UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

CARLOS EDUARDO SATO

VIABILIDADE DE PROJETOS DE MDL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM ATERROS SANITÁRIOS – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ – MG

Maio de 2009

Itajubá - MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

CARLOS EDUARDO SATO

VIABILIDADE DE PROJETOS DE MDL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM ATERROS SANITÁRIOS – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ – MG

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

ORIENTADOR: Professor Alexandre Augusto Barbosa.

Maio de 2009

Itajubá - MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

S253v

Sato, Carlos Eduardo
Viabilidade de projetos de MDL para geração de energia em aterros sanitários : estudo de caso do Município de Itajubá-MG / Carlos Eduardo Sato. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2009.
139 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Créditos de carbono. 2. Energias alternativas. 3. MDL. 4. Resíduos sólidos. I. Barbosa, Alexandre Augsuto, orient. II. Uni_ versidade Federal de Itajubá. III. Título.

CDU 502.175(043)

Dedico este trabalho a DEUS, aos meus pais e aos meus amigos, pela força dada neste trabalho.

Agradeço a DEUS, por tudo em minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Professor Alexandre, pelo apoio.

A Universidade Federal de Itajubá por mais uma oportunidade proporcionada.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itajubá, pelo auxílio no fornecimento dos dados deste trabalho.

A todos os amigos e amigas que de alguma maneira contribuíram para a elaboração deste trabalho, em especial aos amigos das Repúblicas Aioba e Caos.

A todos, muito obrigado!

SUMÁRIO

SUMÁRIO ..... *viii*
LISTA DE FIGURAS ..... *x*
LISTA DE TABELAS ..... *xii*
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS ..... *xiii*
RESUMO ..... *xvii*
ABSTRACT ..... *xviii*
1 – INTRODUÇÃO *1*
1.1 – Justificativa *2*
1.2 – Objetivos *3*
1.3 – Estrutura do Trabalho *3*
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA *5*
2.1 – Mudanças Climáticas *5*
2.1.1 – Efeito Estufa e Aquecimento Global 5
2.2 – Protocolo de Quioto e Convenções-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas *9*
2.3 – Mecanismos de Flexibilização e o MDL *22*
2.3.1 - MDL 24
2.3.2 – Cenário Mundial do MDL 32
2.3.3 – Cenário Brasileiro do MDL 38
2.3.4 – Políticas Nacionais sobre Mudanças Climáticas e Protocolo de Quioto 43
2.3.5 – Mercado de Carbono 44
2.3.6 – Legislação Brasileira sobre MDL 47
2.3.7 – Perspectivas Futuras para o MDL 49
2.4 – Projetos de MDL em Resíduos Sólidos *51*
2.4.1 – Metodologias aprovadas para Aterros Sanitários 53
2.4.2 – Situação Atual dos Projetos de MDL de Resíduos Sólidos 54
2.5 – Geração de energia a partir de GDL *59*
2.5.1 – Tecnologia do Gás de Lixo (GDL) 60
2.5.1.1 – Formação do Gás de Lixo 61
2.5.1.2 – Fatores que afetam a geração de gás 63
2.5.1.3 – Panorama mundial da geração de energia a partir do GDL 68
2.5.1.4 – Panorama brasileiro da geração de energia a partir do GDL 70
2.4.1.5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia de GDL 72
2.5.2 – Modelos de estimativa da geração de GDL 72

2.5.3 – Obtenção e produção de energia elétrica 78
3 – DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO 79
3.1 – Quantificação da geração de metano por RSU 80
3.2 – Quantificação dos RCE´s 82
3.3 – Análises dos custos e receitas 83
4 – ESTUDO DE CASO 84
4.1 – Caracterização do município 84
4.1.1 – Caracterização do meio físico 85
4.1.2 – Economia 86
4.2 – Caracterização do sistema de limpeza urbana 86
4.2.1 – Estrutura administrativa 86
4.2.2 – Infra-estrutura, veículos e equipamentos 87
4.2.3 – Serviços prestados pelo sistema de limpeza urbana 87
4.2.3.1 – Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos 87
4.2.3.2 – Serviços de varrição, capina e poda 89
4.2.4 – Disposição final dos resíduos sólidos urbanos 89
4.2.5 – Caracterização do futuro aterro sanitário 91
4.3 – Caracterização física dos resíduos 95
4.3.1 – Classificação dos resíduos sólidos domésticos 97
4.3.2 – Evolução e comparativo dos dados de RSD do Município 98
4.3.3 – Composição física do setor comercial 101
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO 102
5.1 – Comparativo entre valores de projeto de MDL e do monitoramento efetuado nos projetos 102
5.2 – Resultados do Estudo de Caso 104
5.2.1 – Dados de GONÇALVES (2007) 105
5.2.2 – Dados de MONTEIRO & COSTA (2006) 109
5.3 – Simulações com outros parâmetros de entrada 110
5.3.1 – Variação do custo de implantação da geração de energia 111
5.3.2 – Variação do custo de O & M da geração de energia 112
5.3.3 – Variação do preço da RCE 114
5.3.4 – Variação da população de início de projeto 116
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 123
ANEXO A 128
ANEXO B 130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Ciclo de Projeto de MDL 29
FIGURA 2 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de metodologia utilizada 32
FIGURA 3a – Número de atividades de projeto no sistema do MDL 33
FIGURA 3b – Número de atividades de projeto no sistema do MDL 33
FIGURA 4a – Reduções de emissão projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos 34
FIGURA 4b – Reduções de emissão projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos 35
FIGURA 5a – Reduções de emissões anuais projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos 35
FIGURA 5b – Reduções de emissões anuais projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos 36
FIGURA 6a – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL 37
FIGURA 6b – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL 37
FIGURA 6c – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL 38
FIGURA 7 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de GEE 39
FIGURA 8 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por escopo setorial ... 39
FIGURA 9 – Distribuição do número de atividades de projeto do MDL no Brasil por Estado 41
FIGURA 10 – Curva de crescimento das atividades de projeto MDL no Brasil 42
setorial 42
FIGURA 11 – Capacidade instalada (MW) das atividades de projeto do MDL aprovadas na CIMGC 42
FIGURA 12 – Variação do preço dos RCEs. 46
FIGURA 13 – Localização dos projetos de MDL no Brasil 55
FIGURA 14 – Localização dos projetos de MDL no Estado de São Paulo 56
FIGURA 15 – Duração das fases variando com o tempo 61
FIGURA 16 – Localização do município de Itajubá/MG 85
FIGURA 17 – Média mensal diária de resíduos domiciliares e comerciais coletados 88
FIGURA 18 – Média mensal diária de RSS coletados 88
FIGURA 19 – Vista do depósito de resíduos de Itajubá (lixão) - Situação anterior .. 90
FIGURA 20 – (a) Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá e (b) Entrada do depósito de resíduos. 91
FIGURA 21 – Localização do aterro sanitário e do depósito de resíduos atual 92
FIGURA 22 – Foto Aérea do Aterro 94
FIGURA 23 – Vista geral do aterro sanitário de Itajubá 94
FIGURA 24 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares do município de Itajubá/MG 97
FIGURA 25 – Composição física dos RSD de Itajubá em 1997, 2003** e 2006**** 99
FIGURA 26 – Comparação da composição física média dos RSD 100
FIGURA 27 – Composição física dos resíduos sólidos comerciais do município de Itajubá – MG 101
FIGURA 28 – Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL. 103
FIGURA 29 – Quantidade de metano queimada por ano [toneladas CH_4] 106
FIGURA 30 – Comparação do VPL para os três cenários. 108
FIGURA 31 – Comparação do VPL para os três cenários. 110

FIGURA 32 – Variação do custo de implantação da geração de energia.....112
FIGURA 33 – Variação do custo de O&M da geração de energia.....114
FIGURA 34 – Variação do preço da RCE 115
FIGURA 35 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL. 119
FIGURA 36 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com geração de energia. 119
.....**Erro! Indicador não definido.**
FIGURA 37 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com projeto de MDL e sem geração de energia 120
FIGURA 38 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: população inicial de projeto. 120
FIGURA 39 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: média de disposição diária de resíduos [t/dia]. 121
FIGURA 40 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: capacidade instalada de geração de energia. 121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Potenciais de aquecimento global de GEE acordados no Protocolo de Quioto. 26
TABELA 2: Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto 40
TABELA 3: Status atual dos projetos na AND brasileira 41
TABELA 4: Status atual das atividades de projeto brasileiras no Conselho Executivo do MDL 41
TABELA 5 – Projetos de tratamentos de resíduos 52
TABELA 6 – Entidades Operacionais Designadas 53
TABELA 7: Projetos de MDL de resíduos sólidos por região. 54
TABELA 8: Projetos de MDL de resíduos sólidos 56
TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos 57
TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos 58
TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos 59
TABELA 9 – Distribuição geral de plantas de GDL pelo mundo (2001) 69
TABELA 10 – Vantagens e desvantagens da tecnologia do GDL 72
TABELA 11 – Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual 74
TABELA 12 – Valores L_0 em função da degradabilidade do resíduo 75
TABELA 13 – FCM recomendado pelo IPCC 76
TABELA 14 – Valores recomendados para o COD nos principais tipos de resíduos. 76
TABELA 15 – Incerteza associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC 77
TABELA 16: Cidades com participação no Aterro Sanitário de Itajubá 84
TABELA 17 – Composição física dos RSD de Itajubá/MG 96
TABELA 18 – Classificação dos RSD de Itajubá em função da biodegradabilidade98
TABELA 19 – Classificação dos RSD de Itajubá em função do grau de combustão 98
TABELA 20 – Classificação dos RSD de Itajubá segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000) 98
TABELA 21: Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL – Valores de tCO_2. 102
TABELA 22: Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL – parâmetros: L_0 e k. 104
TABELA 23 – Estimativa da população e da geração de resíduos - GONÇALVES 105
TABELA 24 – Quantidade de metano queimada por ano [toneladas CH_4] 106
TABELA 25 – Geração de Energia – GONÇALVES 108
TABELA 26 – Estimativa da população e da geração de resíduos – MONTEIRO & COSTA 109
TABELA 27 – Simulação utilizando variação do custo de implantação da geração de energia 111
TABELA 28 – simulação utilizando variação do Custo de O&M da geração de energia 113
TABELA 29 – Simulação utilizando variação do preço da RCE 115
TABELA 30 – Variação da população de início de projeto 117
TABELA 30 (Continuação) – Variação da população de início de projeto 118
TABELA 31: Potencial Brasileiro de Geração de Energia por Resíduos Sólidos...126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAUs – Assigned Amount Units

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACIEI – Associação Comercial, Industrial e Empresarial de Itajubá

AND – Autoridade Nacional Designada

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

AWG-KP – Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Quioto Protocol

AWG-LCA – Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention

BEM – Biomassa - Energia – Materiais

BM – Banco Mundial

BRS – Bactérias Redutoras de Sulfato

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCX – Chicago Climate Exchange

CDM – Clean Development Mechanism

CE – Comércio de Permissões de Emissões

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CER – Certified Emissions Reductions

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CFC – Cloro Flúor Carbono

CIMGC – Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima

COD_F – Fração do Carbono Orgânico Degradável Assimilado

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural

COP – Conferência das Partes

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

CPTI – Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CSCCT – Corpo Subsidiário para o Conselho Científico e Técnico

CSI – Corpo Subsidiário de Implementação

CSLL – Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
CTC – Centro de Controle de Tecnologia
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCP – Documento de Concepção do Projeto
DD – Dificilmente Degradável
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EOD – Entidades Operacionais Designadas
EPA – Agência Ambiental dos Estados Unidos
ERU – Unidades de Redução de Emissões
EU – European Union
EU ETS – European Union Emissions Trading Scheme
ET – Emissions Trade
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
FACESM – Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas
FCM – Fator de Correção para o Metano
FD – Facilmente Degradável
FDL – Fundo de Desenvolvimento Limpo
FGMA – Fundo Global para o Meio Ambiente
FMIT – Faculdade de Medicina
GDL – Gás do Lixo
GEE – Gases de Efeito Estufa
GEF – Global Environment Facility
GWP – Global Warming Potential
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC – Implementação Conjunta
IEA – Agência Internacional de Energia
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
JI – Joint Implementation
LandGEM – Modelo de Emissão de Gases em Aterros Sanitários
LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry
MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
MD – Moderadamente Degradável
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOP – Meeting of Parties
NBR – Normas Brasileiras

ND – Não Degradável

NSW – New South Wales Greenhouse Gas Abatement Scheme

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMM – Organização Meteorológica Mundial

Ongs – Organizações não Governamentais

ONU – Organização das Nações Unidas

O&M – Operação e Manutenção

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PCA – Plano de Controle Ambiental

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PCF – Prototype Carbon Fund

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PET – Poli (tereftalato de etileno)

PIMC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

PIS/PASEP – Programa de Integração Social

PL – Projeto de Lei

PMI – Prefeitura Municipal de Itajubá

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PróAlcool – Programa Brasileiro do Álcool

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODEEM – Programa para o Desenvolvimento da Energia nos Estados e Municípios

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RCC – Resíduos de Construção Civil

RCE – Redução Certificada de Emissão

REDD – Redução de Emissões do Desmatamento

RS – Resíduos Sólidos

RSD – Resíduos Sólidos Domésticos

RSM – Resíduos Sólidos Municipais

RSR – Resíduos Sólidos Rurais

RSS – Resíduos de Serviço de Saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SBI – Subsidiary Body for Implementation

SBSTA – Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice

SEDRU – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana
SEMOP – Secretaria Municipal de Obras
UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development
UNEP – United Nations Environment Programme
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
UNIVERSITAS – Centro Universitário de Itajubá
UQA – Unidade de Quantidade Atribuída
USEPA – Agência Ambiental dos Estados Unidos
VPL – Valor Presente Líquido
WMO - World Meteorological Organization

RESUMO

Sato, C.E. (2009). Estudo de Viabilidade de Projetos de MDL para Projetos de Geração de Energia em Aterros Sanitários – Estudo de Caso no Município de Itajubá-MG. Itajubá, 2009. 139 p. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá-MG.

A energia é um dos pilares da sociedade moderna para o desenvolvimento econômico e, no contexto atual, as questões ligadas às mudanças climáticas vêm ganhando grande relevância. Neste cenário criou-se a situação de busca por fontes alternativas de energia. Dentre estas possibilidades temos a geração de energia através da queima do metano advindo dos resíduos sólidos. No âmbito do Protocolo de Quioto, foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Neste estudo comparou-se os valores de projeto de MDL de resíduos sólidos com os valores monitorados nas instalações existentes. No estudo de caso foi levantado, para o município de Itajubá, localizado no sul de Minas Gerais, a potencialidade energética dos resíduos sólidos para o seu futuro aterro sanitário. Para esse aterro sanitário foram realizadas algumas simulações ao variar parâmetros como: custo de implantação da geração de energia, custo de O & M da geração de energia, preço da RCE e população de início de projeto. Conclui-se que o projeto de MDL torna mais viável o projeto de geração de energia, com potencial máximo de geração de 620 kW.

Palavras-chave: Crédito de Carbono; Energias Alternativas; Geração de Energia Elétrica; Itajubá-MG; MDL; Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

Sato, C.E. (2009) – MDL projects viability study for energy generation projects in sanitary embankment – Case study in the city of Itajubá-MG. Itajubá, 2009. 139 p. Dissertation – Federal University of Itajubá-MG.

Energy is one of the modern society columns for economy growth, and has been attained greater relevance lately in the current context of Climate Change. In this scenery, it has been created the situation of pursuing alternative energy sources, where, among those possibilities, there is the energy generation through burning methane, resulting from solid wastes. Within the Kyoto Protocol ambit, the Clean Development Mechanism (CDM) was created. In this study, were compared the CDM project values of solid wastes against values monitored in the existing plants. In the Case study, an energy potential from solid wastes for the upcoming Sanitary Landfill in the city of Itajubá, located at Minas Gerais' South, has been raised. In the Itajubá´s Sanitary Landfill were involved some simulations while parameters vary, such as: energy generation implantation cost, O&M costs for energy generation, CER price and project start up population. It can be concluded that the CDM project makes more viable energy generation projects, especially in the city of Itajubá, which could generate a maximum electricity power value on the order of 620 kW.

Keywords: carbon credit; alternative energies; electric power generation; Itajubá-MG; CDM; solid wastes.

1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o estilo de vida da sociedade moderna, a partir da revolução industrial, geraram a necessidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. Contudo, a preocupação com meio ambiente, instigado por questões relacionadas às mudanças climáticas, cria uma situação no cenário atual de busca de fontes alternativas de geração de energia (LIMING, 2006; MARTINOT et al., 2007; SAGAR & KARTHA, 2007; PEIDONG et al., 2007; MARTINOT et al., 2008).

Neste contexto, uma das alternativas de geração de energia é o aproveitamento do metano que os aterros sanitários liberam no processo de degradação da matéria orgânica. Devemos ressaltar que o processo de urbanização gerou grande concentração populacional em algumas cidades, e aliada ao consumo de produtos menos duráveis, origina-se um aumento significativo da quantidade e da diversidade desses resíduos.

Aliado aos fatos anteriormente mencionados, a ausência de áreas adequadas para a disposição final dos resíduos e a escassez de energia elétrica constituem dois dos problemas graves que o país enfrenta.

Embora exista potencial de aumento na geração de energia de fonte hidráulica, principal fonte do país, torna-se imprescindível os investimentos em alternativas que atendam aos padrões internacionais de desenvolvimento sustentável, viabilizando o crescimento sócio-econômico.

Portanto, devemos ressaltar a importância do aproveitamento da geração de energia a partir dos resíduos sólidos, pois além de se aproveitar um resíduo que não teria mais valor agregado, estar-se-ia gerando energia nas proximidades das cidades com as maiores demanda de energia.

Os aterros sanitários que têm como principal função o armazenamento correto do lixo, poder-se-ia aliar a possibilidade do aproveitamento adequado do biogás gerado ao longo do tempo, possibilitando desta forma uma maior eficiência na produção e captação do metano na massa de resíduos (além do fato de contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa).

Vários autores têm trabalhado com esta temática, desde a análise energética dos resíduos, passando por levantamentos de campo, estudos sobre adaptações de motores de combustão para melhor aproveitamento do metano de resíduos, entre várias outras abordagens (FILHO & BADR, 2003; OLIVEIRA et al., 2006; THEMELIS et al., 2006; IGONI et. al., 2007; FEHR, 2007; KARANI & JEWASIKIEWITZ, 2007; MACHADO et al., 2008; IM et al., 2008; BATOOL & CHUADHRY, 2008; MANFREDI & CHRISTENSEN, 2008; GAAST et al., 2009).

Na linha de incentivo à implantação de mecanismos que reduzam a emissão de gases de efeito estufa, temos os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que disponibiliza recursos para a viabilidade de projetos que habitualmente não seriam implantados por falta de recursos. Os projetos de aterro sanitário podem contemplar recursos advindos do MDL, desde que exista a queima do gás metano ou o aproveitamento deste metano para a geração de energia. O gás metano é um gás de

efeito estufa, e considerado também como um dos combustíveis domésticos mais limpos e mais baratos, sendo praticamente inesgotável por ser produzido em qualquer aterro sanitário ou esgoto submetido ao tratamento anaeróbio (além das jazidas naturais). Esse gás pode ser colocado como uma importante alternativa energética, com condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e seus derivados.

Nesta linha de incentivos, foi criado em 2002, pela Lei Federal 10.438, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa no sistema elétrico interligado nacional. Este programa desenvolve-se de maneira que essas fontes de energia representem 10% da matriz energética nos próximos 20 anos.

Destaca-se que a qualidade e a quantidade do biogás variam de acordo com a quantidade e a composição dos resíduos, tipos de resíduos, decomposição biológica, condições ambientais e a operação de aterros.

Atualmente, existem alguns projetos já desenvolvidos e em desenvolvimento para utilização do biogás como alternativa para gerar energia elétrica. Essa alternativa além de ser um enorme benefício para o setor elétrico, contribui também para reduzir as emissões de metano na atmosfera.

1.1 – Justificativa

O crescimento populacional e a expansão industrial trazem como conseqüência uma demanda cada vez maior de energia, além do aumento na geração de resíduos sólidos. Fato que impõe alguns problemas a serem solucionados, como os ligados às questões ambientais, disponibilidade e custos de energia. O processo de exaustão dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente para suprir as necessidades humanas trouxeram conseqüências ao clima mundial, diagnosticadas nos efeitos das mudanças climáticas que tem provocado fenômenos atípicos em várias regiões do mundo.

A economia mundial, devido aos últimos acontecimentos naturais, tem passado por uma reestruturação em busca de uma sociedade com desenvolvimento sustentável. No âmbito brasileiro podemos citar o racionamento de energia elétrica de 2001 que sofreu com a “seca” dos reservatórios das hidrelétricas. Neste contexto, a diversificação da matriz energética brasileira passou a ser fator estratégico com incentivo de geração a partir de fontes alternativas tais como eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas.

Uma vantagem da utilização do biogás para a geração de energia elétrica é a proximidade da fonte geradora ao centro consumidor; evitando investimentos em linhas de transmissão de energia elétrica.

VANZIN (2006) coloca que o Brasil possui potencial para a utilização do biogás, pois segundo o IBGE (2001), 36,18% dos resíduos sólidos urbanos gerados diariamente são depositados em aterros sanitários, 37% em aterros controlados e 21,2% em lixões; porém, apenas 20 MW são explorados de um potencial superior a

350 MW. Portanto, é relevante estudar a viabilidade econômica para ampliar para todo o país a geração de energia elétrica através desta fonte de energia renovável, o biogás, aproveitando este potencial disponível.

Por isso, este trabalho tem o foco na busca de um tratamento adequado destes resíduos sob a ótica de matéria-prima e fonte de recursos, dentre eles a geração de energia, para um desenvolvimento sustentável.

1.2 – Objetivos

Neste trabalho, têm-se como objetivos:

- Comparar os valores calculados nos projetos de MDL com os valores obtidos no monitoramento de instalações existentes;
- Estudar a implantação de um projeto de MDL e a potencialidade energética dos resíduos sólidos com estabelecimento de unidades de geração de energia elétrica no futuro aterro sanitário de Itajubá-MG;
- Simular algumas situações para verificar a variação de alguns parâmetros (custo de implantação da geração de energia, custo de O & M da geração de energia, preço da RCE, população de início de projeto), a fim de se analisar o comportamento dos mesmos;
- Avaliar a viabilidade dos projetos de MDL para o aterro sanitário de Itajubá, com e sem a geração de energia.

1.3 – Estrutura do Trabalho

Além do presente capítulo, onde estão apresentados a justificativa e os objetivos, esta dissertação contém mais cinco capítulos.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre conceitos necessários ao entendimento do tema da pesquisa. Inicialmente é abordada a questão sobre mudanças climáticas: efeito estufa, aquecimento global, Convenções-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas e Políticas Nacionais sobre Mudanças Climáticas. Logo após é feita uma revisão sobre Protocolo de Quioto e MDL. Neste capítulo também é apresentado assuntos relacionados com resíduos, onde foi feita uma revisão bibliográfica buscando conhecer os modelos matemáticos de geração de energia a partir dos resíduos sólidos e os projetos de MDL ligados à temática de resíduos sólidos.

O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento metodológico utilizado para a realização deste trabalho, no qual são mostrados os parâmetros de estudo, os modelos matemáticos utilizados para quantificação de metano, para os créditos de carbono, e para o levantamento de geração de energia.

No quarto capítulo são apresentadas as características do município de Itajubá, o estudo de caso deste trabalho, onde são caracterizados os aspectos físico e econômico do município, o sistema de limpeza urbana e o futuro aterro sanitário.

No quinto capítulo são apresentados os resultados das simulações e análises estatísticas dos dados com o auxílio da ferramenta Microsoft® Excel,. Num primeiro momento é feita à comparação dos valores obtidos nos projetos de MDL com os valores resultados de monitoramento, em seguida são aplicadas ao estudo de caso várias situações para avaliar a viabilidade de projeto de MDL e a disponibilidade da geração de energia no futuro aterro de Itajubá.

Após a análise do estudo de caso criaram-se algumas situações, variando alguns parâmetros (custo de implantação da geração de energia, custo de O & M da geração de energia, preço da RCE, população de início de projeto), para verificar o comportamento dos mesmos.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para outros trabalhos relacionados ao tema estudado.

Após o sexto capítulo são apresentadas as referências e os apêndices.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Mudanças Climáticas

2.1.1 – Efeito Estufa e Aquecimento Global

O efeito estufa é um fenômeno natural ocasionado pela presença de gases e aerossóis na atmosfera (principlamente vapor d´água),diminuindo a perda de energia para o espaço; com isso, obtem-se um aquecimento do planeta. Deve-se lembrar que sem este fenômeno não existiria vida na terra, pois a temperatura terrestre se este efeito não existisse estaria cerca de 33°C abaixo do habitual; ou seja, sem o efeito estufa natural, teríamos um imenso deserto gelado. O vapor d'água merece uma atenção especial, pois é o principal gás de efeito estufa (GEE) na atmosfera, devido à sua grande quantidade e a sua alta capacidade de absorção da radiação infravermelha, se comparada a outros GEE. No entanto, a concentração do vapor d'água na atmosfera não é determinada pelo homem, mas sim pelo balanço hídrico, envolvendo todo o ciclo hidrológico. Com a mudança do clima, temperaturas mais altas resultarão em ligeiro aumento da concentração do vapor d'água na atmosfera (FILHO & FRANGETTO, 2008).

A grande preocupação é com o aumento da concentração dos outros gases GEE, principalmente o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso, sendo o primeiro o mais preocupante.

O primeiro a identificar o efeito estufa foi o francês Jean Fournier no século XIX. O cientista Suedes Svante Arrhenius chamou a atenção sobre os possíveis impactos ambientais da duplicação do conteúdo de CO_2 na atmosfera no ano de 1896 (MARKHAM* apud LORA & TEIXEIRA, 2006).

Antes da revolução industrial a concentração média de CO_2 na atmosfera era de 280 ppm, em 1990 foi para 354 ppm e em 2005 de 379 ppm (LORA & TEIXEIRA, 2006).

NOBRE (2008) elucida a influência humana na evolução da concentração na atmosfera ao longo dos últimos 10 mil anos de gases causadores do efeito estufa, como o gás carbônico, o metano e o óxido nitroso da seguinte forma:

> "A variação histórica desses gases é pequena, até que, nos últimos 200 anos, após a Revolução Industrial, eles dão um salto e não param de crescer. A população do mundo passou de 2 bilhões para 6,6 bilhões em apenas 70 anos.

---

* MARKHAM, A. (1994). *A Brief History Of Pollution. Earthscan Publications Ltd.*, London, 162 pp. apud LORA, E. E TEIXEIRA, F., org. (2006). *Capítulo 3 – Energia e Meio Ambiente. Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações* – 3ª Edição. FUPAI. Itajubá.

> Levou 9 mil anos para atingir 1 milhão de habitantes e cem anos para passar a 6,6 bilhões. Mesmo que a gente continuasse consumindo a mesma coisa de antes, já seria um fator multiplicador de seis vezes. Só que cada um de nós hoje consome muito mais energia e retira mais recursos naturais do que nossos pais e avós. Esse fator *per capita* de utilização de recursos naturais hoje é 20 a 30 vezes maior do que era da população do século XIX.”.

O efeito dos diferentes gases e outros fatores que afetam o balanço de radiação e, portanto, o aquecimento da atmosfera, é representado pela estimativa da potência de aquecimento associada a cada um deles. Os outros fatores são: os aerossóis, a variação da refletividade da superfície (albedo), a variabilidade solar, os vulcões e a variação do ozônio na estratosfera (FILHO & FRANGETTO, 2008).

Alguns gases industriais são também agentes responsáveis pelo aumento do efeito estufa, tais como os clorofluorocarbonos, os perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos e o hexafluoreto de enxofre.

Todos esses gases listados são os mais enfocados pelo Protocolo de Quioto. A questão central é o aumento já ocorrido e seu contínuo crescimento de concentração de GEE na atmosfera pela ação humana, o que provoca um aquecimento global.

As principais atividades humanas que geram emissões de GEE são: geração de energia pela queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), desmatamento e produção de cimento, que produzem emissões de dióxido de carbono; decomposição anaeróbica de matéria orgânica, que produz emissões de metano em aterros sanitários e na pecuária; uso de fertilizantes nitrogenados, que produz emissões de óxido nitroso; e processos industriais que produzem emissões de perfluorocarbonos, hidrofluorocarbonos e hexafluoreto de enxofre (FILHO & FRANGETTO, 2008).

NOBRE (2005) reforça que os gases de efeito estufa são fundamentais para manter o equilíbrio climático e condições ambientais adequadas para a existência da vida, isto é, temperaturas que permitam a existência da água na forma líquida (essencial à vida) e gasosa (essencial ao ciclo hidrológico). Até o início da Revolução Industrial, no final do Século XVIII, as concentrações atmosféricas do dióxido de carbono (CO_2) flutuaram entre 0,018% a 0,020% da massa total da atmosfera (caracterizando o como um gás minoritário) por um longo período de, no mínimo, 5 milhões de anos. Nos últimos anos, a concentração deste gás já ultrapassou 0,037% e continua a subir, com a injeção de cerca de 8 a 9 bilhões de toneladas de carbono (na forma de CO_2) por ano devido à queima de combustíveis fósseis e mudanças antrópicas dos usos da terra, principalmente os desmatamentos das florestas tropicais, além de uma série de outros gases de efeito estufa. Deste total, cerca de 3,2 bilhões de toneladas permanecem na atmosfera, o restante sendo re-absorvido pelos oceanos e pela biota terrestre. Também, a concentração atmosférica de outros gases de efeito estufa, como metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), vem crescendo até mais rapidamente do que aquela do CO_2. Outro importantíssimo GEE é o vapor d’água (H_2O), mas sua concentração na atmosfera é essencialmente controlada pela temperatura da superfície e da baixa troposfera. Entretanto, com o progressivo aumento da temperatura da baixa troposfera, a concentração de vapor d’água está aumentando, constituindo-se no principal mecanismo de retroalimentação positiva do

efeito estufa: maiores temperaturas implicam em maior quantidade de vapor d'água e, sendo este um GEE, implica em maior aquecimento, fechando o ciclo de retro-alimentação positiva.

Para realçar o peso do homem nas mudanças globais, NOBRE (2008) amparou-se numa definição do holandês Paul J. Crutzen, ganhador do Nobel de Química de 1995, que ajudou a elucidar a química e a física do buraco na camada de ozônio. Segundo Crutzen, a influência humana no equilíbrio do planeta nos últimos 200 anos foi tão intensa que pode ser comparada às mudanças que ocorrem no planeta na mudança das eras geológicas – daí ele chamar o tempo que vivemos de Antropoceno. "Tecnicamente, a definição pode não ser correta, pois o conceito de era geológica depende de fenômenos que acontecem na escala geológica de tempo, como a órbita da Terra em volta do Sol, as pequenas variações da radiação solar que levam às épocas glaciais a cada 20 mil, 30 mil ou 100 mil anos, ou os movimentos das placas tectônicas que geram terremotos, ativam vulcões e formam um novo solo oceânico. Mas o professor Crutzen mostra que somos uma força telúrica capaz de promover transformações na mesma magnitude.", retrata o pesquisador.

As principais evidências do efeito estufa nesta forma pronunciada podem ser observadas em diversas regiões do planeta. Através de estudos comparativos, é possível observar em determinadas regiões um significativo aumento de ocorrência de tempestades, secas, ventos e outras ocorrências naturais.

SISTER (2007) cita estudos científicos mencionados no Livro de Al Gore, An Inconvenient Truth, onde é retratado que o número de furações de categoria quatro e cinco praticamente dobrou nos últimos trinta anos. Segundo a mesma fonte, a doença conhecida como malária espalhou-se para locais cujas altitudes são significativamente altas, como os Andes colombianos, que se localizam cerca de dois mil metros acima do nível do mar. Estima-se que mortes relacionadas ao aquecimento global deverão dobrar em apenas 25 anos, atingindo algo em torno de trezentas mil pessoas. O nível de oceanos deverá subir mais de seis metros e consequentemente mais de um milhão de espécies deverão entrar em extinção até o ano de 2050.

Estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão vinculado à Organização das Nações Unidas (ONU), retrata que áreas onde estão alocados alguns países que compõem a América Latina deverão sofrer graves conseqüências em razão do aquecimento global. A alteração no clima deverá causar sérios danos à agricultura, as reservas hídricas, ao ecossistema e facilitar a disseminação de doenças na população de tais paises, entre outros problemas.

Interessante notar que o aquecimento global provocado pelo efeito estufa acentuado não deve causar somente danos irreparáveis à saúde publica e infra-estrutura, mas também ao turismo. Alguns dos principais sítios turísticos do mundo podem ser destruídos num futuro próximo em razão desse processo (SISTER, 2007). Demonstrando as grandes proporções que este problema poderá ocasionar ao mundo, afetando todos os seguimentos da sociedade de forma direta.

A realização de ações que acarretam mudança do clima exige uma decisão sobre como atribuir um valor hoje a um dano futuro (com a avaliação dos possíveis efeitos negativos conseqüentes da mudança do clima), por exemplo, escolhendo uma taxa de desconto para calcular o valor presente líquido dos danos futuros. A incerteza sobre os detalhes dos danos exige ainda a escolha de um fator de aversão ao risco,

com o que as margens de incerteza sobre exatamente que impactos certa ação de emissões de GEE provoca serão objeto de análise de variáveis. Essas variáveis integrarão os parâmetros a serem construídos para efeito de avaliação sobre o quanto vale o bem-estar daqui a 40 anos (no caso da emissão de dióxido de carbono), para que seja dada preferência por um comportamento mais limpo, em um processo de decisão pela escolha de certa conduta mais ou menos emissora de gases de efeito estufa (FILHO e FRANGETTO, 2008).

A mudança global do clima vem se manifestando de diversas formas, destacando-se o aquecimento global, a maior freqüência e intensidade de eventos climáticos extremos, alterações nos regimes de chuvas, perturbações nas correntes marinhas, retração de geleiras e a elevação do nível dos oceanos. Desde a Revolução Industrial a temperatura média do planeta aumentou cerca de 0,6 ºC, e recentemente, o fenômeno tem se acelerado: as maiores temperaturas médias anuais do planeta foram registradas nos últimos anos do século XX e nos primeiros anos do século XXI (POPPE e LA ROVERE, 2005).

Apesar de ainda haver muitas incertezas quanto aos impactos futuros das mudanças climáticas, o aquecimento global foi constatado por três dos maiores centros de pesquisas do mundo, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU e a Organização Mundial Meteorológica (seus modelos computacionais prevêem incrementos na temperatura da Terra entre 1,4º C a 5,8º C no final deste século), constituindo-se, atualmente, em uma das principais preocupações da comunidade científica e da sociedade, em nível planetário.

Segundo GABETTA (2006) existem outros pesquisadores argumentam que toda a ação que será desenvolvida dentro do Protocolo de Quioto para reduzir os níveis de emissões de gases de efeito estufa minimizará o aquecimento global em apenas 0,1º. C.

NOBRE (2008) cita duas pesquisas recentes publicadas em revistas científicas para exemplificar o peso da ação humana modificando o ambiente global. Uma delas, divulgada em Maio de 2008 pela revista Science, mostra que o homem aumentou a oferta de nitrogênio nos oceanos em quase 50%. Além disso, tem influenciado gravemente os ciclos desse elemento químico na atmosfera e no solo do planeta. O aumento tem sérias implicações para as mudanças climáticas, uma vez que o nitrogênio em excesso aumenta a atividade biológica marinha e a absorção de dióxido de carbono, o que, por sua vez, leva à produção de mais óxido nitroso, considerado ainda mais prejudicial ao aquecimento global do que o metano ou o próprio dióxido de carbono.

As questões sobre as mudanças climáticas devem considerar, de um lado, a vulnerabilidade a que os biomas globais estão expostos, e conseqüente necessidade de se definir estratégias de adaptação a esses impactos e, de outro lado, a questão da mitigação da mudança do clima, por meio de medidas que visam reduzir as emissões de gases, ou “seqüestrar” o carbono da atmosfera.

Os efeitos adversos do aquecimento global e da maior freqüência e intensidade de eventos climáticos extremos podem provocar uma maior vulnerabilidade do planeta em diversas áreas, por exemplo: perdas na agricultura e ameaça à biodiversidade; expansão de vetores de doenças endêmicas; aumento da freqüência e intensidade de

enchentes e secas; mudança do regime hidrológico, com impactos sobre a capacidade de geração hidrelétrica. Além disso, a elevação do nível do mar pode afetar regiões costeiras, em particular grandes regiões metropolitanas litorâneas. Estas perspectivas são particularmente preocupantes para os países em desenvolvimento, que deverão sofrer mais fortemente os impactos das mudanças climáticas e poderão ter comprometidos seus esforços de combate à pobreza e os demais objetivos de desenvolvimento do milênio (POPPE & LA ROVERE, 2005).

Preocupação relevante e também levantada pelo meteorologista NOBRE (2008), onde este afirma que os países desenvolvidos estão preocupados com a adaptação, mas não com a adaptação dos países em desenvolvimento.

A preocupação mundial com a necessidade de preservação ambiental, principalmente com a emissão de gases de efeito estufa, é hoje uma realidade que está motivando o desenvolvimento progressivo de uma verdadeira consciência ambiental. O sinal mais expressivo desta conscientização foi a Convenção de Mudanças Climáticas, realizada em 1992, e as posteriores Conferências das Partes, sempre visando alcançar equacionamentos complexos, que, por suas repercussões macroeconômicas, representam grandes desafios no plano do Direito Internacional (LELLIS, 2007).

O Direito Internacional está deixando desta forma a sua linha clássica e se adaptando aos diversos fenômenos que marcam a sociedade global, modernizando as legislações, principalmente nos campos do Direito Internacional, Econômico e Meio Ambiente. Atualmente nas relações internacionais, as já complexas negociações sobre a proteção ambiental tornam-se ainda mais difíceis, por envolver questões econômicas, políticas e de soberania, embora, inegavelmente, estejam progredindo. E como sempre ocorre em todo acordo político, as negociações conduzem a eventuais concessões, e estas devem ser entendidas não como retrocessos, mas, sim, como alternativas de encaminhamento de possíveis acordos.

2.2 – Protocolo de Quioto e Convenções-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

Segundo FILHO e FRANGETTO (2008), o primeiro relatório de avaliação científica do IPCC, de 1990, continha a afirmação de que a detecção inequívoca da mudança do clima ainda tardaria mais de uma década – e foi isso que realmente ocorreu. Essa previsão pôde ser feita porque, uma vez conhecida à previsão da mudança do clima – meio grau Celsius até o final do século 20 –, e conhecendo-se a variabilidade do clima, concluiu-se que a detecção somente ocorreria quando a mudança do clima fosse maior do que a variabilidade natural, o que só ocorreria por agora. E assim foi, conforme a literatura científica resumida no Quarto Relatório de Avaliação Científica do IPCC, publicado em 2007.

Das histórias recentes das iniciativas internacionais na área de mudança do clima destacam-se os seguintes eventos e acordos:

1971 – a Academia de Ciências da Suécia organiza um Estudo do Impacto do Homem sobre o Clima (*Study of Man's Impact on Climate*-SMIC

reeditado pela MIT Press). Pretendia-se que o relatório influenciasse a conferência da ONU no ano seguinte.

1972 – A Conferência de Estocolmo de 1972 (*United Nations Conference on Man and the Environment*) teve grande importância ao resultar na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que, por sua vez, influenciou os países no estabelecimento de organismos de várias naturezas em suas estruturas executivas encarregados de temas ambientais.

1988 – Criação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e PNUMA, da ONU. O IPCC foi encarregado de realizar uma avaliação do estado do conhecimento sobre mudança do clima. O primeiro relatório de avaliação foi publicado em 1990. Novos relatórios foram publicados em 1995, 2001 e 2007.

1990 – Resolução da Assembléia Geral da ONU sobre a proteção do clima para as futuras gerações e mandato de negociação de uma Convenção sobre Mudança do Clima.

1992 – Adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change*-UNFCCC) e sua abertura a assinaturas por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92.

1994 – Entrada em vigor da Convenção, ao ser ratificado pelo número suficiente de Partes.

1995 – Primeira Conferência das Partes da Convenção (COP1). Adoção do Mandato de Berlim, com mandato de negociação de um Protocolo à Convenção. Estabelecimento do Grupo de Trabalho *Ad-hoc* sobre o Mandato de Berlim, encarregado da negociação daquele protocolo.

1997 – Adoção do Protocolo de Quioto e sua abertura a assinaturas.

2005 – Entrada em vigor do Protocolo de Quioto, ao ser ratificado pelo número suficiente de Partes.

Analisando de forma detalhada os acontecimentos podemos citar que desde a década de 50, pesquisadores começaram a relacionar o aumento da temperatura terrestre com a concentração de gases de efeito estufa. Assim, este tema começou a tornar-se cada vez mais discutido e pesquisado, desta forma gerando preocupação para cientistas do mundo todo, sobre as futuras implicações ao meio ambiente.

GABETTA (2006) coloca que já em 1988 ocorreu o primeiro encontro entre governantes e cientistas sobre as mudanças climáticas, realizado em Toronto, Canadá. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a partir da década de 90, começaram a sentir a necessidade do desenvolvimento de um acordo que tratasse desse tema. Assim dando resposta a essas pressões, criaram um grupo de trabalho intergovernamental que se encarregou de preparar um tratado. A primeira ação efetiva foi à criação do Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) e, na área política, com a

Organização das Nações Unidas estabelecendo o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC), que mais tarde culminou na criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change).

Em decorrência dos riscos acarretados pelas mudanças climáticas, a CQNUMC tem sua abertura para adesões em 1992 durante a Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, com o objetivo de estabelecer as diretrizes e condições para estabilizar as concentrações dos níveis de gases estufas na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. A Convenção do Clima entrou em vigor em 21 de março de 1994 e, até novembro de 2004, havia sido assinada por 189 "Partes" (países), que assumem assim um compromisso internacional com os termos da Convenção.

A CQNUMC estabelece que os níveis devam ser alcançados num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, e assegurando a produção de alimentos, cenário onde o desenvolvimento econômico deve ser embasado por práticas sustentáveis.

De acordo com CENAMO* (2004) apud GABETTA (2006), com o objetivo de consolidar e tornar factível as metas planejadas pelo CQNUMC, foram criados alguns órgãos, tais como:

- COP/MOP - Conferência das Partes: O corpo supremo da Convenção. Inclui as nações que ratificaram a UNFCCC e mais um grupo de observadores convidados (organizações internacionais como UNEP, UNCTAD, WMO, OCDE, IEA e Ong's credenciadas). O Papel da COP é promover e revisar a implementação da UNFCCC, revisar compromissos existentes periodicamente levando em conta os objetivos da convenção, divulgar trabalhos científicos novos e verificar a efetividade dos programas de mudanças climáticas nacionais.
- CSCCT - Corpo Subsidiário para o Conselho Científico e Técnico (SBSTA - Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice): Foi estabelecido para proporcionar, para a COP e seus corpos subsidiários, informação e conselho em assuntos científicos e tecnológicos, como os provenientes do IPCC relacionados à CQNUMC.
- CSI - Corpo Subsidiário de Implementação (SBI - Subsidiary Body for Implementation): O CSI é o corpo permanente estabelecido para ajudar os participantes da CQNUMC a avaliar e implementar a Convenção.
- FGMA - Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF - Global Environment Facility): O GEF foi estabelecido em 1991 e serve como mecanismo

---

* CENAMO, M. (2004). *Mudanças Climáticas, o Protocolo de Quioto e Mercado de Carbono*. CEPEA. ESALQ. Piracicaba. apud GABETTA, H. (2006), *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

financiador da CQNUMC, fornecendo assim as concessões e empréstimos aos países elegíveis, para auxílio no atendimento aos objetivos da Convenção. De 1992 a 1998, seus fundos geraram empréstimos da ordem de aproximadamente U$ 4 bilhões.

- PIMC - Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (IPCC): O corpo é responsável pelas avaliações técnicas e científicas no apoio a CQNUMC. Consiste em milhares de cientistas do mundo inteiro e entrega anualmente relatórios de avaliação referentes às mudanças climáticas e seus possíveis impactos globais.

Neste contexto a Convenção do Clima tem como órgão supremo a Conferência das Partes (COP), composta pelos países signatários, que se reúne anualmente para operacionalizar a Convenção e cuja primeira reunião ocorreu em Berlim, Alemanha, em 1995. Onde estiveram presentes delegados de 117 países que estabeleceram o Mandato de Berlim, tendo como objetivo principal mitigar ações ativas sobre o efeito estufa.

Entre inúmeras resoluções do tratado foi estabelecida a primeira revisão sobre o compromisso dos países desenvolvidos em reduzirem as suas emissões para os níveis de 1990 até o ano 2000, porém não seria suficiente para atingir os objetivos de longo prazo da CQNUMC. Assim, as Partes entraram num consenso de que seria necessária a elaboração de um protocolo com o comprometimento legal dos participantes em tornar oficial a questão, tendo como prazo final da apresentação do documento o ano de 1997.

Adotou-se como alternativa para o cumprimento das metas de reduções de emissões de GEE, medida ainda na sua forma piloto, as Atividades Implementadas Conjuntamente (AIC), que são atividades referentes à diminuição de emissões de GEE ou projetos de seqüestro de carbono, que poderão ser realizadas através da sociedade entre investidores de países desenvolvidos e um país hospedeiro. O propósito foi de testar o desafio envolvido implementando projetos em comum, com o patrocínio de tecnologia e a transferência de experiência.

Como conseqüência do Mandato de Berlim e com o objetivo de fortalecer o compromisso dos países desenvolvidos em reduzir as suas emissões, foi criado o Grupo Ad Hoc sobre o Mandato de Berlim (AGBM) e, desta forma, começaram os primeiros esboços de protocolo que após alguns encontros foi apresentando à COP 3, e mais tarde culminou na adoção do Protocolo de Quioto (GABETTA, 2006).

A segunda COP foi realizada na Suíça, no ano de 1996, onde ficou decidido que os países em desenvolvimento (países que não pertencem ao Anexo I) deveriam enviar uma comunicação preliminar a CQNUMC, na qual estariam solicitando auxílio financeiro e tecnológico proveniente do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) (que estaria colocando as orientações para os países interessados em receber a assistência, na terceira Conferência das Partes).

Para VIOLA & LEIS* apud GABETTA (2006), os EUA assumiram uma posição de liderança nesta Conferência, enfatizando a urgência de se negociar metas obrigatórias e introduzindo o conceito de cotas comercializáveis de emissão de carbono, que serviriam como mecanismo de flexibilidade, complementar aos esforços domésticos para atendimento das metas de emissão.

Durante a COP 3, realizada em Quioto, Japão, em 1997, foi adotado o Protocolo de Quioto, que é um acordo internacional que estabelece metas de controle dos gases causadores do efeito estufa. Composto de um preâmbulo, 28 artigos e dois anexos, o Protocolo foi aprovado e aberto às assinaturas na cidade japonesa de Quioto, em 14 de dezembro de 1997, durante a Terceira Conferência das Partes. O Anexo I, elaborado a partir da Rio-92, lista 41 países desenvolvidos ou “industrializados em processo de transição para uma economia de mercado”, aos quais coube assumir um certo número de compromissos exclusivos (LELLIS, 2007).

O Protocolo de Quioto reuniu representantes de 166 países para discutir providências em relação ao aquecimento global. No documento foi estabelecido a redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2), que responde por 76% do total das emissões relacionadas ao aquecimento global e outros gases do efeito estufa nos países industrializados. O Protocolo estabeleceu um compromisso de redução de emissões totais dos gases geradores do efeito estufa para níveis inferiores em 5,2% dos praticados em 1990. Também ficou definido que essa redução ou limitação, que varia de país a país, deverá ser cumprida entre os anos de 2008 e 2012 (Primeiro Período).

Importante ressaltar que apenas os países desenvolvidos, do chamado Anexo I, são obrigados a reduzir suas emissões. Países em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia, grandes emissores de poluentes, podem participar do acordo, mas não tem essa obrigação. 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 gases na atmosfera (ou seja, os países industrializados) têm obrigação maior de reduzir suas emissões. Os países listados no Anexo B do Protocolo (correspondente ao Anexo I da Convenção), a saber:

---

* *VIOLA, E; LEIS, H. R. (2001) Governabilidade e Mudança Climática: Desafios e Impasses Globais e Brasileiros.* Idéias – Revista do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas:Unicamp, ano 8 (2), p. 71-114. apud GABETTA (2006), *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

- Países europeus ocidentais – Alemanha, Áustria, Bélgica, Croácia, Dinamarca, Eslovênia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Islândia, Itália, Liechtenstein, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suécia e Suíça;
- Países do leste europeu – Bulgária, Eslováquia, Hungria, Polônia, República Tcheca e Romênia;
- Países da ex-União Soviética – Rússia, Ucrânia, Estônia, Letônia e Lituânia;
- Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia e Japão.

O Protocolo foi aberto para assinatura no dia 16 de março de 1998 e foi estabelecido que, para entrar em vigor, o documento precisaria ser ratificado por pelo menos 55 países, e que juntos deveriam corresponder por pelo menos 55% das emissões globais de GEE. Neste documento ficou estabelecido que através da ratificação, o Protocolo passaria a vigorar no prazo de 90 dias, tendo um significado de compromisso legal vinculando todas as Partes envolvidas e a não complacência de alguma Parte estaria sujeita a penalidades.

Entre esses, devem constar aqueles que, juntos, produziam 55% do dióxido de carbono lançado na atmosfera em 1990. O Protocolo estabelece ainda três mecanismos de flexibilização para auxiliar os países do Anexo I a atingirem suas metas nacionais de redução ou limitação de emissões (quantidades atribuídas) a custos mais baixos:

- Comércio de Emissões (CE) ou *Emissions Trade* (ET) - Descrito no Artigo 12 do Protocolo, estabelece um sistema de comércio de emissões, que permite que um país compre de outro cotas de reduções realizadas;
- Implementação Conjunta (IC) ou *Joint Implementation* (JI) - Descrito no Artigo 6 do Protocolo, que possibilita que os países realizem juntos projetos de redução de emissões;
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ou *Clean Development Mechanism* (CDM) - Descrito no Artigo 17 do Protocolo, que permite que os países do Anexo I se beneficiem das reduções de emissões realizadas em países em desenvolvimento (países ou Partes do não - Anexo I, sem compromissos de redução de emissão definidos para o primeiro período de cumprimento do Protocolo).

Na Convenção ficou estabelecida a questão da responsabilidade dos países desenvolvidos em promover, facilitar e financiar a transferência de tecnologia para os países em desenvolvimento, além de apoiar o desenvolvimento e a melhoria das capacidades e tecnologias endógenas destes países.

Em 1998 na cidade de Buenos Aires foi realizado a COP 4, teve a participação de 70 países que elaboraram e adotaram o chamado “Plano de Ação de Buenos Aires”, que tinha como perspectiva elaborar um pacote de metas

visando à preparação da entrada em vigor do Protocolo. As metas que preocupavam os participantes deste encontro eram:

- Mecanismos de financiamento;
- Desenvolvimento e transferência de tecnologias;
- Implementação dos artigos 4.8 e 4.9 da CQNUMC (Relacionados às obrigações dos países signatários, no fornecimento de auxílio financeiro e transferência de tecnologias aos países em desenvolvimento e/ou mais susceptíveis aos impactos das mudanças climáticas);
- Atividades implementadas conjuntamente em fase piloto;
- Programa de trabalho dos mecanismos do Protocolo de Quioto;

Também foi discutido nesta COP, no âmbito mais geral, questões a serem tratadas no nível da CQNUMC, como capacitação, desenvolvimento e transferência de tecnologia, assistência aos países em desenvolvimento - particularmente os mais vulneráveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas, e/ou ações realizadas pelos países industrializados para combater as mudanças climáticas (GUTIÉRREZ et al. * apud GABETTA, 2006).

Na COP 5, em1999, em Bonn – Alemanha, foram abordadas questões relativas à implementação do Plano de Ação de Buenos Aires, onde as Partes deveriam intensificar o trabalho preparatório para COP 6. Foram também abordados aspectos relativos às questões:

- Uso da Terra;
- Mudança de Uso da Terra e Florestas (LULUCF);
- Capacitação dos países em desenvolvimento, que foram definidos como países não-Anexo I

A COP 6, no ano de 2000, em Haia, na Holanda, não pôde ser concluída, tendo como pretexto a não solução das questões essenciais dos documentos transmitidos à Conferência. Estas questões referiam-se principalmente ao Plano de Ação de Buenos Aires e a questões de financiamento aos países em desenvolvimento, além de alguns aspectos relativos ao Comércio de Emissões e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). No fim desta COP ficou então

---

* GUTIÉRREZ, M.; LOHAN, D.; SCHIPPER, L.; SHERMAN, R.;WILKINS, H. (2003) *Summary of the Ninth Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change: 1-12 December 2003, Earth Negotiations Bulletin*, Disponível em:http://www.iisd.ca/linkages/climate/cop9/. Acesso em 28 janeiro. 2004. apud GABETTA (2006), *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

acertado que a COP 6 seria retomada em 2001 para que fossem concluídas as questões que ficaram sem solução.

Dessa forma, a COP 6 foi reconvocada para ser realizada na cidade alemã de Bonn, com grandes incertezas quanto ao futuro do Protocolo, havendo inclusive expectativas de que esta seria a última COP realizada, pois neste ano os Estados Unidos (EUA), responsáveis por 36,1% das emissões totais dos países industrializados, apesar de signatários da Convenção e de terem participado da Terceira Conferência das Partes em Quioto, anunciaram em março de 2001 que não iriam ratificar o Protocolo.

O pretexto colocado pelos Estados Unidos foi baseado nas preocupações relacionadas às incertezas científicas sobre o aquecimento global e a suposta potencialidade devastadora do Protocolo para a economia americana. Entretanto, a administração Bush prometeu promover futuras pesquisas sobre as questões do aquecimento global e trabalhar para reduzir as emissões de GEE. Através do anúncio dos EUA, outras nações como Japão, Rússia, Canadá e Austrália expressaram relutância similar em ratificar o Protocolo.

Segundo GABETTA (2006) a COP 6 em Bonn superou as expectativas e ficou conhecida por ter sido a Conferência que “salvou” o Protocolo de Quioto. O “sucesso” obtido na segunda edição da sexta Conferência das Partes aconteceu principalmente por um acordo em que concessões foram feitas para agradar aos interesses dos países em conflito, com o consenso da necessidade de se atacar diretamente os pontos essenciais do Plano de Ação de Buenos Aires. Para tanto, as seguintes questões adicionais foram estabelecidas:

- Necessidade da criação de um fundo especial para Mudanças Climáticas, além do GEF;
- Níveis adequados de GEE, estabelecidos previamente, devem se fazer disponíveis aos países que não constam do Anexo I;
- Partes incluídas no Anexo I quando possível, devem financiar países em desenvolvimento, diretamente, através de fundos como o fundo especial para mudança climática;
- Devem ser desenvolvidas modalidades apropriadas para a divisão da responsabilidade entre os Países do Anexo II.

Na COP 7 no ano de 2001 em *Marraqueche,*, LELLIS (2007) destacou que ficou estabelecido um grande avanço na definição das regras operacionais para o desenvolvimento do MDL, atraves das metodologias para o estabelecimento das linhas de base e o monitoramento dos projetos, a fixação do ciclo das atividades dos projetos candidatos ao MDL e a eleição do Conselho Executivo do MDL, responsável pela implantação do referido mecanismo. Segundo o Relatório COP7 do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), algumas decisões importantes foram tomadas nessa COP:

- A mais importante diz respeito à eleição do Executive Board que deverá cuidar, no âmbito da ONU, da gestão dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

- Outra decisão é a de que os países não precisarão ratificar o Protocolo de Quioto (aprovar o Protocolo nos respectivos Parlamentos, transformando-o em Lei), para participar do Comércio de Emissões. Isso quer dizer que países como os EUA (que, em princípio, se negam a ratificar o Quioto) podem adquirir e operar comercialmente com as "unidades de redução de emissões". Além de montar sistemas de comercialização (Bolsas, Trading Cias etc.) esses países poderão também comprar as unidades de redução para utilizá-las caso venham a ratificar o Protocolo. Em termos práticos isso resulta em um significativo aumento do potencial do mercado e do comércio de emissões (embora o fato da não obrigatoriedade de ratificação implique também num possível rebaixamento de preço das unidades de redução de emissões comercializáveis).

GABETTA (2006) coloca que nesta COP são definidos alguns pacotes de regras, onde novamente foi necessário que os Países da União Européia e o G77/China, cedessem espaço aos países do Grupo “Umbrella” (Japão, Canadá, Rússia e Austrália). O objetivo destes países era chegar a um acordo no qual o sistema de cumprimento (“compliance”) não tivesse vínculo legal; que houvesse poucos critérios de elegibilidade para a utilização dos mecanismos de flexibilização; e que houvesse pouca participação pública e transparência O objetivo do Grupo Umbrella não foi atendido, mas com concessões de ambos os lados, um acordo foi fechado.

O “Acordo de Marrakesh”, entre outras coisas, define as regras operacionais para LULUCF, mecanismos de flexibilização (MDL, Implementação Conjunta e Comércio de Emissões) e Artigos 5, 7 e 8 que tratam respectivamente do inventário nacional de emissões das informações adicionais à Convenção derivadas do Protocolo e do processo de revisão das comunicações nacionais. Também se definiu as seguintes limitações aos créditos oriundos de florestas e agricultura:

- Existirá fungibilidade entre todas as unidades de crédito:
    - AAUs - Unidades de Quantidade Atribuída; quantidade das emissões que uma nação deve reduzir, como parte de seus compromissos junto à Convenção, que inclusive podem ser utilizadas para serem comercializadas internacionalmente. Um UQA (AAU) é definido como uma tonelada de CO_2equivalente.
    - RCEs - Reduções Certificadas de Emissão; durante a COP 9, adotou-se a definição de duas modalidades de reduções certificadas de emissão, as RCEs temporárias (tRCEs) e as RCEs de longo período (lRCEs). As RCEs temporárias são os certificados emitidos para uma atividade de projeto florestal, que expiram no final do período de compromisso, ao qual os créditos foram submetidos. As RCEs de longo prazo são as RCEs de um projeto florestal que expiram apenas ao final do período de creditação, ao qual foi submetido o projeto de MDL.
- Serão permitidos projetos unilaterais de MDL (sem participação de um país do Anexo I);

- Foram estabelecidos fundos internacionais para ajudarem os países menos desenvolvidos a se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas.

LELLIS (2007) coloca que no plano do Direito Internacional, o Acordo de Marraqueche regulamentou o “regime de cumprimento”, conjunto de regras e procedimentos de verificação da implementação dos compromissos assumidos através do Protocolo de Quioto. A partir de tal regulamentação, os países que descumprirem os referidos compromissos, assumidos internacionalmente, estarão sujeitos a sanções impostas por um Comitê Internacional, com conseqüências juridicamente vinculantes:

Na COP-8 no ano de 2002, na Índia, havia certa expectativa quanto à definição das modalidades e procedimentos para as atividades de reflorestamento e aflorestamento, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o que não se concretizou. A tônica maior foi desta COP foi a respeito da pressão para que os países subdesenvolvidos adotem metas de redução de emissões dos gases que causam o efeito estufa, com validade a partir de 2013, com a inclusão do Brasil, Índia e China. A participação brasileira tem sido e deverá continuar sendo relevante nos debates e entendimentos entre as nações para o equacionamento desse difícil desafio de regulamentação na área do Direito Internacional.

Nesta COP foram discutidas as definições ainda pendentes dos Acordos de Marrakesh sobre temas como florestas, permanência, adicionalidade, linha de base, vazamentos (“leakages”), período de creditação, mas não foi obtido nenhum resultado concreto e ficou postergado para a próxima COP.

O setor privado e as organizações não governamentais tiveram destaque através da ratificação do protocolo e funcionamento dos mecanismos de flexibilização. Foram apresentados diversos projetos no escopo do MDL, evidenciando a formação de mercados para o comércio de créditos de carbono como o PCF – Prototype Carbon Fund e a CCX - Chicago Climate Exchange.

Adotou-se nesta COP a Declaração de Delhi sobre Mudança Climática e Desenvolvimento Sustentável Esta declaração reafirma a prioridade dada pelos países desenvolvidos à questão do desenvolvimento e erradicação da pobreza, reconhecendo as responsabilidades comuns, mas diferenciadas, das Partes para implementação dos compromissos da CQNUMC (GUTIÉRREZ et al. * apud GABETTA, 2006).

---

* GUTIÉRREZ, M.; LOHAN, D.; SCHIPPER, L.; SHERMAN, R.;WILKINS, H. (2003) *Summary of the Ninth Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change: 1-12 December 2003, Earth Negotiations Bulletin*, Disponível em:http://www.iisd.ca/linkages/climate/cop9/. Acesso em 28 janeiro. 2004. apud GABETTA (2006), *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Em 2003, na cidade de Milão, Itália, ocorreu a COP 9, que deliberou sobre:

- Modalidades e procedimentos para as atividades de projeto de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL;
- Guia de boas práticas para preparação de inventários de gases de efeito estufa no Setor de Uso da Terra,
- Mudança do Uso da Terra e Florestas;
- Fundo especial para alterações climáticas;
- Fundo para os países menos desenvolvidos.

GABETTA (2006) coloca como principais as seguintes questões acordadas nesta COP;

- **Limite do projeto:** As áreas de reflorestamento de um Projeto Florestal poderão ser descontínuas (desconexas), ou seja, um mesmo projeto poderá ter reflorestamentos em duas áreas distantes, ao contrário do que queria o Brasil;
- **Questão da permanência das RCEs:** Nesta questão, foi acertada a adoção de RCEs temporárias (*tCERs*) e RCEs de longo prazo (*lCERs*):
    - **RCEs temporárias:** As RCEs temporárias são válidas apenas durante o período de comprometimento em que foram emitidas. Por exemplo, as RCEs geradas em um projeto de reflorestamento/florestamento que está em andamento (gerando RCEs), serão válidas apenas para o primeiro período de comprometimento (2008 a 2012) e após 2012, deixam de valer como RCEs.
    - **RCEs de longo prazo:** Os créditos de longo prazo de um projeto de reflorestamento expiram apenas ao final do período de creditação, sob o qual foi submetido o projeto de MDL.
- **Projetos Florestais de Pequena Escala** (*Small-scale afforestation and reforestation Project activities*): São aqueles projetos desenvolvidos por pequenas comunidades (que geralmente apresentam certa dificuldade e condições particulares de participação no MDL) definidas pelo país onde o projeto está instalado, não podendo ultrapassar a remoção de 8 mil toneladas de CO_2 por ano. Caso o Projeto de Pequena Escala ultrapasse essa quantidade de 8 mil toneladas de CO_2 por ano, o excesso não será elegível à aquisição de RCEs.

A COP-10, em 2004, em Buenos Aires, Argentina, na qual se discutiu sobre a *Convenção do Clima* após 10 anos, sendo estudados:

- Os impactos da mudança do clima;
- Adaptação e desenvolvimento sustentável;
- Tecnologia e mudança do clima;
- Mitigação da mudança do clima (as políticas e seus impactos).

Essa COP tornou-se um marco histórico, pois foi realizada aproximadamente dois meses antes da entrada em vigor do Protocolo de Quioto, através da entrada da Rússia em 22 de outubro de 2004. Desse modo, o Protocolo conseguiu atingir os números necessários para sua ratificação; Os países que já haviam ratificado somavam apenas 44% das emissões mundiais de 1990 e com a entrada da Rússia responsável por 17,2 % das emissões globais de 1990, conseguiu-se atingir os 55% necessários para a ratificação do protocolo. Desta forma, o Protocolo de Quioto entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, estabelecendo que os 141 países que assinaram terão de colocar em ação, planos para deter a escalada dos gases estufas da atmosfera. (GABETTA, 2006).

Após os 14 anos da "Eco 92" que se concretizou de forma efetiva a Ratificação do Protocolo de Quioto, este é um pequeno passo, dentro do imenso desafio de frear a tendência de aquecimento global, deve-se ressaltar que dos 189 países da Convenção-Quadro já 176 países ratificaram o Protocolo. Novas regras deverão ser discutidas, sendo uma obrigação da humanidade em buscar novos objetivos e metas. Neste momento o mais importante não são os números alcançados pelo acordo, mas é trazer a tona este tema que durante anos assusta os cientistas e agora está sendo discutido por toda sociedade e, desta forma, deverá desenvolver mudanças de atitudes entre líderes mundiais e em suas políticas.

Se por um lado foram aprovadas as regras para a implantação do Protocolo de Quioto, que entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005, por outro lado continuam as dúvidas sobre a viabilidade de um novo período para o tratado depois de sua expiração em 2012. (PEW CENTER [*] apud GABETTA, 2006).

Na COP-11 no ano de 2005, em Montreal, Canadá, foram discutidos temas sobre:

- O "Programa de Trabalho" de cinco anos do órgão subsidiário de assessoramento científico e tecnológico sobre impactos;
- Vulnerabilidade e adaptação à mudança do clima, diálogo sobre ações de cooperação de longo prazo para lidar com a mudança do clima por meio da melhoria da implementação da convenção;
- Orientação adicional a uma entidade operacional do mecanismo financeiro;
- Desenvolvimento e transferência de tecnologias e submissão de segundas e, quando apropriado, terceiras comunicações de partes não incluídas no Anexo I da Convenção das Partes.

---

[*] Pew Center on Climate Change (2004). *Beyond Kyoto: Advancing the International Effort Against Climate Change*. apud GABETTA (2006), *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Em 2006, em Nairobi, Kênia, ocorreu a COP-12, marcada pela forte presença de Organizações Não Ambientais (Ongs). Dentre outras decisões, cuidou-se da revisão do mecanismo de financiamento e do desenvolvimento e transferência de tecnologia. Na ocasião, o CEBDS realizou um evento para divulgar os projetos brasileiros na área de energia voltados para o combate do aquecimento global denominado “Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no Brasil: Soluções vencedoras para mudança do clima global, e desenvolvimento” (LELLIS, 2007).

Na cidade de Bali no ano de 2007, Indonésia, ocorreu a COP-13 cujos resultados obtidos foram muito abaixo das necessidades e expectativas apontadas pelos cientistas e ambientalistas, porém para um processo da ONU, a COP-13 foi um evento que gerou decisões políticas significativas, como a continuidade do processo por meio de dois caminhos, AWG-LCA (Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention / Grupo de Trabalho Ad Hoc sobre Ação Cooperativa de Longo Prazo no âmbito da Convenção) e AWG-KP (Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Quioto Protocol / Grupo de Trabalho Ad Hoc sobre Compromissos Adicionais no âmbito do Protocolo de Quioto para os Países do Anexo I). Programas que chegaram com dois anos de atraso, pois as negociações para o segundo período de compromissos do Protocolo de Quioto, de acordo com o artigo 3.9 do Protocolo de Quioto, deveriam ter começado na COP-11.

De qualquer forma, o cronograma das negociações para o segundo período de compromissos do Protocolo de Quioto foi garantido para a COP-15 em 2009, apesar do Bali roadmap (“mapa do caminho”) não conter decisões sobre níveis de redução, conforme esperado, sendo colocada apenas uma referência implícita. Ao contrário da Bali Action Plan, a decisão do AWG apontou a necessidade dos países do Anexo I reduzirem em 25-40% suas emissões até 2020.

A redução de emissões do desmatamento (REDD) mereceu uma decisão específica sobre o tema. Ainda sobre avanços, aumentou-se a preocupação em torno da adaptação, entretanto, deve-se questionar a efetividade do Fundo de Adaptação, pois, apesar da COP ter decidido sobre seu arranjo operacional, é ingenuidade pensar que o Fundo pode resolver todos os problemas relacionados ao tema. Finalmente, o Brasil avançou para um comprometimento maior com objetivos vinculantes, mensuráveis e verificáveis (RUSSAR & BORN, 2008).

Uma das polêmicas desta COP foi em torno dos EUA, por consenso da Convenção, e em função da importância das emissões desse país, criou-se uma abertura para que o novo governo dos Estados Unidos – que assumirá em 2009 – se engaje nas negociações que serão concluídas na COP-15. Segundo o documento Bali Action Plan, ao abordar mitigação, considera que todos os países desenvolvidos, inclusive os países industrializados que não são partes do Protocolo de Quioto, pós-2012 deverão ter compromissos mensuráveis, verificáveis e reportáveis, incluindo corte nas emissões e objetivos de redução, assegurando a comparabilidade dos esforços desses países.

Na COP-14 realizado no ano de 2008, na cidade de Poznan - Polônia, houve a prerrogativa da criação de um novo acordo que substituirá pós-2012 o Tratado de Quioto, novo acordo que deve ser concretizado no final de 2009 na cidade de Copenhague (Dinamarca).

Serão realizadas reuniões para avaliar a primeira versão de um possível substituto do Tratado de Quioto marcadas na cidade de Bonn (Alemanha), de 29 de março a 8 de abril, e de 1º a 12 de junho. Antes da realização da COP-15 na cidade de Copenhague, entre 7 e 18 de dezembro, ocorrerá um encontro preparatório para a COP no mês de agosto ou setembro de 2009.

Outro ponto importante levantado em Poznan foi à criação de um fundo de adaptação às mudanças climáticas, considerado um dos pontos mais urgentes, este instrumento finalmente sairá do papel, liberando milhões de dólares por ano para países em desenvolvimento que enfrentam conseqüências das mudanças climáticas. O fundo que poderá começar a funcionar já a partir de 2009 tem apenas 80 milhões de dólares, entretanto pode chegar a 300 milhões de dólares por ano até 2012.

No quesito Mercado de Carbono/ MDL não houve consenso sobre os projetos de captura e armazenamento de carbono (CCS, na sigla em inglês) e sobre novas propostas de emissão de créditos de carbono a partir da destruição de gases CFC, sendo adiado estas questões para reunião de 2009.

2.3 – Mecanismos de Flexibilização e o MDL

Através do protocolo de Quioto, gerou-se a possibilidade da criação de um mercado que auxiliasse o processo de redução das emissões de GEE, criando-se um valor transacionável para as reduções, princípio semelhante de mecanismos já adotados pela Europa e Estados Unidos para alguns gases poluidores.

ARAÚJO (2007) cita que em razão das reivindicações dos países do Anexo I que entenderam como inviável a redução da emissão dos gases de efeito estufa, o Protocolo de Quioto criou três mecanismos para auxiliar no cumprimento das metas estabelecidas. Dois desses mecanismos são de exclusiva aplicação entre os países do Anexo I, a IC e o CE. O terceiro é o MDL, que envolve países do Anexo I e os não incluídos no Anexo-I, abrindo oportunidades para países como o Brasil.

No Artigo 6 do Protocolo de Quioto, que trata a respeito da IC, institui que uma empresa de um país do Anexo I ou os próprios países do Anexo I pode financiar projetos específicos para redução de emissões em outros países do Anexo I, recebendo créditos por isso, as chamadas Unidades de Redução de Emissões (ERU). De acordo com o Protocolo, os projetos de Implementação Conjunta que têm caráter bilateral, só poderão gerar ERUs a partir de 2008 e têm vigência até 2012, quando termina a primeiro período do Protocolo de Quioto. O objetivo desse mecanismo é facilitar e tornar mais acessível para cada país chegar à sua meta de redução de emissões de GEE, bem como gerar commodities a serem utilizadas no mercado internacional de emissões de carbono.

O CE da mesma forma que a IC é aplicada apenas aos países do Anexo I, estabelecendo um mercado de compra e venda do “direito de emitir GEE” (crédito de carbono - CER). Assim, os grandes poluidores podem comprar créditos daqueles que conseguirem reduzir suas emissões para além das metas impostas pelo Protocolo de Quioto. Podemos citar como a Dinamarca e o Reino Unido países que já instituíram sistemas nacionais de negociação.

Fruto de uma proposta brasileira, com algumas modificações, o MDL é um fundo adotada em Quioto que estabelece “penalidades” aos países do Anexo I, conforme a contribuição de cada um para cada o aumento da temperatura global, de modo a criar um Fundo de Desenvolvimento Limpo (FDL), cuja maior parte seria destinada a atividades de mitigação nos países Não-Anexo I, sendo uma pequena parte destinada às atividades de adaptação. Esse fundo evoluiu para o MDL. Inserido no artigo 12 do Protocolo de Quioto tratando-se de um mecanismo flexível entre países do Anexo I e não-Anexo I, o MDL em síntese trabalha com dois objetivos principais:

- Ajudar os países não-Anexo I a conquistar o desenvolvimento sustentável;
- Ajudar os países do Anexo I a obedecer seus compromissos de redução e de limitação de emissões de GEE previstos no artigo 3 do Tratado.

Tornando-se como a alternativa mais interessante aos países que não estão no Anexo I, pois permite aos países do Anexo I investir em projetos de redução de emissões alocados nos países em desenvolvimento, onde não há a obrigação de cortar emissões e o custo de implementação desses projetos é menor.

Estruturado no Princípio do Poluidor Pagador, onde se prevê a cobrança de uma taxa daquele que polui e a destinação dos recursos provenientes dessa taxa para alguma iniciativa de correção daquela poluição. Esse mecanismo acaba permitindo a certificação de projetos de redução de emissões e a posterior venda desses certificados aos países desenvolvidos, como modo de suplementar ao cumprimento das metas desses países de redução da emissão de gases.

Para empresas não-Anexo I, o MDL se constitui numa grande oportunidade para o desenvolvimento de programas de redução de emissão (ou absorção de CO_2), principalmente no que se refiram as energias renováveis e a projetos de aumento de eficiência energética. Na implementação desses projetos, conta-se com a possibilidade de transferência de tecnologia e de recursos externos de empresas de países do Anexo I, interessadas na obtenção de certificados de redução de emissão de gases de efeito estufa.

Os mecanismos desenvolvidos por Quioto foram importantes indutores para a formação de um novo mercado ambiental: o chamado mercado de carbono. Antes do Protocolo de Quioto, a idéia de comercializar emissões de gases poluentes já estava sendo colocada em prática em nível regional, em especial nos Estados Unidos, por meio do Acid Rain Program. Porém, Quioto criou um mercado internacional, onde as reduções de emissões de GEE e a remoção atmosférica de CO_2 poderiam ser comercializadas entre países por meio de créditos de carbono. Com a entrada em vigor do Protocolo, em 16 de fevereiro de 2005, o mercado evolui, aumentando consideravelmente os volumes e os valores negociados.

Além do mercado de Quioto, foram também criados outros mercados em países que não ratificaram o Protocolo, como por exemplo, a Chicago Climate Exchange e o New South Wales Greenhouse Gas Abatement Scheme (NSW), nos Estados Unidos. Contudo, os principais mercados de carbono são o de Quioto e, em especial, o European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS), onde são

comercializadas permissões para emissão entre os países da União Européia. O mercado de carbono comercializa as transações baseadas em Reduções Certificadas de Emissões (RCE) ou Certified Emission Reductions (CER) provenientes de atividades de projeto de MDL (ROCHA, 2008).

Os RCEs são emitidos por organizações credenciadas e corresponderão a reduções que decorram da implementação de um projeto, sem a existência do qual as emissões seriam mais elevadas.

2.3.1 - MDL

O MDL por se tratar do mecanismo de redução que mais interessa ao nosso país (única maneira de participar de projetos de reduções de GEE que permitam as emissões de RCEs, e conseqüentemente do mercado de carbono) será tratado de forma mais detalhada neste trabalho. Segundo SISTER (2007) no artigo 12 do Protocolo de Quioto é descrito os seguintes termos:

> **1.** Fica definido um mecanismo de desenvolvimento limpo.
> **2.** O objetivo do MDL deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3.
> **3.** Sob o MDL:
>
> > (a) As Partes não incluídas no Anexo I beneficiar-se-ão de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões;
> > (b) As Partes incluídas no Anexo I podem utilizar as reduções certificadas de emissões, resultantes de tais atividades de projetos, para contribuir com o cumprimento da parte de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3, como determinado pela COP na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo.
>
> **4.** O MDL deve sujeitar-se à autoridade e orientação da COP na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo e à supervisão de um conselho executivo do MDL.
> **5.** As reduções de emissões resultantes de cada atividade de projeto devem ser certificadas por entidades operacionais a serem designadas pela COP na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo, com base em:
>
> > (a) Participação voluntária aprovada por cada Parte envolvida;
> > (b) Benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima;
> > (c) Reduções de emissões que sejam adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto.

6. O MDL deve prestar assistência quanto à obtenção de fundos para atividades certificadas de projetos, quando necessário.
7. A COP na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo deve, em sua primeira sessão, elaborar modalidades e procedimentos com o objetivo de assegurar transparência, eficiência e prestação de contas das atividades de projetos por meio de auditorias e verificações independentes.
8. A COP, na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo, deve assegurar que uma fração dos fundos advindos de atividades de projetos certificados seja utilizada para cobrir despesas administrativas, assim como assistir às Partes dos países em desenvolvimento que sejam particularmente vulneráveis aos efeitos adversos da mudança do clima para fazer face aos custos de adaptação.
9. A participação no MDL, incluindo as atividades mencionadas no parágrafo 3(a) acima e na aquisição de reduções certificadas de emissão, pode envolver entidades privadas e/ou públicas e deve sujeitar-se a qualquer orientação que possa ser dada pelo conselho executivo do mecanismo de desenvolvimento limpo.
10. RCEs obtidas durante o período do ano 2000 até o início do primeiro período de compromisso podem ser utilizadas para auxiliar no cumprimento das responsabilidades relativas ao primeiro período de compromisso.

Em linhas gerais o Protocolo de Quioto tem o objetivo de prestar assistência aos países não inseridos no Anexo I, ou seja, aos países em desenvolvimento da CQNUMC. Viabilizando o desenvolvimento sustentável através da implementação da respectiva atividade de projeto e contribuindo para o objetivo final da Convenção e, por outro lado, auxiliando aos países do Anexo I o cumprimento de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE. Adquirindo através de RCEs de GEE em projetos gerados em países em desenvolvimento como forma de cumprir parte do compromisso global.

As reduções de emissão de GEE e/ou remoções de CO_2 atribuídas a um projeto resultam em RCEs, medidas em tonelada de carbono equivalente, sendo uma tonelada de carbono equivalente igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente, calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potencial - GWP), índice divulgado pelo IPCC e utilizado para uniformizar as quantidades dos diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que reduções de diferentes gases sejam somadas. O GWP, que deve ser utilizado para o primeiro período de compromisso (2008-2012), é o publicado no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC. Os valores podem ser vistos na TABELA 1.

GABETTA (2006) comenta que para que sejam consideradas elegíveis no âmbito do MDL, as atividades do projeto devem contribuir para o objetivo primordial da Convenção e observar alguns critérios fundamentais, entre os quais o da adicionalidade, pelo qual uma atividade de projeto deve comprovadamente resultar na redução de emissões de GE e/ou remoção de CO_2 (adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL). Além do fato de que o projeto deve

contribuir para o desenvolvimento sustentável do país no qual venha a ser implementado. Devendo ser capaz de demonstrar benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados à mitigação da mudança do clima.

TABELA 1: Potenciais de aquecimento global de GEE acordados no Protocolo de Quioto.

Gases do Efeito Estufa	*Origem mais comum*	*GWP [tCO_2 eq.]*
Dióxido de Carbono (CO_2)	*Queima de combustíveis fósseis*	*1*
Metano (CH_4)	*Mineração, aterros, gado, degradação de matéria orgânica.*	*21*
Óxido Nitroso (N_2O)	*Fertilizantes, queima de combustíveis fósseis (ex. transporte)*	*310*
Hidrofluor Carbono (HFCs)	*Processos Industriais (refrigeração/ar condicionado)*	*11.700 a 140*
Perfluor Carbono (PFCs)	*Processos Industriais (em subst. Aos HFCs)*	*9.200 a 6.500*
Hexafluoreto de Enxofre (SF_6)	*Fluído Dielétrico, longo tempo de vida, 3.200 anos.*	*23.900*

Fonte: (LORA & TEIXEIRA, 2006)

SISTER (2007) coloca que a implementação do projeto de MDL apenas poderá ser realizada caso as reduções já comentadas sejam certificadas pelos organismos competentes, ou seja, a redução dos GEE implementada em países não incluídos no Anexo I do Protocolo de Quioto só poderá contribuir para o cumprimento dos objetivos daqueles países inseridos no Anexo I após terem sido certificados por entidades operacionais designadas (EOD) pela Conferência das Partes, estabelecido no artigo 12 do Protocolo de Quioto.

O processo de certificação do projeto de MDL estabelece as seguintes etapas consecutivas a serem seguidas:

- **Elaboração do Documento de Concepção do Projeto – DCP:** Além da descrição das atividades de projeto e dos respectivos participantes, deverá incluir a descrição da metodologia da linha de base, das metodologias para o cálculo da redução de emissões de gases de efeito, para o estabelecimento dos limites das atividades de projeto e para o cálculo das fugas. Deve ainda conter a definição do período de obtenção de créditos, um plano de monitoramento, a justificativa para adicionalidade da atividade de projeto, relatório de impactos ambientais, comentários dos atores e informações quanto à utilização de fontes adicionais de financiamento. Os responsáveis por essa etapa do processo são os participantes do projeto.

- **Validação/aprovação:** O documento é enviado para a EOD para sua validação; a EOD tem como uma das suas atividades validar os projetos de MDL de acordo com as decisões de Marraqueche. Cabe à EOD verificar se os seguintes quesitos foram incluídos e considerados no DCP apresentado:

- O projeto do MDL é voluntário e foi aprovado pelo país onde serão implementadas as atividades do projeto;
- A atividade de projeto do MDL atende aos critérios de elegibilidade;
- Há de fato uma redução adicional nas emissões de GEE;
- Foram consideradas fugas (leakage) fora dos limites da atividade de projeto;
- A análise de impacto ambiental foi realizada segundo a legislação ambiental nacional;
- O período de obtenção dos créditos foi definido.

No Brasil, corresponde ao processo de avaliação independente de uma atividade de projeto por uma Entidade Operacional Designada – EOD, no tocante aos requisitos do MDL, com base no DCP. A aprovação, por sua vez, é o processo pelo qual a Autoridade Nacional Designada (AND) das Partes envolvidas confirmam a participação voluntária e a AND do país onde são implementadas as atividades de projeto do MDL atesta que dita atividade contribui para o desenvolvimento sustentável do país. Os projetos são analisados pelos integrantes da Comissão Interministerial, que avaliam o relatório de validação e a contribuição da atividade de projeto para o desenvolvimento sustentável do país, segundo cinco critérios básicos: distribuição de renda, sustentabilidade ambiental local, desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de emprego, capacitação e desenvolvimento tecnológico, e integração regional e articulação com outros setores.

- Registro: A EOD após validar o projeto, envia o documento para a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, que no Brasil é formada por uma junta interministerial que é presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e vice-presidida pelo Ministério do Meio Ambiente. É composta ainda por representantes dos Ministérios das Relações Exteriores; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; dos Transportes; das Minas e Energia; do Planejamento, Orçamento e Gestão; do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e da Casa Civil da Presidência da República. Esta junta interministerial recebeu o nome de Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima – CIMGC, e a esta comissão, de forma soberana, cabe decidir se os objetivos do projeto do MDL estão sendo cumpridos.
  Após esta etapa a Entidade Nacional Designada envia o seu parecer á EOD, que efetuará o registro do projeto de MDL na Junta Executiva. A Junta Executiva supervisiona o funcionamento do MDL. Entre suas responsabilidades destacam-se:

  - O credenciamento das Entidades Operacionais Designadas;
  - Registro das atividades de projeto do MDL;
  - Emissão das RCEs;
  - Desenvolvimento e operação do Registro do MDL;

- Estabelecimento e aperfeiçoamento de metodologias para definição da linha de base, e fugas;
- Monitoramento;

Sendo o projeto registrado na Junta Executiva, será emitido um documento de registro do projeto e enviado aos participantes do mesmo.

- Monitoramento: A partir deste momento, haverá o monitoramento do projeto. O processo de monitoramento da atividade de projeto inclui o recolhimento e armazenamento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de gases de efeito estufa, de acordo com a metodologia de linha de base estabelecida no DCP, que tenham ocorrido dentro dos limites da atividade de projeto e dentro do período de obtenção de créditos. Os participantes do projeto serão os responsáveis pelo processo de monitoramento.

- Verificação/certificação: A Entidade Operacional Designada realizará a verificação que é o processo de auditoria periódico e independente para revisar os cálculos acerca da redução de emissões de gases de efeito estufa ou de remoção de CO_2 resultantes de uma atividade de projeto do MDL que foram enviados ao Conselho Executivo por meio do DCP. Esse processo é feito com o intuito de verificar a redução de emissões que efetivamente ocorreu. Após a verificação, o Conselho Executivo certifica que uma determinada atividade de projeto atingiu um determinado nível de redução de emissões de gases de efeito estufa durante um período de tempo específico, que terá como missão final do processo emitir os Certificados de Emissões Reduzidas aos participantes do projeto.

- Emissão e aprovação das RCEs: A etapa final, quando o Conselho Executivo tem certeza de que, cumpridas todas as etapas, as reduções de emissões de gases de efeito estufa decorrentes das atividades de projeto são reais, mensuráveis e de longo prazo e, portanto, podem dar origem a RCEs. As RCEs são emitidas pelo Conselho Executivo e creditadas aos participantes de uma atividade de projeto na proporção por eles definida e, dependendo do caso, podendo ser utilizadas como forma de cumprimento parcial das metas de redução de emissão de gases de efeito estufa.

A FIGURA 1 mostra o fluxo de transações de um projeto de MDL até a expedição dos Certificados de Emissões Reduzidas.

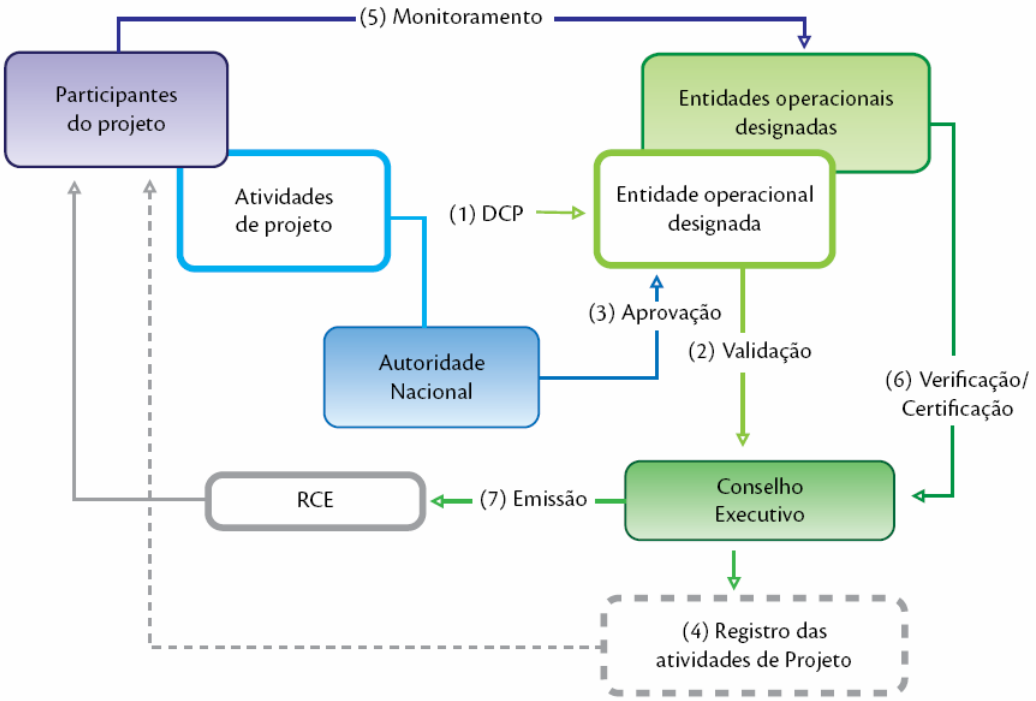

FIGURA 1 – Ciclo de Projeto de MDL
Fonte: CPMDL (2008)

Conforme MOZZER et al. (2008), podemos resumir de forma simplificada o processo em duas etapas::

- A primeira vai desde a submissão (passo 1) até o registro (passo 4). Nessa parte, o proponente de projeto ainda não desenvolve uma atividade de MDL propriamente dita. Ele está buscando o reconhecimento da UNFCCC de que a atividade proposta pode reduzir emissões de GEE e contribui com o desenvolvimento sustentável na parte anfitriã. Esse reconhecimento é dado no momento do registro do projeto. Desse momento em diante, a atividade de projeto passa a ser, de fato e de direito, uma atividade de projeto no âmbito do MDL.
- A segunda etapa vai do monitoramento (passo 5) até a emissão das RCE (passo 7). Essa parte do ciclo é também conhecida como Ciclo de Verificação (em alusão ao relatório de verificação, que deve ser elaborado por uma EOD) ou Ciclo de Emissão de RCE. Esse ciclo é teoricamente infinito e se repetirá na freqüência em que o proponente do projeto quiser fazer jus às RCE a que tem direito. Dessa forma, o Ciclo de Verificação/Ciclo de Emissão de RCE ocorrerá quando o proponente de projeto contratar uma EOD para elaborar o relatório de verificação, quantificando e certificando as reduções de emissões alcançadas pelo projeto naquele dado período, e requisitar ao Conselho Executivo do MDL a emissão das RCE a que o projeto tem direito.

Segundo GABETTA (2006) os participantes de atividades de projeto podem ter como objetivo a comercialização / revenda das RCEs com a expectativa de

valorização futura e realização de lucros, em função da demanda pelas Partes que possuam compromissos de redução de emissões. As ONGs podem ter como objetivo a aquisição de RCEs sem objetivo de revenda, retirando-as simplesmente do mercado, com fins estritamente ambientais. As Partes Não Anexo I que tiverem ratificado o Protocolo de Quioto, poderão participar, voluntariamente, de atividades de projeto no âmbito do MDL. No caso específico das Partes Não Anexo I, somente são elegíveis para a participação em atividades de projeto MDL aquelas que:

- Tenham suas quantidades atribuídas devidamente calculadas e registradas;
- Tenham um sistema contábil nacional para gases de efeito estufa em vigor;
- Tenham criado um Registro Nacional;
- Tenham enviado o Inventário Nacional de gases de efeito estufa à CQNUMC.

O inventário brasileiro de GEE foi entregue à CQNUMC durante a COP 10 (Buenos Aires – Argentina) no ano de 2004. A utilização dos RCEs para o cumprimento parcial das metas de redução / limitação de emissões, os países do Anexo I, além dos critérios anteriores, deverão ter ratificado o Protocolo de Quioto. As atividades de projeto implementadas pelos países Não Anexo I, iniciadas a partir de 01 de janeiro de 2000, poderão ser elegíveis no âmbito do MDL.

Nesse contexto, o MDL criou grande expectativa ao país, devido aos benefícios que este mecanismo pode trazer. Representando uma fonte de recursos financeiros para projetos de desenvolvimento sustentável; incentivando o maior conhecimento científico e tecnológico. O Brasil está convencido de que o maior conhecimento que resultará desses projetos permitirá a divulgação dos limites da contribuição dos sumidouros de dióxido de carbono (CO_2), e deverá evidenciar ainda mais a necessidade de os países ricos alterarem seus padrões de produção e consumo para que seja efetiva a luta contra o aquecimento global.

Restará aos países que não cumprirem as metas de redução a perda de direito de usar os mecanismos de flexibilidade, além disso, terá no segundo período de reduções, um acréscimo de 30% sobre o montante que deixaram de alcançar (GABETTA, 2006). Diversos dispositivos de redução das emissões de gases de efeito estufa estão sendo desenvolvidos, entre os quais se destacam:

- Reestruturação dos setores de energia e de transporte;
- Promoção e incentivos ao uso de fontes renováveis de energia;
- Eliminação dos mecanismos financeiros e de mercado contrários ao Protocolo;
- Limitação das emissões de metano no gerenciamento dos resíduos e dos sistemas energéticos
- Proteção das florestas e de outros sumidouros de carbono.

As duas áreas principais que atualmente se implementam projetos de MDL são por Redução da Emissão de GEE e por Seqüestro de Carbono. Estas áreas são subdivididas da seguinte forma:

- Redução da Emissão de GEE

  - Destruição de GEEs na fonte (aterros sanitários, biodigestores, processos industriais, minas de carvão);
  - Troca ou mistura de Combustíveis;
  - Energias Renováveis (Biomassa, Eólica, Biogás, PCHs,Solar);
  - Eficiência Energética;
  - Substituição de matéria-prima.

- Seqüestro de Carbono

  - Reflorestamento e Florestamento;
  - Injeção de CO_2 em campos de petróleo/gás.

Podemos classificar ainda as atividades de projeto em pequena e larga escala. Segundo os Acordos de Marraqueche, são de pequena escala as seguintes atividades de projeto:

- Atividades de projeto de energia renovável com capacidade máxima de produção equivalente a até 15 Megawatts (ou uma equivalência adequada);
- Atividades de projeto de melhoria da eficiência energética, que reduzam o consumo de energia do lado da oferta e/ou da demanda, até o equivalente a 15 Gigawatt/hora por ano;
- Outras atividades de projeto que tanto reduzam emissões antrópicas por fontes quanto emitam diretamente menos do que 15 quilos toneladas equivalentes de dióxido de carbono por ano.

As outras atividades serão, então, classificadas como atividades de projeto de larga escala. A distribuição dos projetos brasileiros por tipo de metodologia, como pode ser observado na FIGURA 2, indica que a maioria das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil é de larga escala.

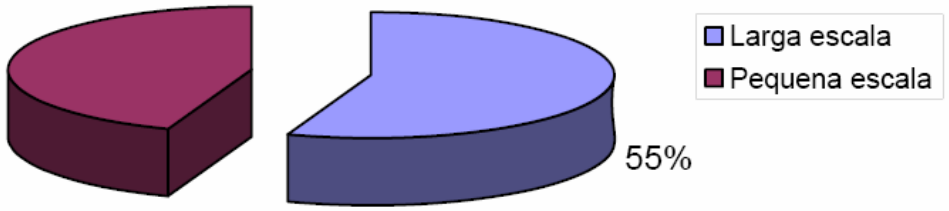

FIGURA 2 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de metodologia utilizada
Fonte: CQNUMC (2008)

2.3.2 – Cenário Mundial do MDL

Neste tópico, os dados a seguir foram retirados do último relatório disponibilizado pela CQNUMC no dia 30 de Agosto de 2008, inicialmente este estudo elucidou que uma atividade de projeto entra no sistema do MDL quando o seu documento de concepção de projeto (DCP) correspondente é submetido para validação a uma Entidade Operacional Designada (EOD). Ao completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade registrada torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL. As FIGURAS 3a e 3b mostram o status atual das atividades de projeto em estágio de validação, aprovação e registro. Em 30 de agosto de 2008, um total de 3828 projetos encontrava-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, sendo 1.102 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL e 2.726 em outras fases do ciclo. Como pode ser visto nas FIGURAS 3a e 3b, o Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 310 projetos (8%), sendo que em primeiro lugar encontra-se a China com 1343 e, em segundo, a Índia com 1082 projetos.

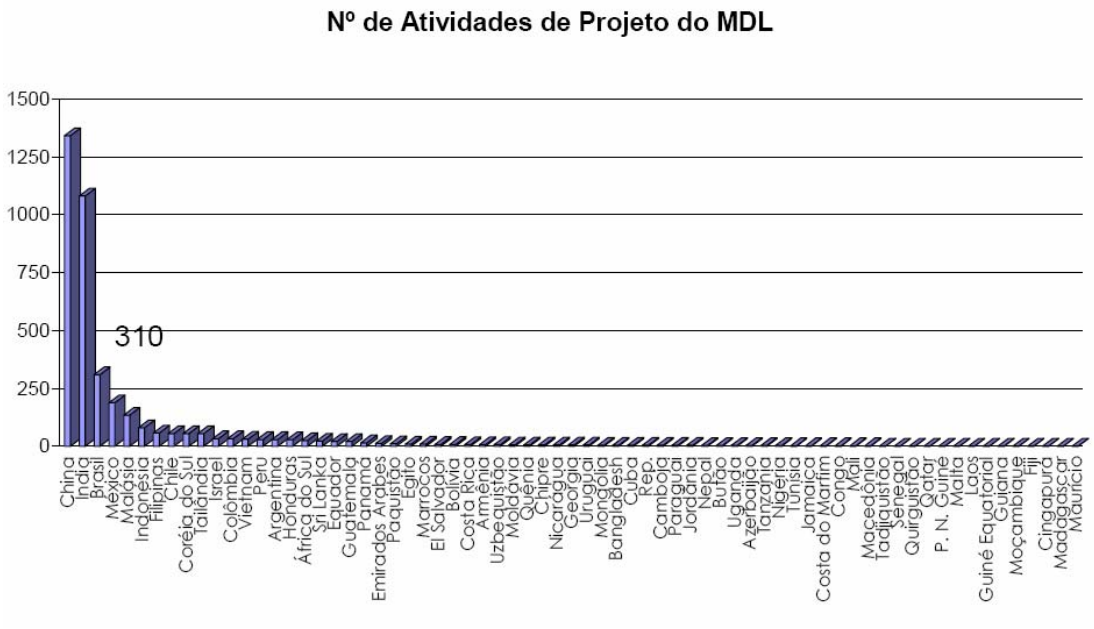

FIGURA 3a – Número de atividades de projeto no sistema do MDL
Fonte: CQNUMC (2008)

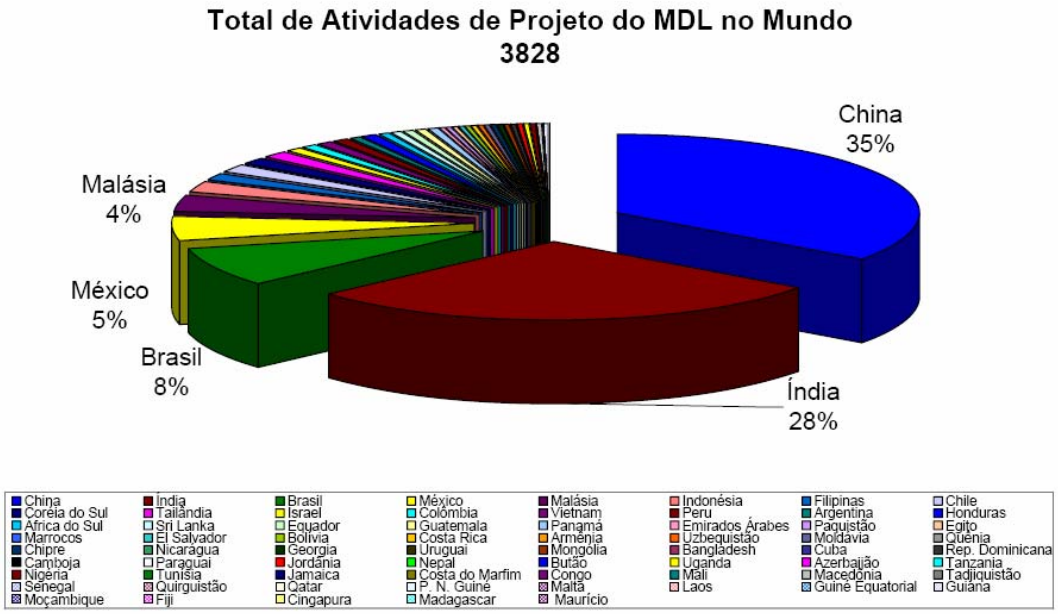

FIGURA 3b – Número de atividades de projeto no sistema do MDL
Fonte: CQNUMC (2008)

Em termos de reduções de emissões projetadas, o Brasil ocupa a terceira posição, sendo responsável pela redução de 311.696.422 de t CO_2e (FIGURA 4a), o que corresponde a 6% do total mundial, para o primeiro período de obtenção de créditos, que podem ser de no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou de 7 anos para projetos de período renovável (os projetos são renováveis por no máximo três períodos de 7 anos dando um total de 21 anos). A China ocupa o primeiro lugar com 2.211.283.057 t CO_2e a serem reduzidas (46%), seguida pela Índia com 1.167.684.616 de t CO_2e (24%) de emissões projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos (FIGURA 4b).

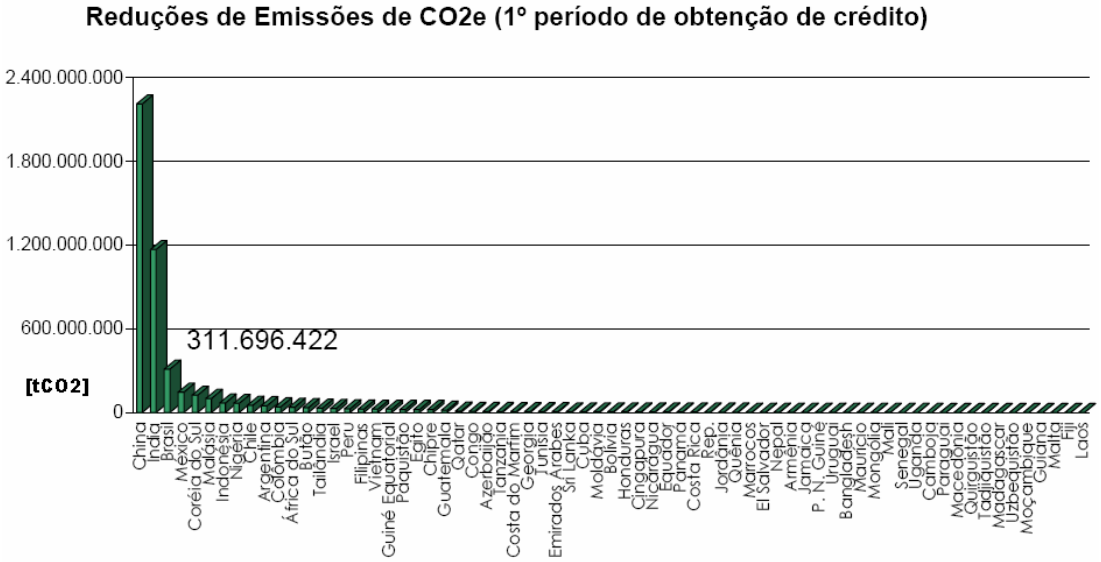

FIGURA 4a – Reduções de emissão projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos

Fonte: CQNUMC (2008)

Dividindo-se as toneladas a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos pelo número de anos (7 ou 10) obtém-se uma estimativa anual de redução esperada. No cenário global, o Brasil ocupa a terceira posição entre os países com maiores reduções anuais de emissões de gases de efeito estufa, com uma redução de 40.842.822 de tCO_2e/ano (FIGURA 5a), o que é igual a 7% do total mundial. Em primeiro lugar, encontra-se a China (FIGURA 5b), com 296.865.707 de tCO_2e/ano (50%), e, em segundo, a Índia, com redução de 119.367.130 de tCO_2e/ano, o que corresponde a quase 20% do total mundial.

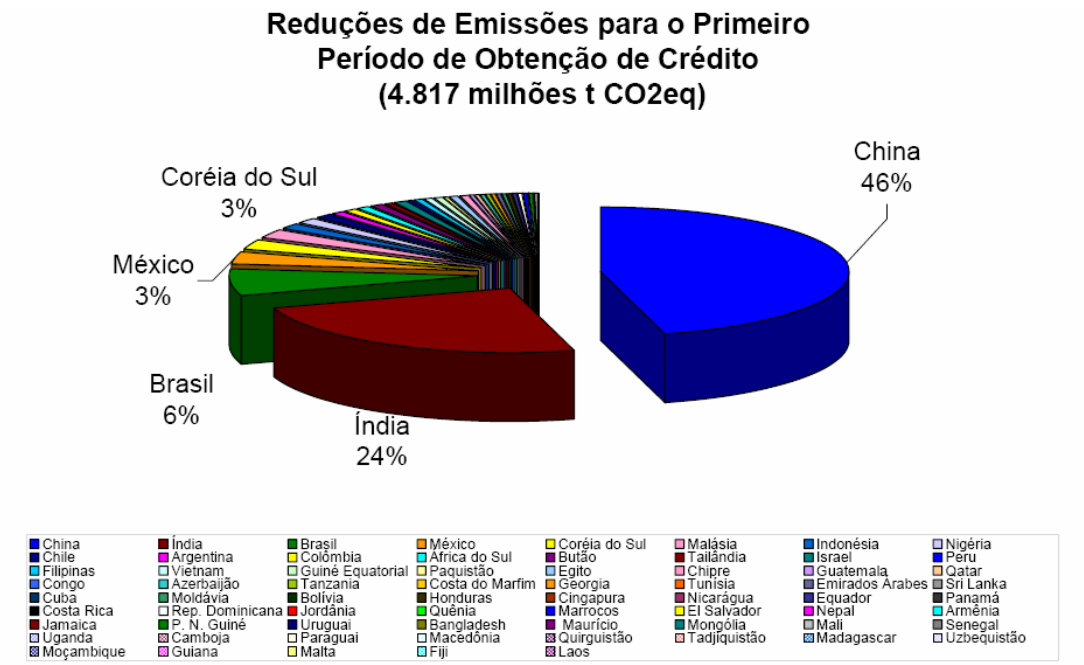

FIGURA 4b – Reduções de emissão projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos

Fonte: CQNUMC (2008)

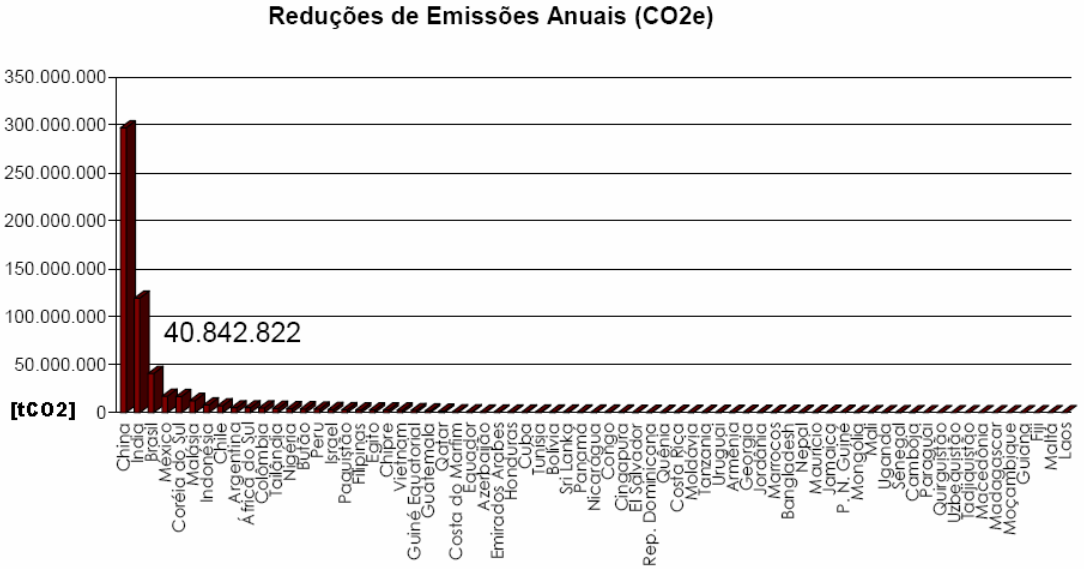

FIGURA 5a – Reduções de emissões anuais projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos

Fonte: CQNUMC (2008)

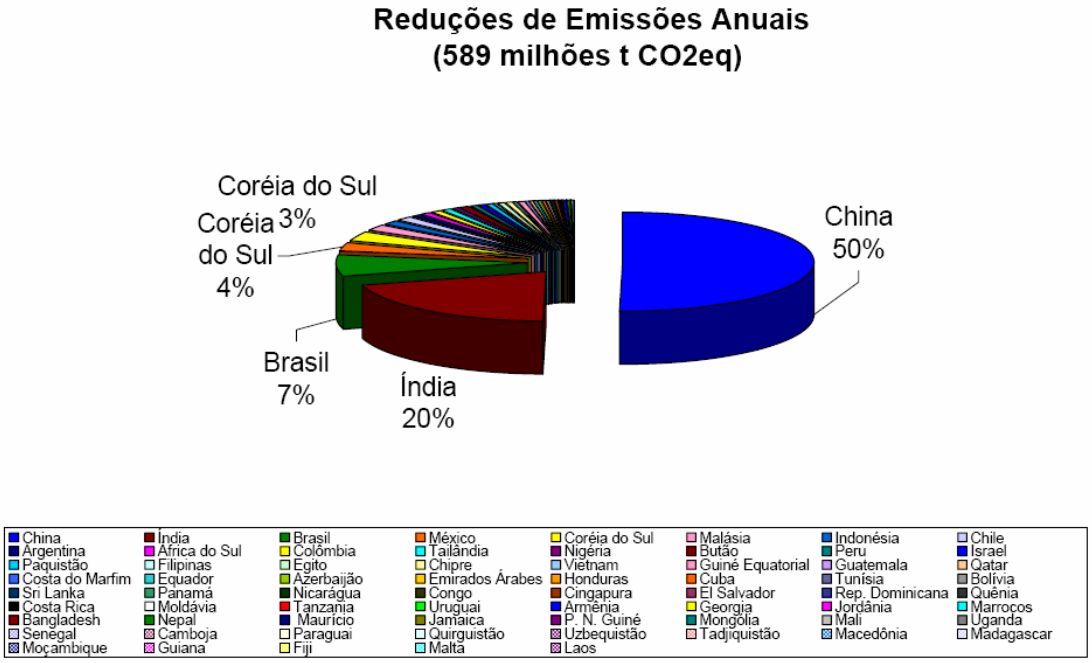

FIGURA 5b – Reduções de emissões anuais projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos

Fonte: CQNUMC (2008)

As FIGURAS 6a e 6b apresentam o número de projetos registrados por país anfitrião. Do total de 1102 projetos registrados, 142 são projetos brasileiros, estando o Brasil em terceiro lugar em número de projetos registrados, sendo em primeiro a Índia, com 348 projetos, e em segundo China, com 231. A FIGURA 6c mostra a projeção da quantidade de redução de emissões de GEE durante o primeiro período de obtenção de créditos dos projetos registrados no Conselho Executivo por país anfitrião. O Brasil se encontra em terceiro lugar quanto à redução de emissões durante o primeiro período de obtenção de créditos dos projetos registrados com 159.097.178 de t CO_2e do total mundial de 1.813.640.391 de t CO_2e.

FIGURA 6a – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL
Fonte: CQNUMC (2008)

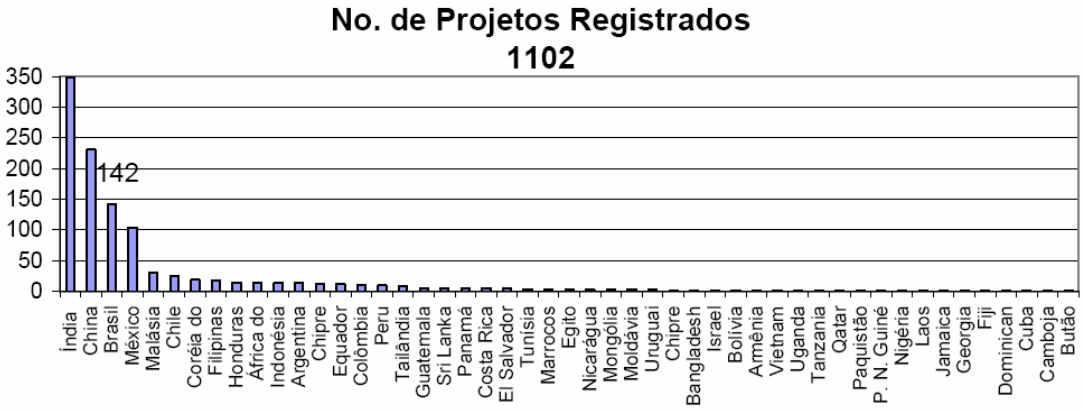

FIGURA 6b – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL
Fonte: CQNUMC (2008)

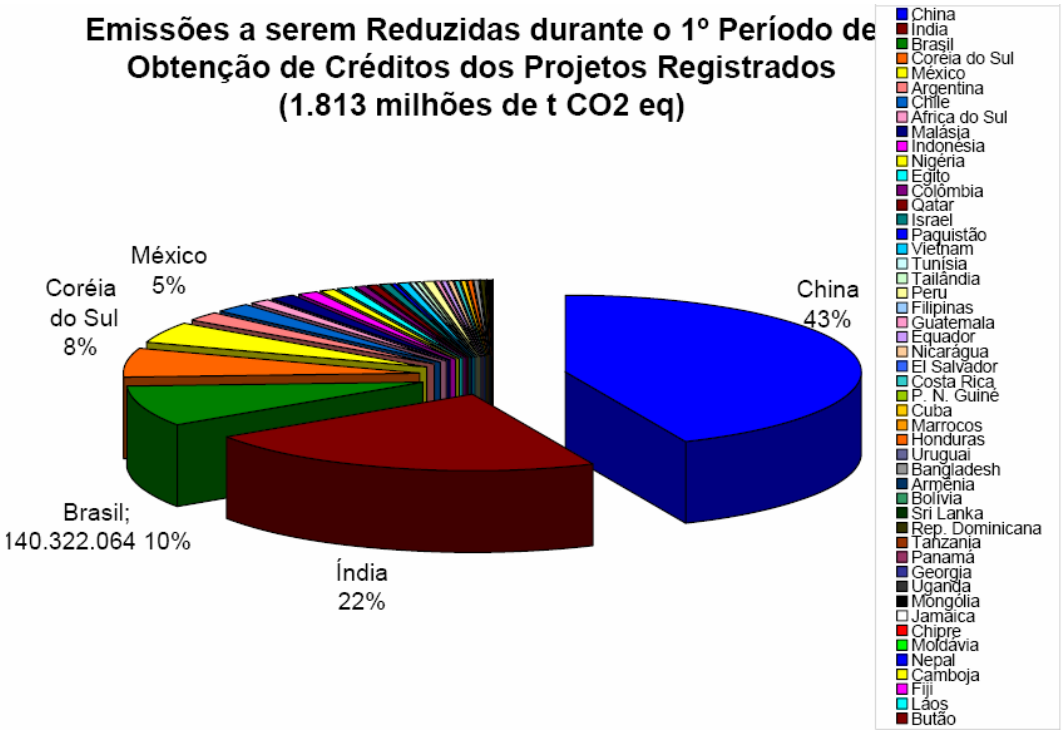

FIGURA 6c – Número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL
Fonte: CQNUMC (2008)

Segundo ROCHA (2008) a explicação para a concentração dos projetos e das RCE em poucos países e a distribuição desses países no ranking pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- Ambiente político-institucional adequado: os países precisam dispor de uma Autoridade Nacional Designada estabelecida e funcionando adequadamente para a aprovação dos projetos; o governo e/ou setor privado precisam estar engajados na elaboração de projetos; é preciso haver uma cultura de investimentos externos estabelecidas no país, entre outros fatores;
- Características das matrizes energéticas dos países: países que utilizam predominantemente combustíveis fósseis (China e Índia - carvão mineral) levam vantagem em relação aos países que utilizam predominantemente fontes renováveis (Brasil – hidroelétrica);
- Características dos projetos: países que possuem projetos que reduzem as emissões de GEE com elevado potencial de aquecimento global, como, por exemplo, HFC-23 (cujo GWP é de 11.700), geram muito mais RCE que os que não usam esses gases.

2.3.3 – Cenário Brasileiro do MDL

Assim como na seção anterior, os dados apresentados a seguir foram retirados do relatório do CQNUMC de Agosto de 2008. Podemos observar na FIGURA 7 que apresenta a contribuição global dos GEE reduzidos pelas atividades

de projeto no âmbito do MDL desenvolvidas no Brasil. Nota-se que o gás carbônico (CO_2) é atualmente o mais relevante, seguido pelo metano (CH_4) e pelo óxido nitroso (N_2O), respectivamente. A FIGURA 8 mostra que a maior parte das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil está no setor energético, o que explica a predominância do CO_2 na balança de reduções de emissões brasileiras. Além de indicar a sua atratividade perante os participantes de projetos.

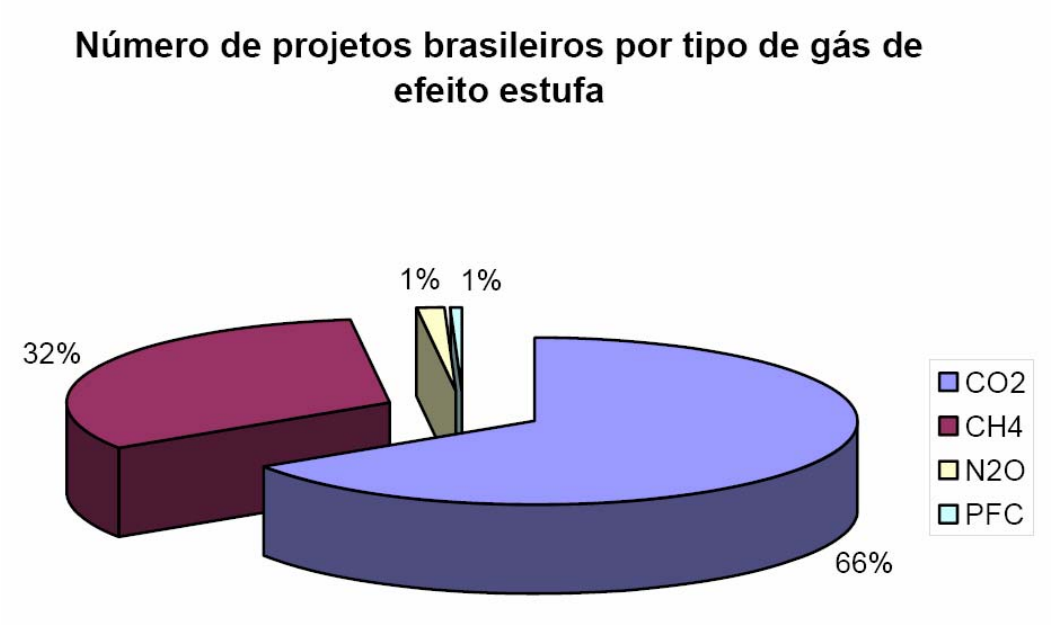

FIGURA 7 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de GEE
Fonte: CQNUMC (2008)

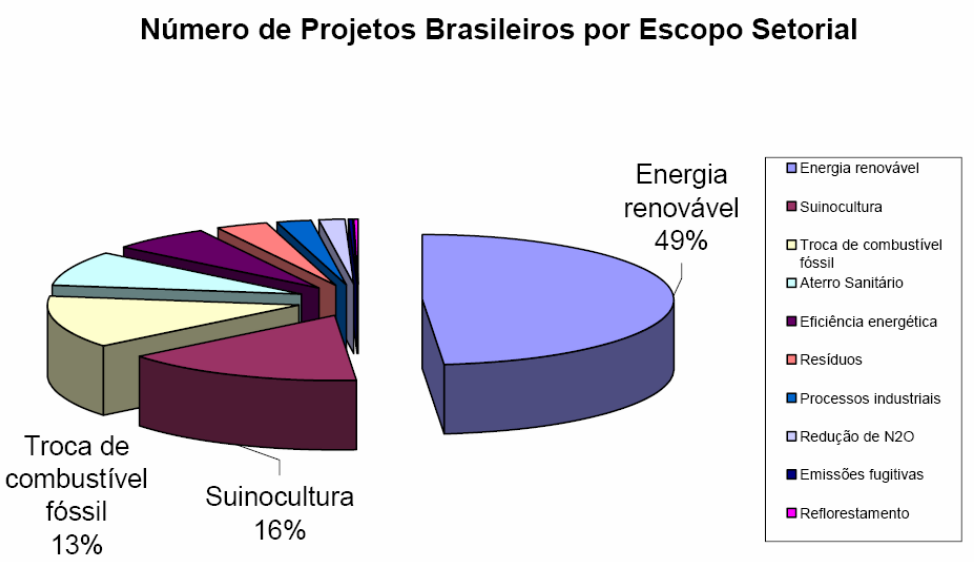

FIGURA 8 – Distribuição das atividades de projeto no Brasil por escopo setorial
Fonte: CQNUMC (2008)

A TABELA 2 demonstra que o maior número de projetos brasileiros é desenvolvido na área de geração elétrica e suinocultura, os quais representam à maioria das atividades de projeto (64%). Os escopos que mais reduzirão toneladas de CO_2e são os de aterro sanitário, geração elétrica e os de redução de N_2O, totalizando 72% de t CO_2e a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos, o que representa 224.712.213 do total de redução de emissões das atividades de projeto brasileiras.

TABELA 2: Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto

Projetos em Validação/Aprovação	N° de Projetos (1)	Redução anual de emissão (2)	Redução de Emissão no 1° período de obtenção de crédito (3)	1 [%]	2 [%]	3 [%]
Energia Renovável	145	16.018.739	112.553.902	47%	39%	36%
Suinocultura	53	2.626.460	24.558.780	17%	6%	8%
Aterro Sanitário	28	9.134.682	67.541.039	9%	22%	22%
Processos Industriais	7	832.946	6.131.592	2%	2%	2%
Eficiência Energética	21	1.490.288	14.535.192	7%	4%	5%
Resíduos	10	1.160.797	9.360.545	3%	3%	3%
Redução de N2O	5	6.373.896	44.617.272	2%	16%	14%
Troca de Combustível Fóssil	39	2.907.977	24.284.745	13%	7%	8%
Emissões Fugitivas	1	34.685	242.795	0%	0%	0%
Reflorestamento	1	262.352	7.870.560	0%	1%	3%

Fonte: CQNUMC (2008)

A TABELA 3 mostra quantas atividades de projeto já foram submetidas, aprovadas, aprovadas com ressalva, ou está em revisão na Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), a AND brasileira. Atividades de projeto são consideradas submetidas somente após a verificação, pela Secretaria Executiva, de que todos os documentos referentes a essas atividades de projeto, exigidos em conformidade com as resoluções da CIMGC, tenham sido devidamente entregues e, assim, essa documentação será tornada pública em meio eletrônico na página do Ministério da Ciência e Tecnologia. As atividades de projeto cuja contribuição para o desenvolvimento sustentável for considerada adequada, mas que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências consideradas de menor relevância pelos membros da Comissão, serão consideradas aprovadas com ressalva. Já as atividades que necessitem de esclarecimentos quanto à descrição da contribuição para o desenvolvimento sustentável ou que apresentem erros de edição ou quaisquer incongruências que os membros da Comissão considerem relevantes, são consideradas em revisão. A TABELA 4 apresenta quantas atividades de projeto que foram submetidas para registro ou estão registradas pelo Conselho Executivo do MDL.

TABELA 3: Status atual dos projetos na AND brasileira

Projetos aprovados na CIMGC	189
Projetos aprovados com ressalvas na CIMGC	8
Projetos em revisão na CIMGC	6
Projetos submetidos para próxima reunião da CIMGC	6
Total de projetos na CIMGC	**209**

Fonte: CQNUMC (2008)

TABELA 4: Status atual das atividades de projeto brasileiras no Conselho Executivo do MDL

Projetos brasileiros registrados no Conselho Executivo	142
Projetos brasileiros pedindo registro no Conselho Executivo	7
Total de projetos no Conselho Executivo	**149**

Fonte: CQNUMC (2008)

A FIGURA 9 apresenta a distribuição por estado das atividades de projeto no âmbito do MDL. A figura mostra que a região Sudeste predomina em número de projetos devido à posição dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais, com 21% e 14% respectivamente, seguidos pelo Mato Grosso e Rio Grande do Sul, com 9%.

A FIGURA 10 apresenta a curva de crescimento do número de atividades de projeto no âmbito do MDL no Brasil, tanto dos projetos que estão em validação ou passaram pela etapa de validação como dos projetos registrados. Para validação, a curva inicia-se em janeiro de 2004 e, para o registro, em novembro de 2004, quando o primeiro projeto foi registrado pelo Conselho Executivo do MDL, no caso um projeto brasileiro.

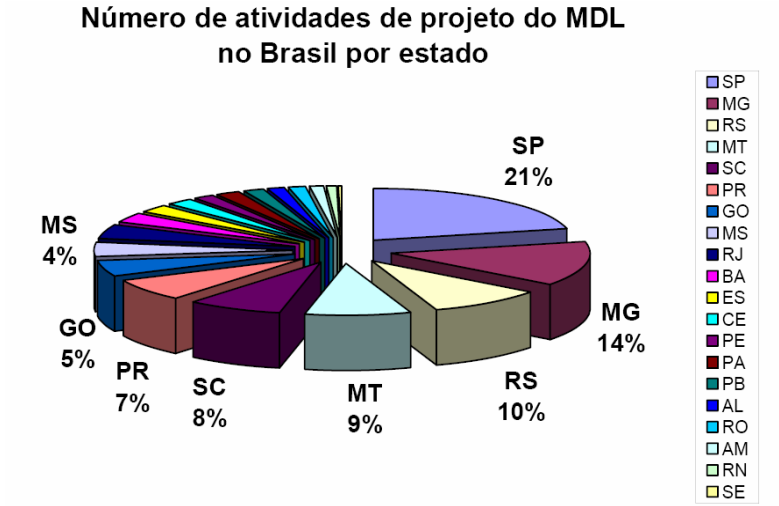

FIGURA 9 – Distribuição do número de atividades de projeto do MDL no Brasil por Estado

Fonte: CQNUMC (2008)

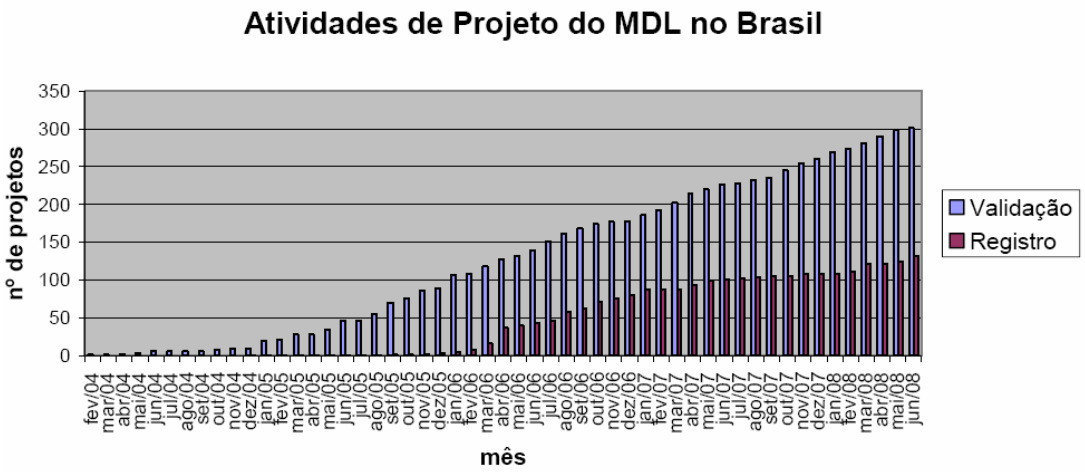

FIGURA 10 – Curva de crescimento das atividades de projeto MDL no Brasil setorial

Fonte: CQNUMC (2008)

A FIGURA 11 apresenta a capacidade total instalada das atividades de projeto no âmbito do MDL aprovadas pela CIMGC na área energética. Mostra também a distribuição dessas áreas energéticas, sendo a primeira cogeração de biomassa, com 1026,1 MW; a segunda hidrelétrica, com 949,7 MW; e a terceira PCH, com 596,36 MW.

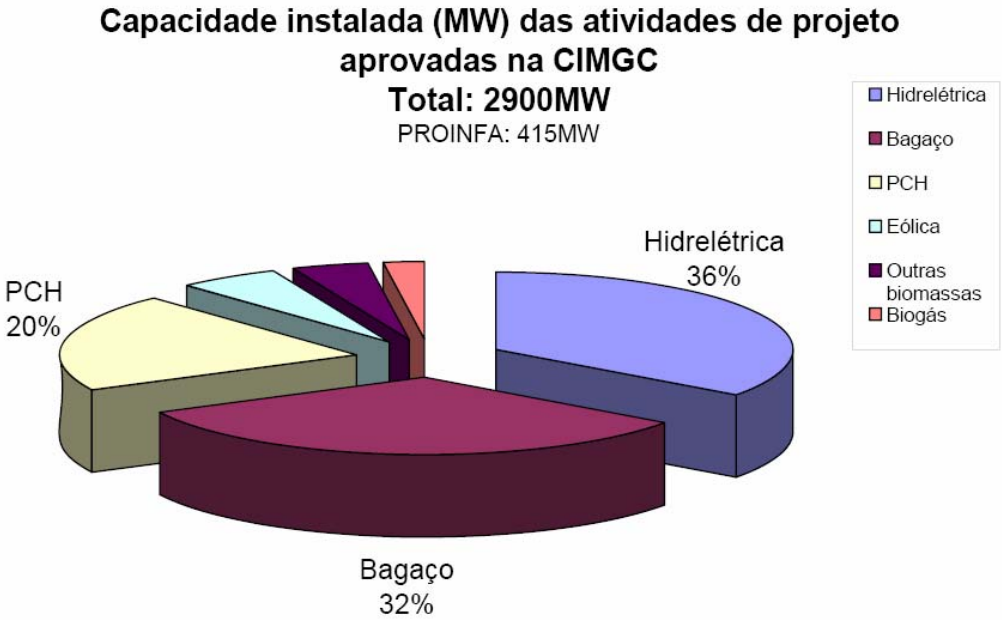

FIGURA 11 – Capacidade instalada (MW) das atividades de projeto do MDL aprovadas na CIMGC

Fonte: CQNUMC (2008)

Diversos programas nacionais, como Proinfa, Prodeem, Procel, Conpet, apesar de não terem sido criados com o objetivo específico, têm contribuído para, ou ao menos vislumbrado, a mitigação das mudanças climáticas no Brasil. Nesse aspecto, merece destaque o Proinfa, cujo Decreto Regulamentar expressamente consignou como um de seus objetivos a redução de emissão de gases precursores do efeito estufa.

Aparentemente, a existência de programas nacionais que incluíssem a mitigação das mudanças climáticas como meta ou objetivo poderia acarretar redução do potencial de desenvolvimento de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo no país, restringindo as atividades a serem contempladas por esse instrumento. Tal restrição dar-se-ia à medida que o incentivo a atividades de mitigação, proporcionado pelos programas nacionais, poderia levar tais atividades a práticas obrigatórias, ou mesmo poderia retirar barreiras à sua implementação, conseqüentemente, dificultando a comprovação do requisito da adicionalidade em projetos MDL contemplados nos programas nacionais. Contudo, é preciso ter cautela. Vale lembrar que o Brasil, como país signatário da CQNUMC, está obrigado a "formular, implementar, publicar e atualizar regularmente programas nacionais e, conforme o caso, regionais, que incluam medidas para mitigar a mudança do clima, enfrentando as emissões antrópicas por fontes e remoções antrópicas por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, bem como medidas para permitir adaptação adequada à mudança do clima", nos termos da alínea "b", § 1º, Art. 4º, da CQNUMC. Além disso, deve-se ter em mente que a análise do critério da adicionalidade há de ser feita caso a caso, considerando o contexto no qual se insere cada projeto (REI e CUNHA, 2005).

2.3.4 – Políticas Nacionais sobre Mudanças Climáticas e Protocolo de Quioto

No país, o Protocolo de Quioto foi aprovado pelo Decreto Legislativo N°. 144, de 20 de junho de 2002 e ratificado pelo Presidente da Republica Fernando Henrique Cardoso no dia 23 de julho de 2002, desta forma o Brasil começou a desenvolver uma política sobre o tema de mudanças climáticas.

Conforme POPPE e LA ROVERE (2005), o Brasil não tem por enquanto compromissos formais com a redução ou com a limitação de suas emissões antrópicas de gases de efeito estufa, conforme estabelecido na Convenção e confirmado no Protocolo de Quioto. No entanto, o Protocolo de Quioto é importante para os países em desenvolvimento porque possibilita, na prática, a aplicação do princípio de responsabilidades comuns, porém diferenciadas, adotado na Convenção, pelo qual cabem aos países industrializados, maiores emissores históricos, assumirem os compromissos relativos ao controle do aquecimento global. Nesse sentido, além do esforço doméstico de controle das emissões pelos países industrializados (relacionados no Anexo I da Convenção).

O MDL previsto no Protocolo de Quioto representa uma oportunidade para a promoção do desenvolvimento econômico e social. De fato, apesar de o Brasil não

ter compromissos internacionais relativos a emissões, são desenvolvidos no país programas e ações que implicam em redução considerável das emissões de gases de efeito estufa. Essas iniciativas são responsáveis pelo fato do Brasil ter uma matriz energética relativamente “limpa”, com menores emissões de gases de efeito estufa por unidade de energia produzida ou consumida. Porém, apesar dos benefícios globais evidentes dessas iniciativas, os custos incorridos são atualmente assumidos integralmente pela sociedade brasileira. Cabe ressaltar ainda que, não obstante esta situação de avanço em termos de baixos níveis de emissões, o país ainda dispõe de vantagens comparativas consideráveis e de um vasto potencial de oportunidades a serem valorizadas neste campo.

Devemos analisar também a vulnerabilidade do país em relação aos impactos adversos da mudança do clima, em especial nos setores de saúde, agropecuária, florestas, energia, recursos hídricos, zonas costeiras, regiões semi-áridas e biodiversidade, e respectivas estratégias de adaptação; e à mitigação da mudança do clima, como oportunidade para o desenvolvimento sustentável, em especial nos setores de agropecuária, floresta, energia renovável, conservação de energia, resíduos sólidos e em projetos de seqüestro de carbono, levando em conta a evolução das negociações internacionais neste domínio.

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia Brasileiro, o Programa Brasileiro do Álcool – PróAlcool, de 1975 a 2000 foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos movidos a álcool hidratado. Além disso, o programa permitiu a substituição em até 25%, a gasolina consumida por álcool anidro. Essa medida atingiu nesse período uma frota superior a 10 milhões de veículos e, assim, impediu a emissão de cerca de 400 milhões de toneladas de CO_2, evitando a importação de 550 milhões de barris de petróleo e gerando uma economia de dívidas na ordem de 11,5 bilhões de dólares no período (GABETTA, 2006).

Outro programa importante, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), regulamentado pela Portaria 1877 de 30 de dezembro de 1985, por iniciativa conjunta do Ministério de Minas e Energia e do então Ministério da Indústria e Comércio, veio combater o desperdício de energia elétrica, de forma indireta.

Outros importantes programas para o desenvolvimento sustentável foram realizados pelo governo brasileiro, como o CONPET e o Conserve. Além do incentivo ao desenvolvimento de novas fontes de energias renováveis é outro aspecto de indicação que o país já vem trabalhando, há alguns anos, no desenvolvimento sustentável.

2.3.5 – Mercado de Carbono

O Mercado de Créditos de Carbono já existia mesmo antes da ratificação do Protocolo de Quioto pela Rússia, inclusive nos países que não aderiram ao Protocolo ainda. Essa ratificação atendeu ao artigo 25 do Protocolo que exigia a ratificação de pelo menos 55 Partes da Convenção, englobando as partes incluídas no Anexo I que contabilizaram no total pelo menos 55% das emissões totais de Dióxido de Carbono em 1990.

Os anos que antecederam a ratificação do Tratado, este mercado tornava-se cada vez mais promissor e, a partir de fevereiro de 2005 (data da entrada em vigor do Protocolo), a procura por estes títulos apresentaram um grande aumento de demanda, além de uma valorização substancial em seu preço. Motivados pela ratificação da Rússia, ocasionando a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, impulsionando o mercado de certificado de emissões reduzidas.

O primeiro projeto de MDL aprovado pelo Conselho Executivo das Nações Unidas, em novembro de 2004, foi o Projeto "Nova Gerar" de recuperação energética de biogás de aterro no Estado do Rio de Janeiro. A Holanda foi o país comprador destes créditos, que utilizou as reduções certificadas de emissões geradas por esse projeto para o cumprimento de parte de seus compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

Segundo ROCHA (2008) no que se refere aos preços pagos pelas RCE, observa-se uma variação bastante grande em função da posição em que o projeto se encontra no ciclo de aprovação e registro. Os projetos que ainda não obtiveram a emissão das RCE (pre-CER) são comercializados com preços bastante inferiores aos projetos que já obtiveram as RCE. Esse deságio explica-se uma vez que no estágio anterior à emissão das RCE ainda existem riscos associados à validação, aprovação, registro e também verificação e certificação. O mercado secundário de RCE (2ndary CER) consiste primordialmente de portifólios de RCE com entrega garantida, que são oferecidos por vendedores blue-chip, ou seja, empresas com alta credibilidade no mercado. Uma vez que existe a garantia da entrega, o comprador está isento dos riscos de performance do projeto, levando os preços cobrados a serem maiores.

ROCHA (2008) também afirma que com relação ao portifólio de projetos propostos observa-se predominância de projetos relacionados à redução das emissões de GEE e não de remoção atmosférica de CO_2 (seqüestro de carbono). Uma série de fatores explica tal situação:

- Histórico das negociações sobre o tema do uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (LULUCF) na Convenção do Clima e no Protocolo de Quioto: esta negociação tomou bastante tempo, por isso às modalidades e procedimentos para as atividades de reflorestamento/ florestamento só foram definidas em 2003, ou seja, dois anos após a definição das modalidades procedimentos para projetos de MDL;
- Falta de conhecimento e complexidade das metodologias de linha de base e de monitoramento aprovadas no Comitê Executivo do MDL: apesar de já existirem dez metodologias aprovadas para atividade de projeto de reflorestamento/florestamento, tais metodologias ainda não são suficientemente conhecidas e compreendidas. Muitas vezes as metodologias são consideradas complexas e de difícil utilização;
- Créditos temporários: o fato de os projetos florestais de MDL gerarem Reduções Certificadas de Emissões Temporárias (RCEt ou RCEl) leva a uma baixa demanda por esse tipo de projeto, uma vez que as empresas/investidores estão em busca de soluções definitivas, ou seja, de reduções certificadas permanentes. Em outras palavras, as empresas e

investidores não querem ter que se preocupar com a renovação e/ou substituição das RCE e os possíveis custos de transação decorrentes. As RCE provenientes dos projetos não-florestais não precisam ser renovadas ou trocadas, portanto seu custo de transação é menor e apresentam maior segurança;

- Limite para a utilização de RCE provenientes da floresta: de acordo com a decisão 16/ CMP. 1, para o primeiro período de compromisso, o total de RCE resultantes de atividades de projeto de reflorestamento ou florestamento a serem utilizadas por um país para cumprir suas metas não deve exceder 1% das emissões do ano base do país vezes cinco. De acordo com BERNOUX et al. apud ROCHA (2008), isso significa que deverá haver uma demanda total por apenas 110 milhões de toneladas de RCE provenientes de projetos florestais.

Segundo o Banco Mundial, estima-se que nos próximos anos sejam negociados cerca de 500 milhões de tCO_2 equivalentes (GABETTA, 2006). No período de Abril de 2006 a Abril de 2008 o preço da tonelada de carbono variou entre 10,00 - 30,00 euros em algumas transações (FIGURA 12). Alguns especialistas de mercado, embasados no histórico do mercado, acreditam que o carbono, através dos Certificados de Emissões Reduzidas, poderá se tornar uma nova commodity ambiental.

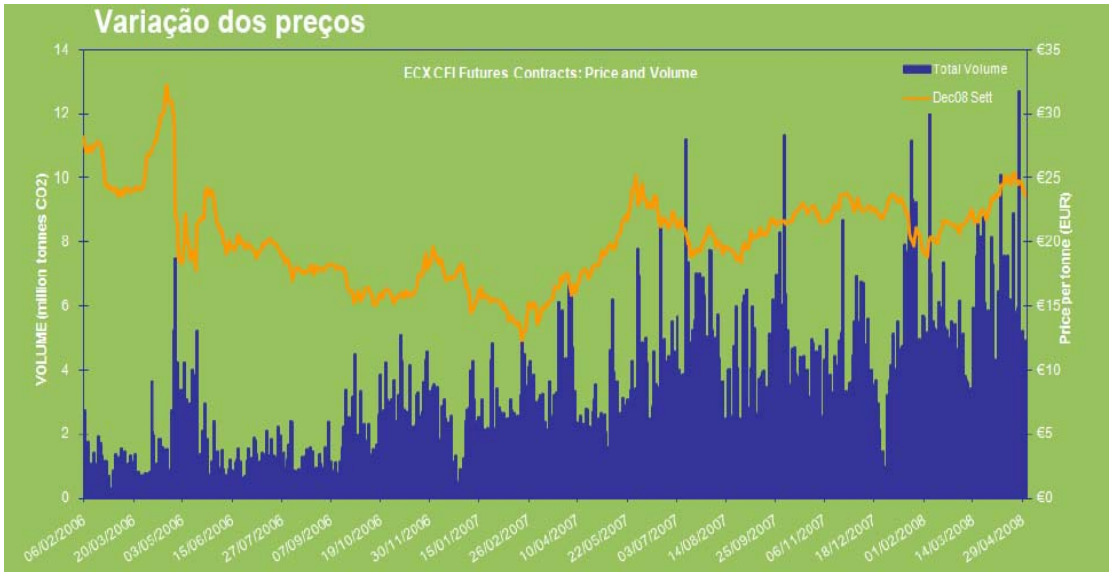

FIGURA 12 – Variação do preço dos RCEs.
Fonte: Alexander, M. (2008)

Neste contexto mundial a América Latina se despontando como um dos potenciais geradores de Créditos de Carbono. Segundo a Comissão Econômica da América Latina, o Brasil é o maior potencial exportador de créditos de carbono na América Latina, seguido da Colômbia, Panamá e Costa Rica. Alguns países europeus anunciaram investimento de US$ 850 milhões em projetos de MDL na América Latina. O fato de que a matriz energética brasileira é considerada limpa,

dificulta ainda mais a comprovação dos benefícios dos projetos de redução de emissões de carbono. Quase 80% da energia produzida no país são de origem hidroelétrica, enquanto na Índia e na China apenas 16% e 14%, respectivamente, é gerada por usinas hidroelétricas. Esses países, portanto dispõem de maior potencial para “limpar” suas matrizes energéticas (GABETTA, 2006).

A baixa participação de projetos de energias renováveis tem chamado à atenção nas negociações realizadas no âmbito do MDL, e com isto a principio este mecanismo não está servindo para o desenvolvimento tecnológico dos países onde estes projetos estão inseridos. Os países compradores têm preferido participar de projetos que geram grandes volumes de créditos de carbono a custos menores, como por exemplo, os projetos de metano e hidrofluorocarbonos, em especial o HFC-23. Projetos que reduzem as emissões desses gases permitem a emissão de muitos CERs, devido ao alto Potencial de Aquecimento Global que este tipo de gases têm, desta forma, torna se mais fácil o cumprimento das metas estabelecidas pelo Protocolo de Quioto.

GABETTA (2006) relata um estudo produzido pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, entre 2001 e 2004, a pedido do MMA, onde foi identificado a possibilidade de se produzir 440,7 MW a partir dos gases dos aterros, já em 2015. Os depósitos de lixo poderiam deixar de emitir na mesma época mais de 17 milhões de toneladas de gás carbônico, que poderiam ser transformadas em certificados de carbono.

Este mesmo estudo coloca que foi produzido dentro do projeto de aproveitamento de gases de aterro, que está inserido no Plano Plurianual 2004-2007 do Ministério de Meio Ambiente, e conforme o relatório final a exploração do potencial de geração de energia elétrica é viável do ponto de vista sócio-ambiental. No entanto, do lado econômico, a viabilidade desta produção, segundo o estudo, só acontecerá com o preço da energia a R$ 150 por MWh, considerando os créditos de carbono. Durante os primeiros meses de 2005, projetos desses gases foram os preferidos no mercado de carbono, que movimentou neste período cerca de 60 milhões de tonelada de CO_2.

Os maiores compradores de RCEs, durante o período de 2002 à 2004, foram os governos do Japão, da Holanda e o Banco Mundial. Os preços praticados variam de acordo com os produtos e o tipo de contrato assinado. A maioria das transações foram baseadas em projetos (cerca de 95% em 2003/2004) no modelo de transação aplicado a “commodities”, isto é, as reduções de emissão foram adquiridas como qualquer outro ativo. Este comportamento tem importantes implicações, uma vez que os compradores tendem a pagar pelas reduções de emissão na entrega do produto. Portanto, os proprietários dos projetos não devem contar com estes recursos na fase de construção.

2.3.6 – Legislação Brasileira sobre MDL

Nos aspectos legais relativos à regulamentação do Protocolo de Quioto, especialmente no enquadramento do mecanismo de desenvolvimento limpo, serão abordados estudos de REI e CUNHA (2005) com base nas normas internacionais

sobre mudanças climáticas e nas questões jurídicas brasileira, além dos aspectos legais identificados como potenciais barreiras à adequada implementação do MDL no país.

O Protocolo foi aprovada pelo Decreto Legislativo 1 de 03 de fevereiro de 1994, e, posteriormente, promulgada pelo Decreto 2.652 de 01 de julho de 1998, estando, desde essa data, plenamente em vigor no âmbito nacional. Dessa forma, as obrigações assumidas pelo Brasil são caracterizadas como de um país em desenvolvimento, insertas no Art. 4º, § 1º da CQNUMC, e plenamente exigível no âmbito interno.

O Protocolo de Quioto foi aprovado pelo Congresso Nacional, por meio do Decreto Legislativo 144, publicado em 21 de junho de 2002. Contudo, não foi promulgado na época pelo Presidente da República, levando-se em conta que esse tratado só entrou em vigor em fevereiro de 2005.

No Art. 12 do Protocolo de Quioto foi instituído o MDL como o único instrumento de flexibilização a permitir a participação dos países em desenvolvimento nas metas de redução de emissões de GEE imposto aos países desenvolvidos. O objetivo do MDL é, assim, assistir as Partes incluídas no Anexo I da CQNUMC na consecução de suas metas quantificadas de GEE, e por outro lado, assistir as Partes não incluídas no Anexo I na consecução de práticas de desenvolvimento sustentável.

Nos termos do Protocolo de Quioto, a utilização dos mecanismos de flexibilização, entre eles o MDL pelos países pertencentes ao Anexo I da CQNUMC, há de ser complementar, significando que a maior parte das reduções de emissões a ser alcançada por tais países deve realizar-se por meio de medidas internas de mitigação. Contudo, inexiste nos textos legais internacionais qualquer indicação ou delimitação da suplementação dos mecanismos de flexibilização. Considerando a lacuna das normas internacionais, essa definição fica a critério da regulamentação interna dada por cada país pertencente ao Anexo I da CQNUMC.

No Protocolo de Quioto, e nem as decisões das COPs outorgaram ao Crédito de Carbono uma Natureza Jurídica estanque, conferindo desta forma uma liberdade ao mercado internacional para que se fosse indicado de forma empírica o tratamento jurídico das RCEs. No âmbito nacional existem indefinições que ainda geram desconfianças a alguns empreendedores de projetos de MDL, como a falta de regulamentação legislativa a respeito dos impactos tributários da venda dos RCEs e a sua natureza jurídica.

Na natureza jurídica existem várias linhas que caracterizam os RCEs de diferentes formas, no Projeto de Lei (PL) n° 3.552/2004 do Deputado Antônio Carlos Mendes Thame o Crédito de Carbono é definido como ativo financeiro, que incorreria na possibilidade dos RCEs serem negociados em Bolsa (BM&F/RJ), entretanto esta PL foi arquivada. Atualmente uma nova PL foi colocada ao Congresso pelos deputados Eduardo Gomes e Carlos Souza, onde na PL 594/2007 é caracterizado as RCEs como de valor mobiliário, uma outra definição que é bem aceita pelos tributaristas, mas para se caracterizar desta maneira haverá necessidade de se alterar a Lei n° 6.385/1976.

No âmbito tributário é do tocante que apenas os tributos relativos ao acréscimo patrimonial gerado pela alienação de tais bens serão cobrados. Assim,

na cessão ou na promessa de cessão futura de RCEs pela pessoa física ou jurídica titular de projeto de MDL, localizada no País, a cessionária localizado em País pertencente ao Anexo I da Convenção-Quadro, haverá a incidência do imposto sobre a renda sobre o ganho de capital auferido em tal negócio jurídico, sendo que no caso específico de o titular do projeto de MDL tratar-se de pessoa jurídica, poderá ainda haver a incidência da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), da contribuição ao PIS/PASEP e da COFINS sobre eventuais ganhos (SISTER, 2007).

Existem Projetos de Lei que estão sendo elaborados para incentivar o Mercado de Carbono, seja por aliviar a carga tributária incidente ou conferir maior grau de segurança aos negócios realizados; houve a PL n° 4.425/2004 elaborado pelo Deputado Eduardo Paes que foi rejeitado, seguindo as bases deste último PL que visava incentivos fiscais, surgiu então os Projetos de Lei 494/2007 e 1657/2007 dos Deputados Eduardo Gomes e Carlos Souza. Demonstrando que a temática ainda possui muito que se desenvolver e muito a ser discutido neste âmbito jurídico.

Neste contexto, podemos ressaltar o programa PROINFA (Lei 10.762/2003) que possui um papel importante no desenvolvimento de fontes renováveis de energia; em seu âmbito legal existe uma divergência entre a Eletrobrás (financiadora dos projetos) e os empreendedores com relação à titularidade dos créditos de carbono, gerando alguns desestímulos a alguns investidores, pois através do Decreto n° 5.025/2004 fica estabelecido que a Conta PROINFA, a ser administrada pela Eletrobrás será também composta pelas receitas decorrentes de Projetos de MDL, retirando qualquer possibilidade do empreendedor dos direitos do projeto. No Decreto n° 5.882/2006 as previsões do decreto anterior se tornam mais específicas, reforçando a posição da Eletrobrás nessa questão.

2.3.7 – Perspectivas Futuras para o MDL

Neste tópico serão colocadas algumas das explanações de PEREIRA e LA ROVERE (2007), que colocam como um cenário possível para o segundo período do Protocolo de Quito (pós-2012) um regime idêntico do primeiro período, entretanto com novas metas quantitativas para os países do Anexo I. Neste cenário haverá uma pressão para que os países em desenvolvimento acedam ao Anexo I quando algum limiar for ultrapassado. Ou, alternativamente, haverá uma pressão para que os países em desenvolvimento adotem metas de inflexão, ou seja, metas quantitativas de limitação não das emissões, mas da taxa de crescimento de suas emissões.

Por outro lado, é possível que um futuro regime tenha por base a adoção de determinadas políticas e medidas pelos países, como considerado no Mandato de Berlim, no lugar de metas quantitativas para as emissões nacionais, como o que ocorre no Protocolo de Quioto. Nesse cenário, é razoável supor que se esperaria que países em desenvolvimento, inclusive o Brasil, adotem pelo menos algumas dessas políticas e medidas.

Pode ser também que tenhamos no futuro mais de um regime. De fato, é o que está ocorrendo hoje, com Europa, Japão e Canadá no regime de Quioto, e

Estados Unidos com seu regime próprio, buscando cooptar parceiros para um sistema de “pledge and review” (promessa e revisão) ou, diriam alguns, um regime de “pledge and no review” (promessa sem revisão). Neste cenário, haveria que buscar uma forma de negociação entre os dois regimes, o que interessa ao Brasil, para permitir a aceitação mútua de créditos do tipo do MDL.

De qualquer forma, se for confirmada a tendência de buscar no futuro regime um aprofundamento das medidas de mitigação, é inevitável que se coloque a questão da repartição do ônus da mitigação entre os países. É difícil imaginar que se logre repetir o Mandato de Berlim com uma resolução do tipo – não haverá novos compromissos para países em desenvolvimento. Neste sentido, a presença da China – o segundo maior emissor mundial – no grupo de países em desenvolvimento nos é desfavorável porque a atenção sobre a China deverá arrastar também Índia e Brasil, além de outros.

A Convenção prevê que o esforço de mitigação nos países em desenvolvimento seja feito pela inflexão da curva de crescimento de suas emissões. A Convenção reconhece que as emissões per capita desses países devem crescer. Assim a mitigação consistiria em fazer com que as emissões crescessem mais lentamente. Além disso, a Convenção prevê que os países industrializados forneçam os recursos necessários para tal inflexão. O instrumento atual que operacionalizou esse dispositivo da Convenção é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. No regime pós-Quioto se houver um desvio em relação ao regime de Quioto, convém que sejam buscadas as alternativas equivalentes apropriadas que garantam na prática, a transferência de recursos que no regime de Quioto são proporcionadas pelo MDL.

Num regime pós-Quioto, o ideal seria que toda a arquitetura do Protocolo de Quioto fosse mantida com a ratificação dos Estados Unidos, além da adoção de novas metas de limitação ou redução de emissões para os países industrializados, com a manutenção do MDL. Um aprofundamento das metas de redução dos países industrializados aumentaria e muito a demanda por certificados do MDL, o que traria muitos benefícios. A razão para tal é explicada a seguir.

Em valores aproximados, as emissões dos países industrializados são de 4,5 GtC/ano (bilhões de toneladas de carbono por ano). As emissões dos países em desenvolvimento são de 1,5 GtC/ano. Uma meta de redução de emissões para o conjunto dos países do Anexo I da Convenção de 10% corresponderia a 0,45 GtC/ano. Projetos de MDL correspondentes a 10% das emissões dos países não do Anexo I corresponderiam a somente 0,15 GtC/ano. Isso seria suficiente para caracterizar um mercado com excesso de demanda sobre a oferta. Nestas condições, a tendência do mercado seria a de elevar o preço dos certificados do MDL até um valor igual ao custo médio de mitigação nos países do Anexo I, menos os custos de transação, e menos um fator de risco. Ora, o custo marginal de mitigação é sabidamente crescente com a profundidade da redução de emissões. Portanto, metas aprofundadas de redução, 10% neste exemplo, tenderiam a resultar num valor dos certificados do MDL de mais de US$ 100 por tonelada de carbono, podendo com facilidade chegar a US$ 200.

Se o regime pós-Quioto for caracterizado pela predominância de políticas e medidas não obrigatórias desaparecerá a possibilidade de persistência do MDL.

Ou, alternativamente, poderia haver mecanismos fragmentados pelos quais países industrializados, individualmente poderiam decidir aceitar certificados de um MDL modificado. De certa forma, isso já está ocorrendo, por exemplo, com o regime da Bolsa de Chicago que não está vinculado ao Protocolo de Quioto.

Na atual fase de negociações, é natural que o Brasil busque coordenar suas posições de negociação com certos países em desenvolvimento, que necessariamente serão os mais procurados na busca do desenho de um regime pós-Quioto. Esses países são hoje a China, Índia e África do Sul, além do México e Coréia do Sul, estes dois últimos membros da OCDE. No plano regional, a crescente integração energética com certos países do Mercosul e arranjos com outros países sul-americanos no mesmo setor, dita a conveniência de estabelecimento de programas crescentemente integrados de mitigação. A peculiaridade do Brasil no que diz respeito à floresta amazônica, dita ainda a conveniência de nesse tema manter relacionamento com outros países florestais, sejam em desenvolvimento ou sejam industrializados.

2.4 – Projetos de MDL em Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos tem sido por muitas décadas um grande desafio de diversos setores produtivos; por isso, a ênfase nesse tema vem sendo dada na busca de soluções que envolvam um tratamento de resíduos que garanta o menor impacto ao meio ambiente.

Inicialmente foram buscadas soluções internas em que o gerador do resíduo procurava dar destinação interna por meio de construção de depósitos ou aterros de resíduos. Em um segundo momento buscou-se também minimizar a geração dos resíduos por meio de análise do processo produtivo e aumento de sua eficiência no uso das matérias-primas e reuso dos resíduos. Finalmente, os resíduos ganharam status de co-produtos, que, quando bem manejados e desenvolvidos, ainda atendem a demanda de outros processos ou empresas como sendo insumos desses (DELPUPO, 2008).

Apesar de todo o avanço, o foco ambiental não era voltado para os potenciais impactos dos GEE. No caso de RS com alta carga orgânica, a sua destinação gera a formação de um GEE (CH_4) no processo de estocagem final, caso típico dos aterros sanitários.

A ratificação do Protocolo de Quioto e a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que visam diminuir a geração de GEE, geraram uma oportunidade que incentiva a busca para soluções adequadas para os RSU.

A transformação de emissões de GEE em projetos de MDL, por meio da redução dessas emissões, é possível a partir do atendimento das regras estabelecidas no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, e em documentos correlatos, conforme o Capítulo 2.3 deste trabalho. A TABELA 5 apresenta algumas sugestões e possibilidades de projetos relacionados a resíduos sólidos. Outras oportunidades podem existir, mas a tabela serve como um bom guia para identificação de oportunidades.

TABELA 5 – Projetos de tratamentos de resíduos

Aterros Domésticos	Metano gerando biogás
	Aplicação do metano em processos de geração de energia térmica ou elétrica
Cogeração com Biomassa	Deslocamento de energia
	Deslocamento de energia fóssil
	Metano evitado
Dejetos Animais	Metano gerando biogás
	Aplicação do metano em processos de geração de energia térmica ou elétrica
Geração de calor / Energia com Biomassa/ Resíduos	Deslocamento de energia
	Deslocamento de fóssil
	Metano evitado
Compostagem e outros sistemas	Metano evitado

Fonte: DELPUPO adaptado (2008)

Identificado à possibilidade da elaboração de um projeto de MDL, a atividade selecionada deve ser enquadrada em um dos escopos setoriais existentes, conforme as regras estabelecidas. Escopos que podem ser consultados no sítio UNFCCC.

Antes de iniciar um projeto, é importante avaliar sua titularidade. Em um sentido geral, a titularidade de um projeto é definida a partir de quem tem o poder de tomada de decisão sobre o investimento ou atividade de projeto que resultará na redução de emissões de GEE. A partir do conhecimento da titularidade do projeto e da estruturação contratual que viabiliza o investimento, são definidos os participantes do projeto. O próximo passo é a elaboração do documento de concepção de projeto (*Project Design Document* - PDD), documento base para aprovação de projetos de MDL.

Como parte da etapa da construção do PDD, é importante a identificação de metodologia compatível com a atividade de projeto proposta. Caso não exista uma metodologia aprovada, pode ser conduzida a submissão de uma nova metodologia.

O seguinte passo é a fase de validação realizada por uma Entidade Operacional Designada (EOD), que é uma empresa terceirizada independente que avalia o projeto. Particularmente, tal avaliação aborda aspectos como a linha de base adotada, o plano de monitoramento e a conformidade com os critérios da CQNUMC e dos participantes do projeto, a fim de confirmar se este tem realmente as condições descritas nos relatórios apresentados. A validação é uma exigência para todos os projetos do MDL e é considerada necessária para fornecer garantia aos atores sobre a qualidade do projeto e sobre sua almejada geração de RCEs (DNV* apud FELIPETTO, 2007).

---

* *DET NORSKE VERITAS. Validation report, Brazil NovaGerar landfill gas to energy project. 2004. Disponível em: www.unfccc.int.* apud FELIPETTO, A. V. M. (2007). *Conceito, planejamento e oportunidades. IBAM, Rio de Janeiro.: 40p.*

As EODs são entidades nacionais ou internacionais credenciadas pelo Conselho Executivo e designadas pela Conferência das Partes e Reunião das Partes (COP/MOP), as quais ratificarão ou não o credenciamento feito anteriormente. Para o caso específico de disposição e manuseio de resíduos sólidos, as entidades certificadas serão apresentadas na TABELA 6.

TABELA 6 – Entidades Operacionais Designadas

E-0001	Japan Quality Assurance Organization (JQA)
E-0003	Det Norske Veritas Certification Ltd. (DNVcert)
E-0005	TUV Industrie Service GmbH TUV SUD GRUPPE (TUV Industrie Service GmbHTUV)
E-0007	Japan Consulting Institute (JCI)
E-0010	SGS United Kingdom Ltd. (SGS)
E-0013	TÜV Industrie Service GmbH, TÜV Rheinland Group (TÜV Rheinland)
E-0022	TÜV NORD CERT GmbH (RWTUV)

Fonte: UNFCCC (2007)

A numeração demonstrada na tabela representa a codificação específica adotada pela CQNUMC da relação geral das entidades relacionadas que podem estar fazendo o processo de validação e de verificação para os projetos de MDL para a questão dos resíduos sólidos.. Essas entidades têm atuação mundial, não existindo qualquer tipo de limitação geográfica à sua atuação.

Após seguir todas as etapas formais de projeto até o seu registro no Conselho Executivo do MDL (Executive Board - EB), o projeto é implementado e monitorado, possibilitando a geração das CERs.

DELPUPO (2008) coloca que um forte impulsionador desses projetos são os mercados existentes para comercialização das CER. O mercado de emissões de GEE reduzidas vem crescendo significativamente de ano para ano, conforme dados do Banco Mundial. Em seu relatório de 2007, esse banco identifica um crescimento de aproximadamente 30% nas transações de redução de emissões em geral de 2005 para 2006 (passando de 378 milhões de toneladas de CO_2 em 2005 para 493 milhões de toneladas de CO_2 em 2006).

2.4.1 – Metodologias aprovadas para Aterros Sanitários

Em aterros sanitários e em lixões, o gás gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos normalmente vai diretamente para a atmosfera. Como o gás de aterro tem um grande potencial de geração de efeito estufa, caso ele consiga ser drenado, canalizado e encaminhado para tratamento específico (a queima eficiente em flares transforma o metano em CO_2) haverá uma diminuição na emissão de gases de efeito estufa. Onde o que deixou de ser

lançado na atmosfera pode ser negociado como créditos de carbono ou emissões reduzidas de carbono.

As metodologias de linha de base já aprovadas para Aterros Sanitários pelo Conselho Executivo do MDL são as seguintes:

- ACM0001 – Metodologia consolidada de linha de base para atividades de projetos com gás de aterro;
- AM0002 – Reduções de emissões de gases de efeito estufa por meio da captação e queima de gás de aterro (a linha de base é estabelecida mediante um contrato de concessão pública);
- AM0003 – Análise financeira simplificada para projetos de captação de gás de aterro (aprovada com base na proposta NM0005: Projeto da Nova Gerar de conversão de gás de aterro em energia);
- AM0010 – Projetos de captação de gás de aterro e geração de eletricidade nos casos em que a captação de gás de aterro não é obrigatória por lei (aprovados com base na proposta NM0010 rev: Projeto de geração de energia a partir de gás de aterro em Durban);
- AM0011 – Recuperação de gás de aterro com geração de eletricidade e nenhuma captação ou destruição de metano no cenário da linha de base (aprovada com base na proposta NM0021: Metodologia do Cerupt para a recuperação de gás de aterro).

2.4.2 – Situação Atual dos Projetos de MDL de Resíduos Sólidos

O estudo realizado neste trabalho além de avaliar várias situações para o estudo de caso, também colocará algumas perspectivas para a geração de energia elétrica por resíduos sólidos. Atualmente, no país já foram aprovados e submetidos juntos à UNFCCC 26 projetos de MDL para resíduos sólidos, e estão distribuídos por região geográfica, conforme a TABELA 7.

TABELA 7: Projetos de MDL de resíduos sólidos por região.

Região	Estado	N.ºde Projetos	% do Total no Brasil
Sudeste	São Paulo	14	53,85%
	Rio de Janeiro	1	3,85%
	Espírito Santo	2	7,69%
Nordeste	Bahia	3	11,54%
	Pernambuco	1	3,85%
Sul	Santa Catarina	2	7,69%
	Rio Grande do Sul	1	3,85%
Norte	Amazonas	1	3,85%
	Pará	1	3,85%
Total		26	100,00%

Fonte: MCT (2008).

Nota-se que dos 26 projetos mais da metade se encontram na região Sudeste do país (FIGURA 13), sendo que um pouco mais da metade dos projetos brasileiros nessa área se encontram no Estado de São Paulo. Devemos ressaltar que dos 14 projetos localizados no Estado (FIGURA 14), 9 estão localizados na região metropolitana do Estado de São Paulo.

Um ponto de vista importante que deve ser ressaltado é que da região Sudeste, apenas o Estado de Minas Gerais ainda não apresenta nenhum projeto de MDL de resíduos sólidos, apesar de existir várias cidades com potencial. No âmbito regional, temos Centro-Oeste brasileiro que é a única região brasileira a qual ainda não apresenta nenhum projeto de MDL, colocando-a como uma região a ser explorada. Desta forma, podemos avaliar através dos dados levantados que o Brasil ainda possui muitas cidades com potenciais para a implantação de projetos de MDL e de geração de energia relacionada a resíduos sólidos, e que devem ser trabalhadas a fim de aproveitar este potencial.

FIGURA 13 – Localização dos projetos de MDL no Brasil
Fonte: GOOGLE EARTH (2009).

FIGURA 14 – Localização dos projetos de MDL no Estado de São Paulo
Fonte: GOOGLE EARTH (2009).

Na TABELA 8, podemos observar que poucos projetos de MDL possuem a possibilidade da geração de energia, pois apenas cerca de 30 % dos projetos tem o intuito da geração de energia.

TABELA 8: Projetos de MDL de resíduos sólidos

PROJETO	CIDADE	ESTADO	CAPACIDADE DE GERAÇÃO [MW]	PERÍODO DE CRÉDITO	QUANTIDADE ESTIMADA DE RCE [t CO2 eq.]
Projeto NovaGerar - Projeto de Energia a partir de Gases de Aterro Sanitário	Nova Iguaçú	RJ	12	2004 - 2025	14.072.803
Projeto Vega Bahia - Projeto de Gás de Aterro de Salvador da Bahia	Salvador	BA	40	2004-2019	13.958.154

Fonte: MCT (2008).

TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos

PROJETO	CIDADE	ESTADO	CAPACIDADE DE GERAÇÃO [MW]	PERÍODO DE CRÉDITO	QUANTIDADE ESTIMADA DE RCE [t CO2 eq.]
Projeto de Energia de Gases de Aterro Sanitário da Empresa MARCA	Cariacica	ES	11	2004 - 2025	4.859.503
Projeto de Conversão de Gás de Aterro em Energia no Aterro Lara - Mauá - Brasil	Mauá	SP	10	2005-2025	10.482.918
Projeto ONYX de Recuperação de Gás de Aterro Tremembé - Brasil	Tremembé	SP	-	2003-2012	700.625
Projeto de Recuperação de Gás de Aterro ESTRE - Paulínea (PROGAE)	Paulínia	SP	-	2006-2012	1.487.775
Projeto de Redução de Emissões de Biogás, Caieiras - Brasil	Caieiras	SP	-	2005 - 2024	14.698.336
Projeto Bandeirantes de gás de Aterro e Geração de Energia em São Paulo, Brasil	São Paulo	SP	22	2004-2010	8.971.002
Projeto de Gás do Aterro Sanitário Anaconda	Santa Isabel	SP	_	2006-2012	842.932
Projeto São João de Gás de Aterro e Geração de Energia no Brasil	São Paulo	SP	20	2006-2012	6.211.825
Projeto de Gás de Aterro Sanitário Canabrava - Salvador-BA, Brasil	Salvador	BA	-	2007-2017	2.028.669
Projeto de Gás do Aterro Sanitário do Aurá	Belém	PA	-	2007-2016	3.201.519
Projeto de Gás do Aterro de Bragança - EMBRALIXO/ARAÚNA	Bragança Paulista	SP	-	2006-2012	464.791
Projeto de Gás de Aterro SIL (PROGAS)	Minas do Leão	RS	-	2007-2013	755.166
Projeto de Gás de Aterro Sanitário de Manaus	Manaus	AM	18	2007-2017	9.108.351

Fonte: MCT (2008).

TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos

PROJETO	CIDADE	ESTADO	CAPACIDADE DE GERAÇÃO [MW]	PERÍODO DE CRÉDITO	QUANTIDADE ESTIMADA DE RCE [t CO2 eq.]
Projeto de captura de gás de Aterro Sanitário Alto-Tietê	Itaquaquecetuba	SP	-	2008-2015	3.364.168
Projeto de Gás de Aterro Terrestre Ambiental (PROGATA)	Santos	SP	-	2007-2014	701.561
Projeto de captura de gás de Aterro Sanitário Alto-Tietê	Itaquaquecetuba	SP	-	2008-2015	3.364.168
Projeto de Gás de Aterro Terrestre Ambiental (PROGATA)	Santos	SP	-	2007-2014	701.561
Projeto de Gás de Aterro ESTRE Itapevi - (PROGAEI)	Itapevi	SP	-	2007-2014	634.028
Projeto de Gás de Aterro Quitaúna (PROGAQ)	Guarulhos	SP	-	2007-2014	665.216
Projeto de Gás de Aterro CDR Pedreira (PROGAEP)	São Paulo	SP	-	2007-2014	1.304.206
Atividade de projeto de redução de emissão de gás de aterro no Aterro Sanitário SANTECH Resíduos	Içara	SC	-	2008-2015	276.343

Fonte: MCT (2008).

TABELA 8 (Continuação): Projetos de MDL de resíduos sólidos

PROJETO	CIDADE	ESTADO	CAPACIDADE DE GERAÇÃO [MW]	PERÍODO DE CRÉDITO	QUANTIDADE ESTIMADA DE RCE [t CO2 eq.]
Projeto PROBIOGÁS-JP	João Pessoa	PB	-	2007-2014	1.478.057
Projeto de Captura e Queima de Gás de Aterro Sanitário de Tijuquinhas da Proactiva	Biguaçu	SC	-	2008-2015	918.361
URBAM/ARAUNA - Projeto de Gás de Aterro Sanitário (UAPGAS)	São José dos Campos	SP	-	2008 - 2014	818.362
Projeto de redução de emissão do Aterro Vila Velha	Vila Velha	ES	-	2007-2014	661.183
Projeto de Gás de Aterro Sanitário de Feira de Santana	Feira de Santana	BA	1	2008-2015	298.004

Fonte: MCT (2008).

2.5 – Geração de energia a partir de GDL

O país se defronta com vários problemas de infra-estrutura que acabam se tornando gargalos para o crescimento do país, como os problemas na expansão energética, principalmente nos setores de geração e transmissão. Outro setor que necessita de altos investimentos é a questão do saneamento básico, onde se insere a questão dos resíduos sólidos, que enfrenta problemas no âmbito de captação de recursos para a construção de novos aterros sanitários, e também na falta de áreas para disposição final dos resíduos. Problema que esbarra em questões políticas e ambientais, pois dificilmente munícipes aceitam a instalação de um depósito de RSU no “quintal de sua propriedade”. Problema Ambiental pelo rigor necessário para se caracterizar a área com potencial para instalação de um aterro, onde deverá ser constatado que não haverá danos ao lençol freático, a biota, além de outros parâmetros relevantes inseridos no Relatório e Plano de Controle Ambiental (RCA/PCA) do projeto.

A problemática da energia e dos resíduos, caracterizados acima, podem ser minimizados com a geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos. Prática que atualmente está sendo desenvolvida em instalações como o Aterro Bandeirantes (com capacidade instalada de 22 MW) e o Aterro São João (20 MW), ambos localizados no município de São Paulo-SP.

A matriz energética brasileira é composta predominantemente por usinas hidroelétricas, que produzem energia “limpa”, do ponto vista ambiental. Atualmente a geração hidroelétrica enfrenta problemas principalmente no âmbito ambiental, que tem provocado atrasos na construção de novos empreendimentos. Entretanto, o país enfrenta uma evolução crescente da demanda de energia, exigindo

investimentos altos e de longo prazo no setor energético com um planejamento técnico competente, a fim de que a população não sofra com problemas a curto prazo, como o racionamento ocasionado em 2000-2001.

Neste cenário é de fundamental importância o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas, sobretudo para a segurança no fornecimento de energia elétrica, na medida em que se permite desenvolver a geração distribuída, contando com um combustível próximo dos consumidores, como é o caso do aproveitamento energético do lixo. O aproveitamento energético dos RSU pode contribuir para a geração de riquezas, empregos e para o combate à poluição (GONÇALVES, 2007).

Os projetos de aterro sanitário vinculado aos projetos de crédito de carbono, se integram perfeitamente neste cenário apresentado, pois como uma das premissas da aprovação pelo órgão regulador brasileiro para a obtenção dos créditos é a caracterização de que o projeto seja vinculado ao desenvolvimento sustentável do país, segundo cinco critérios básicos: distribuição de renda; sustentabilidade ambiental local; desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de emprego; capacitação e desenvolvimento tecnológico; integração regional e articulação com outros setores.

Essas iniciativas, além de incrementarem o abastecimento de energia em situações de emergência, têm o potencial de funcionar como fator de desenvolvimento social no entorno e na área de influência dos aterros, condicionantes que auxiliam na validação dos projetos de MDL em aterros sanitários.

Atualmente, a literatura apresentada quatro tecnologias de aproveitamento dos RSU por meio da geração de energia, que são:

- Digestão anaeróbia:
  - Digestão anaeróbia acelerada;
  - Tecnologia do Gás de Lixo (GDL);
- Incineração;
- Tecnologia BEM.

Nessa revisão será abordada a tecnologia GDL.

2.5.1 – Tecnologia do Gás de Lixo (GDL)

A utilização do GDL ou do Biogás é o uso energético mais simples dos RSU. O GDL é um gás composto em percentual molar de: 40 – 55% de metano, 35 – 50% de dióxido de carbono, e de 0 – 20% de nitrogênio. O poder calorífico do GDL é de 14,9 a 20,5 MJ/m^3, ou aproximadamente 5.800 kcal/m^3. A geração de biogás se dá com a decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos dispostos e compactados a uma densidade específica em aterros sanitários. A tecnologia disponível para obtenção de energia com este gás já é conhecida e utilizada amplamente em todo mundo (HENRIQUES, 2004).

2.5.1.1 – Formação do Gás de Lixo

A transformação da massa de resíduos de um aterro sanitário em gases não é um processo simples, principalmente por conta da diversidade de materiais que a compõem e pelas interações físico-químicas e biológicas que ocorrem com o passar do tempo. As atividades microbiológicas têm grande influência na produção de biogás em aterros sanitários. No entanto, outros mecanismos como a volatilização e as reações químicas também exercem um papel importante na formação de metano, agindo isoladamente ou associado à microbiologia (VAN ELK, 2007).

A produção de gás em aterro sanitário, na sua fase de decomposição dos RS, pode ser dividida em quatro ou cinco fases, dependendo do autor (EPA, 1997; BIDONE & POVINELLI, 1999; LIMA, 2004). Na FIGURA 15, é mostrado um exemplo da divisão em quatro fases.

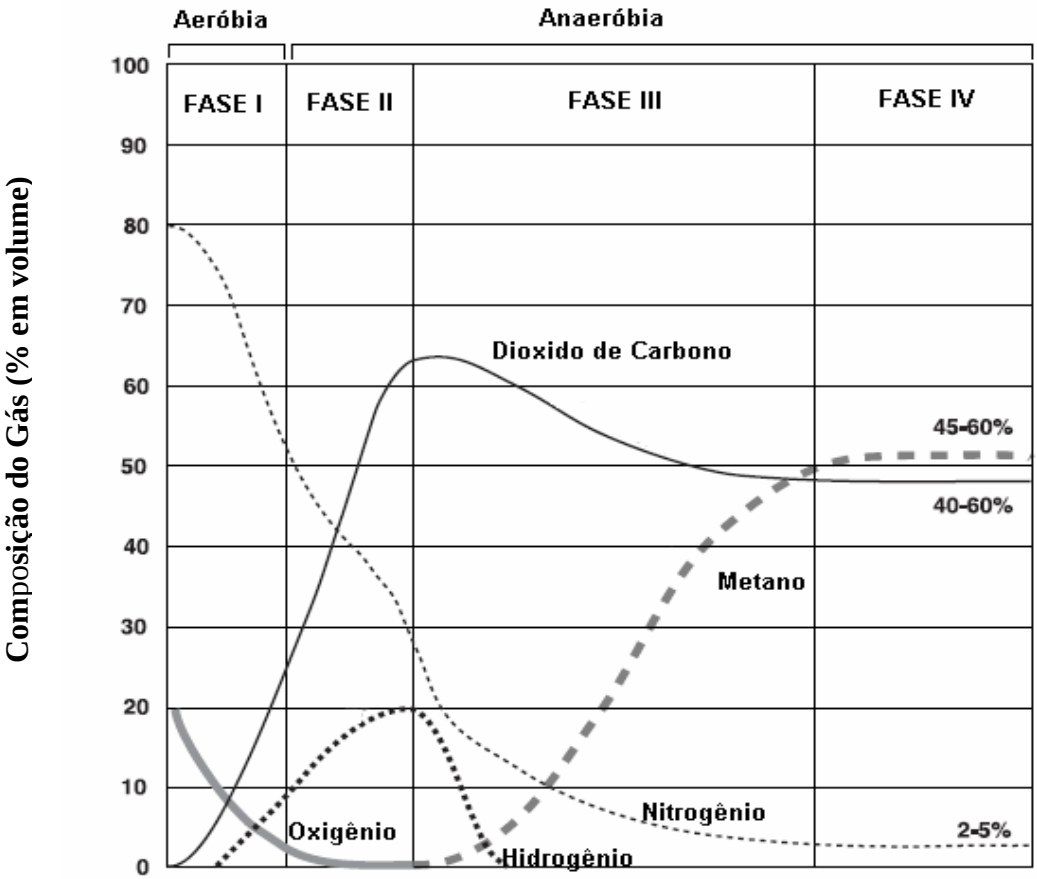

FIGURA 15 – Duração das fases variando com o tempo

Fonte: EPA (1997)

- 1ª fase: A primeira etapa da decomposição é aeróbia, isto é, ocorre com presença de oxigênio. Nessa etapa, as bactérias aeróbias consomem oxigênio enquanto metabolizam as cadeias de carboidratos complexos,

proteínas e lipídios que estão contidos nos resíduos orgânicos. O primeiro gás produzido é o dióxido de carbono (CO_2). No início dessa etapa, há uma grande quantidade de nitrogênio que declina rapidamente, à medida que o processo vai transcorrendo. Essa etapa pode durar dias ou meses, dependendo da quantidade de oxigênio presente no resíduo quando depositado no aterro. A quantidade de oxigênio dependerá da maneira como o resíduo foi depositado e, se houve ou não compactação. BIDONE & POVINELLI (1999) descrevem como uma etapa de ajustamento inicial e LIMA (2004), como etapa aeróbia. Nessa etapa, segundo LIMA (2004) a temperatura do meio se eleva para o estágio mesofílico em função do comportamento exotérmico das bactérias aeróbias, podendo ainda, dependendo das condições de contorno, atingir o estágio termofílico, com valores variando entre 45ºC e 68ºC.

- 2ª fase: A segunda fase inicia-se após o oxigênio ter sido consumido. Nessa fase, as bactérias convertem os compostos criados pelas bactérias aeróbias em ácido acético, lático, fórmico e álcoois, tais como metano e etanol. Tornando o ambiente totalmente ácido. Esses ácidos misturam-se com a umidade presente nos aterros, causando a dissolução de nutrientes e liberando nitrogênio e fósforo, disponíveis para o crescimento de diversas bactérias no aterro. Os gases produzidos são o dióxido de carbono e o hidrogênio. Caso ocorra o revolvimento da massa de resíduos ou a introdução, de alguma maneira, de oxigênio no aterro, os processos microbiológicos retornam para a primeira fase. De acordo com BIDONE & POVINELLI (1999), essa fase é dividida em duas: a fase de transição, em que ocorre o estabelecimento das condições de óxido-redução, e a fase de formação de ácidos, com predominância de ácidos orgânicos voláteis. Segundo LIMA (2004), é denominada como fase ácida, na qual o pH varia de 5,2 a 6,8 e a temperatura diminui para 29 a 45 ºC.
- 3ªfase: Esta fase também é caracterizada por um ambiente anaeróbio, inicia-se quando certas espécies de bactérias consomem os ácidos produzidos na segunda fase e forma-se o acetato, um ácido orgânico. Nesse processo o ambiente se torna neutro, possibilitando o estabelecimento das bactérias produtoras de metano. As bactérias metanogênicas e as bactérias acidogênicas são simbióticas ou apresentam mutualismo positivo. As acidogênicas criam compostos para as metanogênicas consumirem. As bactérias metanogênicas consomem carbono e acetato que são tóxicos para a maioria das bactérias acidogênicas. Nessa fase que então se inicia a produção do metano com a redução da quantidade de dióxido de carbono produzido. BIDONE & POVINELLI (1999) definem-na como fermentação metânica e LIMA (2004), como metânica instável. Segundo os autores (op.cit), o pH sobe e estabiliza-se na faixa de 6,8 a 7,2, e a temperatura estabiliza-se próximo de 30ºC.
- 4ª fase: Etapa final que se inicia quando a taxa de composição e de produção de gás no aterro se mantém relativamente constantes. Usualmente, nessa fase, o gás do aterro contém, em volume, 45% a 60% de metano, 40% a 60% de dióxido de carbono, e 2% a 9% de outros gases.

Essa fase é denominada por BIDONE & POVINELLI (1999) como maturação final, caracterizada por estabilização da atividade biológica, escassez de nutrientes, paralisação da produção de gás, predominância de condições ambientais naturais, aumento do valor do potencial redox com aparecimento de O_2 e espécies oxidadas, conversão lenta dos materiais orgânicos resistentes aos microorganismos em substância húmicas complexadas com metais. LIMA (2004) define como fase metânica estável. A temperatura é inferior a 30ºC (próxima do ambiente), o pH estabiliza-se entre 7,0 e 7,2 e o potencial redox varia em torno de -330 a -600 mV.

Segundo CRAWFORD & SMITH* apud AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR, 2006) um resíduo que é disposto num aterro é capaz de emitir gás por 50 anos ou mais, porém um aterro ao atingir a quarta fase, é capaz de produzir gás a uma taxa constante por mais de 20 anos.

Pelo fato de os aterros serem heterogêneos e de todo o resíduo não ser depositado ao mesmo tempo, as fases descritas acima ocorrem simultaneamente em diferentes áreas e profundidades de um aterro ativo ou recentemente fechado. A separação entre fases torna-se difícil quando o aterro está ativo e resíduos novos são adicionados aos antigos. Após o encerramento do aterro e devido à presença de resíduos em diferentes fases de degradação, este tende a ser impulsionado para a quarta fase, mantendo-se nela por um longo período de tempo.

2.5.1.2 – Fatores que afetam a geração de gás

A capacidade de produção de gás em aterro depende de muitas variáveis, incluindo composição e idade do resíduo, composição química, umidade, tamanho das partículas, pH, temperatura, Eh, projeto do aterro, operação, entre outros. Descrevem-se, na seqüência, os fatores que afetam a geração de gás (ATSDR, 2006; BIDONE & POVINELLI, 1999; BORBA, 2006; LIMA, 2005; VAN ELK, 2007).

- Composição do resíduo

A maior parte dos resíduos depositados em um aterro é constituída por material orgânico, facilmente degradável. O restante consiste em vários materiais inertes como plásticos, metais, entulho, entre outros materiais não degradáveis. O RS de um município pode ter variações sazonais ao longo do ano, dependendo do clima e dos hábitos de consumo da população. Quanto maior a fração orgânica biodegradável depositada no aterro, maior será a quantidade de gás produzido pelas bactérias durante a decomposição. Alguns resíduos degradáveis, tais como pedaços grandes de madeira, que não são inertes, mas se decompõem lentamente, na prática não contribuem significativamente com a geração de gás.

---

* CRAWFORD, J.F.; SMITH, P.G. (1985). *Landfill technology.* London: Butterworths. apud ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Chapter 2: Landfill Gas Basics.* http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html. (22/nov. 2006).

- Idade do resíduo

A produção do gás metano apresenta duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso e tempo de conversão. O tempo de atraso é o período da disposição dos resíduos até o início da geração do metano. O tempo de conversão é o período da disposição dos resíduos até o final da geração do metano. Geralmente, os resíduos recentemente depositados (menos de 10 anos) geram uma quantidade maior de gás do que os resíduos mais antigos (mais de 10 anos). O pico da produção de gás em um aterro ocorre depois de 5 a 7 anos em que os resíduos foram depositados.

- Composição química

A análise química dos resíduos identifica a composição do substrato, possibilitando a avaliação do grau de resistência à atividade enzimática e da disponibilidade de nutrientes para os microrganismos.

A relação de carbono/nitrogênio considerada ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1; no entanto, os RSU, geralmente apresentam valores em torno de 50:1, sendo necessária à correção dessa relação, por meio da suplementação de nitrogênio.

Os compostos de enxofre na forma de SO_4^{-2} e S^{-2} são utilizados pelos microrganismos para a formação da biomassa. SO_4^{-2} também é utilizado como aceptor de elétrons; no entanto, ele inibe o processo metanogênico quando se reduz o sulfeto, que é tóxico, e pela competição por substratos comuns a outros microrganismos.

Existem certos nutrientes que são essenciais tanto à metanogênese quanto a outros microrganismos para que o processo se desenvolva, como nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Porém, para ocorrer a atividade microbiana é necessário que esses nutrientes estejam presentes em níveis adequados, principalmente o carbono, o nitrogênio e o enxofre (formas de sulfetos). Este último pode tornar a massa em decomposição tóxica, além de poder criar uma competição entre as BRS e as metanogênicas pelo mesmo substrato.

- Umidade

A umidade é o fator mais significativo para a taxa de produção de gás, além de favorecer o meio aquoso que é essencial para o processo de produção de gás, também serve como transporte para os microrganismos dentro do aterro sanitário. As condições de umidade dentro do aterro dependem de muitos fatores, um deles é a umidade inicial do resíduo (umidade com que os resíduos chegam ao aterro). Outros fatores são a composição gravimétrica, a impermeabilização de fundo, a pluviosidade da região, o tipo de cobertura e a prática ou não de recirculação.

No Brasil, o teor de umidade dos resíduos varia de 40 a 60%. Quanto maior o teor de umidade, maior será a taxa de produção do gás e de CH_4. A produção

máxima é atingida entre 60% e 80% de umidade. Por outro lado, JUCÁ & MACIEL* apud BORBA (2006) verificaram altas taxas de decomposição dos resíduos no aterro de Muribeca para umidades variando entre 20 e 40%.

O teor de umidade em um aterro muda ao longo do tempo. Alterações no teor de umidade do aterro podem resultar em mudanças na infiltração de águas superficiais e/ou influxo de águas subterrâneas, liberação de água como resultado da decomposição dos resíduos e variações sazonais do teor de umidade dos resíduos. Na teoria, a condição ideal para a produção de gás é a total saturação do resíduo. No entanto, segundo BIDONE & POVINELLI (1999) as infiltrações excessivas podem causar retardamento na produção, devido ao favorecimento da fermentação ácida da matéria orgânica, que liberam grandes quantidades de ácidos graxos voláteis e ocasionando a inibição do processo metanogênico.

Na maior parte dos casos os resíduos sólidos quando são depositados nos aterros não estão saturados, porém dois fatores contribuem para saturar os resíduos: primeiramente a água proveniente das chuvas e depois a pressão das camadas superiores sobre as outras. Uma vez que a saturação é alcançada, a pressão da água livre acelera as reações químicas e biológicas (PEREIRA† apud BORBA, 2006).

Segundo JUNQUEIRA‡ apud BORBA (2006), em períodos chuvosos é favorecida a entrada de uma carga extra de oxigênio dissolvido na água o que possibilita um incremento das atividades das bactérias aeróbias e facultativas, o que leva consequentemente a um aumento na temperatura na massa de resíduos

---

* JUCA, J.F.T. e MACIEL, F.J.,1999. *"Permeabilidade ao Gás de um Solo Compactado não Saturado"*, Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São José dos Campos, São Paulo, pp 384-391. apud BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

† PEREIRA, A. G. H., 2000, *Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, Espana..apud BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

‡ J JUNQUEIRA F.F., 2000, *Análise de Comportamento de Resíduos Urbanos e Sistemas Dreno-Filtrantes em Diferentes Escalas, com Referência o Aterro do Jóquei Clube*, Tese de Doutorado, UNB, pp283. apud BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso.* Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

em função das atividades exotérmicas dos microorganismos. O autor relata que verificou variações bruscas de temperatura na massa de resíduos em períodos chuvosos, e que estas variações favorecem a desestabilização dos microorganismos anaeróbios, provocando uma diminuição na velocidade de degradação da matéria orgânica.

- Tamanho das partículas

Há uma relação inversamente proporcional entre a superfície exposta dos resíduos e o tamanho dos mesmos, expressa pela superfície específica (área da superfície/volume). Sendo assim, observa-se um aumento da velocidade de degradação quando a massa é composta por resíduos menores, o que tem motivado o uso de trituradores, por exemplo, na compostagem e nos processos mecânico-biológicos. Vale salientar que o tamanho das partículas tem influência na degradação dos resíduos tanto nos processos aeróbios quanto nos anaeróbios (VAN ELK, 2007).

- pH

O potencial hidrogeniônico (pH) tem importância fundamental no processo da decomposição anaeróbia, pois suas variações podem acelerar ou inibir o processo. Em função do pH e da capacidade de crescimento no meio os microrganismos podem ser classificados em acidofílicos (crescimento ótimo com pH baixo), neutrofílicos (melhor crescimento com pH próximo de 7) e alcalinofílicos (crescimento ótimo com pH alto).

Inicialmente os aterros apresentam pH ácido, que aumenta e se aproxima da neutralidade a partir do começo da fase metanogênica. As bactérias metanogênicas são as mais sensíveis ao pH, a faixa de pH ótima para essas bactérias é de 6,5 a 7,6. Caso haja o desbalanceamento no processo, por exemplo, devido a um aumento repentino da carga orgânica, poderá haver um acúmulo de ácidos voláteis se a capacidade tampão determinada em sua maior parte pela alcalinidade a bicarbonato não for suficiente para a neutralização. Nesse caso, ocorrerá queda do pH, provocando um desbalanceamento maior.

Segundo BIDONE & POVINELLI (1999) e LIMA (2005) a produção de CH_4 é máxima quando o pH situa-se na faixa de 7,0 a 7,2, sendo que para valores abaixo de 6,0 e superiores a 7,6, pode ser inibida a atividade microbiana no aterro sanitário.

- Temperatura

A temperatura de um aterro interfere nos tipos de bactérias predominantes e na taxa de produção de gás. A formação de metano pode ocorrer a uma extensa faixa de temperatura, entre 0º e 97 ºC. Em ambientes anaeróbios, podem existir três faixas ótimas de temperatura: psicrofílica (ainda não bem definida); mesofílica (30 a 35ºC) e termofílica (50ºC a 55ºC).

A temperatura é altamente importante no processo de formação de metano. Quanto mais elevada, maior será a atividade bacteriana e, conseqüentemente, a produção de metano. Dois aspectos devem ser considerados com relação à temperatura: a temperatura desenvolvida dentro da massa de resíduos e a influência da temperatura externa sobre os processos que ocorrem internamente. A faixa ótima de temperatura para a geração de metano é de 30ºC a 40ºC, sendo que temperaturas

abaixo dos 15ºC propiciam severas limitações para a atividade metanogênica. Flutuações de temperatura são comuns na parte mais elevada do aterro, como resultado das mudanças na temperatura local (VAN ELK, 2007).

No aterro sanitário as máximas temperaturas frequentemente são alcançadas dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos como um resultado da atividade aeróbia microbiológica, diminuindo nas condições anaeróbias. Geralmente a temperatura nos aterros não ultrapassa 45ºC, sendo difícil um aterro ser operado na faixa termofílica. A temperatura ambiente não exerce influência significativa na massa de aterro em função da mistura de resíduos e solo.

JUCÁ & MACIEL* apud BORBA (2006) relatam que no Aterro de Muribeca, situado na região metropolitana de Recife, que possui características climáticas tropicais, a temperatura ambiente só influencia até 2,5m de profundidade.

- Eh

A energia primária para muitos microrganismos é a energia química suprida por compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que sua utilização como fonte de energia envolve reações de troca de elétrons, ou seja, reações de oxidação-redução.

O potencial de oxidação-redução ou potencial redox é definido como a tendência de um meio de cultura aceitar ou ceder elétron. A medida deste potencial indica o nível de oxidação e redução nos resíduos do aterro, podendo ser utilizada para conhecer a atividade microbiana. Sua magnitude é influenciada pelo pH e temperatura.

O Eh ótimo para produção de CH_4 é menor que -200 mV (BIDONE & POVINELLI, 1999). Segundo LIMA (2005), a produção máxima de CH_4 ocorre quando Eh atinge valores entre -300 a 600 mV, expressando que as bactérias metanogênicas requerem meios reduzidos para seu efetivo crescimento.

- Projeto do Aterro

Segundo BORBA (2006), atualmente os projetos de aterros de resíduos sólidos procuram otimizar a geração de metano e controlar a produção de chorume. Para isso os projetos utilizam três elementos básicos:

- A impermeabilização de fundo tem a função de impedir que o chorume se infiltre no solo, contaminando o lençol freático, e que o biogás migre por fendas do terreno podendo acumular-se sob edifícios ou outros lugares fechados próximos ou dentro do aterro.
- A drenagem de chorume também é importante, porque se ela não for eficaz pode haver um aumento da umidade na massa de lixo,

---

* JUCA, J.F.T. e MACIEL, F.J. 1999. *"Permeabilidade ao Gás de um Solo Compactado não Saturado"*, Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São José dos Campos, São Paulo, pp 384-391. apud BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

reduzindo a degradação da matéria orgânica e consequentemente a geração de biogás. Os poços de drenagem constituem outro importante elemento que possibilita a captação e recuperação energética do biogás.

- A cobertura adequada dos resíduos impede o ingresso de água proveniente do escoamento superficial, evitando a saturação da massa de resíduos e diminuindo a produção de chorume, além disso, a cobertura dificulta a entrada de oxigênio provocando a redução da fase aeróbia e acelerando o começo dos processos anaeróbios, onde é gerado o metano. A cobertura também tem a importante função de evitar a fuga de biogás para atmosfera.

- Operação

Quanto maior a compactação dos resíduos, menor a presença de oxigênio na massa, o que, sob esse aspecto, diminui o processo aeróbio, tendo como conseqüência uma possível antecipação na produção de metano. Por outro lado a maior compactação diminui a superfície de exposição e dificulta a passagem dos líquidos e gases.

A prática da recirculação de chorume pode recuperar a umidade dos resíduos nos períodos mais secos favorecendo os processos de degradação. A recirculação também diminui as elevadas concentrações de DBO e DQO, causadas pelos ácidos orgânicos na decomposição dos resíduos no interior do aterro, proporcionando o rápido desenvolvimento de uma população de bactérias anaeróbias ativas produtoras de metano (IPT* apud BORBA, 2006).

2.5.1.3 – Panorama mundial da geração de energia a partir do GDL

Atualmente, existem aproximadamente 950 instalações de gás de lixo em todo o mundo, na qual o gás é utilizado com propósito energético. Na TABELA 9 é apresentado um panorama mundial das unidades instaladas. No entanto, o número para alguns países deve ser visto com reserva, pois não é possível obter dados exatos de todos os países. É o caso do Brasil, que embora esteja presente nessa tabela, suas

---

* IPT. *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S.A. Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, Publicação IPT 2622, 2 ed., 370p, São Paulo, 2000. apud BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

iniciativas para a utilização de gás de lixo ainda estão muito incipientes (WILLUMSEN, 2001).

TABELA 9 – Distribuição geral de plantas de GDL pelo mundo (2001)

Países	***Número aproximado de plantas***
China	3
República Checa	5
Hungria	5
Brasil	6
França	10
Espanha	10
Suíça	10
Finlândia	10
Polônia	10
Áustria	15
Noruega	20
Dinamarca	21
Canadá	25
Austrália	25
Itália	40
Holanda	60
Suécia	70
Inglaterra	135
Alemanha	150
Estados Unidos	325
Total	***955***

Fonte: WILLUMSEN (2001).

As plantas dos sistemas de coleta e utilização de GDL vêm se desenvolvendo bastante nos últimos anos. Estima-se que os aterros sanitários produzam, mundialmente, de 20 a 60 milhões de toneladas de metano por ano, como um resultado direto da decomposição anaeróbia de material orgânico dos componentes do lixo. Aproximadamente dois terços dessas emissões são provenientes de países desenvolvidos, contudo a contribuição dos países em desenvolvimento está aumentando, devido às tendências de crescimento populacional e urbanização, bem como às necessidades de crescimento econômico (GONÇALVES, 2007).

Os aterros sanitários são vistos por vários países como uma forma de reduzir as emissões de metano para a atmosfera, além de apresentarem oportunidades de geração e recuperação de energia. Nos Estados Unidos e no Reino Unido foram criados programas de recuperação de metano que reduzirão suas emissões em 50% ou mais nas próximas décadas, além de obter um ganho econômico pelas emissões evitadas e pela geração de energia (op.cit.).

Com base somente em tecnologias atualmente disponíveis, segundo MUYLAERT* apud GONÇALVES (2004), é tecnicamente viável reduzir as emissões globais de metano de aterros sanitários em 50% das emissões atuais, ou seja, 10 a 25 milhões de toneladas por ano. A maior parte dessas reduções é economicamente viável visto que normalmente os depósitos de resíduos estão localizados nas proximidades dos grandes centros urbanos, o que assegura consumo para tal potencial energético.

2.5.1.4 – Panorama brasileiro da geração de energia a partir do GDL

Segundo dados do Inventário Brasileiro de Emissões Antropogênicas de Gases de Efeito Estufa (MCT 2000), usando a metodologia do IPCC (IPCC 1996), as emissões líquidas de metano provenientes de resíduos sólidos no Brasil para os anos de 1990 e 1994, são de 618 e 677 gigagramas por ano, respectivamente. Atualmente estas emissões não são recuperadas, considerando que o potencial de aquecimento global (GWP – Global Warming Potential) relativo às emissões de metano são equivalentes a 21 vezes o potencial das emissões do dióxido de carbono, teríamos em 1994 um total de emissões equivalentes a, aproximadamente, 14.000 Gg/ano de dióxido de carbono. Este montante poderia ser evitado parcialmente (apenas nos aterros de exploração economicamente viável) através da geração elétrica a partir do GDL, trazendo o duplo benefício de evitar tanto as emissões do GDL e as que seriam oriundas da geração a partir do gás natural (é a tendência de expansão da oferta pelo setor privado), a fim de atender as demandas crescentes de energia necessárias ao desenvolvimento do país. (MUYLAERT† apud HENRIQUES, 2004)

No Brasil, o aproveitamento do GDL vem se desenvolvendo desde a década de 70, principalmente no Rio de Janeiro, em Natal e em São Paulo. No Rio de Janeiro, a

---

* MUYLAERT, M.S., coord. (2000). *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudos de Caso*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. apud GONÇALVES, A. (2007), *Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos domiciliares e comerciais do Município de Itajubá – MG*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

† MUYLAERT, M.S., coord. (2000). *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudos de Caso*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. apud HENRIQUES, R. M. (2004). *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica*. Rio de Janeiro. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

experiência teve início em 1977, quando a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), em parceria com a Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG), deu início ao primeiro projeto de recuperação energética de GDL de aterros sanitários.

Em Natal, no ano de 1983, foram elaborados três projetos para utilização do gás do depósito controlado da cidade, que recebia aproximadamente 500 toneladas de lixo urbano por dia na década de 80: uma cozinha comunitária para os moradores de baixa renda da comunidade próxima ao depósito; uma rede de distribuição de gás conectada diretamente a uma comunidade próxima de 150 habitantes; uma ligação para alimentação de uma caldeira de uma indústria de castanha de caju. Dos três projetos, somente o primeiro foi implantado em 1986 pela administração de Natal com recursos próprios.

No município de São Paulo houve programas para aproveitamento do GDL como o Programa de Recuperação de Metano de Aterros Sanitários do Estado de São Paulo.

No país, até o final de 2003, não existiam plantas de aproveitamento de GDL em operação, somente algumas em estado final de montagem, como é o caso do Aterro de Bandeirantes em São Paulo. Outras iniciativas são os aterros de Adrianópolis em Nova Iguaçu - RJ e o de Salvador - BA.

O Aterro Sanitário Municipal de Bandeirantes, no Estado de São Paulo, é um dos maiores do mundo, recebendo diariamente cerca de 7 mil toneladas de resíduos no ano de 2004, o que representa a metade do total produzido em São Paulo. No ano de 2007 este aterro teve sua operação de recebimento de resíduos encerrada.

Esse aterro começou a operar a quase 30 anos, os gases produzidos da decomposição da matéria orgânica eram e ainda são, em parte, queimados em drenos verticais e lançados para a atmosfera. A partir de 2004, com a inauguração da Central Termelétrica a gás, 12 mil m³ por hora de gases são captados em 126 poços conectados a redes de tubos numa extensão de 43 km, e são encaminhados para queima gerando energia calorífica que é transformada em energia elétrica (SENEGA, 2004).

De acordo com esse autor (op.cit,) a usina tem capacidade de produzir 170 mil MWh de energia elétrica, o suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes. Os representantes da Biogás, empresa sediada em São Paulo, detentora de tecnologia em projetos de desgaseificação de aterros, que concebeu a termelétrica do Bandeirantes, afirmam que a utilização correta dos gases gerados nesse aterro reduzirá a emissão equivalente a 8 milhões de toneladas de gás carbônico no período de 15 anos, contribuindo assim para a mitigação do efeito estufa. Em 2006 foi assinado um contrato para venda de certificado de um milhão de toneladas de carbono para o banco alemão KFW.

O Aterro Bandeirantes foi o primeiro projeto de MDL que gerou créditos de carbono negociados em sistema de leilão pela BM&F. O 1º Leilão de Créditos de Carbono, realizado em 26 de setembro de 2007, negociou 808.450 créditos de carbono para o banco holandês Fortis Bank que pagou 16,20 euro/tonelada. O total arrecadado foi de 13.milhões de euros (34 milhões de reais, à época). Esse dinheiro foi utilizado pela Prefeitura para construir praças e viabilizar outros projetos que ainda estão em

fase de licitação e que têm como objetivo melhorar a vida da comunidade ao redor do aterro Bandeirantes.

2.4.1.5 – Vantagens e desvantagens da tecnologia de GDL

Na TABELA 10 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens, colocadas por GONÇALVES (2007), sobre a tecnologia GDL.

TABELA 10 – Vantagens e desvantagens da tecnologia do GDL

TECNOLOGIA DO GDL	
VANTAGENS	***DESVANTAGENS***
• Redução da emissão de metano. • Baixo custo para o descarte de lixo. • Possibilidade de utilização para geração de energia ou como combustível doméstico.	• Ineficiência no processo de recuperação do gás. • Inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos. • Possibilidade de ocorrência de auto-ignição e/ou explosão pelas elevadas concentrações de metano na atmosfera. • Alto custo para atualizar a planta.

Fonte: GONÇALVES (2007).

2.5.2 – Modelos de estimativa da geração de GDL

Os modelos matemáticos são ferramentas úteis e econômicas para avaliar o potencial de geração de GDL no local do aterro sanitário. Os resultados podem ser utilizados para avaliar o potencial para migração/emissões de GDL perigosas e para avaliar a viabilidade do projeto de gestão do GDL. Atualmente existem vários modelos matemáticos disponíveis para calcular a produção de gás de lixo (BORBA, 2006; GONÇALVES, 2007). São esses os mais utilizados:

- Modelo de Primeira Ordem (First order model – TNO)
    - LandGEM (Versão 3.02)
    - Modelo utilizado pelo Banco Mundial
    - Modelo utilizado pelo IPCC

- Modelo Multi-fase
    - Modelo GasSim

Neste estudo serão abordados apenas os modelos LandGEM, Banco Mundial e IPCC, a seguir serão descritos estes 3 modelos:

- **LandGEM (Versão 3.02)**

O LandGEM (Landfill Gas Emissions Model – Modelo de Emissão de Gases em Aterros Sanitários) é um programa desenvolvido pelo CTC (Control Technology Center – Centro de Controle de Tecnologia) da EPA (Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) em 2005 (EPA, 2005).

O LandGEM é um modelo matemático utilizado para contabilizar quantidade e variações na geração de gases em aterros, calculando, além do metano, a emissão de 49 outros componentes.

O programa LandGEM adota parâmetros variáveis de acordo com o clima da região e com o tipo de resíduos gerados. Esse modelo usa uma equação de primeira ordem (eq. 1) para calcular a estimativa anual das emissões pelo período especificado.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0,1}^{1} kL_0 \left[\frac{M_i}{10} \right] e^{-kt_{ij}} \qquad (1)$$

Onde:
QCH_4 = geração anual de metano para o ano calculado (m^3/ano);
i = 1 - acréscimo por ano;
n = ano do cálculo (ano inicial de abertura do aterro);
j = 0,1 - acréscimo por ano;
k = taxa de geração de metano (ano^{-1});
L_0 = potencial de geração de metano (m^3/Mg);
M_i= massa de resíduos recebidos no ano em cada seção (Mg);
t_{ij} = ano, em cada seção, de recebimento da massa de resíduos (tempo, com precisão de decimais; por exemplo, 3,2 anos).

Esse modelo pode ser usado tanto com os dados específicos do local, quanto com dados padrões para estimar as emissões de gases em aterros sanitários de resíduos sólidos municipais. O programa possui dois conjuntos de parâmetros para o cálculo da geração de metano em aterros sanitários:

- AP42 (Compilation of Air Pollutant Emission Factors) – utiliza os parâmetros de L_0 = 100 m³/t de resíduos e k=0,02 ano-1 (regiões áridas < 635 mm/ano) ou k=0,04 ano-1 (regiões áridas > 635 mm/ano).
- CAA (Clean Air Act) – utiliza os parâmetros de L_0 = 170 m³/t de resíduos e k=0,02 ano-1 (regiões áridas <635 mm) ou k=0,05 ano-1 (regiões áridas >635 mm/ano).

Os parâmetros L_0 e k são os mais importantes da eq. 1, pois refletem variações de acordo com local, clima, tipo de resíduos etc. Teoricamente, o fator k varia de 0,003 a 0,21 (ano-1), porém, nas condições brasileiras, o fator pode ser aplicado com magnitudes de 0,05 até 0,15. Já o fator L_0 é proporcional à porcentagem de matéria

orgânica presente nos resíduos, e pode variar de 0 (ausência de material degradável) até 300 m³/t. Como no Brasil a matéria orgânica constitui cerca de metade dos RSUs, o valor para L_0 varia de 140 até 190 m³/t (CEPEA, 2004).

- **Modelo utilizado pelo Banco Mundial**

O Banco Mundial apresenta no Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe (2003) o Modelo Scholl Canyon, que é também um modelo cinético de primeira ordem com base na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo.

Segundo o manual citado anteriormente, o modelo foi selecionado por ser o mais comumente empregado e aceito nas Américas do Sul e do Norte e por sua forma simples de compreender e aplicar. O modelo é representado pela eq. (2) apresentada abaixo :

$$Q_{(CH_4)i} = k \times L_o \times m_i \times e^{-k.t} \qquad (2)$$

Em que:
$Q(CH_4)i$ = Metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo, (m³/ano);
k = Taxa da geração de metano, (anos-1);
L_0 = Potencial da geração de metano, (m³ CH_4 / t resíduo);
m_i = Massa de resíduo despejada no ano i, (t/ano);
t_i = Anos após o fechamento.

Os valores sugeridos para a constante de geração de metano (k) estão apresentados na TABELA 11.

TABELA 11 – Valores para k propostos em correspondência com a precipitação anual

Precipitação Anual	Campo dos Valores k		
	Relativamente Inerte	**Moderamente Degradável**	**Altamente Degradável**
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 e < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 e < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

Fonte: Banco Mundial (2003)

O potencial de geração de metano (L_0) representa sua produção total por tonelada de lixo. Valores típicos para este parâmetro variam de 125 m³ a 300 m³ de metano/tonelada de resíduo.

O Manual do Banco Mundial propõe a utilização de um valor pré-estabelecido de L_0 de 170 m³ de metano/tonelada de resíduos, conforme a TABELA 12.

TABELA 12 – Valores L_0 em função da degradabilidade do resíduo

Categorização do Lixo	Valor Mínimo para Lo	Valor Máximo para Lo
Lixo Relativamente Inerte	5	25
Lixo Moderadamente Degradável	140	200
Lixo Altamente Degradável	225	300

Fonte: Banco Mundial (2003)

A eq. (2) não fornece uma representação adequada de aterros de RSU ativos, já que neste caso a exponencial da equação assume o valor um, não fornecendo para aqueles aterros com grandes flutuações de resíduos recebidos um valor próximo da realidade; pois nesta equação fica claro a geração constante de metano, independente do tempo de atividade do aterro.

- **Modelo utilizado pelo IPCC**

As diretrizes do IPCC descrevem dois métodos para estimar as emissões de metano procedentes de aterros: o método simplificado, que tem como base a suposição de que o total de metano potencial se libera durante o ano em que se produz a disposição dos resíduos – dado pela equação 3 –, e o método de decomposição de primeira ordem – governado pelas equações 4 e 5. O método de decomposição de primeira ordem gera um perfil de emissões que depende do tempo transcorrido e que reflete melhor o processo de degradação ao longo do tempo.

$$CH_4(t/ano) = (RSU_T * RSU_F 8L_0 \quad R(t)) * (1 \quad OX) \tag{3}$$

$$CH_4 gerado(t/ano) = \sum (A * k * RSU_T(x) * RSU_F(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)} \tag{4}$$

$$CH_4 emitido(t/ano) = [CH_4 gerado \quad R(t)] * (1 \quad OX) \tag{5}$$

Em que:
t = ano de realização do inventario.
x = ano de contribuição (desde inicio de atividade até t).
A = (1-e-k)/k; fator de normalização para corrigir a soma.
k = constante de geração, ano_{-1}.
RSUT(x) = total de RSU gerados no ano x, t/ano.
RSUF(x) = fração de RSU depositada no aterro no ano x.
RSUT(x) * RSUF(x) = massa de resíduos despejada no ano x, t/ano
L_0 = potencial de geração de metano (t CH_4/t RSU);
L_0 =FCM(x)*COD(x)*CODF*F*16/12.
FCM(x) = fator de correção do metano no ano x.
COD(x) = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU).

CODF = fração do carbono orgânico degradável assimilado.
F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados 0,5.
16/12 = conversão de carbono a metano.
R(t) = quantidade de metano recuperada no ano t.
OX = fator de oxidação (fração).

A equação 4 não fornece uma representação adequada de aterros de RSU fechados, já que a fração exponencial é sempre crescente, o que gera um aumento constante na geração de biogás. Se por outro lado for considerado o ingresso de resíduos ao aterro como zero, a equação é zerada.

O IPCC (1996 a), no documento guia para a realização de inventários de gases de efeito estufa, propõe valores do FCM em função do tipo de aterro onde se realize a eliminação dos RSU. Classifica os vazadouros em duas categorias, controlados e não controlados, e designa um valor do FCM a cada um deles.

Aos aterros controlados designa um valor do FCM de 1. O IPCC define como aterros controlados aqueles nos quais existe uma deposição controlada dos resíduos, ou seja, áreas específicas para depositar os resíduos e certo grau de controle da coleta do lixo. Nesse tipo de aterro deverá ser utilizado pelo menos um dos seguintes procedimentos: material de cobertura, compactação mecânica ou nivelamento de desperdícios.

Para aterros não-controlados, denominados vazadouros ou lixões, os valores de FCM, que a CETESB (2002) recomenda variam com base na altura da pilha de disposição de resíduos sólidos (LDRS), como indicado na TABELA 13.

TABELA 13 – FCM recomendado pelo IPCC

LDRS	FCM
Altura maior ou igual a 5 m	80%
Altura menor que 5 m	40%
Locais sem classificação	60%

Fonte: CETESB (2002)

A constante de geração k representa a velocidade de degradação da matéria orgânica. Se este parâmetro não estiver caracterizado, o IPCC recomenda um valor de 0,05.

O carbono orgânico degradável (COD) é a fração acessível para a decomposição bioquímica dos resíduos. A TABELA 14 mostra os valores recomendados pelo IPCC para os diferentes resíduos.

TABELA 14 – Valores recomendados para o COD nos principais tipos de resíduos.

Componente	Porcentagem de COD em massa
A. papel, papelão e tecidos	40
B. resíduos de parques e jardins	17
C. restos de alimentos	15
D. Madeira	30

Fonte: IPCC (1996)

Para o cálculo do COD, segundo IPCC, é proposta a seguinte equação:

$$COD(fração) = 0{,}4 * A + 0{,}17 * B + 0{,}15 * C + 0{,}30 * D \quad (6)$$

Em que:
A: Fração dos RSU que corresponde ao papel e aos têxteis.
B: Fração dos RSU que corresponde aos resíduos de jardins e parques e outros resíduos orgânicos putrescíveis (excluídos os alimentos).
C: Fração dos resíduos que correspondem a restos de alimentos.
D: Fração dos resíduos que correspondem aos resíduos de madeira e palha.

Caso não sejam conhecidas as frações dos resíduos o IPCC recomenda um valor de 12% para o COD.

O CODF corresponde à fração do carbono orgânico degradável que realmente se degrada. O carbono orgânico degradável não se decompõe totalmente e parte permanece no aterro inclusive durante longos períodos de tempo. Na ausência de dados o IPCC propõe um valor de 77% para o CODF.

O fator de oxidação reflete a quantidade de metano procedente dos aterros que se oxida no solo ou em outros materiais que cobrem os resíduos. Estudos realizados demonstram que os aterros sanitários tendem a apresentar resultados de oxidação mais altos que os lixões. Até o presente momento não existem valores aceitos internacionalmente e, na ausência de dados, se assume um valor igual a 0.

O uso de valores de oxidação diferentes de zero é justificado no caso de aterros sanitários, mas, em outros casos, o uso de um valor de oxidação diferente de zero deve estar claramente documentado e respaldado por referências. É importante destacar que qualquer quantidade de metano que se recupere deverá descontar-se do volume gerado antes de aplicar um fator de oxidação.

Na TABELA 15, é apresentada a faixa de incerteza associada a cada parâmetro.

TABELA 15 – Incerteza associada aos parâmetros sugeridos pelo IPCC

Parâmetro	Faixa de Incerteza
MSW * MSWF	>±10 %
DOC = 0,21	-50%, +20%
DOC_F = 0,77	-30%, 0
FCM = 1	-10%, 0
F = 0,5	0, 20%
Recuperação de Metano (R)	A faixa de incerteza dependerá da forma em que são estimadas as quantidades de metano recuperado, mas é provável que essa incerteza seja relativamente pequena se comparada com outras quando se aplicam sistemas de medição.
OX	O fator OX deverá ser incluído na análise da incerteza quando tenha sido indicado um valor diferente de zero
Taxa de geração de metano k = 0,05	-40%, 300%

Fonte: IPCC (1996)

2.5.3 – Obtenção e produção de energia elétrica

Segundo HENRIQUES (2004), a estimativa da geração de eletricidade anual pode ser calculada multiplicando o potencial de geração líquido pelo número de horas operadas no ano, definido pelo fator de capacidade (FC). Esse fator compreende a parcela de horas em um ano de um equipamento de geração, que está produzindo eletricidade com sua capacidade plena. O fator de capacidade pode ser calculado pela eq. (7):

$$FC = \frac{energ.\,prod.\,(kWh/ano)}{capac.\,pico\,(kW) \times 8760\,(h/ano)} \qquad (7)$$

Segundo MUYLAERT (2000), os fatores de capacidades típicos para projetos de GDL variam entre 80 a 95% e são baseados na disponibilidade de GDL, no projeto da planta e nas taxas de parada do gerador (4% a 10% das horas anuais).

Existem várias tecnologias para geração de energia elétrica, como motores de combustão interna, turbinas de combustão, e turbinas com utilização do vapor (ciclo combinado).

As plantas de ciclo combinado, quando comparadas com as plantas convencionais, mostram-se mais eficientes para a utilização de energia de aterro em razão de o rendimento das plantas de ciclo combinado situar-se entre 45-50% e o das plantas convencionais entre 30-40% (GASNET, s/d).

As plantas de ciclo aberto apresentam-se como uma possibilidade para o uso do biogás. Uma vez que esteja separado do CO_2 (o que faz com que haja um aumento do rendimento), o biogás pode ser usado em turbinas a gás. Essas turbinas têm um desempenho um pouco inferior às plantas de ciclo combinado, mas também se mostram eficientes para a conversão em energia.

De acordo com HENRIQUES (2004), o aproveitamento energético com a tecnologia de GDL pode ser calculado pela eq. (8):

$$EP = RSU \times FP \times d \times FC \times FCP \times E \qquad (8)$$

Onde:
EP – Energia potencial calculada (TWh/ano);
RSU – quantidade de resíduos sólidos urbanos (G kg/ano);
FP – Fator de produção de metano (t CH_4/t RSU);
d – densidade (m^3/kg);
FC – Fator de conversão (k Wh/m^3);
FCP – Fator de capacidade da planta (%);
E – Eficiência da planta utilizada (%).

3 – DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

O presente estudo, por ter como objetivo geral criar um procedimento para análise de viabilidade econômica de empreendimentos de geração de energia advinda do uso do metano da decomposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU), além disso, tem como meta proporcionar maior familiaridade com o problema e indicar possíveis soluções. Este tipo de estudo, geralmente assume a forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso.

A ferramenta utilizada para a confecção dos cálculos, gráficos e tabelas deste trabalho foi o Microsoft® Excel. Neste estudo foi desenvolvido para o município de Itajubá a simulação do potencial de geração de energia pelos RSU no aterro que será implantado na cidade, e baseados nos dados do município foram realizadas várias simulações para o município e também do potencial nacional de geração de energia. Neste estudo também se avaliou além da geração de energia, a viabilidade dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como fonte de recursos que proporcionam um retorno financeiro mais rápido do investimento.

Foi estudado o ganho econômico para projetos que não geram energia dos resíduos sólidos, mas viáveis para projetos de MDL, consistindo uma opção de queima dos gases de efeito estufa em situações onde a implantação de uma usina de geração se tornaria inviável economicamente.

Este estudo fez uma análise dos valores obtidos no monitoramento dos projetos de resíduos sólidos aprovados pela UNFCCC com os valores de projeto levantados no Documento de Concepção de Projeto (DCP). No procedimento de comparação foi elaborada uma constante para tentar adequar o valor obtido em projeto com os valores que virão a ser obtidos no monitoramento, desta forma obtendo valores conservadores e diminuindo a probabilidade de risco de um futuro investimento em um futuro projeto de MDL e Geração de Energia.

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho, foi abordado o futuro aterro sanitário de Itajubá. Os dados utilizados foram retirados da dissertação de mestrado de GONÇALVES (2007) e do Relatório de Controle Ambiental (RCA) do Projeto do Aterro Sanitário de Itajubá-MG elaborado por MONTEIRO & COSTA (2006).

Segundo BORBA (2006) as equações apresentadas pela USEPA, Banco Mundial e IPCC têm em comum o fato de serem equações cinéticas de primeira ordem e considerar os mesmos parâmetros de entrada, listados abaixo:

- Massa de resíduos que ingressa ao aterro anualmente
- Tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento
- Taxa de geração de metano (k)
- Potencial de geração de metano (L_0)

Segundo o mesmo autor a capacidade potencial de geração de metano L_0 depende unicamente do tipo de resíduos presentes, e varia entre 5 e 310 m³ CH_4 / t

resíduo. Quanto maior o conteúdo de celulose, maior será o valor de L_0. A taxa de geração de metano determina a rapidez de geração do biogás e de esgotamento do vazadouro. Esse parâmetro é função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura.

BORBA (2006) ainda afirma que as taxas mais rápidas (k=0,2 ou uma meia vida de aproximadamente 3 anos) estão vinculadas a condições de elevada umidade e materiais rapidamente degradáveis, como os restos de alimentos. As taxas de decomposição mais lentas (k=0,03 ou uma meia vida de aproximadamente 23 anos) se associam aos aterros de resíduos secos e a resíduos de degradação lenta, como a madeira ou o papel.

Desta forma foram utilizadas neste estudo as três metodologias de primeira ordem para quantificação de metano:

- Banco Mundial;
- USEPA – LandGEM (Versão 3.02);
- IPCC.

3.1 – Quantificação da geração de metano por RSU

No intuito de se comparar as três metodologias de quantificação de metano, para o estudo de caso, este estudo utilizou-se dos seguintes parâmetros:

- L_0 = 130 m^3 CH_4/ kg resíduo
- k = 0,06
- Data início do projeto = 2008
- Data do encerramento do recebimento de resíduos pelo aterro = 2027
- Eficiência de coleta = 80%
- Fração de metano no gás de aterro = 50%
- Eficiência do flare = 80%
- Densidade do Metano = 0,0007168

O valor de L_0 neste estudo foi determinado a partir da eq. (9) do IPCC:

$$L_0 = FCM(x) * COD(x) * COD_F * F * \frac{16}{12} \qquad (9)$$

Onde:
L_0 = potencial de geração de metano (t CH_4/t RSU);
FCM(x) = fator de correção do metano no ano x.;
COD(x) = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU);
COD_F = fração do carbono orgânico degradável assimilado;
F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados 0,5;
16/12 = conversão de carbono a metano.

No caso do valor de k adotou-se o valor 0,06, devido a região ter precipitações anuais superiores a 1000 mm.

A estimativa populacional é um dado importante na quantificação dos resíduos sólidos; consequentemente, na quantificação do metano. Pode-se explicar de forma sucinta que quanto maior a população maior será a produção de resíduos sólidos, portanto uma geração de metano maior. Neste trabalho foram utilizados os dados populacionais de GONÇALVES (2007) e MONTEIRO & COSTA (2006).

Após estimar a população é necessário estimar a quantidade de resíduos domiciliares e comerciais que vão para o aterro sanitário, no estudo considerou-se a vida útil de 20 anos, a contar de 2008. A partir daí, calculou-se a quantidade de resíduos gerados, conforme eq. (10).

$$P_{d(A)} = \left(\frac{Pop \times p \; x \; R}{1000} \right) \tag{10}$$

Onde:
Pd(a) = produção diária média de lixo (kg/dia).
Pop = População no ano considerado;
p = produção per capta;
R = percentual de resíduos aterrados (%) (neste caso, admitiu-se que 100% dos resíduos serão dispostos no aterro sanitário).

Definidos os parâmetros aplicaram-se as equação do Banco Mundial, o programa LandGEM da USEPA e para a metodologia do IPCC utilizou-se a eq. (11) que é adaptada da eq.(5), afim de estimar a quantidade de metano gerado.

$$Q_{T,y} = \frac{k * R_y * L_0 * \sum_{i=y}^{T} \sum_{j=y}^{i} \left[e^{-k(i-j)} \right]}{F} \tag{11}$$

Onde:
QT, y = metano produzido durante o ano T (m^3 CH_4);
k = constante de decaimento (1/ano);
R_y = quantidade de resíduos depositados no ano y (kg);
L_0 = potencial de geração de metano (m^3 CH_4/kg resíduos);
T =ano atual;
y = ano de deposição do resíduo;
F = fração de metano no biogás (%).

3.2 – Quantificação dos RCE´s

Na quantificação dos RCE´s utilizou-se a Metodologia ACM0001 que impõe as reduções de emissões de gases de efeito estufa alcançadas pela atividade de projeto durante um ano “y” (ERy), conforme eq.(12):

$$ER_y = (MD_{project,y} * MD_{reg,y}) * 21 + (EL_{EX,LGFG} * EL_{IMP}) * CEF_{eletricity} * ET_y * CEF_{thermal} \quad (12)$$

Onde:
ER_y = reduções de emissões da atividade de projeto durante o ano y (tCO_2e);
$MD_{project,\ y}$ = quantidade de metano destruído no ano y (tCH_4);
$MD_{reg,\ y}$ = metano que seria destruído no ano y na ausência da atividade de projeto (tCH_4);
$GWPCH_4$ = Potencial de Aquecimento Global do metano (tCO_2e/tCH_4);
$EL_{EX,\ LGFG}$ = quantidade de energia elétrica líquida exportada para a rede durante ano y, utilizando o biogás (MWh).
EL_{IMP} = incremento de energia elétrica líquida, definido como a diferença entre as importações do projeto menos importações ocorridas na linha-de-base para atender à demanda do projeto (MWh);
$CEF_{electricity}$ = coeficiente de emissão de CO_2 pelo deslocamento de eletricidade (tCO_2e/MWh);
ET_y = incremento do consume de combustível fóssil, definido como a diferença entre o combustível utilizado na linha-de-base e o combustível utilizado pelo projeto, para atender à demanda de energia do local com a atividade de projeto instalada durante o ano y (TJ);
$CEF_{thermal}$ = coeficiente de emissão de CO_2 do combustível utilizado para gerar energia térmica/mecânica (tCO_2e/TJ);

Neste estudo foi considerado $EL_{EX,\ LGFG} = 0$ e $ET_y = 0$, pois inicialmente não há venda de energia e não há consumo de combustíveis. Também foi considerado o $MD_{reg,\ y}$ que será calculado com base no “Fator de Ajuste”, como um valor estimado de 20% do total de metano produzido da linha de base do proejto que será queimado por questões como odor e segurança, portanto $MD_{reg,\ y} = 0{,}2 * MD_{project,\ y}$. Logo, teremos a eq.(13):

$$ER_y = (0{,}8 * MD_{project,y}) * 21 + (EL_{IMP}) * CEF_{eletricity} \quad (13)$$

3.3 – Análises dos custos e receitas

Para analisar os custos e receitas do estudo de caso e simulações utilizou-se o método do valor presente. Este método caracteriza-se pela transferência, para o instante presente, de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa mínima de atratividade, ou seja, seria o transporte para a data zero de um diagrama de fluxos de caixa (representação gráfica do conjunto de entradas (receitas) e saídas (despesas) relativo a um certo intervalo de tempo), de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados à taxa de juros considerada (12% ao ano).

Neste método se o valor presente for positivo, a proposta de investimento é atrativa, e quanto maior o valor positivo, mais atrativa é a proposta. Embasado no estudo de VANZIN (2006), neste trabalho foram adotados os seguintes valores:

- Custo do grupo gerador: US$ 800.000,00 por MW (50% do custo total do empreendimento);
- Custo de O & M – geração de energia: US$ 0,018 por kWh;
- Custo de monitoramento e verificação do Projeto de MDL: US$ 40.000,00;
- Coleta e controle do aterro: 5% do investimento inicial;
- Cotação do Dólar: R$ 2,24 (UOL ECONOMIA, 2009);
- Valor da energia no mercado de energia nova: R$ 145,47 por kWh (CCEE, 2008);
- Valor do RCE: 19,20 € (BM&F, 2008);
- Cotação do Euro: R$ 2,91 (UOL ECONOMIA, 2009).

4 – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho foi realizado no município de Itajubá, localizado na região Sul do estado de Minas Gerais, onde está sendo instalado um aterro sanitário que atenderá além do município citado, também os municípios de Delfim Moreira, Piranguçú, Piranguinho, São José do Alegre e Wenceslau Braz.

Devido à importância do município de Itajubá na quantidade de deposição de resíduos sólidos no aterro, demonstrada na TABELA 16, este estudo teve como foco a caracterização e o levantamento dos resultados de viabilidade econômica da geração de energia e da obtenção de RCE´s de um Projeto de MDL para o município de Itajubá.

TABELA 16: Cidades com participação no Aterro Sanitário de Itajubá

Município	População	%
Delfim Moreira	8.032	7,19%
Itajubá	84.938	76,01%
Piranguçú	4.974	4,45%
Piranguinho	7.399	6,62%
São José do Alegre	3.802	3,40%
Wenceslau Braz	2.596	2,32%
Total	111.741	100,00%

Fonte : IBGE (2000a)

A seguir serão descritas as características geográficas, sociais, econômicas, culturais e do sistema de limpeza urbana do município de Itajubá.

4.1 – Caracterização do município

O município de Itajubá localizado no Sul do Estado de Minas Gerais abrange uma área de 290 km^2 de extensão, sendo 230 km² de área rural e 60 km² de área urbana. Fazendo divisa com os municípios de São José Alegre, Maria da Fé, Wenceslau Brás, Piranguçú, Piranguinho e Delfim Moreira. Atualmente o município conta com um parque industrial importante na região, exercendo influência direta sobre 14 municípios da região. É também um pólo educacional (principalmente universitário) de relevância nacional.

O município é composto por 57 bairros e, segundo o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000), uma população de 84.071 habitantes. Inserido geograficamente na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, sendo que o rio Sapucaí corta a cidade em toda a sua extensão.

Itajubá se destaca pela posição privilegiada e estratégica entre os três maiores mercados do país: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Neste contexto a cidade é servida por uma malha viária que se apóia nas rodovias federais Fernão Dias (Eixo São Paulo – Belo horizonte) e Dutra (Eixo São Paulo – Rio de Janeiro), cujo

acesso se dá pela BR-459. Na FIGURA 16, é mostrada a localização do município de Itajubá.

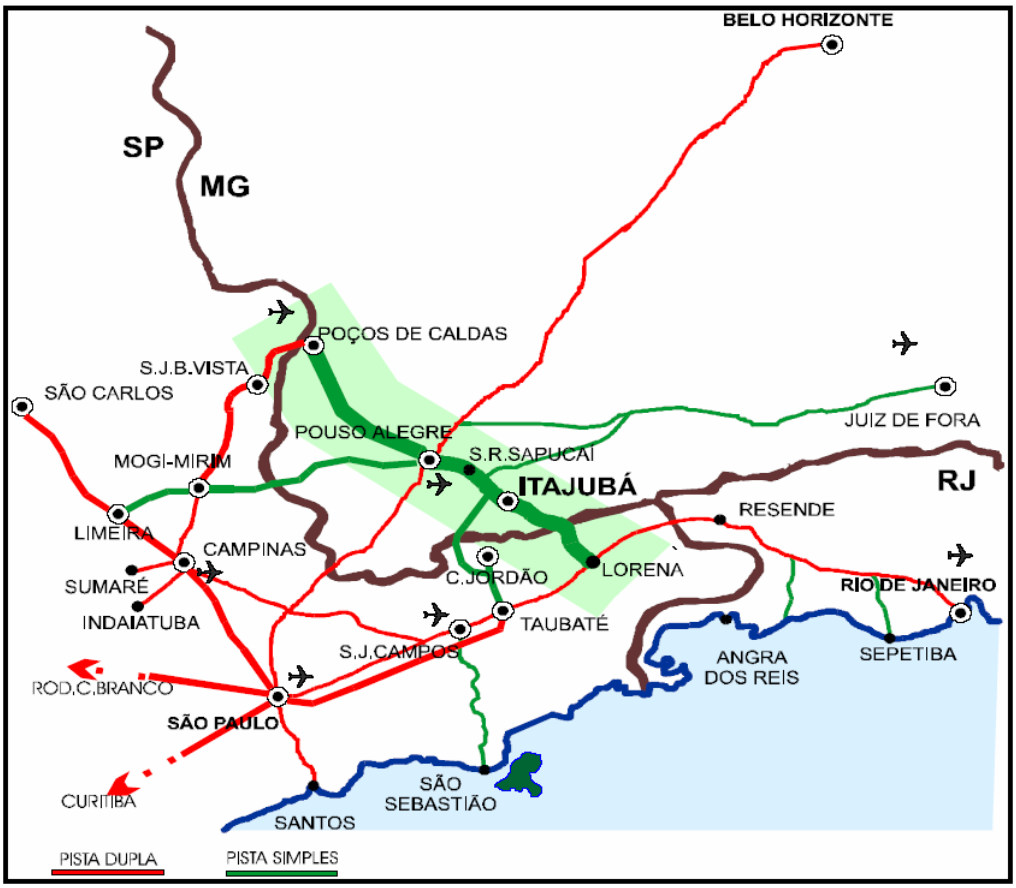

FIGURA 16 – Localização do município de Itajubá/MG

Fonte: JÚNIOR (2007)

4.1.1 – Caracterização do meio físico

O clima do município é do tipo Cwb de Koppen, tendo como índice pluviométrico anual médio de 1.409 mm (FERNANDES et. al, 2008).

A máxima altitude é de 1743 m no Pico do Canta Galo, sendo a mínima na calha do Rio Sapucaí (divisa com o município de Piranguinho) na altitude de 830 m.

O município de Itajubá e a sua região tem relevo acidentado (Mantiqueira Meridional), com topografia do tipo ondulada montanhosa. O território apresenta-se 10% plano, 12% ondulado e 78% montanhoso (FRAMIL, 2003).

Os relevos mais íngremes condicionam perfis pedológicos menos evoluídos, câmbicos e litólicos, com freqüentes exposições de rocha entremeadas. Nas formas

mais suaves, devido às formações superficiais delgadas de textura argilosa e areno-argilosa, alternam-se horizontes latossólicos (Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, sendo o primeiro de ocorrência mais usual) e Argissolos. Nas drenagens e baixios, instalam-se associações de sedimentos aluviais com solos hidromorfizados. Os solos possuem de mediana a boa fertilidade, predominando o seu uso para a pastagem e para a vegetação secundária (op.cit).

4.1.2 – Economia

Itajubá tem um dos maiores distritos industriais do sul de Minas, com indústrias de grande e médio porte, gerando aproximadamente 5500 empregos. Estão instaladas indústrias de vários ramos como autopeças, transformadores de medição, helicópteros, produtos cosméticos, armamento bélico, biomedicina, entre outros.

O comércio varejista de Itajubá é bem diversificado contando, atualmente, com aproximadamente 400 estabelecimentos registrados na Associação Comercial, Industrial e Empresarial de Itajubá – ACIEI. (NADUR*, 2006 apud GONÇALVES, 2007).

Além das atividades tradicionais, o artesanato, a agroindústria e a produção caseira são responsáveis por uma parcela das atividades econômicas da cidade. O artesanato é representado por uma associação de artesãos, que expõem seus trabalhos em duas feiras semanais (GONÇALVES, 2007).

O município possui uma alta densidade de profissionais e instituições qualificadas nos domínios da educação e do desenvolvimento tecnológico, destacando-se as seguintes instituições de Ensino Superior: Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas (FACESM), Centro Universitário de Itajubá (UNIVERSITAS), Faculdade de Medicina (FMIT), entre outras instituições.

4.2 – Caracterização do sistema de limpeza urbana

O sistema de limpeza urbana do município, conforme informações da Prefeitura Municipal de Itajubá (PMI) se caracteriza da seguinte maneira:

4.2.1 – Estrutura administrativa

O sistema de limpeza urbana no município é vinculado à Secretaria Municipal de Obras (SEMOP), sendo alguns serviços terceirizados e outros realizados pela própria prefeitura. Os serviços constituem em fiscalização, varrição de logradouros

---

* NADUR, J.G. (2006). ASSOCIAÇÃO COMERCIAL, INDUSTRIAL E EMPRESARIAL DE ITAJUBÁ (ACIEI) / Comunicação oral / apud GONÇALVES, A. (2007), *Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos domiciliares e comerciais do Município de Itajubá – MG*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

públicos, capina, roçada, poda, limpeza de córregos, coleta regular e disposição final dos RSU.

O serviço de coleta, transporte e disposição final dos RSD no atual depósito de resíduos é realizado por empresa terceirizada, assim como os serviços de varrição de logradouros públicos, capina, roçada e poda.

A PMI é responsável pela coleta e pelo transporte de animais mortos, encaminhando-os ao depósito de resíduos, onde são aterrados. É responsável, também, pela limpeza dos cursos d`água que cortam o município.

A limpeza de lotes vagos é de responsabilidade dos proprietários, conforme o Código de Postura do município criado pela Lei Municipal 1795/91 (ITAJUBÁ, 1991).

A PMI para executar e manter esses serviços é cobrado uma taxa específica para a manutenção do sistema de limpeza urbana, inclusa no IPTU cobrado pelo município.

4.2.2 – Infra-estrutura, veículos e equipamentos

O serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares e comerciais é realizado por cinco caminhões compactadores e um graneleiro, de propriedade da empresa terceirizada, conforme estabelecido em contrato.

4.2.3 – Serviços prestados pelo sistema de limpeza urbana

4.2.3.1 – Serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos

A coleta dos resíduos sólidos domiciliares e comerciais no município é feita com a utilização de seis caminhões, sendo cinco dotados de equipamento compactador e um com carroceria de madeira do tipo graneleiro, utilizado para a coleta de resíduos comerciais e da zona rural. Na região central e nos bairros, a coleta é realizada de segunda-feira a sábado em dias alternados, entre 7 e 16 horas nos bairros e das 14 às 22 horas na região central.

A coleta na zona urbana é realizada com veículos coletores compactadores com capacidade de quatro toneladas. Cada um realiza em média três viagens por dia, coletando aproximadamente 53 toneladas por dia (FIGURA 17). Os resíduos começaram a ser pesados em abril de 2006.

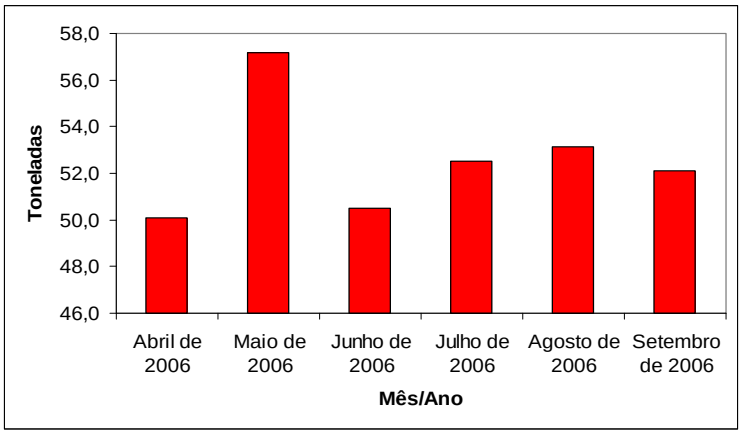

FIGURA 17 – Média mensal diária de resíduos domiciliares e comerciais coletados

Fonte: GONÇALVES (2007)

A coleta dos resíduos do serviço de saúde (RSS) abrange todos os estabelecimentos de saúde do município, incluindo hospitais, postos de saúde, farmácias, drogarias, laboratórios, clínicas médicas e veterinárias.

A coleta é realizada pela mesma empresa que coleta os resíduos domiciliares e comerciais, porém é feita de forma diferenciada, ou seja, não são coletados em conjunto com os demais resíduos. Existe um veículo tipo furgão, de uso exclusivo para tal finalidade. Os serviços de coleta são realizados diariamente, no período das 7 às 16 horas.

Estima-se que sejam coletados cerca de 530 kg de RSS por dia, conforme a FIGURA 18. Esses resíduos são acondicionados de acordo com as recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), havendo uma segregação dos resíduos comuns e dos contaminados pelos próprios geradores. Após a coleta, parte dos resíduos é levada para ser incinerados em Contagem - MG e o restante é depositado em valas isoladas no depósito de resíduos do município.

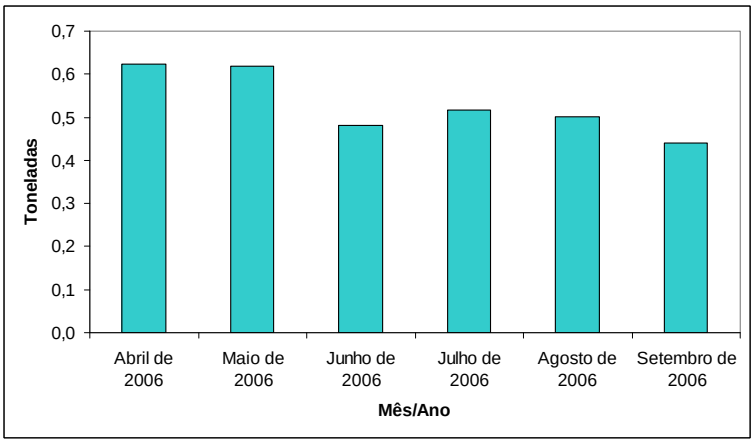

FIGURA 18 – Média mensal diária de RSS coletados

Fonte: GONÇALVES (2007)

Quanto aos resíduos de construção civil (RCC), o município tem um depósito provisório. Os resíduos encaminhados a esse depósito são utilizados no aterro controlado ou na manutenção das estradas rurais. Porém, existem no município muitos depósitos clandestinos, que causam um grande impacto ambiental e visual. De acordo com a PMI, estão sendo elaborados estudos para solucionar esse problema e para se implantar um plano de gerenciamento de RCC.

4.2.3.2 – Serviços de varrição, capina e poda

Os serviços de varrição, capina e poda dentro da área urbana são executados por uma empresa terceirizada e administrados pela SEMOP, que é a responsável pela execução destes mesmos serviços na área rural.

O serviço é realizado diariamente das 7 às 17 horas, compreendendo a varrição de ruas, sarjetas e passeios. A capina e a poda são realizados em locais definido de acordo com a necessidade. Os resíduos são acumulados em pontos estratégicos e recolhidos por caminhões graneleiros para posterior aterragem no depósito de resíduos do município.

4.2.4 – Disposição final dos resíduos sólidos urbanos

Atualmente o depósito de resíduos do município localiza-se a cerca de 7,0 km do centro da sede do município, em terreno de propriedade da Prefeitura, com uma área total de 10 hectares.

Durante muitos anos, o depósito de resíduos do município funcionou como lixão a céu aberto (FIGURA 19). Visando à regularização do local, a Prefeitura contratou uma empresa especializada para execução de obras necessárias para a transformação do depósito em aterro controlado (FIGURA 20), de forma a atender às exigências técnicas e legais descritas na Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental (COPAM) nº. 052/2001 (MINAS GERAIS, 2001) e suas alterações posteriores indicadas nas DN's 067/2003 (MINAS GERAIS, 2003) e 075/2004 (MINAS GERAIS, 2004).

FIGURA 19 – Vista do depósito de resíduos de Itajubá (lixão) - Situação anterior

Fonte: GONÇALVES (2007)

Segundo GONÇALVES (2007) são considerações constatadas sobre o atual depósito de resíduos do município:

- A área encontra-se cercada e controlada por um portão;
- Possui uma guarita para vigilância do local;
- Há um trator de esteiras trabalhando em tempo integral na área do depósito conformando maciços e aterrando os resíduos ali dispostos;
- Resíduos domiciliares e comerciais são recobertos e compactados de 03 em 03 dias por semana;
- Os catadores foram retirados do local;
- Está sendo implantada a drenagem do chorume;
- Está sendo providenciada a implantação de canaletas de drenagem superficial visando à minimização da entrada de águas pluviais para o interior da massa de resíduos aterrados.

(a) **(b)**

FIGURA 20 – (a) Vista geral do depósito de resíduos do município de Itajubá e (b) Entrada do depósito de resíduos.

Fonte: GONÇALVES (2007)

Todos os resíduos domiciliares e comerciais coletados no município de Itajubá, além dos RSS e dos resíduos provenientes da varrição, capina e poda são encaminhados ao depósito de resíduos para disposição final. Além desses resíduos, todos os resíduos coletados no município de Piranguinho, Piranguçú, São José do Alegre, Delfim Moreira e Wenceslau Braz também são encaminhados ao aterro.

Apesar das medidas adotadas pela administração municipal para minimização dos impactos ambientais na área do atual depósito, o município de Itajubá, por possuir uma população superior a cinqüenta mil habitantes, conforme a Deliberação do COPAM nº. 052/2001 (MINAS GERAIS, 2001), é convocado ao licenciamento ambiental do sistema adequado de disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Desse modo, o município contratou uma empresa que ficou responsável pela elaboração e licenciamento ambiental de um novo aterro sanitário. Recentemente, o município recebeu a licença prévia concomitantemente com a licença de instalação para o futuro aterro sanitário do COPAM, publicada no Diário Oficial do Estado de Minas Gerais em 20/09/2006 (GONÇALVES, 2007).

4.2.5 – Caracterização do futuro aterro sanitário

O terreno onde está sendo implantado o futuro aterro sanitário do município encontra-se localizado na Fazenda da Barra, no local conhecido como Rancho Grande, localizado a aproximadamente 12 km da Praça Dr. Pereira dos Santos (popularmente conhecida como Praça do Soldado) e situado no centro da sede do município, de coordenadas UTM: N=448.200 m e E=7.524.600 m (FIGURA 21).

FIGURA 21 – Localização do aterro sanitário e do depósito de resíduos atual

Fonte: GOOGLE EARTH * *apud GONÇALVES (2007)*

A área de implantação do aterro tem uma cobertura vegetal típica de pastagens em praticamente todo o seu terreno, com exceção da existência de duas matas de eucalipto e de uma mata nativa na porção mais alta do terreno.

O levantamento planialtimétrico foi executado procurando delimitar as áreas de maior interesse para o projeto em questão, aproveitando-se, por exemplo, duas matas de eucaliptos para composição da proteção visual do empreendimento e as áreas com declividades inferiores a 20%, indicadas para a implantação de empreendimentos do tipo aterros sanitários. O local de implantação das unidades de aterragem tem uma declividade média de aproximadamente 15 %.

No projeto estão delimitados os limites da área do empreendimento (toda a área de várzea existente), onde será preservada a área de nascentes e de várzea do córrego receptor do efluente tratado, sendo essa área de influência direta do empreendimento. Estão também previstas quatro edificações localizadas entre a área de várzea e o local de instalação das unidades do aterro sanitário.

A área total do terreno é de 56,93 hectares, sendo delimitada do total uma área de 29,95 hectares a ser efetivamente utilizada para a implantação do projeto. O terreno restante, com área de 26,97 hectares, foi definido como área de reserva técnica ou de expansão futura do aterro sanitário. Outra finalidade da área de reserva técnica será a estocagem de material terroso excedente dos serviços de terraplenagem e a de empréstimo de material terroso, caso seja necessário, para a implantação de etapas posteriores ou para operação do empreendimento.

---

* GOOGLE EARTH . Disponível em: http://www.earth.google.com/download_earth.html. Acessado em: 02/jan. 2007. apud GONÇALVES, A. (2007), *Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos domiciliares e comerciais do Município de Itajubá – MG*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

Segundo MONTEIRO & COSTA (2006) o aterro sanitário do município de Itajubá-MG (ANEXOS A e B) será constituído pelas seguintes unidades:

- Unidade de aterragem para disposição final dos resíduos sólidos de origem domiciliar e comercial, do lixo séptico gerado nos estabelecimento de saúde do município (exceto aqueles que devem ter tratamento e disposição final específicos, em conformidade com a Resolução CONAMA 358/2005) e das carcaças de animais mortos coletados pela Prefeitura;
- Edificação de apoio operacional (escritório, varanda, refeitório, vestiário e estacionamento para visitantes);
- Galpão para guarda e manutenção de veículos e equipamentos;
- Guarita e balança rodoviária para controle do acesso ao empreendimento;
- ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.

Para operar o aterro sanitário serão necessários no mínimo dez funcionários efetivos e seis temporários. Essas unidades foram projetadas para comportar uma vida útil de aproximadamente 20 anos, considerando-se que 100% dos resíduos gerados na sede do município de Itajubá serão encaminhados ao aterro sanitário no decorrer da vida útil projetada. No caso de ampliação das campanhas de coleta seletiva de forma efetiva e abrangente, haverá, conseqüentemente, um aumento na vida útil projetada (MONTEIRO & COSTA, 2006).

Atualmente as seguintes etapas do projeto de implantação do aterro sanitário já foram concluídas:

- Serviços preliminares (placas, barracão de obras provisório, locação das vias, unidades e terraplenagem);
- Terraplenagem estradas internas, apoio, guarita e galpão (escavação, compactação e execução do revestimento primário);
- Terraplenagem para implantação da unidade de aterragem (escavação, compactação e compactação do aterro de bota-fora);
- Sistema de impermeabilização da unidade de aterragem (escavação, compactação, camada de proteção mecânica, instalação de geomembrana);
- Sistema de drenagem superficial de águas pluviais (assentamento de drenos superficiais e bueiros, execução de dreno, caixa coletora, caixa de passagem, bacia de contenção e saída de água dos aterros);
- Sistema de drenagem de percolados e de efluentes (execução de drenos horizontais, caixa de inspeção, poços de monitoramento, emissário/coletor e poços de visita).

A primeira etapa já havia sido concluída em Outubro de 2008 (FIGURAS 22 e 23), sendo paralisada temporariamente a implantação por falta de recursos. Entretanto com a liberação dos recursos da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana (SEDRU) em Janeiro de 2009, estima-se que em torno de quatro

meses a obra do aterro será concluída, sendo previsto o início de suas atividades em Agosto de 2009 (GONÇALVES, 2009) *.

FIGURA 22 – Foto Aérea do Aterro

Fonte: PMI (2009)

FIGURA 23 – Vista geral do aterro sanitário de Itajubá

* GONÇALVES, A.T. (2009). PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJUBÁ (PMI) / Comunicação oral /

4.3 – Caracterização física dos resíduos

No estudo de GONÇALVES (2007) foi realizada a caracterização física dos RSD e RSC do município de Itajubá conforme o método de MARTINS et.al. (s/d) adaptado pelo CETEC (CETEC, 2006). As amostragens foram realizadas no período de 20/09/2006 a 26/09/2006 (estação da primavera). Segundo a autora esta época foi escolhida buscando evitar possíveis distorções nos resultados, em função de eventos (festas, feriados ou comemorações públicas).

GONÇALVES (2007) em seu estudo estabelece regiões sócio-econômicas homogêneas, onde foram identificadas quatro classe sociais, com base de referência o salário mínimo:

- Classe A – Renda acima de dez salários mínimos;
- Classe B – Renda entre cinco e dez salários mínimos;
- Classe C – Renda superior a dois e inferior a cinco salários mínimos;
- Classe D – Renda entre zero e dois salários mínimos.

No estudo da autora o número de amostras por classe foi definido em função da representatividade de cada classe no município, totalizando 21 amostras (TABELA 11). O volume adotado para cada amostra foi de aproximadamente 1,5 m³, pois a NBR 10007 (ABNT, 2004) não especifica um valor de referência.

Os resíduos sólidos domiciliares e comerciais úmidos foram divididos em: restos de alimentos e restos de podas; e os secos em: papel (papel reciclável, papelão, Tetra Pak), plástico (plástico alta/baixa densidade, PET), metal (aço, alumínio, metal não ferroso), vidro, trapo, restos de banheiro, entulho e outros (op.cit).

A geração per capita foi determinada pela quantificação de resíduos gerada por habitante num período de tempo especificado, fazendo a média ponderada dos 3 setores, ou seja, considerando o percentual que a população de cada setor representa em relação à população total. No estudo três setores sócio-econômicos (A, B, C) foram selecionados e um setor comercial para a classificação. Os resultados obtidos por GONÇALVES (2007) estão agrupados na TABELA 17, onde foi classificado os resíduos dos diferentes setores em grupos que refletem seus graus de tratabilidade, biodegradabilidade e de combustão.

TABELA 17 – Composição física dos RSD de Itajubá/MG

Componentes		*Setor A (%)*	*Setor B (%)*	*Setor C (%)*	*Itajubá (%)*	*Setor Comercial*
Restos de alimentos	Material Orgânico (compostável)	28,1	42,9	33,1	36,4	39,7
Restos de podas		11,7	6,8	3,9	5,5	4,4
Papel Reciclável	Material Potencialmente Reciclável	12,0	5,4	6,3	7,0	10,6
Papelão		7,0	3,2	5,3	5,4	10,0
Plástico Mole		5,2	6,8	9,3	8,0	8,3
Plástico Duro		2,8	2,9	3,3	3,1	3,2
PET		1,8	1,3	1,8	1,8	2,9
Tetra Pak		2,2	1,2	0,5	1,1	0,7
Metal (Aço)		2,3	2,0	2,0	2,1	2,2
Metal (Alumínio)		0,1	0,5	0,3	0,4	0,6
Metal não Ferroso		0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Vidro		2,6	3,0	2,2	2,5	2,5
Trapo	Trapo	2,3	2,5	5,9	3,9	0,8
Restos de Banheiro	Restos de Banheiro	7,5	9,0	12,5	10,6	9,5
Entulho	Entulho	12,9	9,9	9,1	8,8	2,4
Outros	Rejeitos	1,5	2,5	4,4	3,3	2,2

Fonte: GONÇALVES (2007)

Após o levantamento dos resíduos do município GONÇALVES (2007) apresenta da seguinte forma as características encontradas nos resíduos de Itajubá:

- 41,9% dos RSD da cidade constituem-se em material orgânico (restos de alimentos, cascas de frutas e de legumes e folhas de vegetais), mostrado na FIGURA 24;
- A porcentagem de papel reciclável/papelão/tetra pak (13,5%) é pequena em relação à média brasileira (24,5%), justificado pelo fato de este material sofrer uma separação prévia antes de ser disposto para coleta. No estudo tomou-se o cuidado de se coletar os resíduos para amostragem na origem, tentando evitar a interferência dos catadores de rua, e assim obter uma composição gravimétrica dos resíduos representativa;
- Observou-se uma quantidade significativa de plástico, totalizando 12,9%, principalmente do tipo mole/filme, que constitui as sacolas de supermercado utilizadas para o acondicionamento dos resíduos;
- Vidros foram encontrados em pequena quantidade (2,5%), certamente pelo fato da substituição das embalagens de vidro por plásticos;
- No componente trapo (3,9%), houve uma predominância de roupas usadas no setor de poder aquisitivo menor. Agrupando-se neste os materiais da família dos tecidos, panos e fios;

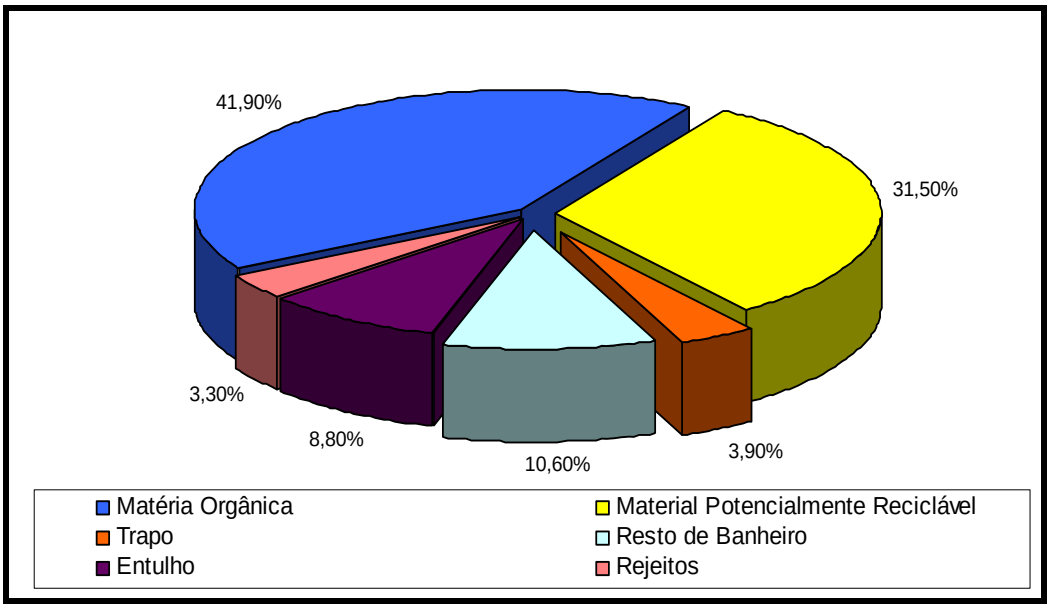

FIGURA 24 – Composição física dos resíduos sólidos domiciliares do município de Itajubá/MG

Fonte: GONÇALVES (2007)

- A classe dos metais subdividiu-se em aço, alumínio e metal não-ferroso. Os metais de aço e alumínio foram encontrados em quantidades pequenas 2,1% e 0,4%, respectivamente. Assim como os metais não-ferrosos, tais como latas de bebidas, coletados também em quantidade insignificante (0,1%). Isto se deve ao fato de que as latinhas de alumínio possuem um alto valor agregado, quando reciclado para cadeia produtiva, o que demonstra que esses são separados antes de chegarem a ser dispostos para coleta;
- Os outros materiais encontrados foram classificados em restos de banheiro, entulho e rejeitos como isopor, madeira e outros materiais classificados como não identificados.

4.3.1 – Classificação dos resíduos sólidos domésticos

Os RSD podem ser classificados de diversas formas, dependendo do objetivo desejado: uma delas é em função da biodegradabilidade, outra é em função de seu grau de combustão e uma terceira maneira, segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000), é em putrescível, reciclável e combustível.

Segundo GONÇALVES (2007) A classificação dos diversos constituintes gerados em uma cidade pode orientar na elaboração de um gerenciamento integrado dos RSD e dos RSC, de acordo com a realidade e o potencial do município. Nas TABELAS 18, 19 e 20 são mostradas as classificações dos RSD da cidade de Itajubá em função da biodegradabilidade, do grau de combustão, e segundo classificação sugerida por D'ALMEIDA & VILHENA (2000), respectivamente.

TABELA 18 – Classificação dos RSD de Itajubá em função da biodegradabilidade

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
Facilmente degradáveis (FD)	39,8	49,7	37,0
Moderadamente degradáveis (MD)	31,0	20,8	26,6
Dificilmente degradáveis (DD)	13,6	16,0	24,7
Não degradáveis (ND)	15,6	13,5	11,7

Fonte: GONÇALVES (2007)

TABELA 19 – Classificação dos RSD de Itajubá em função do grau de combustão

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
Combustível*	79,8	82,2	80,4
Incombustível	20,2	17,8	19,6

** Considera o material orgânico*

Fonte: GONÇALVES (2007)

TABELA 20 – Classificação dos RSD de Itajubá segundo D'ALMEIDA & VILHENA (2000)

Setor	A (%)	B (%)	C (%)
Putrescível	61,0	59,5	49,1
Reciclável	91,0	88,5	83,1
Combustível*	40,0	32,5	43,4

** Não considera o material orgânico*

Fonte: GONÇALVES (2007)

Segundo a autora podem-se observar a partir da análise dos resultados, que os RSD gerados nos três setores do município de Itajubá são primordialmente combustíveis, facilmente degradáveis e recicláveis. Verificando-se também uma porcentagem maior de materiais recicláveis, gerados pelas pessoas de poder aquisitivo maior.

4.3.2 – Evolução e comparativo dos dados de RSD do Município

GONÇALVES (2007) compara os resultados de seu trabalho com trabalhos como a realizada por CPTI (1997) e por SILVA & COSTA (2003), como mostrado na FIGURA 25. A autora em seu estudo identificada neste comparativo as seguintes conclusões:

- Em 1997, Itajubá possuía uma população de cerca de 80.000 habitantes e gerava 48 toneladas de RSD por dia. Em 2000, quando foi realizado o censo pelo IBGE a cidade comportava 84.135 habitantes e produzia

aproximadamente 61 toneladas de RSD por dia. Em ambas as datas, o serviço de coleta já abrangia 100% da população urbana;

- Observou-se que a população na cidade aumentou 5,17% nos últimos três anos e a produção diária de RSD aumentou 27,08%;
- Analisando a FIGURA 29 verificou-se que houve uma diminuição significava da quantidade de papel/papelão e de metal de 1997 para 2006, devido ao fato de estes materiais serem separados para a reciclagem, e não sendo destinados ao depósito de resíduos, além da crescente substituição da embalagem de papel/papelão pelas de plástico;
- Verificou-se também uma menor quantidade de vidro e um aumento da porcentagem de plástico entre 2003 e 2006, justificado pelo fato de as embalagens de vidro estarem sendo substituídas pelas de plástico;
- Pano e trapo não variaram muito entre esses anos. No ano 1997 e 2006 a quantidade foi um pouco maior do que no ano de 2003;
- A quantidade percentual de matéria orgânica foi maior em 2003, devido à diminuição dos resíduos potencialmente recicláveis. Em 2006 foi menor, não porque tenha aumentado à quantidade de material reciclado, mas pelo fato de que as amostras foram coletadas na origem, enquanto em 2003 foram coletadas no depósito de resíduos do município.

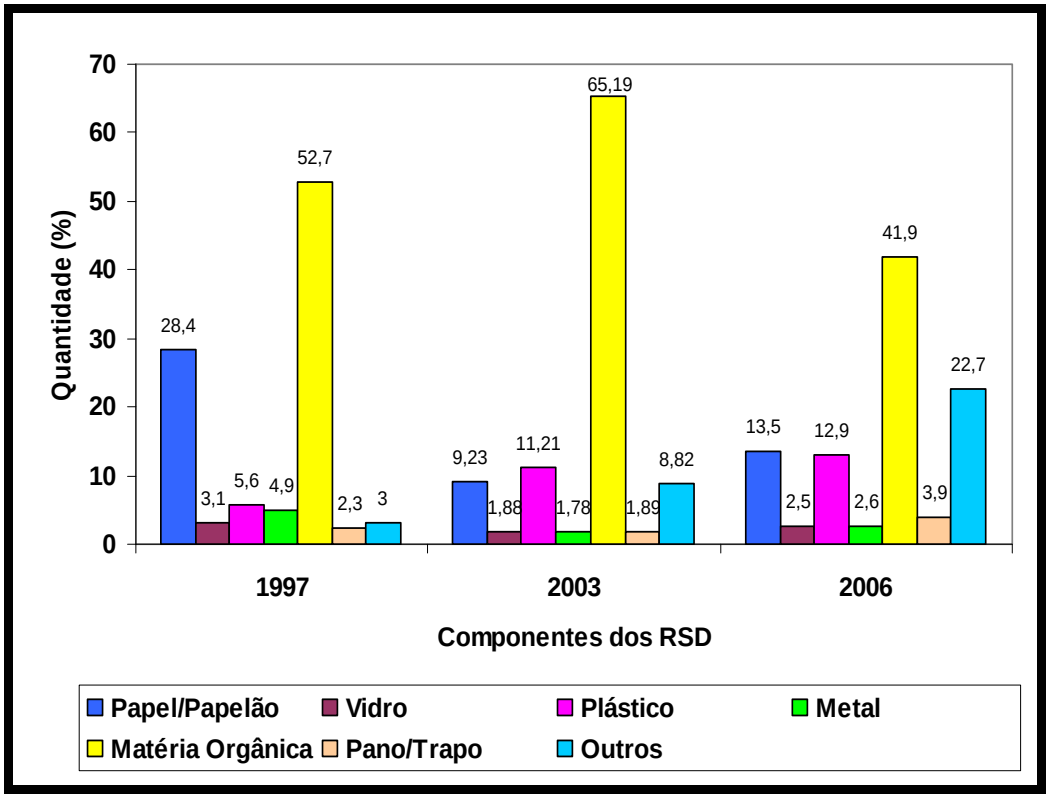

FIGURA 25 – Composição física dos RSD de Itajubá em 1997*, 2003** e 2006***

Fonte: GONÇALVES (2007)

GONÇALVES (2007) estabelece o seguinte comparativo com relação à média nacional:

- Na FIGURA 26 verifica-se que a porcentagem de papel/papelão encontrada em Itajubá é menor do que a média do Brasil. Isto pode ser explicado pelo motivo de que em Itajubá materiais são separados antes de serem dispostos para coleta, o que influência na porcentagem de matéria orgânica;
- Itajubá apresentou uma porcentagem de material orgânico inferior à média do Brasil, provavelmente pelo fato de apresentar uma maior porcentagem de material potencialmente reciclável e maior quantidade de outros resíduos (restos de banheiro, fraldas descartáveis, entulhos, panos, trapos, isopor, pilhas entre outros);
- A quantidade encontrada de vidro e de metal em Itajubá é superior à média brasileira.
- Em relação à porcentagem de plástico pode-se observar que a quantidade encontrada em Itajubá é maior do que a média brasileira, devido ao elevado aumento do consumo de plásticos nos últimos anos, principalmente sacolas de supermercado que são reutilizadas para o acondicionamento dos resíduos.

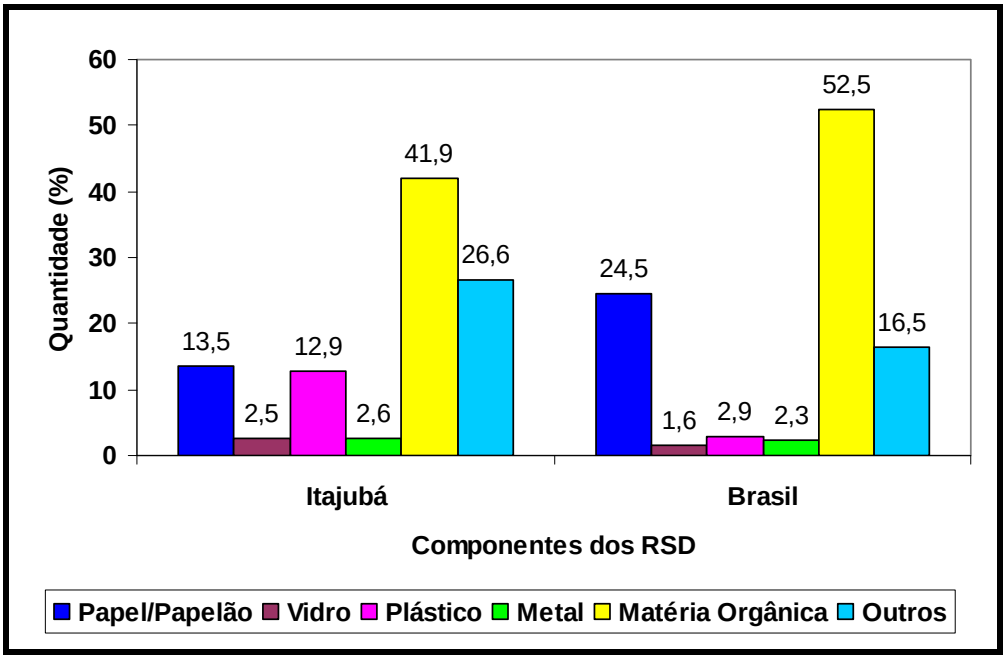

FIGURA 26 – Comparação da composição física média dos RSD de Itajubá (2003) e do Brasil (1999)

Fonte: GONÇALVES (2007)

4.3.3 – Composição física do setor comercial

A caracterização física no setor comercial em função da média ponderada das amostras coletadas do setor pode ser observada na FIGURA 27. GONÇALVES (2007) coloca as seguintes análises em seu estudo:

- A porcentagem de material orgânico encontrada foi de 44%, sendo uma quantidade significativa para uma área comercial, porém existem nesta área muitas lanchonetes e restaurantes;
- A porcentagem de material potencialmente reciclável identificada foi de 41%, predominando a quantidade de papel reciclável e papelão (10,6% e 10,0% respectivamente);
- Observa-se uma quantidade significativa de plásticos (plástico mole, duro e PET – 14,4%) principalmente do tipo mole/filme;
- Vidros foram encontrados em pequena quantidade (2,5%), certamente pelos mesmos motivos explanados nos tópicos anteriores;
- Trapos foi identificado em quantidade insignificante 0,80%, pois trata-se de uma área predominantemente comercial;
- Os metais, tanto de aço, alumínio e não ferroso foram encontrados em quantidades pequenas, justificado pelo alto valor agregado a estes materiais quando reciclados para cadeia produtiva, sendo separados antes de serem coletados e destinados para o depósito de resíduos do município;
- Os outros materiais encontrados foram classificados em restos de banheiro, entulho e rejeitos.

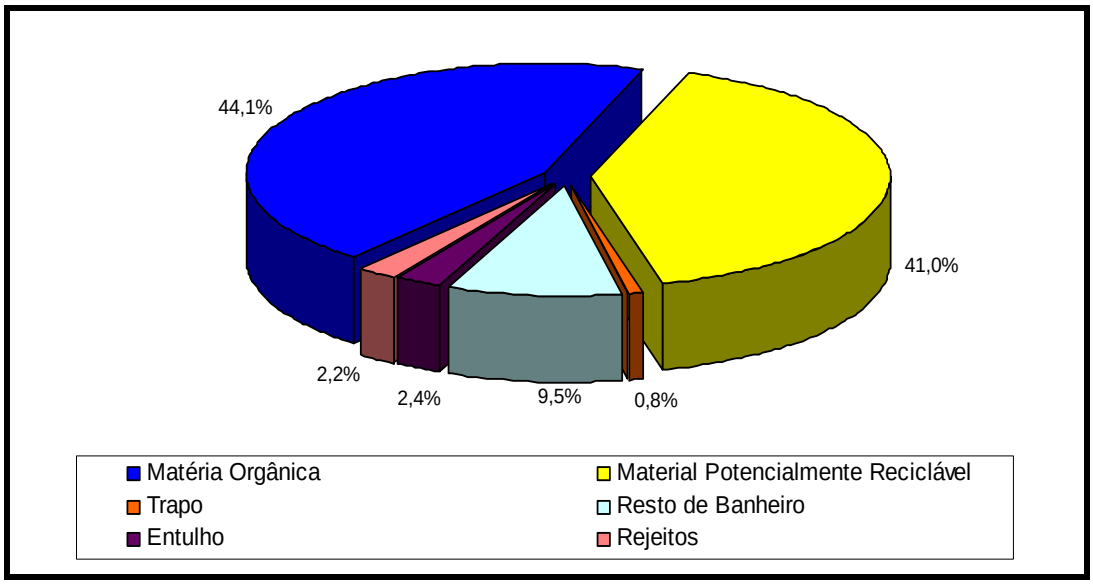

FIGURA 27 – Composição física dos resíduos sólidos comerciais do município de Itajubá – MG

Fonte: GONÇALVES (2007)

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Comparativo entre valores de projeto de MDL e do monitoramento efetuado nos projetos

O trabalho de comparar os valores de projetos de um DCP com os valores monitorados foi possível devido ao fácil acesso à informação disponibilizada no sítio do Ministério de Ciência e Tecnologia , na seção de Mudanças Climáticas. Outra fonte de informação imprescindível para este estudo foram os projetos de MDL disponibilizados no sítio da UNFCCC.

No Brasil, atualmente existem 26 projetos de MDL de resíduos sólidos aprovados, sendo que 13 desses projetos já são monitorados. Na TABELA 21 é apresentada uma comparação entre valor de projeto e monitoramento realizado. Devido ao fato de muitos valores de projeto não terem o mesmo período indicado pelo monitoramento, utilizou-se, em alguns casos, uma interpolação linear para obter um valor de projeto correspondente ao período de monitoramento.

TABELA 21: Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL – Valores de tCO_2.

Local	Período de Monitoramento	Valor de Projeto* [t CO_2 eq.]	Valor Monitorado** [t CO_2 eq.]	Monitoramento /Projeto [%]
Nova Gerar	mar/2007 - dez/2007	231.511	65.967	28,49%
Marca	jul/2004 - jul/2008	681.999	33.524	4,92%
Mauá	set/2006 - out/2008	1.341.232	525.154	39,15%
Tremembé	jan/2003 - dez/2007	259.252	181.948	70,18%
ESTRE	set/2006 - set/2008	394.513	367.402	93,13%
Caieiras	abr/2006 - jun/2008	425.079	323.080	76,00%
Bandeirantes	jan/2004 - set/2008	5.276.796	2.853.803	54,08%
Anaconda	jan/2007 - mai/2008	141.336	22.265	15,75%
São João	mai/2007 - set/2008	1.251.743	863.836	69,01%
PROGAEI	ago/2007 - ago/2008	68.404	57.004	83,33%
Canabrava	abr/2007 - dez/2008	429.585	9.477	2,21%
VEGA	jan/2004 - dez/2005	1.178.702	315.851	26,80%
Aurá	jan/2007 - set/2008	524.122	34.140	6,51%
Total Sudeste	**-**	**10.071.865**	**5.293.982**	**53,41%**
Total	**-**	**12.204.275**	**5.653.450**	**46,32%**

*Fonte: * MCT (2008); **UNFCCC (2009).*

Na FIGURA 28, podemos observar graficamente o comparativo entre valor estimado de projeto e valor monitorado.

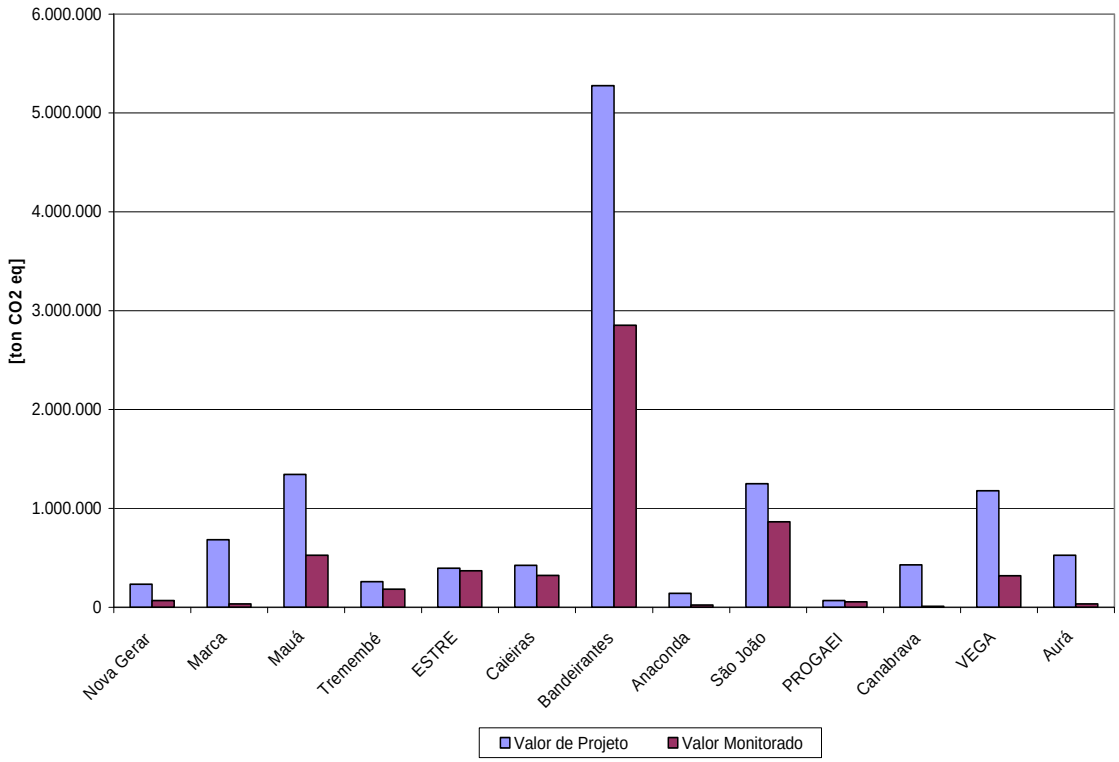

FIGURA 28 – Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL.

Através dos dados levantados, pode-se observar que nos projetos localizados nas regiões Nordeste (linhas da TABELA 21 em amarelo) e Norte (linhas da TABELA 21 em verde) a eficiência da quantificação do metano nesses projetos foi reduzida se comparado a média de 53,41% obtido na Região Sudeste.

Outro fato importante que se constatou é que nos projetos mais recentes a quantificação do metano se tornou mais efetiva, com valores de projeto bem mais próximos da realidade (TABELA 22). Outro fato importante que pode ser levantado na TABELA 28 é que nos projetos com L_0 inferiores a 100 m^3/t os valores de projetos foram mais próximo dos valores encontrados no monitoramento.

TABELA 22: Comparativo entre Valor de Projeto e Monitoramento dos Projetos de MDL – parâmetros: L_0 e k.

Código MCT	Local	L_0 [m^3/t]	k [1/ano]	Monitoramento/Projeto [%]
1/2004	Nova Gerar	-	-	28,49%
4/2004	Marca	164,20	-	4,92%
5/2005	Mauá	160,00	0,10	39,15%
6/2005	Tremembé	-	-	70,18%
10/2005	ESTRE	79,52	0,12	93,13%
11/2005	Caieiras	116,00	0,08	76,00%
13/2005	Bandeirantes	76,73	0,11	54,08%
16/2005	Anaconda	170,80	0,10	15,75%
21/2005	São João	90,68	0,11	69,01%
115/2006	PROGAEI	97,66	0,10	83,33%
76/2006	Canabrava	180,00	0,05	2,21%
2/2004	VEGA	180,00	0,12	26,80%
80/2006	Aurá	170,00	0,05	6,51%

Fonte: MCT (2008).

A partir destes resultados, este estudo utilizou de um fator de correção de 0,534 (média para a região sudeste) para os valores obtidos no cálculo de metano gerado das equações tentando se obter valores que se aproximem dos valores monitorados. Do ponto de vista econômico, este fator proporcionou uma avaliação conservadora da viabilidade de um projeto de geração de energia através de resíduos sólidos.

5.2 – Resultados do Estudo de Caso

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos das seguintes perspectivas:

- Dados de população e produção per capita baseados nos valores do estudo de GONÇALVES (2007);
    - Metodologia Banco Mundial;
    - Metodologia USEPA;
    - Metodologia IPCC.
- Dados de população e produção per capita baseados nos valores do RCA de MONTEIRO & COSTA (2006), na Metodologia do IPCC.

5.2.1 – Dados de GONÇALVES (2007)

Os dados populacionais e de quantidade de resíduos gerados que serão utilizados nas metodologias de quantificação do metano é apresentada na TABELA 23 (a produção de resíduos per capita foi fixada em 0,75 kg/hab.dia).

TABELA 23 – Estimativa da população e da geração de resíduos - GONÇALVES

Ano	População Estimada	Total (kg/dia)	Total (t/dia)	Total (t/ano)
2008	93.061	69795,75	69,80	25.475
2009	94.063	70547,34	70,55	25.750
2010	95.048	71286,19	71,29	26.019
2011	96.021	72015,48	72,02	26.286
2012	96.968	72725,67	72,73	26.545
2013	97.902	73426,30	73,43	26.801
2014	98.815	74111,01	74,11	27.051
2015	99.711	74782,98	74,78	27.296
2016	100.590	75442,21	75,44	27.536
2017	101.456	76091,89	76,09	27.774
2018	102.305	76728,83	76,73	28.006
2019	103.142	77356,21	77,36	28.235
2020	103.961	77970,86	77,97	28.459
2021	104.772	78579,14	78,58	28.681
2022	105.570	79177,86	79,18	28.900
2023	106.356	79767,03	79,77	29.115
2024	107.129	80346,64	80,35	29.327
2025	107.885	80913,52	80,91	29.533
2026	108.632	81474,02	81,47	29.738
2027	109.358	82018,60	82,02	29.937

Fonte: GONÇALVES (2007).

A partir dos dados de geração de resíduos apresentado na TABELA 23 iniciou-se a quantificação do metano em função das metodologias do Banco Mundial , IPCC e USEPA. A TABELA 24 e a FIGURA 29 apresentam os resultados da quantidade de metano queimada por ano, em toneladas, por meio de flares.

TABELA 24 – Quantidade de metano queimada por ano [toneladas CH_4]

Ano	BM	IPCC	USEPA
2008	142,43	0,00	0,00
2009	135,58	177,99	122,13
2010	129,03	260,73	238,46
2011	122,75	340,50	349,30
2012	116,75	414,81	454,97
2013	111,01	486,55	555,73
2014	105,52	555,01	651,85
2015	100,27	620,36	743,56
2016	95,27	682,77	831,11
2017	90,49	742,39	914,72
2018	85,93	799,37	994,59
2019	81,59	853,85	1.070,93
2020	77,45	905,96	1.143,92
2021	73,51	955,83	1.213,73
2022	69,76	1.003,58	1.280,55
2023	66,18	1.049,32	1.344,52
2024	62,78	1.093,15	1.405,79
2025	59,54	1.135,16	1.464,51
2026	56,46	1.175,47	1.520,81
2027	53,53	1.214,14	1.574,80

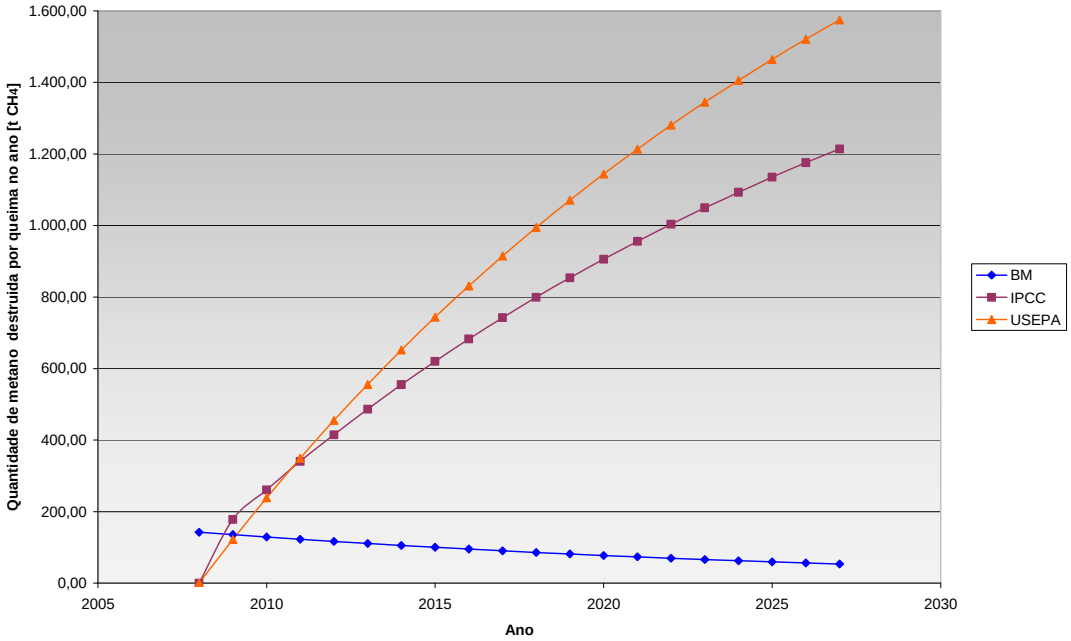

FIGURA 29 – Quantidade de metano queimada por ano [toneladas CH_4]

Observou-se que as mesmas características levantadas por BORBA (2006), de que a metodologia do IPCC é adequada para utilização em aterros ativos, este fato pode ser observado pelo crescimento da produção de metano ao longo do tempo – dado característico de aterros em operação (variação de 682% com base nos dados de 2009 e 2027). Enquanto a metodologia do Banco Mundial apresenta uma melhor representação para aterros já encerrados, pois conforme pode ser observado na FIGURA 29 nota-se o decaimento da produção de metano – característico de aterros com atividades de recebimento de resíduos encerrados (decaimento de 64% com base nos dados de 2008 e 2027). Já a metodologia USEPA destaca-se por representar adequadamente a variação de geração de metano principalmente para aterros ativos, assim como a metodologia IPCC (variação de 1289 % com base nos dados de 2009 e 2027).

A Metodologia do Banco Mundial foi caracterizada como aquela que apresentou os menores valores se comparado às outras duas metodologias. A metodologia do IPCC se colocou como aquela que se comportou de forma intermediária.

Por causa disso, neste trabalho foi utilizado a metodologia do IPCC para os estudos subseqüentes. Para a escolha desta metodologia para as demais quantificações e simulações pesou o fato de que ela é a mais empregada na maior parte dos projetos de MDL já implementados.

O próximo passo deste estudo foi a comparação dos seguintes cenários:

- Aterro Sanitário com projeto de MDL;
- Aterro Sanitário com geração de energia e projeto de MDL;
- Aterro Sanitário com geração de energia.

A FIGURA 30 mostra que no município de Itajubá só haveria viabilidade econômica para geração de energia caso houvesse a adoção de um projeto de MDL, sendo que o VPL se torna positivo somente após o ano de 2032. Deve-se ressaltar que neste caso, tanto o projeto de MDL como o projeto de geração de energia empregada de formas separadas não teriam um VPL positivo no período adotado (2008 - 2100).

Na TABELA 25 é mostrado os valores de geração de energia em MW, baseados nos dados de GONÇALVES e na metodologia do IPCC.

TABELA 25 – Geração de Energia – GONÇALVES

ANO	POTÊNCIA [MW]	ANO	POTÊNCIA [MW]	ANO	POTÊNCIA [MW]
2008	0,00	2028	0,58	2048	0,18
2009	0,09	2029	0,55	2049	0,16
2010	0,13	2030	0,52	2050	0,16
2011	0,17	2031	0,49	2051	0,15
2012	0,21	2032	0,46	2052	0,14
2013	0,25	2033	0,43	2053	0,13
2014	0,28	2034	0,41	2054	0,12
2015	0,32	2035	0,38	2055	0,12
2016	0,35	2036	0,36	2056	0,11
2017	0,38	2037	0,34	2057	0,10
2018	0,41	2038	0,32	2058	0,10
2019	0,43	2039	0,30	2059	0,09
2020	0,46	2040	0,28	2060	0,09
2021	0,49	2041	0,27	2061	0,08
2022	0,51	2042	0,25	2062	0,08
2023	0,53	2043	0,24	2063	0,07
2024	0,56	2044	0,22	2064	0,07
2025	0,58	2045	0,21	2065	0,06
2026	0,60	2046	0,20	2066	0,06
2027	0,62	2047	0,19	2067	0,06

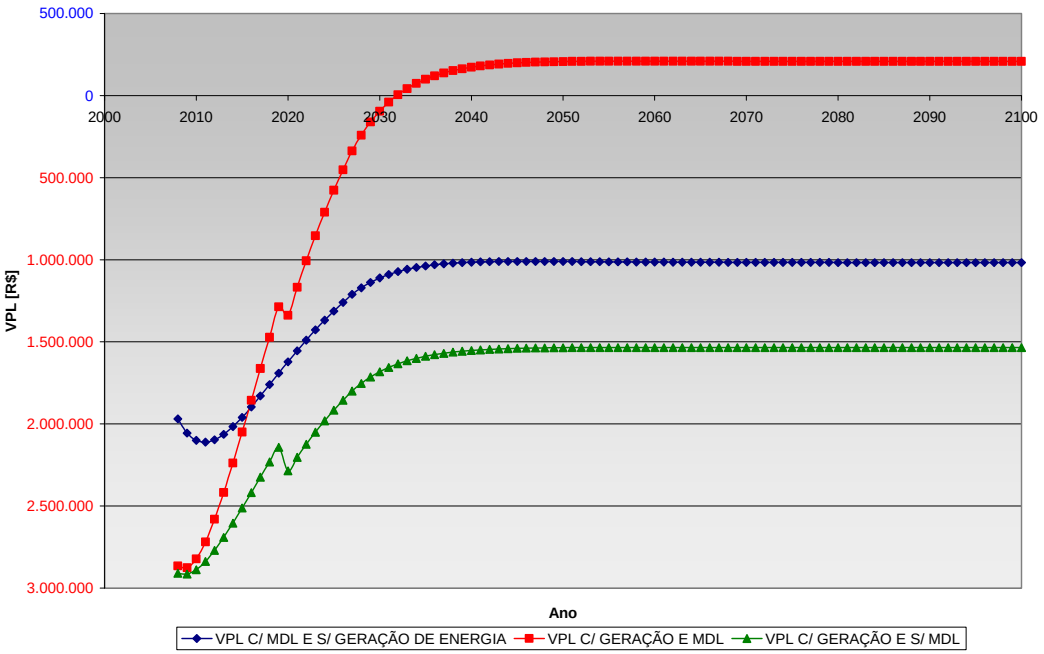

FIGURA 30 – Comparação do VPL para os três cenários.

5.2.2 – Dados de MONTEIRO & COSTA (2006)

Os dados populacionais e de quantidade de resíduos gerados que foram utilizados na Metodologia do IPCC para a quantificação do metano são apresentados na TABELA 26, sendo estabelecido neste caso a produção per capita de 0,50 kg/hab.dia.

TABELA 26 – Estimativa da população e da geração de resíduos – MONTEIRO & COSTA

Ano	População Estimada	Total (kg/dia)	Total (t/dia)	Total (t/ano)
2008	93.106	46553,00	46,55	16.992
2009	94.298	47148,88	47,15	17.209
2010	95.505	47752,38	47,75	17.430
2011	96.727	48363,61	48,36	17.653
2012	97.965	48982,67	48,98	17.879
2013	99.219	49609,65	49,61	18.108
2014	100.489	50244,65	50,24	18.339
2015	101.776	50887,78	50,89	18.574
2016	103.078	51539,15	51,54	18.812
2017	104.408	52204,00	52,20	19.054
2018	105.755	52877,43	52,88	19.300
2019	107.119	53559,55	53,56	19.549
2020	108.501	54250,47	54,25	19.801
2021	109.901	54950,30	54,95	20.057
2022	111.318	55659,16	55,66	20.316
2023	112.754	56377,16	56,38	20.578
2024	114.209	57104,43	57,10	20.843
2025	115.682	57841,07	57,84	21.112
2026	117.174	58587,22	58,59	21.384
2027	118.686	59343,00	59,34	21.660

Fonte: MONTEIRO & COSTA (2006).

A partir dos dados da TABELA 26 obteve-se a FIGURA 31.

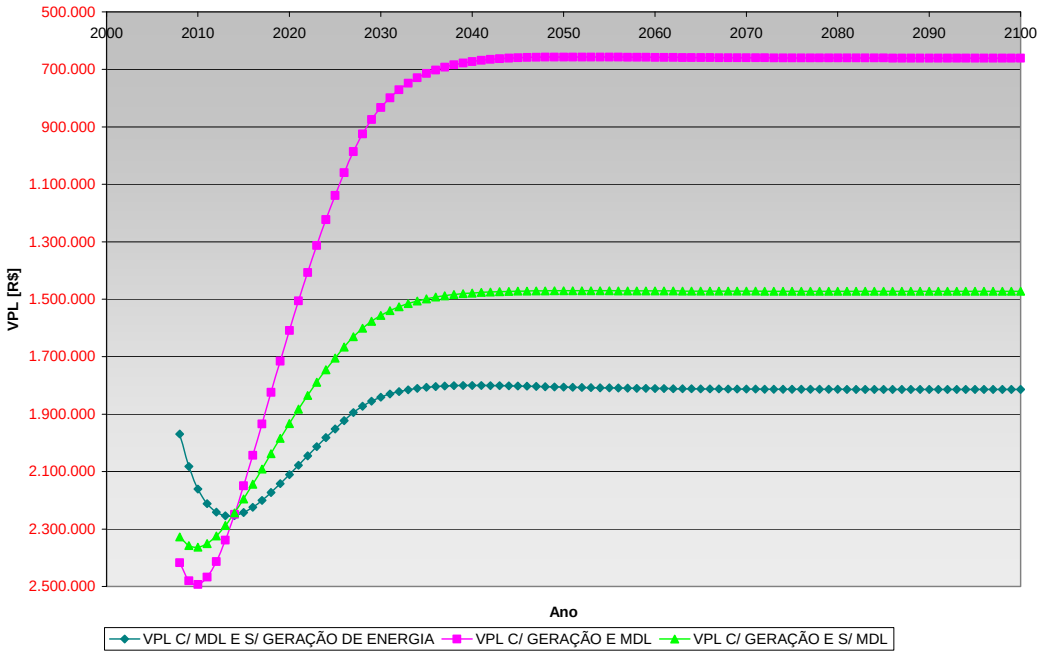

FIGURA 31 – Comparação do VPL para os três cenários.

Observa-se que, com os dados de projeto do Aterro Sanitário, retirados do RCA do projeto, em nenhum dos cenários haverá a viabilidade para a implantação dos projetos. Neste cenário populacional e com esta constante de produção per capita de resíduos, adotada por MONTEIRO & COSTA (2006), o município de Itajubá não seria local apropriado para a implantação de uma usina de geração de energia por resíduos.

Entretanto, no cenário de GONÇALVES (2007) poderá haver a geração de 620 kW para o município (TABELA 25), desde que seja implantado também um projeto de MDL que viabilizará a instalação desta usina de geração de energia.

5.3 – Simulações com outros parâmetros de entrada

No estudo com base nos dados de GONÇALVES (2007) observou-se que existe a possibilidade da implantação de uma usina geradora de energia movida a gás metano advindo de RSU.

Outras simulações foram propostas com base nas seguintes possibilidades:

- Variação do custo de implantação da geração de energia;
- Variação do custo de O & M da geração de energia;
- Variação do preço da RCEs;
- Variação da população de início de projeto.

5.3.1 – Variação do custo de implantação da geração de energia

Nesta análise variou-se o valor de custo de implantação da geração de energia com o intuito de se conhecer o quanto este parâmetro influi no VPL do projeto, e quanto que seria necessário investir em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a obtenção de um melhor VPL para o caso de Itajubá.

Como houve a variação do custo de implantação da geração de energia, o estudo analisou os dois cenários cabíveis para esta variação: Aterro Sanitário com geração de energia e projeto de MDL e Aterro Sanitário com geração de energia. Na TABELA 27 e FIGURA 32 são apresentados os resultados obtidos na simulação para o parâmetro estudado.

TABELA 27 – Simulação utilizando variação do custo de implantação da geração de energia

Custo de Implantação para a geração de energia [US$]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto sem Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]
800.000	232.803	-1.510.588
790.000	279.382	-1.462.331
780.000	325.960	-1.414.075
770.000	372.538	-1.365.818
760.000	419.116	-1.317.561
750.000	465.694	-1.269.305
740.000	512.273	-1.221.048
730.000	558.851	-1.172.791
720.000	605.429	-1.124.535
710.000	652.007	-1.076.278
700.000	698.585	-1.028.021
650.000	931.476	-786.738
600.000	1.164.367	-545.454
580.000	1.257.523	-448.941
570.000	1.304.102	-400.684
560.000	1.350.680	-352.428
540.000	1.443.836	-255.914
520.000	1.536.993	-159.401
500.000	1.630.149	-62.888
485.000	1.700.016	9.498
450.000	1.863.040	178.396
400.000	2.095.931	419.679
200.000	3.027.494	1.384.813

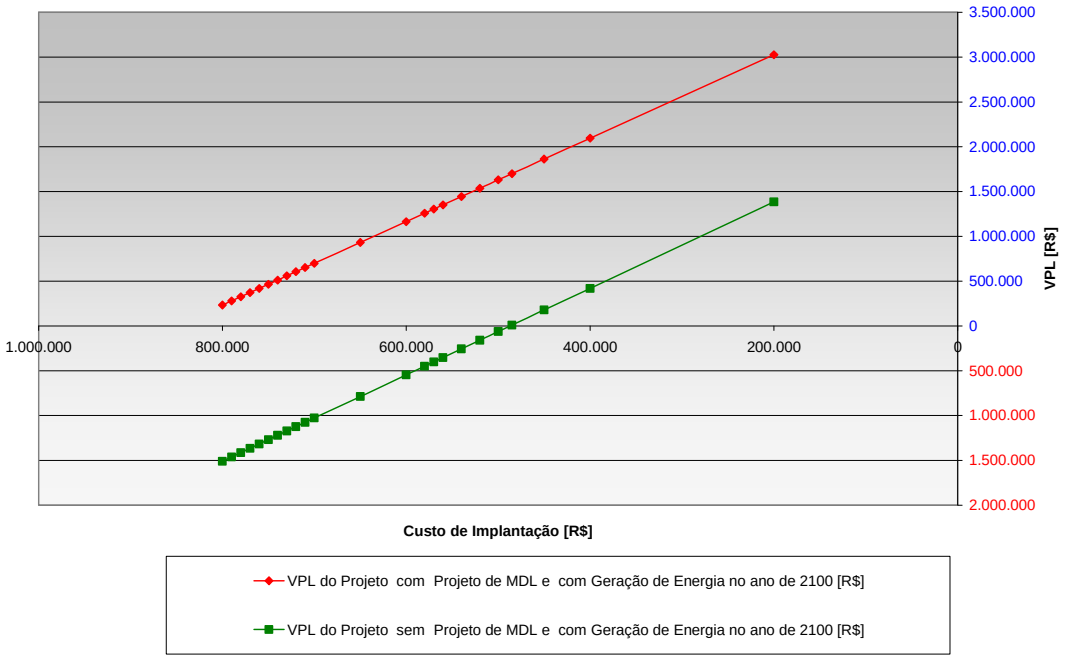

FIGURA 32 – Variação do custo de implantação da geração de energia

No cenário onde há a implantação de um aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL verificou-se que o VPL sempre se apresenta positivo, pois como no estudo de caso já o VPL para esta situação já era positiva, a tendência para os resultados com a redução do custo de implantação seria o aumento do VPL.

No caso da implantação do aterro sanitário só com geração de energia observou-se que somente após a redução de cerca de 40% do valor adotado é que o VPL se torna positivo, no ano de 2045 (37 anos após o início do projeto). Nos dois cenários observou-se que a variação do custo de implantação se comporta de forma linear e com uma angulação da reta de forma acentuada, demonstrando a importância deste parâmetro no VPL.

5.3.2 – Variação do custo de O & M da geração de energia

Na TABELA 28 e FIGURA 33 são apresentados os resultados obtidos na simulação para o parâmetro estudado.

TABELA 28 – simulação utilizando variação do Custo de O&M da geração de energia

Custo de O & M para a Geração de Energia [US$/kWh]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto sem Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]
0,036	-674.823	-2.418.214
0,028	-282.375	-2.025.767
0,026	-184.263	-1.927.655
0,024	-86.151	-1.829.543
0,022	11.961	-1.731.431
0,020	110.073	-1.633.319
0,018	208.185	-1.535.207
0,017	257.241	-1.486.151
0,016	306.297	-1.437.095
0,015	355.353	-1.388.039
0,014	404.409	-1.338.983
0,013	453.465	-1.289.927
0,012	502.520	-1.240.871
0,011	551.576	-1.191.815
0,010	600.632	-1.142.759
0,009	649.688	-1.093.703
0,008	698.744	-1.044.647
0,007	747.800	-995.591
0,006	796.856	-946.535
0,005	845.912	-897.479
0,004	894.968	-848.423
0,003	944.024	-799.367
0,002	993.080	-750.311
0,001	1.042.136	-701.255

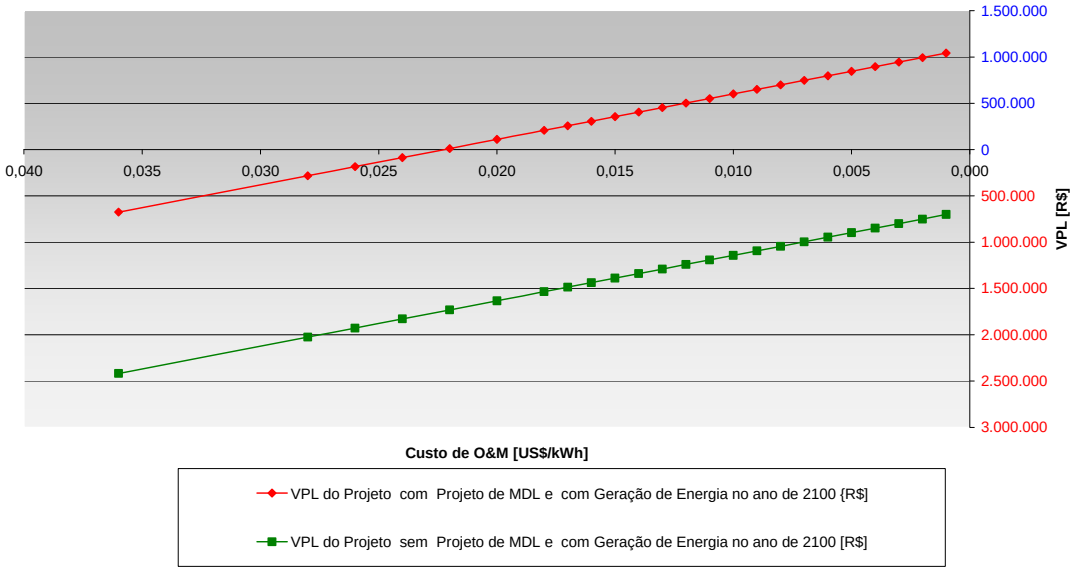

FIGURA 33 – Variação do custo de O&M da geração de energia

No cenário onde há a implantação de um aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL verificou-se que o VPL se apresenta positivo a partir de um custo de O&M de 0,022 US$/kWh. O valor positivo deste custo de O&M se inicia no ano de 2044 (36 anos após o início do projeto), a partir deste valor todos os resultados com a redução do custo de O&M ocasionam o aumento do VPL.

No caso da implantação do aterro sanitário só com geração de energia observou-se que em nenhuma possibilidade o VPL se torna positivo. Nos dois cenários observou-se que a variação do custo de implantação se comporta com uma pequena inclinação da reta, demonstrando o peso menor deste valor no VPL se comparado à importância do custo de implantação.

5.3.3 – Variação do preço da RCE

Na TABELA 29 e FIGURA 34 são apresentados os resultados obtidos na simulação para o parâmetro estudado.

TABELA 29 – Simulação utilizando variação do preço da RCE

Valor do RCE de Mercado [€]	RCE de Projeto acumulado de 2008 - 2100	VPL do Projeto com Projeto de MDL e sem Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]
15,00	547.604,67	-1.551.545	-326.574
16,00	547.604,67	-1.424.221	-199.250
17,00	547.604,67	-1.296.898	-71.927
18,00	547.604,67	-1.169.575	55.397
19,00	547.604,67	-1.042.251	182.720
19,20	547.604,67	-1.016.786	208.185
20,00	547.604,67	-914.928	310.043
21,00	547.604,67	-787.604	437.367
22,00	547.604,67	-660.281	564.690
23,00	547.604,67	-532.958	692.014
24,00	547.604,67	-405.634	819.337
25,00	547.604,67	-278.311	946.660
27,19	547.604,67	527	1.225.499
30,00	547.604,67	358.306	1.583.277
31,00	547.604,67	485.630	1.710.601
32,00	547.604,67	612.953	1.837.924
33,00	547.604,67	740.276	1.965.248
34,00	547.604,67	867.600	2.092.571
35,00	547.604,67	994.923	2.219.894
40,00	547.604,67	1.631.540	2.856.511

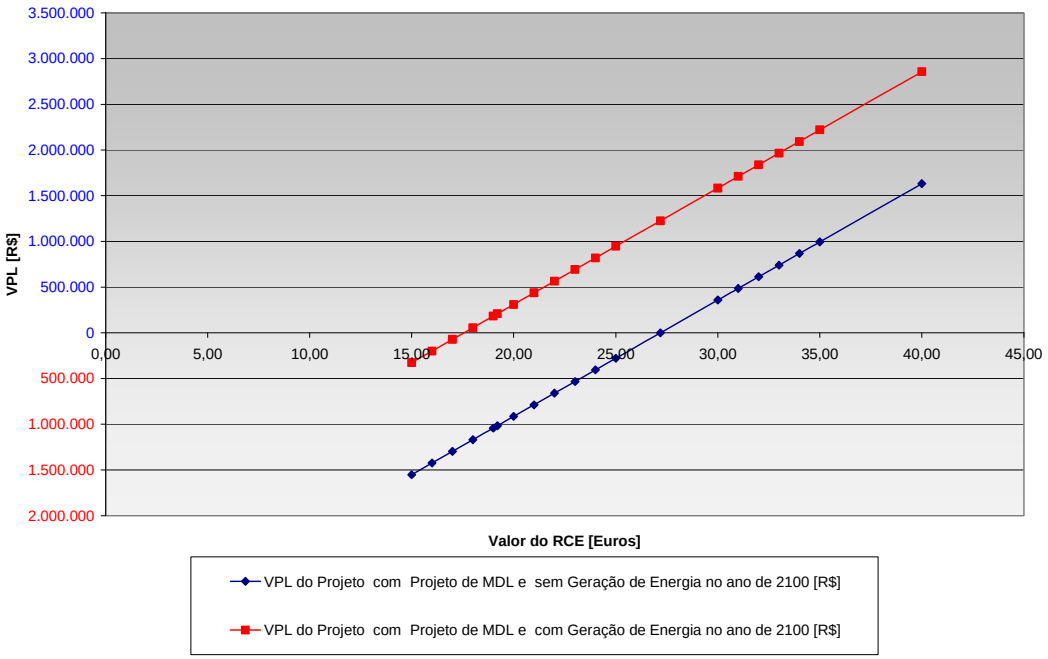

FIGURA 34 – Variação do preço da RCE

No cenário onde há a implantação de um aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL verificou-se que o VPL se apresenta positivo a partir do preço do RCE a partir de € 17,57. O valor positivo deste preço do RCE se inicia no ano de 2049 (41 anos após o início do projeto), a partir deste valor todos os resultados com o aumento dos valores de RCE ocasionam maior retorno do investimento do projeto.

No caso da implantação do aterro sanitário só com projeto de MDL foi observado que o VPL se apresenta positivo a partir do preço do RCE a partir de € 27,19 (37 anos após o início do projeto). Nos dois cenários observou-se que a variação do custo de implantação se comporta com uma acentuada inclinação, demonstrando a importância do preço dos RCE´s no VPL do projeto. Podemos afirmar que o preço de mercado dos RCE´s é uma variável que indicará a possibilidade ou não de investimentos em projetos de MDL.

5.3.4 – Variação da população de início de projeto

Através da variação da população de início de projeto, este estudo teve a intenção de verificar quais valores populacionais viabilizariam os cenários de aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL, aterro sanitário com geração de energia e aterro sanitário com projeto de MDL e sem geração de energia. Uma maior população pode ser conseguida por meio da adesão de novos municípios ao projeto existente.

Os valores de custo de implantação nesta simulação colocam a totalidade do investimento no primeiro ano de projeto (2008).

Na TABELA 30 são apresentados os resultados obtidos na simulação para o parâmetro estudado.

TABELA 30 – Variação da população de início de projeto

População [hab.]	Média de Disposição [t/dia]	RCE de Projeto acumulado de 2008 - 2100	Capacidade Instalada [MW]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e sem Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto sem Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]
93.061	76,23	547.605	1	-1.016.786	-457.240	-2.245.391
94.000	77,00	553.344	1	-991.542	-408.284	-2.221.680
100.000	81,91	590.015	1	-830.238	-95.470	-2.070.170
102.000	83,55	602.238	1	-776.470	8.801	-2.019.666
110.000	90,10	651.133	1	-561.398	425.887	-1.817.653
131.000	107,30	779.482	1	3.168	1.520.738	-1.287.368
150.000	122,87	895.607	1	513.965	2.511.317	-807.586
155.000	126,96	926.166	1,5	-664.564	563.846	-2.978.996
160.000	131,06	956.725	1,5	-530.144	824.525	-2.852.738
170.000	139,25	1.017.843	1,5	-261.303	1.345.882	-2.600.221
180.000	147,44	1.078.962	1,5	7.537	1.867.240	-2.347.704
190.000	155,63	1.140.080	1,5	276.378	2.388.597	-2.095.188
200.000	163,82	1.201.199	1,5	545.218	2.909.954	-1.842.671
210.000	172,01	1.262.317	1,5	814.059	3.431.312	-1.590.154
220.000	180,21	1.323.435	1,5	1.082.899	3.952.669	-1.337.637
228.000	186,76	1.372.330	2	-14.977	2.161.606	-3.433.293
230.000	188,40	1.384.554	2	38.791	2.265.877	-3.382.789
250.000	204,78	1.506.791	2	576.472	3.308.592	-2.877.756
270.000	221,16	1.629.027	2	1.114.153	4.351.307	-2.372.722
300.000	245,74	1.812.383	2	1.920.674	5.915.379	-1.615.172
302.000	247,37	1.824.606	2,5	661.494	3.811.501	-3.862.337
310.000	253,93	1.873.501	2,5	876.566	4.228.587	-3.660.324
320.000	262,12	1.934.619	2,5	1.145.407	4.749.944	-3.407.807
350.000	286,69	2.117.975	2,5	1.951.928	6.314.016	-2.650.257
375.000	307,17	2.270.771	2,5	2.624.029	7.617.410	-2.018.965
380.000	311,26	2.301.330	3	1.445.501	5.669.939	-4.190.375
400.000	327,65	2.423.566	3	1.983.182	6.712.654	-3.685.341
450.000	368,60	2.729.158	3	3.327.384	9.319.441	-2.422.757
460.000	376,79	2.790.277	3,5	2.283.276	7.632.649	-4.467.910
500.000	409,56	3.034.750	3,5	3.358.638	9.718.078	-3.457.842
525.000	430,04	3.187.546	3,5	4.030.739	11.021.472	-2.826.550
530.000	434,13	3.218.106	4	2.852.211	9.074.001	-4.997.961
550.000	450,51	3.340.342	4	3.389.892	10.116.716	-4.492.927
580.000	475,09	3.523.698	4	4.196.413	11.680.788	-3.735.377

TABELA 30 (Continuação) – Variação da população de início de projeto

População [hab.]	Média de Disposição [t/dia]	RCE de Projeto acumulado de 2008 - 2100	Capacidade Instalada [MW]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e sem Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto com Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]	VPL do Projeto sem Projeto de MDL e com Geração de Energia no ano de 2100 [R$]
600.000	491,47	3.645.934	4	4.734.094	12.723.503	-3.230.343
610.000	499,66	3.707.053	4,5	3.689.986	11.036.711	-5.275.495
650.000	532,43	3.951.526	4,5	4.765.348	13.122.140	-4.265.428
675.000	552,90	4.104.322	4,5	5.437.449	14.425.534	-3.634.136
680.000	557,00	4.134.881	5	4.258.921	12.478.063	-5.805.547
700.000	573,38	4.257.118	5	4.796.602	13.520.778	-5.300.513
750.000	614,34	4.562.710	5	6.140.804	16.127.565	-4.037.929
760.000	622,53	4.623.829	5,5	5.096.696	14.440.773	-6.083.081
800.000	655,29	4.868.302	5,5	6.172.058	16.526.202	-5.073.014
828.000	678,23	5.039.434	5,5	6.924.811	17.986.003	-4.365.967
830.000	679,87	5.051.657	6	5.665.631	15.882.125	-6.613.133
870.000	712,63	5.296.131	6	6.740.993	17.967.555	-5.603.065
900.000	737,21	5.479.486	6	7.547.514	19.531.627	-4.845.515
905.000	741,30	5.510.045	6,5	6.368.986	17.584.156	-7.016.925
950.000	778,16	5.785.078	6,5	7.578.768	19.930.264	-5.880.600
975.000	798,64	5.937.874	6,5	8.250.869	21.233.658	-5.249.308
980.000	802,73	5.968.433	7	7.072.340	19.286.187	-7.420.718
1.000.000	819,12	6.090.670	7	7.610.022	20.328.902	-6.915.685
2.000.000	1638,23	12.202.509	13,5	17.425.737	43.758.698	-11.533.701
3.000.000	2457,35	18.314.348	20	27.241.453	67.188.494	-16.151.716
4.000.000	3276,47	24.426.188	27	35.744.220	88.410.142	-23.067.401
5.000.000	4095,59	30.538.027	33,5	45.559.936	111.839.938	-27.685.417

Baseando-se na TABELA 30 foram desenvolvidas as FIGURAS 35, 36, 37, 38, 39 e 40, onde são apresentados, respectivamente:

- VPL do projeto com a variação da população inicial de projeto, no cenário de aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL;
- VPL do projeto com a variação da população inicial de projeto, no cenário de aterro sanitário com geração de energia;
- VPL do projeto com a variação da população inicial de projeto, no cenário de aterro sanitário com projeto de MDL e sem geração de energia;
- Comparativo dos três cenários apresentados, analisando o parâmetro população inicial de projeto;
- Comparativo dos três cenários apresentados, analisando o parâmetro da média de disposição diária de resíduos [t/dia];
- Comparativo dos três cenários apresentados, analisando o parâmetro capacidade instalada de geração de energia.

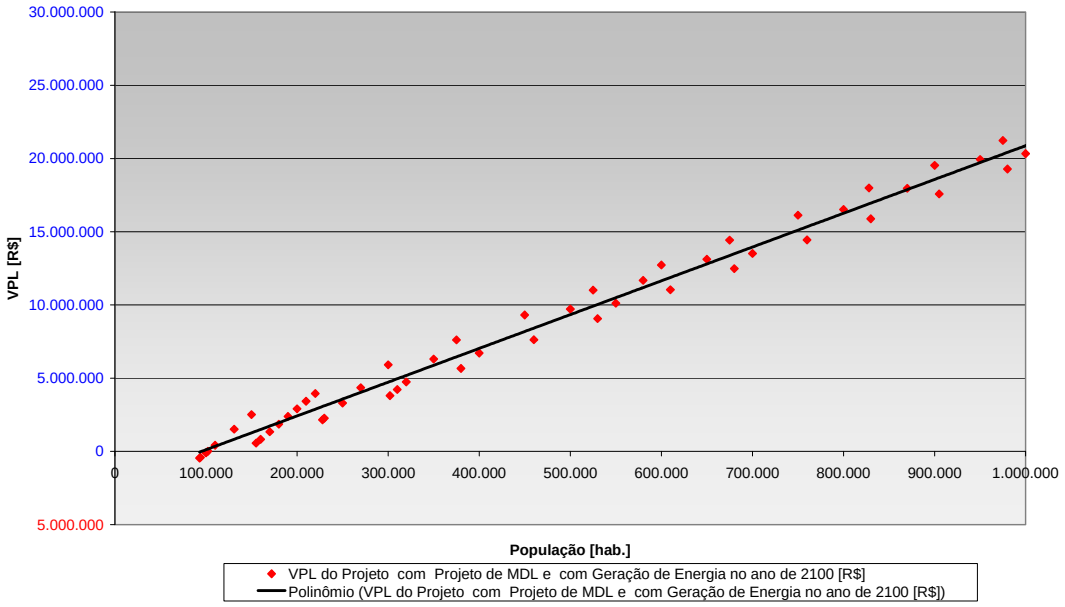

FIGURA 35 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL.

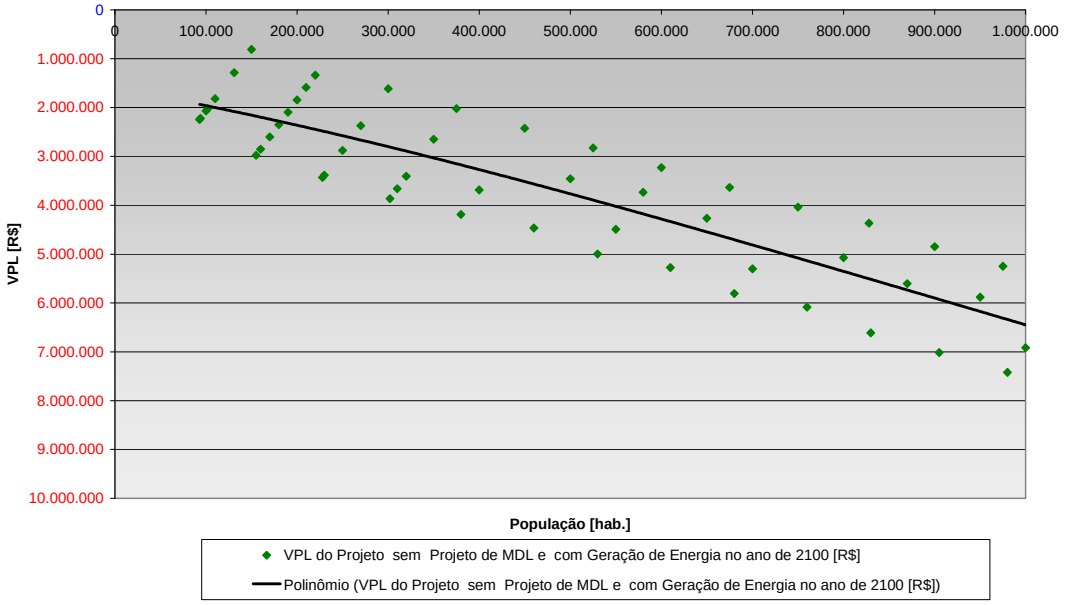

FIGURA 36 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com geração de energia.

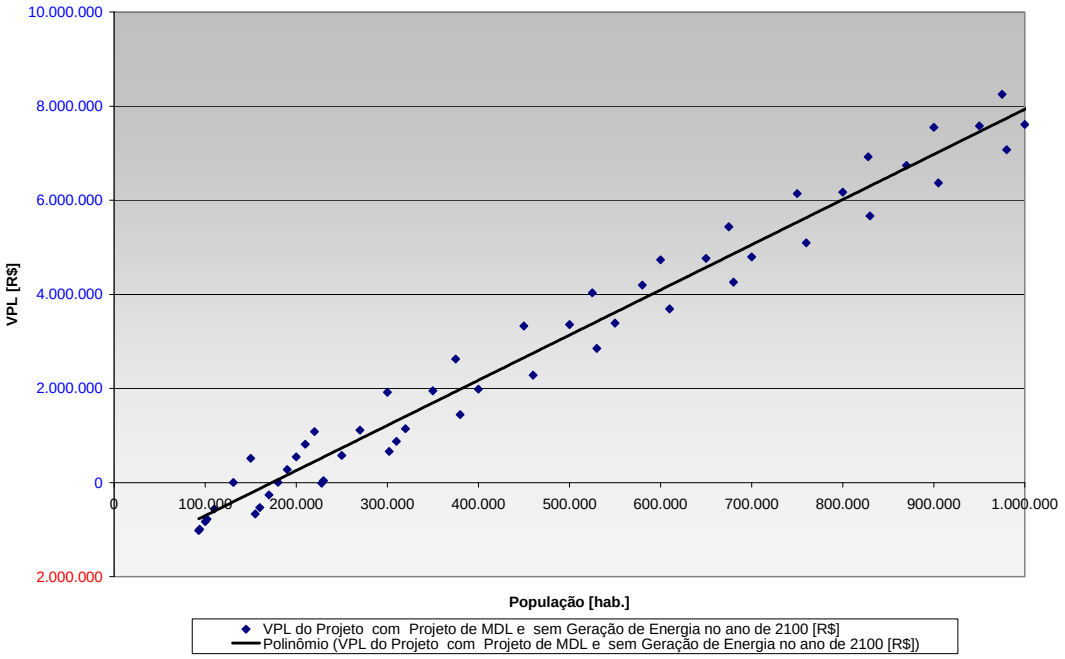

FIGURA 37 – Variação da população inicial de projeto - Aterro sanitário com projeto de MDL e sem geração de energia

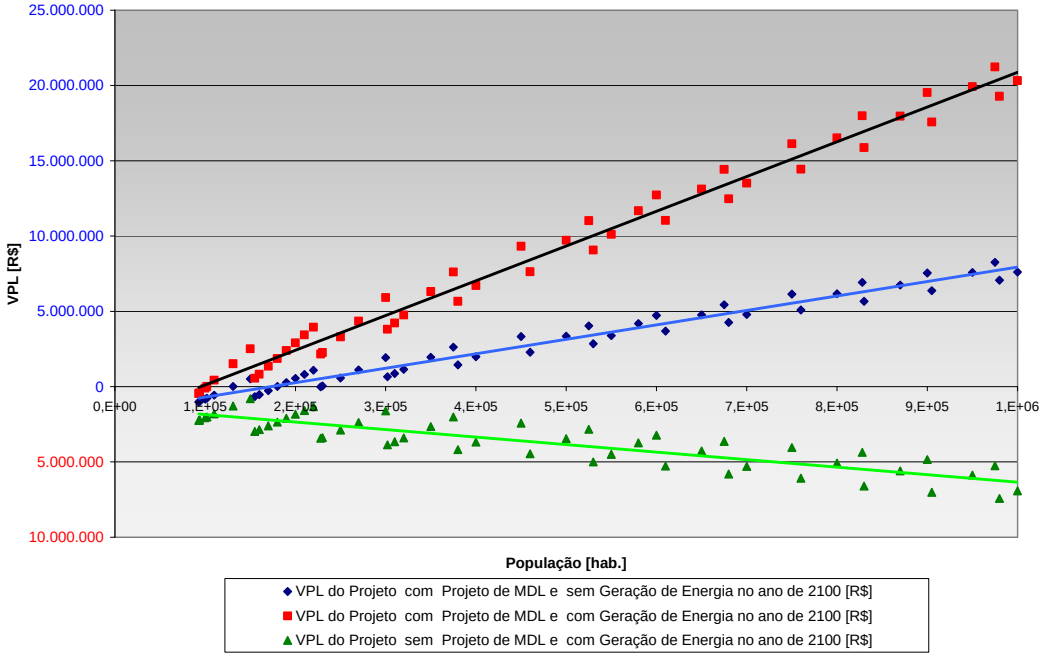

FIGURA 38 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: população inicial de projeto.

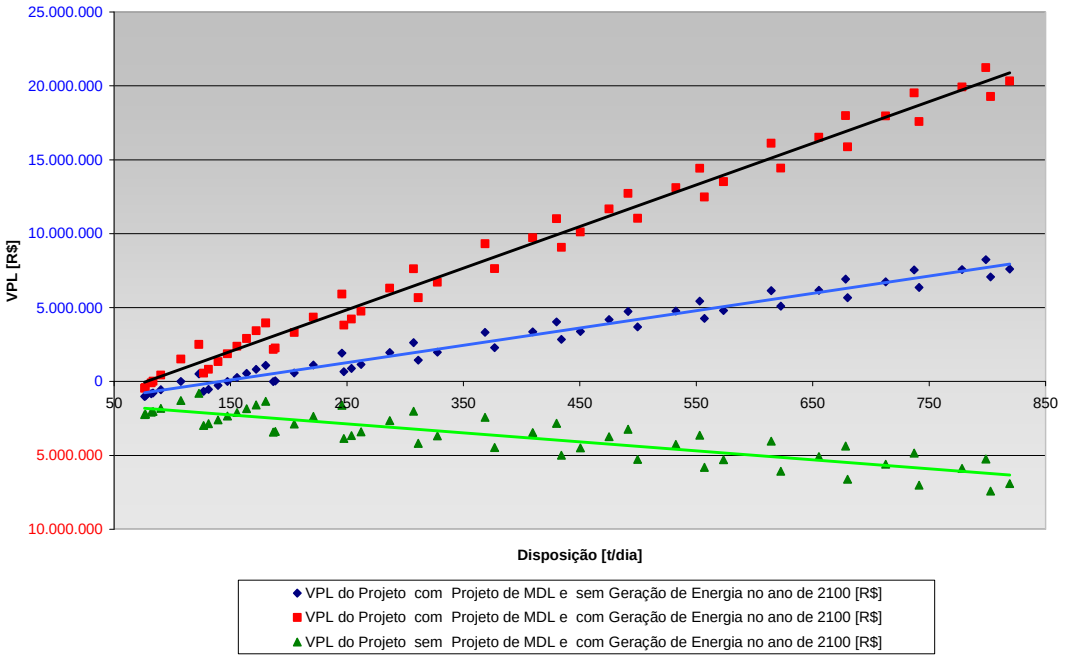

FIGURA 39 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: média de disposição diária de resíduos [t/dia].

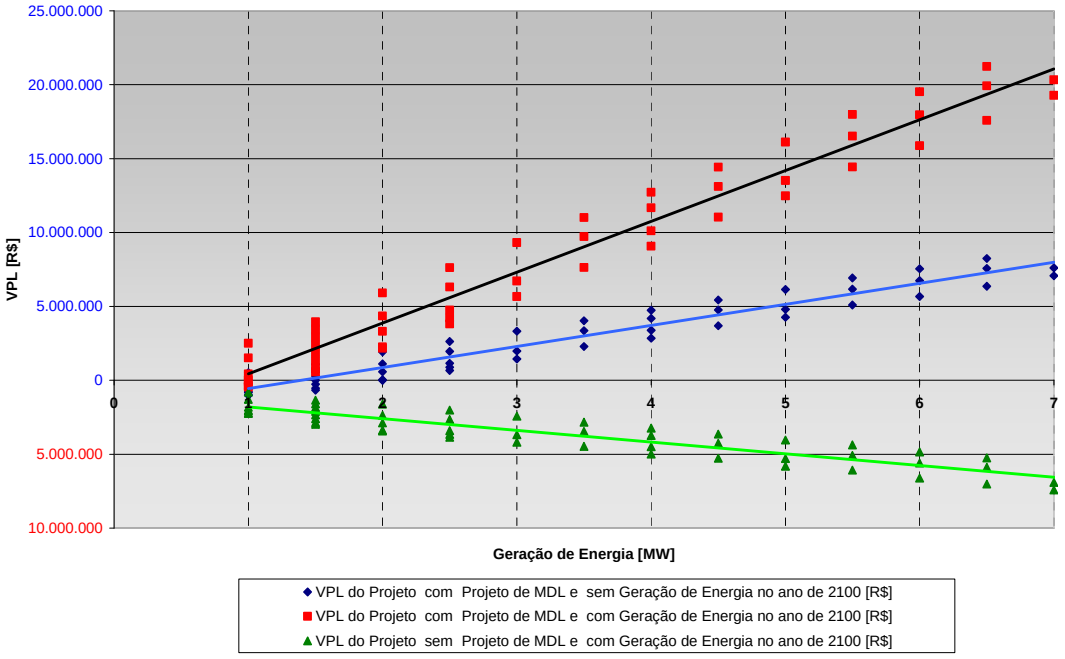

FIGURA 40 – Comparativo dos três cenários – parâmetro: capacidade instalada de geração de energia.

Analisando os gráficos apresentados, coloca-se as seguintes observações:

- Nos três cenários apresentados, somente na proposta do aterro onde somente será gerada energia (FIGURA 36) é que o VPL não se torna positivo em nenhuma das possibilidades apresentadas;
- No cenário onde o aterro sanitário possui tanto a geração de energia como o projeto de MDL (FIGURA 35) foi observado que a partir de uma população inicial acima de 102.000 habitantes o VPL do projeto começa a ser positiva, mais precisamente no ano de 2046 (38 anos após o início do projeto). Importante ressaltar que no cenário onde existe o consórcio entre MDL e geração de energia, nota-se que neste tipo de escolha é claro o cenário favorável para esta situação, principalmente ocasionado pela viabilidade do quase sempre o VPL se apresentar de forma positiva;
- Na opção onde é implantado apenas o projeto de MDL no aterro sanitário (FIGURA 35) é observado que um projeto deste tipo só começa a ser viável economicamente a partir de uma população de 131.000 habitantes. Entretanto, existe uma variação por conta do número de geradores a serem instalados no projeto do aterro, que somente se estabiliza de forma positiva a partir de uma população superior a 230.000 habitantes. Portanto, na faixa dos 130.000 a 230.000 habitantes, deve ser realizada uma avaliação mais criteriosa devido a variação do número de geradores implantados no empreendimento;
- A FIGURA 36 nos indica que a inserção de projetos de MDL viabiliza a instalação de plantas geradoras de energia. outro ponto importante que foi levantado no estudo é que a implantação conjunta do MDL com a geração de energia torna o investimento muito mais atrativo se comparado com a implantação de um aterro com somente uma das alternativas;
- Através dos dados da FIGURA 39 podemos constatar que na situação onde há implantação da geração de energia e projeto de MDL, o mínimo de disposição diária necessária para que o projeto tenha um VPL positivo é de 83,55 t/ dia de resíduos. Na situação onde somente existe o projeto de MDL o investimento começa a ser viável a partir de 107,3 t/dia de resíduos, mas deve-se ressaltar que somente após os 188,40 t/dia é que o VPL se estabiliza de maneira positiva. Estes dados são valores inferiores se comparados com as informações estabelecidas por consultorias da área de MDL que só analisam casos a partir de 300 t/dia de resíduos (FILHO, 2008);
- Pode-se observar de forma mais clara que a queda do VPL durante o aumento populacional são dadas conforme são inseridos novos grupos geradores no empreendimento, demonstrando que são necessárias análises mais detalhadas aos projetos onde são observados os picos (FIGURA 40)

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As evoluções da tecnologia e da economia advindas do início da revolução industrial geraram a necessidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. Nos últimos anos, as questões relacionadas às mudanças climáticas têm preocupado a sociedade e que vem instigando uma busca por fontes alternativas de geração de energia.

No contexto, o aproveitamento da queima do metano que os aterros sanitários liberam no processo de degradação da matéria orgânica é uma das possibilidades alternativas para a geração de energia. Aliado a este fato, outro problema está na ausência de áreas adequadas para a disposição final dos resíduos, constituindo dois problemas graves que o país enfrenta.

Neste estudo foi ressaltada a importância do aproveitamento da geração de energia a partir dos resíduos sólidos, pois além de se aproveitar de um resíduo que não teria mais valor agregado, estaríamos gerando energia nas proximidades dos maiores mercados consumidores.

Através da problemática das mudanças climáticas é que surgiram os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com a finalidade de se reduzir a emissão de gases de efeito estufa no planeta. Desta forma, este trabalho tentou analisar a viabilidade de implantação dos projetos de MDL para aterros sanitários.

A primeira análise realizada neste trabalho foi a comparação dos valores calculados nos projetos de MDL com os valores obtidos no monitoramento do projeto. Através deste comparativo pode-se verificar que nos primeiros projetos de MDL implantados no país a eficiência da quantificação foi aquém do valor monitorado, e com o passar dos anos os projetos mais recentes demonstraram terem se adaptado para quantificar de uma forma mais próxima da realidade.

Notou-se deste comparativo que nos valores de L_0 inferiores a 100 m^3/t os valores de projetos foram mais próximo dos valores encontrados no monitoramento, também se verificou que nos projetos das regiões Norte e Nordeste a eficiência da quantificação do metano nesses projetos foi reduzida se comparado a média de 53,41% obtido na Região Sudeste, demonstrando a necessidade de estudos detalhados para se avaliar o motivo para a baixa eficiência da quantificação nesses projetos.

Como recomendação para se avaliar de uma melhor forma a diferença que ainda existe nos valores levantados com os valores de projeto é a possibilidade da criação de indicadores e elaboração de estudos regionais com base nos projetos de MDL já realizados para se obter um valor mais próximo de L_0 e k da equação de quantificação do gás metano.

O estudo de caso foi realizado no município de Itajubá, onde foram levantadas quatro perspectivas: três baseados nos valores do estudo de GONÇALVES (2007) utilizando as metodologias do Banco Mundial, USEPA e IPCC; e uma com base nos valores do RCA de MONTEIRO & COSTA (2006) na metodologia do IPCC.

Através dos valores levantados nas três metodologias utilizadas, pode-se concluir que a metodologia do IPCC utiliza um maior número de elementos se

comparada com as metodologias sugeridas pelo Banco Mundial e pela USEPA. Isto permite caracterizar de forma mais adequada o local estudado, outro ponto primordial para que a escolha da metodologia do IPCC fosse desenvolvida no restante do trabalho foi o fato dela ser a mais utilizada nos projetos de MDL.

No prosseguimento do trabalho foi estudada a implantação de um projeto de MDL e a potencialidade energética dos resíduos domiciliares e comerciais com estabelecimento de unidades de geração de energia elétrica no futuro aterro sanitário de Itajubá-MG. Nesta análise foram colocadas três hipóteses de implantação: aterro sanitário com projeto de MDL, aterro sanitário com geração de energia e projeto de MDL, e aterro sanitário só com a geração de energia.

Os resultados obtidos demonstram que o município pode gerar um valor máximo de potência elétrica na ordem de 620 kW, no ano de encerramento das atividades de deposição de resíduos sólidos do aterro (2027). No período de 2009 a 2100 serão destruídos o equivalente a 292.420 t CO_2. O estudo demonstrou que para o município somente a possibilidade que se mostrou viável economicamente foi o consórcio geração de energia com o projeto de MDL, pois nos demais casos em nenhum momento o VPL se tornou positivo.

Na perspectiva de MONTEIRO & COSTA (2006), o resultado obtido foi de um valor máximo de potência elétrica na ordem de 430 kW, também no ano de encerramento das atividades de deposição de resíduos sólidos do aterro (2027). Na questão da destruição do gás metano, no período de 2009 a 2100, serão destruídos o equivalente a 198.650 t CO_2. Nesta situação nenhuma das hipóteses teve seu VPL positivo, conotando que a viabilidade do projeto segundo estes parâmetros inviabilizaria qualquer projeto de MDL ou geração de energia para o município de Itajubá.

Uma recomendação que este estudo sugere para tentar encontrar uma resposta para o comportamento do VPL se apresentar de forma negativa, na perspectiva onde apenas se implantará a geração de energia, é a possibilidade de que futuros estudos venham a dividir o investimento de implantação de geração em várias etapas ao longo da vida útil do projeto. Afinal, esta perspectiva não foi abordada neste estudo, que colocou todo o custo de implantação no primeiro ano de projeto.

No intuito de se procurar situações que possam melhorar o VPL do projeto, baseados na metodologia IPCC com dados de GONÇALVES (2007) realizou-se simulações para se verificar alguns parâmetros (custo de implantação da geração de energia, custo de O & M da geração de energia, preço da RCE, população de início de projeto), a fim de se analisar o comportamento dos mesmos.

O presente estudo verificou através das simulações realizadas, que o custo que mais influi no VPL do projeto é o custo de implantação de geração de energia. Portanto, este estudo indica como uma recomendação para estudos futuros a pesquisa relacionadas à pesquisa e desenvolvimento (P&D) de equipamentos ligados à geração de energia e queima do gás metano (Ex.: grupos geradores, motores, sistemas de refrigeração, entre outros) que possam ser adaptados às condições brasileiras e com custos menores.

No trabalho de simulação com base nas oscilações dos preços da RCE, notou-se que para o município de Itajubá o investimento começa a ser atrativo a partir de um valor de RCE de €17, 57, no caso de aterro sanitário com geração de energia e projeto

de MDL. No cenário onde somente é realizada a implantação do projeto de MDL o investimento só começa a ser atrativo com um valor de RCE superior a € 27,19, ou seja, no caso onde existe o consórcio entre projeto de MDL e geração de energia o preço do RCE pode ser até 35% menor que o valor mínimo para projetos viáveis de MDL sem geração de energia.

Na avaliação deste estudo com respeito à viabilidade dos projetos de MDL para projetos de aterro sanitário com geração de energia, baseado na variação populacional, verificou-se que o melhor ganho no VPL do projeto está neste cenário se comparado aos demais. Demonstrando que o consórcio entre projeto de MDL e geração de energia é viável economicamente a partir de uma população inicial de projeto de 102.000 habitantes, com base nos dados pré-estabelecidos neste trabalho.

No caso onde somente é implantado o projeto de MDL, a viabilidade do projeto se dá a partir de uma população de 131.000 habitantes. Entretanto deve se ressaltar que em todas as situações há existência de variações no VPL ocasionadas pelo acréscimo de grupos geradores, que neste estudo variam a cada 500 kW. Neste cenário com apenas o projeto e MDL, a variação por conta do número de geradores a serem instalados no projeto do aterro somente se estabiliza o VPL positivamente a partir de uma população superior a 230.000 habitantes.

Portanto, principalmente na faixa dos 130.000 a 230.000 habitantes é recomendado a futuros estudos relacionar de forma mais criteriosa o melhor conjunto de grupo gerador para cada situação populacional desta faixa, pois neste estudo o objetivo foi mostrar um cenário mais geral não sendo abordado minúcias como esta questão.

Deve-se ressaltar que neste estudo foi possível observar que somente com a inserção de projetos de MDL é que se viabiliza a instalação de plantas geradoras de energia, tornando o investimento mais atrativo se comparado com a implantação de um aterro com somente uma das alternativas.

Outro fato importante que pode ser constatado deste estudo é que na situação onde existe o consórcio da geração de energia com o de MDL, o mínimo de disposição diária necessária para que o projeto tenha um VPL positivo é de 83,55 t/ dia de resíduos. Na situação onde somente há projeto de MDL o projeto começa a ser viável a partir de 107,3 t/dia de resíduos, mas deve ser ressaltado que somente após os 188,40 t/dia é que o VPL se estabiliza de forma positiva. O mais interessante que pode ser retirado destes resultados é que estes valores são inferiores ao parâmetro estabelecido pelas consultorias da área de MDL, que só analisam projetos que tem disposição superior a 300 t/dia de resíduos (FILHO, 2008).

Analisado o panorama atual dos projetos de MDL para resíduos sólidos, constata-se que no Brasil cerca de 65% dos projetos de MDL estão concentrados na região Sudeste, onde no Estado de São Paulo estão alocados 82% do total da região Sudeste.

Através dos dados apresentados sobre o panorama nacional, podemos constatar que poucos locais ainda contemplam dos investimentos de empreendimentos de MDL e de geração de energia por resíduos sólidos. Neste contexto podemos afirmar que o país ainda possui muito potencial a ser explorado, principalmente na questão relacionada à geração de energia. Afinal do total de projetos de MDL apenas 30% tem a perspectiva do aproveitamento de geração de energia.

O fato dos projetos de MDL estarem localizados somente nas maiores cidades brasileiras pode ser ocasionado pela falta de conhecimento sobre a temática de geração de energia através dos resíduos sólidos e dos projetos de MDL, pois a informação desta conotação são melhores difundidas nas grandes cidades. Outro fator importante que pode explicar a localização destes tipos de projetos nas maiores cidades é a maior facilidade de se conseguir aporte de recursos para investimentos do porte de aterros sanitários.

Através da simulação de variação populacional apresentada na FIGURA 37 e com os dados de população do IBGE, pode-se avaliar que no Brasil existem 305 cidades que possuem população superior a 90.000 habitantes que tem a capacidade de receber projetos de MDL e geração de energia, podendo o país gerar algo em torno de 873,5 MW advindo da queima do metano dos RS. A TABELA 31 apresenta o número de cidades por Estado com potencial de geração e a capacidade de geração de energia.

Pode-se dizer que, conforme os dados apresentados na TABELA 31, o país possui um grande potencial pouco explorado, não somente na região Sudeste. Deve-se ressaltar que existem regiões ainda pouco exploradas nesta temática e que poderiam ser aproveitadas de uma melhor forma.

TABELA 31: Potencial Brasileiro de Geração de Energia por Resíduos Sólidos

Região	Estado	Nº. de cidades	Potencial de Geração [MW]	Potencial da Região [MW]
Centro-Oeste	DF	1	17	61
	GO	10	25	
	MS	3	8,5	
	MT	4	10,5	
Nordeste	AL	2	9	161,5
	BA	16	29,5	
	CE	9	31,5	
	MA	9	19	
	PB	5	12	
	PE	13	36	
	PI	2	7,5	
	RN	3	10,5	
	SE	3	6,5	
Norte	AC	1	2,5	63
	AM	2	13	
	AP	2	4	
	PA	16	33	
	RO	2	4,5	
	RR	1	2,5	
	TO	2	3,5	
Sudeste	ES	9	20,5	467
	MG	33	80,5	
	RJ	29	112,5	
	SP	76	253,5	
Sul	PR	19	48	121
	RS	20	48	
	SC	13	25	

Potencial que deve ser ainda analisado de forma detalhada, pois este estudo analisou apenas de forma geral avaliando o quanto o país poderia gerar se aproveitasse o seu potencial. Uma recomendação que este trabalho coloca para se obter uma avaliação de maior confiabilidade é a elaboração de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos para os 305 municípios. No Plano de Gestão além de estruturar administrativamente as prefeituras para as questões dos resíduos, ela auxilia também para o conhecimento da qualidade e da quantidade do biogás, que variam de acordo com a quantidade e a composição dos resíduos, tipos de resíduos, decomposição biológica, condições ambientais e a operação de aterros.

Uma última recomendação para os futuros estudos é de se tentar valorar as externalidades, como o valor social que um projeto de MDL e de Geração de Energia. Desta forma poderíamos conhecer o ganho real da sustentabilidade desses projetos, podendo em muitos casos dar viabilidade para projetos inviáveis no âmbito econômico.

ANEXO A

Planta de implantação do aterro sanitário –

Layout e paisagismo inicial

(Fonte: MONTEIRO & COSTA, 2006)

.

ANEXO B

Planta de encerramento do aterro sanitário –

Layout e paisagismo final

(Fonte: MONTEIRO & COSTA, 2006)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). *NBR 10007 - Amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro.

ALEXANDER, M. (2008). *"Projetos de MDL", apresentado no 2º Seminário de Crédito de Carbono: Estruturação, Desenvolvimento e Certificação de Projetos para Comercialização de Créditos de Carbono*, São Paulo, Brasil.

AMARAL, L. M. A. (2004), *Biodigestão Anaeróbia dos Resíduos Sólidos Urbanos: um Panorama Tecnológico Atual*. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental.

ARAÚJO, A., org. (2007). *Como comercializar créditos de carbono - 5ª edição*. Ed. Trevisan. São Paulo.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. *Chapter 2: Landfill Gas Basics*. http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html. (22/nov. 2006).

BANCO MUNDIAL, *Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe*, 2003, disponível em: <http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_access_po.htm> Acesso em 17/nov. 2008

BATOOL, S. & CHUADHRY, M. (2008). *The impact of municipal solid waste treatment methods on greenhouse gas emissions in Lahore, Pakistan*. Waste Management 29 (2009), 63-69.

BIDONE, F.R.A; POVINELLI, J. (1999). *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. São Carlos, EESC/USP.

BM&F.*Mercado de Carbono*. Disponível em: http://www.bmf.com.br/portal/pages/mbre/ Acessado em: (23/ dez.2008)

BORBA, S. M. P. (2006). *Análise de modelos de geração de gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências em Engenharia Civil.

BRASIL. (1976). *Lei 6.385 de 07/12/1976*. Dispõe sobre o mercado de valores mobiliários e cria a Comissão de Valores Mobiliários.

BRASIL. (1998). *Decreto N° 2.652 de 01/07/1998*. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992.

BRASIL. (1998). *Crimes Ambientais: Lei 9.605 de 12/02/1998*. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. (2003). *Lei 10.762 de 11/11/2003*. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nos 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

BRASIL. (2004). *Projeto de Lei N° 3.552*. Dispõe sobre a organização e regulação do mercado de carbono na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro através da geração de Redução Certificada de Emissão – RCE em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL.

BRASIL. (2004). *Projeto de Lei N° 4.425*. Dispõe sobre os incentivos fiscais a serem concedidos às pessoas físicas e jurídicas que invistam em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL que gerem Reduções Certificadas de Emissões – RCEs, autoriza a constituição de Fundos de Investimento em Projetos de MDL e dá outras providências.

BRASIL. (2004). *DECRETO N° 5.025 de 30/03/2004*. Regulamenta o inciso I e os §§ 1o, 2o, 3o, 4o e 5o do art. 3o da Lei Nº. 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências.

BRASIL. (2006). *DECRETO N° 5.882 de 31/08/2006*. Modifica os arts. 5o, 12 e 16 do Decreto no 5.025, de 30 de março de 2004, que regulamenta o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, e dá outras providências

BRASIL. (2007). *Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. (2007). *Projeto de Lei N° 494*. Dispõe sobre os incentivos fiscais a serem concedidos às pessoas físicas e jurídicas que invistam em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL que gerem Reduções Certificadas de Emissões - RCEs, autoriza a constituição de Fundos de Investimento em Projetos de MDL e dá outras providências.

BRASIL. (2007). *Projeto de Lei N° 594*. Dispõe sobre a organização e regulação do mercado de Carbono na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro através da geração de

Redução Certificada de Emissão – RCE em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL.

BRASIL. (2007). *Projeto de Lei N° 1.657*. Dispõe sobre os incentivos fiscais a serem concedidos às pessoas físicas e jurídicas que invistam em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL que gerem Reduções Certificadas de Emissões – RCEs, autoriza a constituição de Fundos de Investimento em Projetos de MDL e dá outras providências.

BRASIL. (2007). *Projeto de Lei N° 1991*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

CCEE. *7º Leilão de Energia Nova*. Disponível em: http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vgnextoid=4c899f6fcecfa110VgnVCM1000005e01010aRCRD. Acessado em: (22/ dez.2008)

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (2006). *Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos – Um Novo Modelo de Gestão*.

CETESB - *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatórios de Referência. Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos*. São Paulo, SP, 2002

CPMDL - CAPACITAÇÃO EM PROJETOS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (2008). *Manual de Capacitação Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*. Disponível em: http://www.cgee.org.br/publicacoes/MudancaDoClima.php Acessado em: 26/ago.2008.

CPTI - COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (1997). *Estudo de Impacto Ambiental – EIA Aterro Sanitário de Itajubá – MG*. Itajubá. /Relatório técnico CPTI.

CQNUMC - CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2008). *Status atual das atividades de projetos do MDL no Brasil e no mundo*. Disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/42954.html Acessado em: 10/set.2008.

D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A.; coord. (2000). *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*. 2.ed. São Paulo, IPT/CEMPRE.

DELPUPO, C. H., org. (2008). *Módulo IV.2: Resíduos e efluentes. Manual de Capacitação Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.* CPMDL. Brasília.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1997). *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills – Revised*. North

Carolina, USA. Disponível em: http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/index.html. Acessado em: 21/nov.2008.

EPA -U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. Disponível em: http://www.epa.gov/ttn/catc/products.html#software. Acessado em: 21/nov. 2008.

FEHR, M. (2007). *Measuring the environmental impact of waste flow management in Brazilian apartment buildings*. Journal of Material Cycles and Waste Management , DOI 10.1007/s10668-007-9114-3

FELIPETTO, A. V. M. (2007). *Conceito, planejamento e oportunidades*. IBAM, Rio de Janeiro. 40p.

FERNANDEs, C., MELLONI, E. e PRADO, M. (2008). *Relação entre composição florística e solo em um remanescente de Mata Atlântica, na área do entorno da Pequena Central Hidrelétrica Luiz Dias*, Itajubá/MG. VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Belo Horizonte. T22-A16

FILHO, F. (2008). *"Design de projetos de MDL"*, apresentado no Fórum Internacional sobre "Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Extração de Biogás", São Paulo, Brasil.

FILHO, P. & BADR, O. (2003). *Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil*. Applied Energy 77 (2004), 51-67

FILHO, L. e FRANGETTO, F., org. (2008). *Módulo I: Mudança do clima e acordos internacionais*. Manual de Capacitação Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. CPMDL. Brasília.

FRAMIL, E.F. (2003). *Base Pedológica, com Ênfase a Erosão, para a Elaboração de uma Política de Meio Ambiente para Itajubá/MG*. 45 p. Trabalho de Diploma (Conclusão da Graduação) – Universidade Federal de Itajubá/MG.

GAAST, W. et al. (2009). *Promoting sustainable energy technology transfers to developing countries through the CDM*. Applied Energy 86 (2009), 230-236.

GABETTA, H. (2006). *A Influência dos Certificados de Emissões Reduzidas - CERs na Viabilidade Econômica de Empreendimentos de Energias Renováveis*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

GASNET (s/d). *Termelétricas*. Disponível em: http://www.gasnet.com.br/novo_termeletrica/ciclo.asp. Acessado em: 20/nov. 2008

GONÇALVES, A. (2007). *Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos domiciliares e comerciais do Município de Itajubá – MG*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

GOOGLE EARTH . Disponível em: http://www.earth.google.com/download_earth.html. Acessado em: 09/jan. 2009.

HENRIQUES, R. M. (2004). *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica*. Rio de Janeiro. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁSTICA (2000). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Disponível em: http://www.ibge. gov.br/home/´ previdencia/noticias/27032002pnsb.shtm. Acessado em: 21/ nov.2008.

IGONI, A. et. al. (2007). *Municipal solid-waste in Port Harcourt, Nigeria*. Applied Energy 84 (2007), 664-670.

IM, J. et al. (2008). E*stimation of mass transport parameters of gases for quantifying CH_4 oxidation in landfill soil covers*. Waste Management 29 (2009), 869-875.

ITAJUBÁ. (1991). *Lei n°1795 de 2/05/1991*. Código de Postura do Município. 61 p.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC, 1996 a). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada (Vol 2)*. Disponível em: <http://www.ipccnggip. iges.or.jp/public/gl/spanish.htm> Acesso em: 05/ nov. 2008

JÚNIOR, A.F.C.T (2007). *Informações do Município de Itajubá e Região – Versão 07/02/2007*. Itajubá. /Relatório Técnico Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia, Indústria e Comércio/ p.20.

KARANI, P. & JEWASIKIEWITZ, S. (2007). *Waste management and sustainable development in South Africa. Journal of Material Cycles and Waste Management* 9:163-185, DOI 10.1007/s10668-005-9010-7.

LAGO, A., org. (2005). *Parte I A – As Negociações internacionais ambientais no âmbito das Nações Unidas e a posição brasileira.* Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 3. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

LELLIS, M. (2007). *Fontes Alternativas de Energia Elétrica no Contexto da Matriz Energética Brasileira: meio ambiente, mercado e aspectos jurídicos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

LIMA, J. D. (2001). *Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro, ABES.

LIMA, L.M.Q. (2004). *Lixo – Tratamento e Biorremediação*. São Paulo, Hemus.

LIMA, L.M.Q. (2005). *Remedições de Lixões Municipais (Aplicações da Biotecnologia)*. São Paulo, Hemus.

LIMING, H. (2006). *A study of China–India cooperation in renewable energy field*. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007), 1739-1757.

LORA, E. & TEIXEIRA, F., org. (2006). *Capítulo 3 – Energia e Meio Ambiente*. Conservação de Energia: eficiência energética de equipamentos e instalações – 3ª Edição. FUPAI. Itajubá.

MACHADO, S. et al. (2008). *Methane generation in tropical landfills: Simplified methods and field results*. Waste Management 29 (2009), 153-161.

MANFREDI, S. & CHRISTENSEN, T. (2008). *Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling*. Waste Management 29 (2009), 32-43.

MARTINOT, E. et al. (2007). *Renewable Energy Futures: Targets, Scenarios, and Pathways.* Annual Review of Environment and Resources 2007. 32:205–39.

MARTINOT, E. et al.(2008). *Renewable Energy Markets in developing countries*. Annual Review of Environment and Resources 2002. 27:309–48.

MARTINS, A.H.M.C.; VELHOSO, C.H.V.; CHENNA, S.I.M. (s/d). *Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Resíduos Sólidos Urbanos em Cidade de Porte Médio – Metodologia Proposta*. 6p.

MCT. *Mudanças Climáticas*. Disponível em:
http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/index.php. Acessado em: (07/ nov.2008)

MESQUITA JÚNIOR, J. M. (2007). *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. IBAM, Rio de Janeiro. 40p.

MINAS GERAIS. (2001). *Deliberação Normativa n°52 de 14/12/2001*. Convoca os municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências.

MINAS GERAIS. (2003). *Deliberação Normativa n°67 de 18/11/2003*. Prorroga os prazos estabelecidos pelos artigos 1° e 2° da Deliberação Normativa n°52 de 14 de dezembro de 2001 e altera a redação do inciso V do artigo 2°.

MINAS GERAIS. (2004). *Deliberação Normativa n°75 de 25/10/2004*. Convoca os municípios com população entre 30.000 e 50.000 habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera os prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa n°52 de 14/12/2001.

MONTEIRO, M.B.; COSTA, M.B. (2006). *Relatório e Plano de Controle Ambiental do Aterro Sanitário de Itajubá/MG*. Itajubá: Relatório Técnico Novo Meio Engenharia & Consultoria Ltda.

MOZZER, G., MAGALHÃES, D. e SHELLARD, S., org. (2008). *Módulo II: Trâmite, institucionalidade e introdução ao ciclo de projetos.* Manual de Capacitação Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. CPMDL. Brasília.

MUYLAERT, M.S., coord. (2000). *Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto – Estudos de Caso*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.

NOBRE, C., org. (2005). *Parte II – Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima*. Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 3. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

NOBRE, C. (2008). *Causas e efeitos das mudanças climáticas*. Revista Pesquisa - FAPESP. n.149. jul. 2008. Disponível em: http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=4897&bd=2&pg=1&lg= Acessado em: 08/ set.2008.

NOGUEIRA, M., org. (2005). *Parte III C – Ferramentas para viabilização das oportunidades: Desenvolvimento cientifico, tecnológico e inovação.* Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 4. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

OLIVEIRA, L. et al. (2006). *Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry.* Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008), 883-890.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Resíduos Sólidos*. Disponível em: http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=32&Area=Conceito. Acessado em: 07/ nov.2008

PEIDONG, Z. et al. (2007). *Opportunities and challenges for renewable energy policy in China*. Renewable and Sustainable Energy Reviews xxx (2008), xxx-xxx.

PEREIRA, A. e LA ROVERE, E., org. (2005). *Parte I C – Síntese dos diálogos pós-Quioto*. Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 3. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

PMI (2009). *Foto aérea do local onde está sendo implantado o futuro aterro do município de Itajubá-MG*.

POPPE, A. e LA ROVERE, E., org. (2005). *Negociações internacionais sobre a mudança do clima: Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima*. Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 3. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

REI, F. e CUNHA, K., org. (2005). *Parte III C – Ferramentas para viabilização das oportunidades: Instrumentos legais e regulamentares*. Cadernos NAE / Núcleo de

Assuntos Estratégicos da Presidência da República – Nº. 4. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília.

ROCHA, M., org. (2008). *Módulo III: Oportunidades de negócios e avaliação de atratividade*. Manual de Capacitação Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. CPMDL. Brasília.

SAGAR, A. & KARTHA, S. (2007). *Bioenergy and Sustainable Development*. Annual Review of Environment and Resources 2007. 32:131–67.

SENEGA, M. (2004). *Termelétrica do Aterro Bandeirantes reduz emissão de CO_2 para atmosfera*. Disponível em: http:// www.ambiente.sp.gov.br/destaque/ 2004/marco/25_termeletrica.htm. Acessado em: 05/nov. 2008.

SILVA, A.T.T.; COSTA, H.S. (2003). *Estudo Preliminar sobre os Resíduos Sólidos da Cidade de Itajubá (MG): Caracterização Física no período do inverno*. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande (MS), 18 a 23 de setembro de 2005.

SISTER, G. org. (2007). *Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto – Aspectos Negociais e Tributação - 1ª edição*. Ed. Elsevier. São Paulo.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (2006). *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2004*. Brasília: MCIDADES. SNSA.

THEMELIS, N. et al. (2006). *Methane generation in landfills*. Renewable Energy 32 (2007), 1243-1257.

UNFCCC. *Clean Development Mechanism (CDM)*. Disponível em: http://cdm.unfccc.int/index.html. Acessado em: (14/ jan.2009)

UOL ECONOMIA. *Cotações*. Disponível em: http://economia.uol.com.br/cotacoes/ Acessado em: (10/ fev.2009)

VAN ELK, A. G. H. P. (2007). *Redução de emissões na disposição final*. IBAM, Rio de Janeiro. 40p.

VANZIN, E. (2006), *"Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no Aterro Santa Tecla"*. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-graduação em Engenharia.

WILLUMSEN, H.C. (2001). *Energy Recovery from Landfill Gas in Denmark and Worldwide*. Disponível em: http://www.lei.It/Opet/Pdf/Willumsen.pdf. Acessado em: 21/ nov. 2008