, ao mesmo tempo em que auxiliam na coleta e destinação adequada dos resíduos.

O Programa Ecoelce é um exemplo de iniciativas deste tipo. Trocando resíduos recicláveis por bônus na conta de energia a Coelce contribui para a redução do volume de resíduos encaminhados aos lixões, preserva o meio ambiente e gera renda para a população,

reduzindo a inadimplência e os furtos de energia. Programas dessa natureza refletem como a criatividade pode fazer a diferença em um cenário de limitação de recursos e baixo nível de educação e consciência ambiental de boa parte da população.

O modelo proposto pela presente pesquisa permite a mensuração dos benefícios ambientais do Programa Ecoelce ao mesmo tempo em que gera diversas possibilidades para a criação de iniciativas e programas educacionais com foco na conscientização ambiental e na importância da coleta seletiva e da reciclagem.

Como sugestão de aplicação do modelo, foi proposta a criação do Programa Conta Verde, que seria uma ação complementar ao Ecoelce e que incentivaria os clientes da distribuidora a neutralizarem as emissões de CO₂ decorrentes de seus consumos mensais de energia elétrica. O Conta Verde confere uma abordagem ambiental ao Ecoelce, motivando a população a participar do programa de forma mais ativa e constante.

Os resultados obtidos mostram que o material que apresenta maior potencial de redução de emissões através da reciclagem é o alumínio, que demanda grandes quantidades de energia elétrica e combustíveis fósseis em sua produção. Por outro lado, sua reciclagem demanda poucos recursos energéticos para ser realizada. Em seguida vem o grupo do papel/papelão, plásticos, aço, metais e, por último, o vidro.

Ressalta-se, no entanto, que apesar da redução de emissões por tonelada ser maior para o alumínio, os materiais mais abundantemente descartados pela população brasileira são o papel/papelão, seguido pelos plásticos. Dessa forma, em termos absolutos, as maiores reduções de emissões alcançadas através de programas como o Ecoelce certamente seriam originadas desses grupos.

A aplicação piloto do modelo e do Programa Conta Verde mostram que 62% dos clientes conseguiriam neutralizar suas emissões e, em apenas 03 (três) meses, estima-se que aproximadamente 836 toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidas por conta das ações de reciclagem decorrentes do Programa.

Na faixa de consumo entre 0 e 30 kWh/mês estariam concentrados o maior percentual de “clientes verdes”, onde 94% dos consumidores conseguiriam neutralizar suas emissões mensais de CO₂ decorrente do consumo mensal de energia elétrica. Já a faixa de consumo que englobaria menos clientes verdes seriam aqueles que consomem mais de 500 kWh/mês, onde apenas 21% conseguiriam neutralizar suas emissões.

5.1. Sugestões para Futuros Trabalhos

São apresentadas a seguir propostas de trabalhos futuros decorrentes da presente pesquisa, os quais podem complementar e/ou auxiliar na melhoria do modelo de valoração ambiental da reciclagem de resíduos sólidos urbanos, bem como do Programa Conta Verde aqui proposto.

5.1.1. Pesquisa Junto à Indústria

A base para a construção do modelo foi a metodologia AMS-III.AJ, utilizada em projetos de MDL para emissão de créditos de carbono e que define que a redução das emissões de CO₂ pela reciclagem é alcançada através das economias de energia elétrica e combustíveis fósseis proporcionadas por essa prática.

Os dados de consumo de energia e combustíveis fósseis para a produção e reciclagem dos materiais utilizados no modelo foram extraídos de relatórios publicados por associações de fabricantes, institutos de pesquisa nacionais e internacionais, visitas a plantas industriais, anuários estatísticos, bem como dados da UNFCCC.

No entanto, devido à complexidade e limitação das informações disponíveis a este respeito sugere-se a realização de uma pesquisa nacional, mais profunda e abrangente, envolvendo importantes atores do setor, como o Ministério de Minas e Energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as associações de fabricantes, dentre outros.

Tal informação se reveste de grande importância, uma vez que os programas de reciclagem vêm se tornando cada vez mais comuns no Brasil, sendo vistos como iniciativas de preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. Além disso, segundo Johnson et al. (2008), para criação de uma política energética abrangente e uma análise apurada do sistema, deve-se examinar as demandas energéticas de cada indústria, criando o conhecimento necessário para a tomada de decisões do setor.

No entanto, sem informações consistentes sobre os insumos utilizados na produção e na reciclagem desses materiais não se pode afirmar com segurança que essa prática está realmente trazendo os benefícios ambientais esperados. O que gera um segundo desdobramento desta pesquisa detalhado a seguir.

5.1.2. Criação de Certificação Ambiental para Indústrias de Reciclagem

Com os resultados da pesquisa junto a indústria, citada na seção anterior, seria possível a criação de uma espécie de “certificação ambiental” – de caráter voluntária - para indústrias

recicladoras, indicando à sociedade se o processo de reciclagem ali realizado efetivamente contribui para a preservação do meio ambiente.

Atualmente os impactos ambientais dos produtos e serviços são critérios importantes levados em consideração pelos consumidores na hora da compra. Segundo BEVILACQUA (2012), 70% dos consumidores consideram a etiqueta de emissões do veículo na hora da compra.

Através dos estudos realizados para elaboração do presente trabalho fica evidente que os benefícios da reciclagem para o meio ambiente não podem ser avaliados apenas através da economia de energia elétrica proporcionada pelo processo. Para mensurar as emissões de GEEs, também devem ser avaliados os consumos de combustíveis fósseis utilizados na reciclagem para garantir que esta prática está realmente trazendo benefícios ambientais.

Muitas indústrias de reciclagem podem realizar seus processos com equipamentos antigos e ultrapassados, que utilizam grandes quantidades de combustíveis fósseis para operação, como lenha e óleo diesel. Tais plantas industriais podem gerar emissões mais elevadas do que aquelas decorrentes da produção do material a partir da matéria-prima virgem.

Portanto, o processo de certificação das indústrias de reciclagem seria baseado na metodologia AMS-III.AJ e no modelo de valoração ambiental da reciclagem de RSU aqui apresentado, visando garantir que as emissões da reciclagem do produto sejam inferiores às da sua produção a partir da matéria-prima virgem.

A criação de um certificado dessa natureza auxiliaria, principalmente, aos coordenadores de programas de reciclagem, como o Ecoelce, que saberiam para quais indústrias destinar os resíduos coletados. Destinando os resíduos à indústrias certificadas, tais programas ganham credibilidade junto à sociedade, que poderá se assegurar de que seu esforços para coletar, separar e entregar os resíduos estão realmente contribuindo para a preservação do meio ambiente.

5.1.3. Pesquisa Junto à População

Um dos principais objetivos do Programa Conta Verde é motivar os clientes a neutralizarem suas emissões de CO₂ decorrentes do consumo mensal de energia elétrica através da entrega de resíduos ao Ecoelce. O cálculo da neutralização das emissões é realizado de acordo com o modelo apresentado pela presente pesquisa.

Uma informação de grande relevância para a implantação do programa seria conhecer a quantidade de resíduos descartada mensalmente pelos clientes residenciais da concessionária, segmentados por faixa de consumo de energia. Em outras palavras, faz-se necessário saber se um típico cliente que consome 100 kWh/mês produz resíduos suficientes para neutralizar suas emissões mensais de CO₂.

Dessa forma, sugere-se a realização de uma pesquisa entre os clientes residenciais da Coelce, segmentados por faixas de consumo de energia mensal, visando estimar o potencial máximo de reciclagem dos clientes inseridos em cada faixa.

É importante destacar que os dados históricos do Ecoelce trazem apenas informações sobre a quantidade de resíduos que os clientes entregam para a reciclagem nos postos de coleta, mas não se dispõe de dados sobre o quantitativo de resíduos efetivamente gerados.

5.1.4. Registro do Programa Conta Verde no MDL

A partir dos dados levantados para construção do modelo de valoração ambiental da reciclagem de RSU torna-se possível solicitar junto ao Conselho Executivo do MDL a revisão da metodologia AMS-III.AJ, de forma a que esta passe a também considerar a reciclagem do vidro, alumínio, aço, metais e papel/papelão como passíveis de emissão de créditos de carbono.

Uma vez aprovada a revisão da metodologia para inclusão desses materiais, o projeto de reciclagem da distribuidora poderia ser validado e registrado como projeto de MDL e ser capaz de emitir Certificados de Emissões Reduzidas (CERs), gerando um ativo comercializável no mercado mundial de emissões para a distribuidora ou para uma fundação ligada a esta, visto que receitas não operacionais compõem o cálculo da revisão tarifária.

Caso a própria empresa contabilize a receita da venda dos CERs, a população poderá ser beneficiada indiretamente, pois as receitas não operacionais da concessionária compõem o cálculo da tarifa, contribuindo para a modicidade tarifária.

Caso a opção seja o registro do projeto através de uma fundação ligada à concessionária, as receitas provenientes da comercialização dos CERs poderiam ser reinvestidas para ampliação do programa ou até mesmo revertidas para os clientes, aumentando o valor do desconto na conta de energia pela entrega dos resíduos.

O modelo aqui apresentado seria também utilizado com base para definição desse valor adicional dos descontos, visto que os materiais que possibilitam uma maior emissão de CERs são aqueles cuja reciclagem gera maior redução de emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. **Relatório de Sustentabilidade Indústria Brasileira do Alumínio – 2010**. São Paulo, 2010.

ABRALATAS. Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. **Reciclagem Destaca-se como Principal “Emprego Verde” do Brasil**. Boletim Informativo Ano 5, nº 22, setembro/outubro de 2008.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo, 2010.

ANDRADE, J.C.S.; SILVA JR, A. C. S.; PASINI, K. B.; FILHO, L. A. F. K. N.; VENTURA, A. C. Contribuição dos projetos de MDL brasileiros da indústria de energia para a promoção de tecnologias limpas em prol do desenvolvimento sustentável. **Revista Contextus: FEAAC-UFC**. Ceará. v.8, n. 1, p 07-20, jan.2012

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética**. SPE, Brasília, 2008.

AKIMOTO, K.; SANO, F.; HOMMA, T.; ODA, J.; NAGASHIMA, M.; KII, M. Estimates of GHG emission reduction potential by country, sector, and cost. **Energy Policy**. n.38, p.3384-3393, 2010.

BABIKER, M.; REILLY J.M.; JACOBY H.D. The Kyoto Protocol and developing countries. **Energy Policy**. n.28, p.525-536, 2000.

BEHAR, P. A.; PASSERINO, L.; BERNARDI, M. Modelos pedagógicos para educação a distância: pressupostos teóricos para a construção de objetos de aprendizagem. **RENOTE: Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 5, p. 25-38, 2007.

BIR. Bureau of International Recycling. **Report on the Environmental Benefits of Recycling**. Imperial College London, 2008.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Relatório de Sustentabilidade 2010**. São Paulo, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Protocolo de Quioto**. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Fatores de emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/72764>>. Acesso em: 15 mai. 2012.

BRASIL. Governo Federal. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima**. Brasília: CIMC, 2008a

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. **Manual para Submissão de Atividades de Projeto no âmbito do MDL**. Brasília: SEPED, 2008b

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Destaques da Lei nº 12.305/10 e de seu Decreto Regulamentador nº 7.404/10**. Brasília, 2011a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Anuário Estatístico 2011: Setor de Transformação de Não Metálicos**. Brasília: SGM, 2011b.

BEVILACQUA, S. **Etiqueta de eficiência para carro vai incluir emissão de CO2**. Disponível em: <http://invertia.terra.com.br/sustentabilidade/noticias/0,,OI6170997-EI10411,00-Etiqueta+de+eficiencia+para+carro+vai+incluir+emissao+de+CO.html>, acesso em 20 out 2012.

CALDERONI, S. **O\$ bilhões\$ perdido\$ no lixo**. 4ª edição, São Paulo: Humanitas/USP, 2003.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: O impacto da nova lei contra o aquecimento global**. Disponível em: <http://cempre.tecnologia.ws/download/pnrs_001.pdf>, acesso em 10 jun. 2012a.

CHIARETTI, D; MOREIRA, A; SERÓDIO, G. Custos da economia verde opõem países ricos e emergentes. **Valor Econômico**. São Paulo, 11 jun 2012. Disponível em: <<https://conteudoclipppingmp.planejamento.gov.br/cadastros/noticias/2012/6/11/custos-da-economia-verde-opoem-paises-ricos-e-emergentes/>>, acesso em 23 ago. 2012.

CORREA, A. C. **Resíduos Sólidos Urbanos Estados Unidos em 2011**, Lubbock, 2011. Disponível em: <http://www.tecnologioresiduos.com.br/arquivos/biblioteca/2748100_20120206142434.pdf>, acesso em 22 abr. 2012.

CQNUMC. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Ministério da Ciência e Tecnologia [Edição e tradução], Brasília, 1992.

DEMAJOROVIC, J. **Sociedade de risco e responsabilidade sócio-ambiental: perspectivas para a educação corporativa**. São Paulo: Editora Senac, 2003.

DUSTON, T. E. **How to Measure the Gains from Recycling, Recycling Solid Waste**. London, Quorum Books, 1993.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks**. 3ª ed. 2006.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

ESPARTA, A. R. J. **Redução de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico brasileiro: a experiência do mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto e uma visão de futuro**. 2008. 111 p. Tese (Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FRONDIZI, L. R. M. I. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Guia de Orientação 2009**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio: FIDES, 2009.

GIELEN, D.; MORIGUCHI, Y. CO₂ in the iron and steel industry: an analysis of Japanese emission reduction potentials. **Energy Policy**. n.30, p.849–863, 2002.

HENRIQUES Jr, M. F.; DANTAS, F.; SCHAEFFER, R. Potential for reduction of CO₂ emissions and a low-carbon scenario for the Brazilian industrial sector. **Energy Policy**. n.38, p.1946–1961, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em 2010, PIB Varia 7,5% e Fica em R\$ 3,675 trilhões**. Brasília, 03 mar. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1830&id_pagina=1>, acesso em 21 abr. 2012.

IGLESIAS, C. Santos é referência em coleta seletiva no País, 18/05/2009. Disponível em: <<http://hotsites.atribuna.com.br/atribuna/lixonolixo/noticias.asp?idConteudo=12&pagina=9&Categoria=6>>, acesso em 25 abr. 2012.

JOHNSON, J.; RECK, B. K.; WANG, T.; GRAEDEL, T.E. The energy benefit of stainless steel recycling. **Energy Policy**. n. 36, p.181–192, 2008.

IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol. 2, 2006.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**. Brasília, 2010.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores**. Comunicados do IPEA nº 145. 2012.

KING JR., M. L. **Where Do We Go From Here: Chaos or Community**. New York: Harper & Row, 1967.

LEITE, A. A. F. **Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: setor vidreiro**. Brasília: CNI, 2010.

LOPES, I. V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL: Guia de Orientação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002.

MANSO, A. U. Como a Coelce transforma lixo em energia. **Revista Exame**. São Paulo, 12 nov. 2009. Disponível em: < <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/0956a/noticias/como-transformar-lixo-energia-511576>> , acesso em 12 set. 2012.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **As Instituições**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/49290.html>>, acesso em 02 ago. 2012
MOREIRA, H.M.; GIOMETTI, A.B.R. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. **Contexto Internacional**. Rio de Janeiro. v. 30, n. 1, p. 9-4, jan. 2008.

ONU. Organização das Nações Unidas. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial-2002 GEO-3**. New York, 2002.

ONU. Organização das Nações Unidas. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008**. New York, 2007.

PASSARINHO, N. **Brasil tem 16,27 milhões de pessoas em extrema pobreza, diz governo**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/politica/noticia/2011/05/brasil-tem-1627-milhoes-de-pessoas-em-situacao-de-extrema-pobreza.html>>, acesso em 21 mai. 2012.

PENTADO, R.; CAVALLI, M.; MAGNANO, E.; CHIAMPO, F.. Application of the IPCC model to a Brazilian landfill: First results. **Energy Policy**. n. 42, p. 551–556, 2012.

PLASTIVIDA. Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. **Reciclagem: o que é?** Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/Reciclagem_Oque-e.aspx> acesso em 26 abr. 2012.

POWELSON, D. & POWELSON, M. A. **The Recycler's Manual for Business, Government and The Environmental Community**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1992.

TRIGUEIRO, A. **Mundo sustentável: abrindo espaço na mídia para um planeta em transformação**. 1ª edição, Rio de Janeiro: Globo, 2005.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **The Marrakesh Accord**. United Nations, 2002. Disponível em: < <http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a02.pdf#page=20>>, acesso em 30 ago. 2012.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **Kyoto Protocol Reference Manual: On Accounting of Emissions and Assigned Amount**. Bonn, 2008.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **Tool to calculate the emission factor for an electricity system**. United Nations, 2009.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **SSC CDM Approves Methodology AMS-III.AJ**. United Nations, 2011.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **Governance**. Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/EB/governance.html>>, acesso em 25 jun. 2012b.

UNFCCC. United Nations Framework Convention for Climate Changes. **First Steps to a Safer Future: Introducing the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Disponível em : <http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php>, acesso em 23 ago. 2012a.

VLACHOPOULOS, J. **An Assessment of Energy Savings Derived from Mechanical Recycling of Polyethylene Versus New Feedstock Version 3.2**. World Bank, 2009.

WORLD BANK. **State and Trends of the Carbon Market 2011**. Carbon Finance: Washington D.C, 2011.

WWF. World Wide Fund for Nature. **Falta de reciclagem causa prejuízos de R\$ 8 bilhões ao ano**. 12 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/?28204/Falta-de-reciclagem-causa-prejuizos-de-RS-8-bilhoes-ao-ano>>, acesso em 21 out. 2012.

YAMIN, F. **Climate change and carbon markets: a handbook of emission reduction mechanisms**. London: Earthscan, 2006.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos urbanos**. In: BORGES, A.C., ET AL.. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. 1 ed. Sao Carlos SP: Rima Artes e Textos, 2003, v. 1

ZVEIBIL, V.Z. et al. (coord.) **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.