



**Mercado de Créditos de Carbono:  
Panorama Atual e Aplicação a Projetos  
de Gás de Aterro no Brasil**

Rafael Magalhães Braga de Souza

Projeto Final de Curso em Engenharia  
Química

Orientador:

Estevao Freire

Agosto de 2015

# **Mercado de Créditos de Carbono: Panorama Atual e Aplicação a Projetos de Gás de Aterro no Brasil**

***Rafael Magalhães Braga de Souza***

Projeto Final de Curso em Engenharia Química submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, D.Sc.

---

Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

---

Victor Paulo Peçanha Esteves D,Sc.

Orientado por:

---

Estevao Freire, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2015

de Souza, Rafael Magalhães Braga

Mercado de Créditos de Carbono: Panorama Atual e Aplicação a Projetos de Gás de Aterro no Brasil/ Rafael Magalhães Braga de Souza - Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2015.

Páginas Iniciais: VI. Páginas do trabalho: 80.

Projeto Final de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, agosto de 2015.

Orientador: Estevao Freire.

1. Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). 2. Créditos de Carbono. 3. Gás de Aterro. 4. Projeto Final (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Estevao Freire. I. Mercado de Créditos de Carbono: Panorama Atual e Aplicação a Projetos de Gás de Aterro no Brasil.

Dedicatória

Dedico esse trabalho ao ser que, pela primeira vez, perguntou-se “por que?” e tornou-se humano.

Citação

*“For me, it is far better to grasp the Universe as it really is than to persist in delusion, however satisfying and reassuring.”*

Carl Sagan

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a todos os professores, formais ou informais, que formaram minhas opiniões sobre o universo, a ciência e principalmente o fenômeno humano.

Agradeço ao meu orientador Estevao Freire por toda a tutoria para a conclusão desse trabalho, além dos companheiros Eduardo e José, que colaboraram ativamente para o desenvolvimento deste trabalho. Também aos orientadores Leda Castilho, Ricardo Medronho, Regina Sandra e Tanos Celmar Franca, por terem dado inputs maduros e apoio incondicional durante minha trajetória de pesquisa durante a graduação. À Escola de Química e todos os amigos aqui adquiridos, que levarei para o resto da vida.

Agradeço ao Governo Brasileiro, por ter-me permitido não somente o acesso ao ensino superior gratuito, como também fomentado outras oportunidades de autoconhecimento e experiências acadêmicas impensáveis para jovens de outras nações no mundo. Agradeço à Capes, pelo financiamento cedido para que realizasse meus estudos no exterior, à New York University por ter-me recebido de maneira tão acolhedora e à Merck & Co, por fornecer-me o ambiente de trabalho mais inspirador do qual tive o prazer de fazer parte.

Agradeço à Fundação Estudar, por sua missão inspiradora e por permitir-me entrar em contato com um mundo de experiências únicas e transformadoras, conhecendo pessoas que extraem de mim, diariamente, as características e inspirações mais nobres.

Agradeço aos professores e colegas do Colégio Pedro II de Niterói, que me ensinaram lições ímpares de humanidade e dedicação, aguçando em mim o sentimento de comprometimento com o ensino universal de qualidade e acessível a todos.

Agradeço aos meus familiares, que, sempre próximos nessa jornada, compreenderam minha ausência, reconhecendo serem esses passos fundamentais no caminho da erudição e do amadurecimento. Minha mãe, Carla, protetora e compreensiva. Meu pai, Humberto, pragmático e inspirador. Meu irmão, Bernardo, para o qual devotaria todo meu tempo e carinho se assim pudesse.

Aos meus amigos Bia, Carol, Gabriel, Guaravita, Ian, Julian, Juliana, Morgana e Remi, junto dos quais passei meus melhores momentos durante os últimos dez anos, e assim pretendo repetir enquanto o ar soprar em meus pulmões. Também aos amigos Aline, Arthur, Breno Gordo, David, Gabriel, Guilherme, Japa e Pedro Lorens, cujas trajetórias cruzaram minha vida de maneira inesperada e que assim teria repetido infinitas vezes, se possível.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

## **Mercado de Créditos de Carbono: Panorama Atual e Aplicação a Projetos de Gás de Aterro no Brasil**

Rafael Magalhães Braga de Souza

Agosto de 2015

Orientador: Prof. Estevao Freire, D.Sc.

O presente estudo tem como objetivo principal realizar uma análise da evolução histórica e situação corrente dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), aplicando o estado atual do mercado de carbono a dois projetos de recuperação de gás de aterro no Brasil, o Aterro de Canhanduba, em SC, e o Aterro de Belford Roxo, no RJ. Para tal, foi realizada revisão bibliográfica sobre o assunto, que englobou desde a história, causas e consequências do aquecimento global, as principais iniciativas globais de mitigação deste fenômeno, o papel da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) e as modalidades de flexibilização de reduções, e por fim o contexto da coleta de resíduos sólidos no Brasil.

Posteriormente, uma extração de dados de todos os projeto de MDL aprovados no mundo foi realizada, sendo feita uma análise de tendências históricas, países envolvidos, metodologias utilizadas, porte médio e situação brasileira.

Por fim, uma análise da viabilidade econômica dos dois projetos de gás de aterro brasileiros selecionados foi realizada à luz dos novos preços de negociação dos CERs no mercado de carbono, que tiveram desvalorização súbita ao longo dos anos de 2011 e 2012, sendo negociados atualmente na faixa dos €0,50.

O estudo acaba por concluir que os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo estão sob forte ameaça econômica. A oferta encontra-se fortemente descolada da demanda, que não apresenta sinais de que se recuperará nos anos vindouros, dada a falta de mecanismos coercitivos aos descumpridores de metas por parte da UNFCCC ou de outras entidades regulatórias internacionais. Observou-se substancial maioria de projetos unilaterais, sem participação de países do Anexo I, com reduções médias em torno de 100-150 KtCO<sub>2</sub>e por ano. China e Índia se destacaram como principais atores, sendo responsáveis por mais de 70% dos projetos aprovados, sendo o Brasil o terceiro país de maior importância.

Para os projetos de gás de aterro no Brasil, o preço atual de negociação significa que ambos os projetos apresentam VPL negativo, com menores consequências para o aterro de Canhanduba, que tem como opção de geração de receita a comercialização da energia elétrica produzida pela queima do gás. O ponto de break even de ambos os projetos encontra-se acima de €3,00, valor o qual os CERs não devem atingir num futuro próximo.

## SUMÁRIO

Dedicatória .....	III
Citação .....	IV
AGRADECIMENTOS .....	V
Resumo .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
ÍNDICE DE TABELAS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
ÍNDICE DE QUADROS .....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
1.2 Apresentação do Tema e Justificativa do Trabalho .....	13
2 OBJETIVOS .....	14
2.1 Objetivo geral .....	14
2.2 Objetivos Específicos .....	15
2.3 Estrutura .....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 O problema do aquecimento global .....	17
3.1.1 Principais gases estufa e seus respectivos potenciais de aquecimento global .....	18
3.1.2 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	18
3.1.3 Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	19
3.1.4 Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) .....	19
3.1.5 Gases halogenados .....	20
3.2 Iniciativas para endereçar o problema .....	20
3.2.1 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) ...	20
3.2.2 Protocolo de Quioto <sup>23</sup> .....	23
3.2.3 Mecanismos de Flexibilização das metas do Protocolo de Quioto .....	25
3.3 Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) .....	26
3.3.1 Definição .....	26



3.3.2	Ciclo de Aprovação .....	27
3.3.3	Adicionalidade .....	28
3.3.4	Linha de Base.....	28
3.3.5	Metodologias .....	29
3.4	Os Resíduos Sólidos Urbanos e seu papel na redução das emissões de carbono.....	29
3.4.1	Resíduos Sólidos Urbanos: definição e composição .....	30
3.4.2	Definição e situação atual dos locais de deposição de resíduos sólidos no Brasil	31
3.4.3	Geração de biogás através da decomposição de matéria orgânica do RSU	33
3.4.4	O potencial de efeito estufa dos gases emitidos por aterros sanitários .....	36
3.4.5	Alternativas para diminuição do impacto ambiental causado pelos gases de aterro	37
3.4.6	A oportunidade presente em resíduos sólidos no Brasil.....	39
4	METODOLOGIA .....	41
4.1	Descrição das análises realizadas .....	42
5	AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS PROJETOS SELECIONADOS - CANHANDUBA E BELFORD ROXO .....	43
5.1	Metodologia utilizada para a restrição de escopo .....	43
5.2	Projeto do Aterro Sanitário Canhanduba .....	45
5.2.1	O aterro sanitário e sua localidade .....	46
5.2.2	Modificações técnicas implementadas .....	47
5.2.3	Cenário de Linha de Base .....	47
5.2.4	Fluxograma do projeto.....	48
5.3	Projeto de gás de aterro CTDR Bob Ambiental.....	48
5.3.1	O aterro sanitário e sua localidade .....	48
5.3.2	Modificações técnicas implementadas .....	50
5.3.3	Cenário de Linha de Base .....	50

5.3.4	Fluxograma do Projeto .....	52
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
6.1	Análise global dos projetos de MDL.....	52
6.1.1	Número total de projetos de MDL aprovados no mundo por ano (2004-2015) 53	
6.1.2	Volume de projetos aprovados por país-sede no período 2004-2015 .....	55
6.1.3	Metodologias principais empregadas por número de projetos 2004-2015	57
6.1.4	Redução Média de emissões por projeto ao longo do período 2004-2015	59
6.1.5	Número de partes envolvidas (Anexo I) nos projetos aprovados .....	60
6.2	Análises dos projetos de MDL no Brasil.....	62
6.2.1	Evolução histórica do número de projetos aprovados .....	62
6.2.2	Metodologias principais empregadas no Brasil por número de projetos 2004-2015 .....	63
6.2.3	Principais países do Anexo I envolvidos em projetos no Brasil, por número de projetos (2004-2015) .....	65
6.2.4	Número de outras partes envolvidas nos projetos aprovados até o momento no Brasil e evolução histórica da participação de países do Anexo I. ....	66
6.3	Análise econômica dos projetos de recuperação de gás de aterro no Brasil...	67
6.3.1	Aterro Sanitário de Canhanduba .....	67
6.3.2	Aterro de Belford Roxo .....	69
6.3.3	Análise da viabilidade dos projetos baseando-se na comercialização de CERs	70
7	CONCLUSÕES.....	72
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
9	REFERÊNCIAS .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logotipo da UNFCCC (Fonte:unfccc.org, 2015) .....	21
Figura 2 - Distribuição brasileira de serviço de coleta por área (adaptado de FUNDACE, 2012) .....	33
Figura 3 - Produtos formados nos aterros em cada uma das etapas de decomposição dos resíduos orgânicos (Adaptado de EPA, 2015) .....	35
Figura 4 - Dez principais países emissores de Metano proveniente de gás de aterro no mundo em 2010 (GMI, 2011) .....	36
Figura 5 - <i>flare</i> aberto (esquerda) e <i>flare</i> fechado (direita) (EPA, 2015).....	38
Figura 6 - Curva de custo de redução de gases do efeito estufa do Brasil projetada para 2030 <sup>9</sup> .....	40
Figura 7 - Oportunidades de redução de emissões em resíduos sólidos e seus respectivos custos.....	41
Figura 8 - Dados gerados pela extração do banco de dados da UNFCCC sem tratamento .....	42
Figura 9 - Layout da Página de Busca de Projetos da UNFCCC .....	44
Figura 10 - Projetos selecionados após aplicação dos três principais filtros, conforme exibição na base da UNFCCC .....	45
Figura 11(a) e (b) - (a) Localização geográfica do aterro de Canhanduca em Itajaí/SC; (b) Imagem aérea do aterro, de 2012.....	46
Figura 12 - Fluxograma de delineamento do limite do projeto, parâmetros de monitoramento, vazões mássicas e energéticas e equipamentos instalados .....	48
Figura 13 – Localização do aterro de Belford Roxo no Mapa da Região metropolitana do Rio de Janeiro (acima) e imagem aérea com representação das curvas de nível do CTDR Bob Ambiental.(abaixo) .....	50
Figura 14 - Fluxograma de delineamento do limite do projeto, parâmetros de monitoramento, vazões mássicas e equipamentos instalados.....	52
Figura 15 - Total de Projetos de MDL aprovados por ano (2004-2015) .....	53
Figura 16 - Acumulado de redução de emissões por projetos de MDL no período 2009-2015 (Adaptado de UNFCCC, 2015).....	54
Figura 17 - Preço médio de venda Spot por mês no período 2009-2015 (Adaptado de ICE, 2015) .....	55
Figura 18 - Principais países-sede de projetos de MDL, pelo critério de número de projetos aprovados no período 2004-2015.....	56
Figura 19 - Principais países-sede de projetos de MDL, pelo critério de total de toneladas de carbono aprovadas no período 2004-2015.....	57

Figura 20 - Principais metodologias empregadas nos projetos de MDL no mundo .....	58
Figura 21 - Redução média de emissões de carbono anuais dos projetos de MDL aprovados por ano, no período 2005-2014 .....	60
Figura 22 - Número de outras partes envolvidas (Anexo I) nos projetos de MDL no período 2004-2015.....	61
Figura 23 - Evolução do número médio de outras partes envolvidas (Anexo I) nos projetos de MDL (2005-2015) .....	62
Figura 24 - Total de Projetos de MDL aprovados por ano no Brasil (2004-2015) .....	63
Figura 25 - Principais metodologias empregadas nos projetos de MDL aprovados no Brasil, pelo critério de número de projetos (2004-2015).....	64
Figura 26 - Principais países do Anexo I em colaboração com projetos de MDL desenvolvidos no Brasil (2004-2015) .....	65
Figura 27 - Percentual de projetos aprovados por número de outras partes envolvidas (2004-2015).....	66
Figura 28 - Número médio de outras partes envolvidas em projetos aprovados por ano no Brasil (2004-2015).....	67

Tabela 1 - Compromissos de Emissão Explicitados pelo Anexo B do Protocolo e Quioto .....	24
Tabela 2 - Composição gravimétrica dos RSUs coletados no Brasil em 2008.....	31
Tabela 3 - Emissões de gases incluídas nos limites do projeto para o cenário de linha base do aterro de Canhanduba.....	47
Tabela 4 - Emissões de gases incluídas nos limites do projeto para o cenário de linha base do aterro de Belford Roxo .....	51
Tabela 5 - Principais países-sede de projetos que utilizam ACM0002 e AMS-I.D. ....	58
Tabela 6 - Cálculo de VPL do Projeto de Canhanduba.....	69
Tabela 7 - CERs emitidos anualmente pelo Aterro de Canhanduba.....	69
Tabela 8 - Cálculo de VPL do Projeto da Bob Ambiental .....	70
Tabela 9 - CERs emitidos anualmente pelo Aterro da Bob Ambiental .....	70
Tabela 10 - Valores obtidos através da Comercialização de CERs no Mercado de Carbono em diferentes cenários de preço, para ambos os projetos .....	71
Tabela 11 - VPLs finais obtidos com a comercialização esperada de CERs advindos da atividade de Projeto.....	71

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1- Países pertencentes ao Anexo I da UNFCCC .....	22
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.2 Apresentação do Tema e Justificativa do Trabalho

Trabalhos diversos relacionados à natureza antropogênica do aquecimento global tem sido realizados nas últimas décadas <sup>1</sup>. O uso indiscriminado de fontes de energia combustíveis e não-renováveis desde a primeira revolução industrial, como o carvão e o petróleo, acabou por transferir uma parcela significativa de carbono outrora preso à crosta terrestre para a atmosfera, alterando apontam cada vez mais contundentemente para o regime de absorção de energia do planeta. Nos últimos 150 anos, a concentração média de diversos gases de efeito estufa (GEE) aumentou significativamente, resultando em um aumento acumulado de 0,8°C na temperatura média global, no período 1880-2012 <sup>1</sup>.

Diversas medidas reparadoras em relação à questão do aquecimento global antropogênico foram pensadas desde que o problema foi levantado pela primeira vez, em 1896, por Arrhenius <sup>2</sup>. O caminho mais intuitivo seria a alteração direta da matriz energética global, rumo à adoção de alternativas não-emissoras de GEEs, evitando o impacto gerado pela utilização de fontes fósseis. Dentre as alternativas, é possível citar a geração de energia eólica, nuclear, hidrelétrica, solar, de biomassa, dentre outras <sup>3</sup>. Além dessas medidas, a mitigação de queimadas, utilização mais adequada de fertilizantes, alterações nas técnicas pecuárias e gestão adequada de resíduos urbanos e industriais poderiam alavancar ainda mais essa redução globalmente.

Com o acontecimento da conferência Eco 92, conferência realizada no Rio de Janeiro com o intuito de discutir iniciativas globais para a mitigação de danos ao meio ambiente, a questão ambiental passa a ter um papel central na agenda geopolítica/econômica global, surgindo assim propostas de implementação de incentivos para que países desenvolvidos diminuam suas emissões de maneira flexível. Com o início do período em vigor do Protocolo de Quioto, em 2005, surgem também os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permitem que países em desenvolvimento colaborem com a flexibilização das metas de redução de países signatários constantes no Anexo I <sup>4</sup>.

O Brasil, desde então, vem demonstrando papel pioneiro com sua participação na *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), organismo da ONU que visa regular a mudança climática em todo o mundo, sendo o primeiro país a sediar um projeto de MDL <sup>5</sup>, além de ser hoje o terceiro principal país em números de projetos e

total de reduções de emissão de carbono <sup>6</sup>. Dentre as colaborações aprovadas para o Brasil, diversas se encontram na gestão de resíduos sólidos, uma das cinco principais causas de emissões no país <sup>7</sup>. Pode-se citar, como caso modelo, o aterro Novagerar, no município de Nova Iguaçu, primeiro projeto de MDL a gerar créditos de carbono certificados pela UNFCCC.<sup>8</sup>

Dentre as principais oportunidades presentes no Brasil para a redução de suas emissões de carbono figuram a redução do desflorestamento, substituição da frota de transportes, majoritariamente rodoviária, e redução de geração/emissão de gases provenientes do descarte de resíduos sólidos urbanos. Combinando o reaproveitamento de gases de aterro, a reciclagem, reuso e compostagem, as oportunidades nesse setor representam 53 MtCO<sub>2e</sub>, sendo possível para o país neutralizar todas as emissões decorrente do setor, segundo relatório da McKinsey <sup>9</sup>.

Dada a posição central da gestão de resíduos sólidos no Brasil, bem como diversos casos de sucesso já implementados nesta área e a grande lacuna a ser preenchida, é de se esperar que uma avaliação detalhada da situação tecnológica, política e econômica desses projetos seja realizada, com o intuito de manter o Brasil numa posição de destaque no mercado de carbono global.

Este trabalho, portanto, pretende fornecer um panorama detalhado da situação dos projetos de MDL vigentes no Brasil, com maior foco nos projetos que envolvam a gestão de resíduos sólidos, fazendo um estudo de caso comparativo entre os aterros de Canhanduba, em Santa Catarina, e o aterro da Bob Ambiental, em Belford Roxo, no estado do Rio de Janeiro. Além da comparação entre ambos, serão analisadas oportunidades alternativas de melhoria, bem como será realizada um estudo da atratividade da atividade de MDL dado o cenário atual do mercado de créditos de carbono, com uma avaliação de perspectivas futuras.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo delinear os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no cenário global atual, traçando um perfil observado ao longo do período de pouco mais de uma década nos quais os mesmos vêm sendo conduzidos, aplicando a

esse contexto uma análise de dois projetos de captura de gás de aterro no Brasil, através de uma análise de viabilidade dos mesmos.

## 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento do estado-da-arte de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo no Mundo;
- Traçar um panorama do mercado de carbono, compreendendo sua evolução histórica e situação atual de negociação de papéis;
- Compreender a real prática de implementação de projetos de MDL, comparando-a com a concepção inicial da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC);
- Situar a posição do Brasil como país-sede de projetos de MDL, compreendendo o escopo dos principais projetos aqui realizados e seus principais colaboradores do Anexo I;
- Antecipar tendências para os projetos de MDL no Brasil e no Mundo;
- Analisar dois projetos selecionados, buscando observar semelhanças e discrepâncias presentes dentro de um mesmo nicho, aplicando as condições atuais a este grupo restrito de projetos, compreendendo as implicações econômicas dos mesmos.

## 2.3 Estrutura

Com o intuito de conduzir esse desenvolvimento de maneira racional e progressiva, dar-se-á início ao mesmo através de uma revisão bibliográfica, que endereçará, respectivamente: a questão do aquecimento global; As ações globais no sentido de mitigar o mesmo; os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo; o Mercado de Créditos de Carbono; A gestão de resíduos sólidos e seu papel na redução das emissões de carbono; Aterros sanitários e o reaproveitamento do Biogás; a Metodologia ACM0001.

Posteriormente, no capítulo seguinte, a atual situação dos projetos de MDL para redução de emissões em todo o mundo é descrita, através de uma análise do mercado e de extrações realizadas na base da UNFCCC.



Faz-se, em seguida, uma descrição da metodologia utilizada para restringir os projetos de MDL vigentes no Brasil e no mundo para aqueles escolhidos para análise. Em seguida, as características dos aterros de Belford Roxo e Canhanduba são esmiuçadas, comparadas em diversas dimensões, como geografia, retorno econômico, tecnologia empregada, dentre outras.

À luz das características do mercado desenvolvidas anteriormente, os projetos escolhidos são avaliados quanto a suas rentabilidades para os anos subsequentes. Combinando dados de custos fixos e variáveis presentes no DCP com projeções para o mercado de carbono, faz-se possível uma análise de sensibilidade da atratividade de projetos que utilizem a metodologia ACM0001 no contexto Brasileiro.

Por fim, conclusões gerais e específicas são apontadas, com base nos dados obtidos ao longo do projeto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

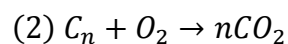
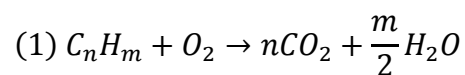
#### 3.1 O problema do aquecimento global

Durante milhares de anos a atividade antrópica no planeta terra ocorreu com pouco ou nenhum impacto significativo à dinâmica climática global. Sociedades majoritariamente centradas em práticas artesanais, técnicas agrícolas não-intensivas e locomoção por tração animal impediam a grande concentração populacional e geravam uma perturbação ambiental sem danos que extrapolassem a esfera local. <sup>10</sup>

Com o advento da revolução industrial, significativas alterações no modo de vida humano começam a se estabelecer. As manufaturas assumem o protagonismo da produção de bens de consumo, substituindo a mão humana como principal força motriz da produção. O novo combustível da sociedade passa a ser o carvão <sup>11</sup>.

Anos mais tarde, em meados do século XX, o petróleo começa a figurar como principal combustível para a locomoção humana, substituindo o carvão também para navegações e para a geração de energia em alguns países. O estabelecimento de uma rede sólida de distribuição aliada às descobertas de novas jazidas abundantes, como as do Texas e do Golfo Pérsico, tornaram este uma fonte confiável e barata de geração energética, paralelamente ao desenvolvimento do gás combustível <sup>12</sup>.

Dada a origem fóssil das fontes de energia supracitadas, um fato inerente à adoção das mesmas foi o aumento da emissão de carbono outrora confinado na crosta terrestre. As reações básicas exotérmicas decorrentes da combustão destas três fontes são explicitadas abaixo, nas equações 1 e 2, correspondentes à queima de hidrocarbonetos e carvão, respectivamente:



A poluição em escala global foi, durante mais de um século, negligenciada em face aos problemas mais relevantes, como os de poluição local. Problemas de saúde pública e estéticos tornaram-se evidentes mais cedo que o aumento concentração de carbono na atmosfera. Apesar disso, estudos relevantes que ligavam a atividade antrópica ao potencial aumento da temperatura do planeta já estavam disponíveis desde o século XIX <sup>13,14</sup>.

Em 1824, Fourier observou em seu estudo *“Remarques Générales sur les Températures Du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires”* que a terra seria bem mais fria na ausência de uma atmosfera composta de gases como o CO<sub>2</sub> e vapor d’água.<sup>15</sup> Seu estudo é suportado posteriormente pela publicação de Tyndall, *“On Radiation through the Earth's Atmosphere”*, que demonstra que alguns gases bloqueavam a radiação na frequência do infravermelho. Sugere-se, pela primeira vez, que uma alteração na concentração relativa desses gases poderia alterar a dinâmica de absorção energética terrestre, levando a mudanças no clima <sup>16</sup>.

Trabalhos posteriores, desenvolvidos por Arrhenius em 1896 e Chamberlin em 1897, ajudaram a elucidar o papel fundamental do CO<sub>2</sub> como agente de regulação climática de longo prazo. Estimativas iniciais previam que, no cenário em que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> fosse o dobro das observadas para a época, a temperatura do planeta subiria entre 5 e 6°C. Em um cenário alternativo, em que a concentração média de CO<sub>2</sub> fosse metade da observada, o planeta poderia encaminhar-se para uma era glacial, mostrando o real poder regulatório do clima associado ao gás. Quantificações de Chamberlin demonstraram que o total de carbono presente em rochas, oceanos e reservatórios orgânicos como florestas mantém ciclos de milhares de anos cujo papel é central no processo de regulação climática.<sup>17</sup>

Diversos outros estudos foram publicados ao longo das primeiras décadas do século XX, corroborando a tese de que há potencial natureza antropogênica no acúmulo de CO<sub>2</sub> atmosférico. Tendências de aquecimento global começam a ser reportadas já na década de 1930. <sup>18</sup> As décadas de 1950, 1960 e 1970 foram permeadas pelo aumento da preocupação da opinião pública com a questão ambiental e popularização do movimento ambientalista. As crises do petróleo nos anos de 1973 e 1979 tornaram outras alternativas de geração energética atrativas e fortaleceram medidas governamentais no sentido de alterar a dependência de combustíveis fósseis.

3.1.1 Principais gases estufa e seus respectivos potenciais de aquecimento global

3.1.2 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

O dióxido de carbono é um gás triatômico abundante na atmosfera e superfície terrestres, sendo um dos principais produtos advindos da oxidação completa de matéria orgânica, junto com a água. Sua emissão representou 82% das emissões antropogênicas de gases estufa nos EUA em 2013 <sup>19,20</sup>.

Dentre as principais fontes de emissões de CO<sub>2</sub>, pode-se apontar a queima de combustíveis fósseis com o intuito de geração energética e locomoção, queimadas, decomposição de matéria orgânica e atividades vulcânicas.<sup>1</sup>

O dióxido de carbono faz parte de um ciclo natural presente na terra, o ciclo do carbono. Sua concentração atmosférica tende a se manter relativamente constante ao longo dos séculos, com pequenas variações devido a excessiva atividade vulcânica. Entretanto, a queima de carbono outrora preso à crosta terrestre sob o formato de carvão ou petróleo a partir da primeira revolução industrial gerou notável desequilíbrio em sua concentração atmosférica.<sup>1</sup>

Por conta de seu protagonismo como gás de efeito estufa (GEE), o CO<sub>2</sub> é utilizado como referência para o cálculo do *Global Warming Potential* (GWP), um índice que permite a realização de equivalência entre os diversos GEEs, baseando-se em quanto calor o mesmo retém na atmosfera. O CO<sub>2</sub> possui GWP de 1, e todos os outros gases têm seu valor de GWP calculado em relação a esta referência <sup>20</sup>.

### 3.1.3 Metano (CH<sub>4</sub>)

O Metano é um gás de ocorrência natural em jazidas fósseis, de natureza apolar. Sua emissão por ação antropogênica ocorre majoritariamente durante: o transporte de carvão, gás natural e petróleo; atividade pecuária, através de emissão de produto fermentativo no intestino de animais como vacas e porcos; atividades agrícolas, principalmente ligadas ao uso de fertilizantes; processo de decomposição natural de resíduos sólidos urbanos orgânicos. 60% das emissões globais de CH<sub>4</sub> são oriundas de ação antrópica.<sup>21</sup> Sua ocorrência natural se dá em boa parte devido à ação de bactérias anaeróbias decompondo matéria orgânica em geral.

Apesar de ser emitido em quantidades muito inferiores àquelas observadas para o dióxido de carbono, o CH<sub>4</sub> possui maior absorção de radiação na faixa do infravermelho, além de uma permanência na atmosfera mais prolongada, de 11,2 anos<sup>1</sup>. Seu GWP calculado é de 25<sup>1</sup>, o que leva suas emissões a contribuírem com 10% de todo CO<sub>2</sub>e emitido anualmente nos EUA <sup>20</sup>.

### 3.1.4 Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

O óxido nitroso é um gás triatômico polar, presente na atmosfera como parte do ciclo natural do nitrogênio. A atividade humana, entretanto, pode alterar sua concentração atmosférica, causando desequilíbrios nesse ciclo.<sup>20</sup>

Dentre as atividades antrópicas que podem gerar emissões de N<sub>2</sub>O, é possível citar, principalmente: atividade agropecuária, devido ao uso de fertilizantes sintéticos que decompõem-se no gás e devido à degradação de fezes e urina do gado; transporte através de veículos a combustão interna, devido a reações de oxidação no N<sub>2</sub> atmosférico; atividade industrial, como subproduto da produção de ácido nítrico e ácido adípico, utilizado para confeccionar fibras como o Nylon.<sup>20</sup> Nos EUA, a maior parte das emissões de N<sub>2</sub>O (74%) são oriundas da utilização do solo.

Seu tempo de permanência médio na atmosfera é de 131 anos<sup>1</sup>. Seu GWP é de 298<sup>1</sup>, demonstrando poder bem elevado de absorção e resiliência na atmosfera. Suas emissões representam 5% do total de emissões de GEEs dos EUA em 2013 <sup>20</sup>.

### 3.1.5 Gases halogenados

Gases halogenados possuem altos valores de GWP, podendo em alguns casos serem até 22 mil vezes mais potentes que o CO<sub>2</sub>. Entretanto, desde o Protocolo de Montreal, que regulou a emissão dos mesmos, suas emissões decresceram significativamente desde os anos 1990.<sup>1</sup> Por representarem uma parcela reduzida das emissões globais e não serem o foco do presente trabalho, estes não serão abordados em maior profundidade.

## 3.2 Iniciativas para endereçar o problema

### 3.2.1 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

A UNFCCC é um tratado internacional, negociado durante a ECO-92, no Rio de Janeiro. É, atualmente, a única política de ação global contra mudanças climáticas, dado que a mesma conta com 196 países ratificantes <sup>22</sup>. Sua assinatura ocorreu no dia 4 de Junho de 1992, estando em vigor desde 21 de março de 1994.

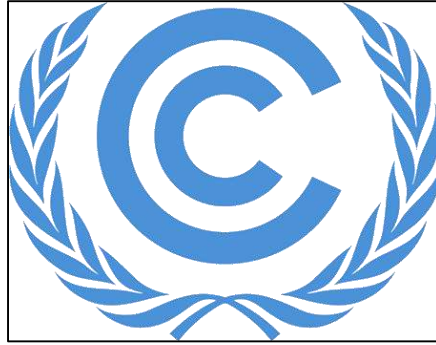


Figura 1 - Logotipo da UNFCCC (Fonte:unfccc.org, 2015)

O objetivo do tratado é “estabilizar as concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera para níveis que previnam interferência humana perigosa no sistema climático”<sup>23</sup>. Apesar disso, o tratado da UNFCCC em si não determina limites para as emissões de gases estufa de seus signatários e não prevê quaisquer mecanismos de controle. O tratado prevê, entretanto, diretrizes para negociação de tratados internacionais específicos, denominados “Protocolos”, que podem determinar limites de emissões.

Anualmente os participantes da UNFCCC se reúnem nas *Conference of Parties*, ou COPs, para determinar o progresso obtido até o momento e rever políticas à luz dos desenvolvimentos políticos, econômicos científicos mais recentes.<sup>24</sup>As partes signatárias da UNFCCC são atualmente agrupadas de diferentes, tendo obrigações distintas perante a mesma, dependendo de sua classificação. São estes grupos:<sup>25</sup>

- *Anexo I* – Há 43 partes signatárias pertencentes ao Anexo I, dentre elas os países da União Europeia. É composta por países classificados como “Industrializados”, ou, “Desenvolvidos” e “Economias em Transição” (EITs). As 14 EITs são países que foram parte da antiga União Soviética.
- *Anexo II* – Há 24 partes signatárias pertencentes ao Anexo II, incluindo países da União Europeia. Este é composto por membros da OCDE. Seu papel no tratado é prover suporte técnico e financeiro para as EITs e países em desenvolvimento para que os mesmos consigam reduzir suas emissões e gerenciar seu impacto no clima.

- *Anexo B* – Países do Anexo B são países do Anexo I com metas de emissão de gases estufa estabelecidas durante o primeiro ou segundo períodos de comprometimento ?? do Protocolo de Quioto. Mais detalhes sobre o Protocolo são apresentados na seção seguinte.
- *Países Menos Desenvolvidos (LDCs)* – São 49 signatários dentre os LDCs. Estes possuem capacidade limitada de redução de emissões de carbono, devido a índices de desenvolvimento humano e desenvolvimento socioeconômico significativamente abaixo da média global, e por conta disso têm um status especial dentro do tratado.
- *Não-Anexo I* – Países que não se encaixam em nenhuma das classificações supracitadas. Sua composição é de países em desenvolvimento com baixa renda per capita. Os países em desenvolvimento podem aplicar para tornarem-se países do Anexo I quando assim acharem adequado. O Brasil é um país Não-Anexo I.

Uma lista dos países pertencentes ao Anexo I da UNFCCC pode ser observada no Quadro 1<sup>26</sup>:

Quadro 1- Países pertencentes ao Anexo I da UNFCCC

 Australia*	 EU*	 Liechtenstein	 Russian Federation**
 Austria	 Finland*	 Lithuania**	 Slovakia**
**	 France*	 Luxembourg*	 Slovenia**
 Belgium*	 Germany*	 Malta	 Spain*
 Bulgaria**	 Greece*	 Monaco	 Sweden*
 Canada*	 Hungary**	 Netherlands*	 Switzerland*

 Croatia**	 Iceland*	 New Zealand*	 Turkey
 Cyprus	 Ireland*	 Norway*	 Ukraine**
 Czech Republic**	 Italy*	 Poland**	 United Kingdom*
 Denmark*	 Japan*	 Portugal*	 United States of America*
 Estonia**	 Latvia**	 Romania**	

(\*) – Países do Anexo II; (\*\*) – Países com Economias em Transição (EITs)

Dentro desta estrutura de negociação, foi estabelecido o Protocolo de Quioto, que obrigaria países desenvolvidos a reduzirem suas emissões de carbono através de metas pré-estabelecidas.

### 3.2.2 Protocolo de Quioto<sup>23</sup>

No dia 11 de Dezembro de 1997 foi estabelecido o Protocolo de Quioto, tratado-filho da UNFCCC que determina metas de emissão de gases do efeito estufa para países desenvolvidos, sob as premissas de que o aquecimento global existe e que é antropogênico. Este entrou em efeito em 16 de fevereiro de 2005, e está em vigor desde então. Atualmente há 192 partes signatárias.<sup>27</sup>

Cada umas das partes signatárias do Anexo I disponibilizou, à data da COP que ratificou o protocolo de Quioto, um inventário das suas emissões durante o ano de 1990, de modo a servir de linha de base para as reduções propostas para o primeiro período de comprometimento do protocolo, de 2008 a 2012. Países com economias em transição (EITs) puderam utilizar, como cenário de linha de base, dados de emissão para anos posteriores, de modo a ajustar suas emissões a um patamar mais adequado para o modelo econômico que desenvolveriam durante o período de comprometimento.

Com base nas linhas de base determinadas pelos inventários, cada um dos países assumiu o compromisso de manter suas emissões num patamar percentual àquelas durante o primeiro período de comprometimento estabelecido, de acordo com os valores



especificados pelo Anexo B do Protocolo. Esses valores foram acordados durante a COP-1 da UNFCCC, realizada em 1995 em Berlim.

Tabela 1- Compromissos de Emissão Explicitados pelo Anexo B do Protocolo e Quioto

<b>Parte</b>	<b>Compromisso de emissões (% do ano base)</b>	<b>Parte</b>	<b>Compromisso de emissões (% do ano base)</b>
Australia	108	Liechtenstein	92
Austria	92	Lithuania*	92
Belgium	92	Luxembourg	92
Bulgaria*	92	Monaco	92
Canada	94	Netherlands	92
Croatia*	95	New Zealand	100
Czech Republic*	92	Norway	101
Denmark	92	Poland*	94
Estonia*	92	Portugal	92
European Community	92	Romania*	92
Finland	92	Russian Federation*	100
France	92	Slovakia*	92
Germany	92	Slovenia*	92
Greece	92	Spain	92
Hungary*	94	Sweden	92
Iceland	110	Switzerland	92
Ireland	92	Ukraine*	100
Italy	92	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	92
Japan	94	United States of America	93
Latvia*	92		

O inventário das emissões gerais de gases foi realizado para os quatro principais gases estufa antropogênicos: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>); e para dois grupos de gases: os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorocarbonos (PFCs). As emissões dos seis gases são traduzidas em termos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>) para o cálculo final acumulado, através do GWP <sup>28</sup>.

Com o intuito de atingir os objetivos determinados no Anexo B, os signatários poderiam tomar não só ações que visam à redução da emissão de gases estufa – diminuindo assim o número/volume de fontes emissoras – como também medidas para aumentar o sequestro desses gases através do aumento do volume de sumidouros, com, por exemplo, reflorestamento e/ou Captura e Estocagem de Carbono (CCS). Combinadas, essas políticas levaram ao desenvolvimento dos Mecanismos Flexíveis, que permitiriam a adoção de medidas não só dentro do país do Anexo B, como também fora deste, e estimulariam o desenvolvimento do mercado global de carbono.<sup>23</sup>

### 3.2.3 Mecanismos de Flexibilização das metas do Protocolo de Quioto

Há três principais mecanismos previstos pelo Protocolo de Quioto que permitem que países do Anexo B atinjam suas metas de emissões de maneira mais flexível. Eles passam pelo pressuposto de que alguns países possuem condições de reduzir suas emissões a um custo menor, e que a redução de 1 ton CO<sub>2e</sub> reduzida por estes países tem o mesmo potencial de impacto que 1 ton CO<sub>2e</sub> reduzida por países cuja redução é mais cara <sup>29</sup>.

Para participar nestes mecanismos de flexibilização, os países devem cumprir com os critérios de elegibilidade, que são:

- Ter ratificado o Protocolo de Quioto;
- Ter calculado suas emissões em termos de CO<sub>2e</sub>;
- Ter um sistema nacional de estimativa de medição de emissão e remoção dos GEEs da atmosfera;
- Reportar anualmente essas informações ao secretariado da UNFCCC.

As toneladas de carbono são comercializadas sob a forma de Unidades, cada uma com suas particularidades:

- *Assigned Amount Units* (AAUs) – Emitidas por países que ficarem abaixo de suas metas de emissão conforme previsto pelo Anexo B
- *Removal Units* (RMUs) – Emitidas por conta do sequestro de carbono obtido através do uso da terra
- *Emission Reduction Units* (ERUs) – Emitidas por projetos de Implementação Conjunta
- *Certified Emissions Units* (CERs) – Geradas pelas atividades de projetos aprovados de MDL

Os três mecanismos disponíveis para a obtenção dessas unidades são descritos abaixo:

30

- a. Comércio de Emissões Internacional (IET) – O esquema de compra e venda de emissões internacional foi estabelecido permitindo que países que possuíssem excedentes em suas metas de emissões negociassem esses excedentes com países que estivessem prestes a passar de suas metas. Trata-se, portanto, de um mecanismo intergovernamental, baseado na comercialização de AAUs entre países do Anexo B, com metas de emissões.
- b. Implementação Conjunta (JI) – Os mecanismos de implementação conjunta são mecanismos baseados em projetos previstos no Artigo 6 do Protocolo de Quioto, nos quais um país do Anexo I investe em projetos de redução de emissões de carbono em um outro país do Anexo I. As reduções geradas por esses projetos geram ERUs para o país investidor.
- c. Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (CDM/MDL) – Os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo também são baseados em projetos, com o intuito de obtenção de CERs. Dado que os mesmos são o foco de estudo do presente trabalho, há uma sessão em seguida que explica as particularidades do mesmo.

### 3.3 Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL)

#### 3.3.1 Definição

Os projetos de MDL são um mecanismo flexível previsto no artigo 12 do Protocolo de Quioto, que permitem aos países do Anexo B obter créditos de redução de emissões certificadas (CERs), onde cada CER equivale a 1 tCO<sub>2</sub>e reduzida através da implementação de iniciativas que reduzam emissões em países Não-Anexo I.

Esses certificados podem ser vendidos, comprados e trocados, além de ser utilizados por países industrializados para atingir suas metas de emissão. Em paralelo a este objetivo, os projetos de MDL buscam fomentar o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento, através da transferência de tecnologia por parte dos países do Anexo I.

A justificativa econômica para implementar essas iniciativas em países em desenvolvimento se daria pelo argumento de que a redução das emissões nestes países se daria com um menor custo médio do que nos países do Anexo I. Além disso, países em desenvolvimento têm uma projeção bem acelerada de crescimento para as próximas décadas, e a adoção de caminhos mais sustentáveis para esse desenvolvimento – através da escolha de matrizes energéticas mais limpas, por exemplo – poderia ter impacto significativo no futuro das emissões globais.

Sua implementação começou a se popularizar entre os anos de 2005 e 2006, sendo o registro do primeiro projeto de MDL aprovado no mundo foi o projeto de recuperação energética de gás de aterro NovaGerar, no Brasil, ocorrido em 18 de Novembro de 2004<sup>5</sup>.

Atualmente o mundo conta com 7649 projetos de MDL aprovados, que geram pouco mais de 1GtCO<sub>2</sub>e anuais de redução. Um panorama detalhado do perfil desses projetos, bem como uma avaliação da evolução histórica dos mesmos pode ser contemplada na seção 5.1 – Análise global dos projetos de MDL.

### 3.3.2 Ciclo de Aprovação

Os projetos de MDL passam por estrita regulação, e possuem passos específicos para que a redução gerada seja convertida oficialmente em CER's pela UNFCCC<sup>31</sup>. Essas etapas são descritas abaixo, que compreendem um Ciclo Completo de aprovação:

- a. Design de Projeto – Um Documento de Concepção de Projeto (DCP, ou, PDD em inglês) deve ser elaborado nos moldes requeridos pela UNFCCC. Caso uma metodologia já estabelecida seja escolhida, o DCP pode ser enviado diretamente para registro/aprovação. Caso uma nova metodologia deva ser estabelecida para o projeto, faz-se necessária a aprovação prévia da metodologia utilizada pra que o DCP possa ser enviado para registro. O DCP descreve em detalhes a metodologia que está sendo empregada, qual é o cenário base utilizado para o

cálculo das emissões, além de fazer uma análise econômica do projeto durante seu tempo de vida.

- b. Aprovação Nacional – A Autoridade Nacional Designada (AND, ou, DNA em inglês) do(s) país(es) envolvido(s) deve submeter uma carta à UNFCCC contendo:
  - i. Declaração de que o país assinou o Protocolo de Quioto
  - ii. Declaração de participação voluntária
  - iii. Além disso, a AND do país-sede deve declarar que as atividades do projeto contribuem para o desenvolvimento sustentável.
- c. Validação – As atividades do projeto são validadas por uma entidade operacional designada (EOD ou DOE, em inglês) independente.
- d. Registro – Uma vez validada pela EOD, o registro ocorre, formalizando a aceitação do projeto pelo conselho executivo da UNFCCC como uma atividade de MDL. Nesta etapa, pode haver veto ou requisição de revisões por parte dos membros do comitê executivo.
- e. Monitoramento – As emissões do projeto são monitoradas de acordo com a metodologia descrita no DCP
- f. Verificação – A EOD confirma que as reduções foram de fato atingidas, na quantidade declarada, de acordo com o plano de monitoramento aprovado. Ocorre então a emissão da Certificação por parte da EOD.
- g. Emissão dos CERs – O comitê executivo da UNFCCC dá a aprovação para a emissão dos CERs para o projeto. Mais uma vez, pode haver veto ou pedidos de revisão pelo comitê executivo.

### 3.3.3 Adicionalidade

Com o intuito de evitar a aprovação de projetos que seriam atrativos mesmo sem o envolvimento dos CERs gerados pela acreditação da UNFCCC, é utilizado o conceito de adicionalidade. Para ser aprovado, o projeto deve demonstrar que a redução de emissões sem a intervenção criada pelo MDL seria menor do que aquela obtida com a aprovação do mesmo.

### 3.3.4 Linha de Base

A linha de base estabelece um base comparativa que dita sobre qual cenário a redução das emissões deve ser calculada. Esta construção por diversas vezes passa por previsão de cenários hipotéticos e pode agregar dados de projetos já aprovados que se valem de condições semelhantes. A verificação pelas EODs independentes serve para verificar

que não há superestimação do cenário de base, que poderia levar à emissão de mais CERs do que de fato as atividades do projeto geram. Há uma série de metodologias de determinação de linhas de base já estabelecidas.

### 3.3.5 Metodologias

Todo projeto proposto de MDL deve ter vinculada a seu DCP ao menos uma metodologia de linha de base e monitoramento aprovadas. A metodologia de linha de base descreve um procedimento para que o cenário abordado seja o mais fidedigno e reprodutível possível, enquanto a metodologia de monitoramento descreve parâmetros de monitoramento, controle de qualidade e equipamentos a serem utilizados com o intuito de realizar o cálculo de emissões.

Há uma codificação específica pra classificar metodologias, como segue:

- AM – Metodologia Aprovada (*Approved Methodology*)
- ACM – Metodologia Consolidada Aprovada (*Approved Consolidated Methodology*)
- AMS – Metodologia aprovada para projetos de pequena escala (*Approved Methodology for Small Scale Projects*)
- ARAM – Metodologia Aprovada de Reflorestamento e Aflorestamento (*Aforestation and Reforestation Approved Methodology*)

Todas as metodologias de linha de base estão disponíveis publicamente para consulta em detalhe no site da UNFCCC <sup>32</sup>, além de haver também um lista resumida de todas elas <sup>33</sup>.

3.4 Os Resíduos Sólidos Urbanos e seu papel na redução das emissões de carbono  
Atualmente a produção anual de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) é de aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas, havendo estimativas de que esse número atinja o patamar de 2,2 bilhões até 2025. Já no Brasil, a produção de RSUs é de aproximadamente 63 milhões de toneladas, segundo dados de 2012 da Abrelpe <sup>34</sup>. Esse valor representa uma produção anual *per capita* de 383kg de lixo, ligeiramente abaixo da média global, de 438 kg/hab/ano<sup>35</sup>. O valor também é bem próximo à média latino-americana, de 402kg/hab/ano e pouco menos da metade do valor médio observado para países da OCDE, de 803kg/hab/ano.

Dado que o Brasil é, atualmente, o quinto maior país do mundo em população segundo a ONU <sup>35</sup>, além de ser a sétima maior economia mundial, também segundo o *World Bank* <sup>36</sup>, pode-se afirmar que o país consegue gerar um volume considerável de riqueza com um impacto ambiental bem reduzido, no que tange à geração de resíduos urbanos. Entretanto, boa parte desses resíduos ainda recebe uma destinação inadequada, potencializando o dano ambiental. Uma descrição mais detalhada das questões associadas à gestão dos resíduos sólidos no Brasil, bem como a problematização da gestão de emissões de carbono nesse contexto são descritas nos itens apresentados a seguir.

#### 3.4.1 Resíduos Sólidos Urbanos: definição e composição

Segundo definição da ABNT, presente na NBR 10.004:2004, Resíduos Sólidos são aqueles que:

*“[...]resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”*

Nesse contexto, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) são os materiais resultantes da atividade doméstica e comercial de aglomerações urbanas. No Brasil, mais da metade do descarte é composto por matéria orgânica, conforme levantamento realizado apresentado no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, realizado pelo IBGE em 2008 <sup>37</sup>, tal qual pode-se observar na Tabela XX, abaixo:

Tabela 2 - Composição gravimétrica dos RSUs coletados no Brasil em 2008

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
<b>Material reciclável</b>	<b>31,9</b>	<b>58.527,40</b>
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
<b>Matéria orgânica</b>	<b>51,4</b>	<b>94.335,10</b>
<b>Outros</b>	<b>16,7</b>	<b>30.618,90</b>
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>183.481,50</b>

A composição e a quantidade diária produzida de RSUs varia significativamente de país para país ou até mesmo dentro diferentes regiões de um país, estando intimamente relacionada com o padrão de consumo observado pela população da área.

3.4.2 Definição e situação atual dos locais de deposição de resíduos sólidos no Brasil  
A disposição dos RSUs, em um cenário ideal, deve ocorrer em ambientes controlados aterros sanitários, nos quais há a possibilidade de realizar separação para reciclagem e controle/monitoramento do fluxo de resíduos e subprodutos originados do processo de decomposição dos mesmos. Entretanto, em diversos países a destinação desse material se dá de forma inadequada, ocorrendo em lixões ou aterros controlados. No Brasil, a situação está muito aquém da ideal, vislumbrada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com apenas 58% dos resíduos sendo descartados em aterros sanitários adequados, conforme relatório da ABRELPE <sup>37</sup>:



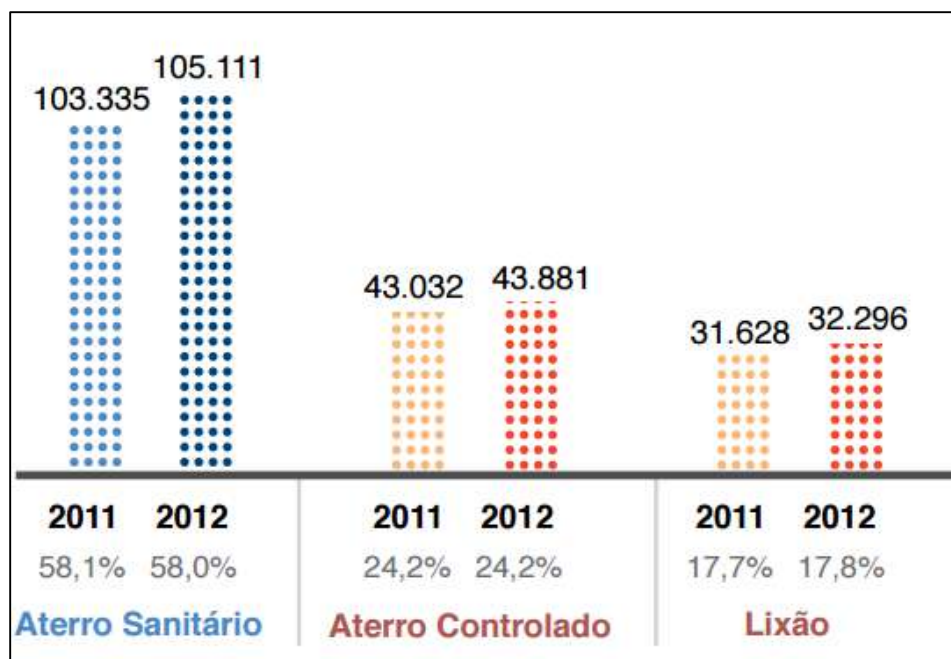


Figura 2 - Destinação de RSUs no Brasil nos anos de 2011 e 2012

Além de representar um número bem distante do ideal almejado pelo Ministério do Meio Ambiente, a concentração dos aterros sanitários é desigual ao longo do país, estando concentrada majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste:

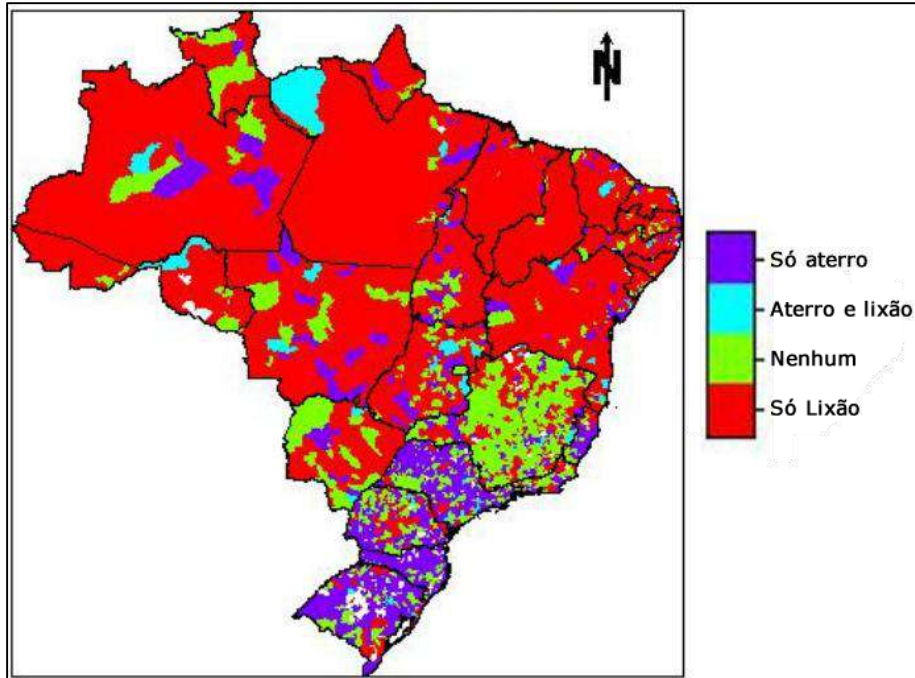


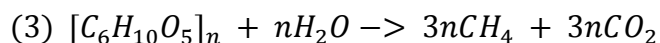
Figura 2 - Distribuição brasileira de serviço de coleta por área (adaptado de FUNDACE, 2012)

### 3.4.3 Geração de biogás através da decomposição de matéria orgânica do RSU

Os componentes orgânicos presentes nos RSUs tornam-no uma espécie de reator bioquímico, realizando a decomposição de moléculas complexas de alto peso molecular em moléculas menores, orgânicas ou inorgânicas. Seus insumos são os resíduos e água, enquanto seus produtos podem ser interpretados como o chorume (líquido de aspecto escuro rico em moléculas orgânicas e nutrientes) e gases.

Há dois principais processos microbiológicos concomitantes de decomposição da matéria, que ocorrem em maior ou menor grau dependendo das condições do processo: o primeiro deles é a decomposição aeróbia, que tende a ocorrer preponderantemente durante os primeiros dias de decomposição e nas camadas mais exteriores do aglomerado de resíduos. O segundo processo é a decomposição anaeróbia, que ocorre devido à ausência de oxigênio para que microrganismos aeróbios conduzam reações enzimáticas de oxidação. Neste caso, bactérias anaeróbias conduzem o processo, produzindo gases alternativos.<sup>38</sup>

Dentre os principais gases produzidos nesses processos de decomposição, é possível citar: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); metano (CH<sub>4</sub>); amônia (NH<sub>3</sub>); hidrogênio (H<sub>2</sub>); sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). O metano e o CO<sub>2</sub> são os principais produtos oriundos de decomposição da matéria, como pode ilustrar a reação anaeróbia de decomposição da celulose, esquematizada abaixo.<sup>38</sup>



A composição média do gás de aterro é de 50-55% metano e 45-50% dióxido de carbono. Cerca de 2 a 5% do gás final é composto de outras moléculas orgânicas leves e gases-traço inorgânicos, como por exemplo sulfetos <sup>39</sup>. Alguns fatores podem influenciar composição resultante do biogás, como por exemplo: composição dos resíduos dispostos, umidade, tamanho das partículas, temperatura, pH, Idade dos resíduos, projeto do aterro e sua operação <sup>40</sup>.

Após a deposição inicial dos resíduos no aterro sanitário, a geração de biogás dá início ainda nos primeiros três meses, podendo perdurar por um período superior a 20 anos após o encerramento das atividades de depósito <sup>40</sup>. O processo de produção ocorre através de quatro fases distintas, sendo a primeira aeróbia e as três últimas anaeróbias.

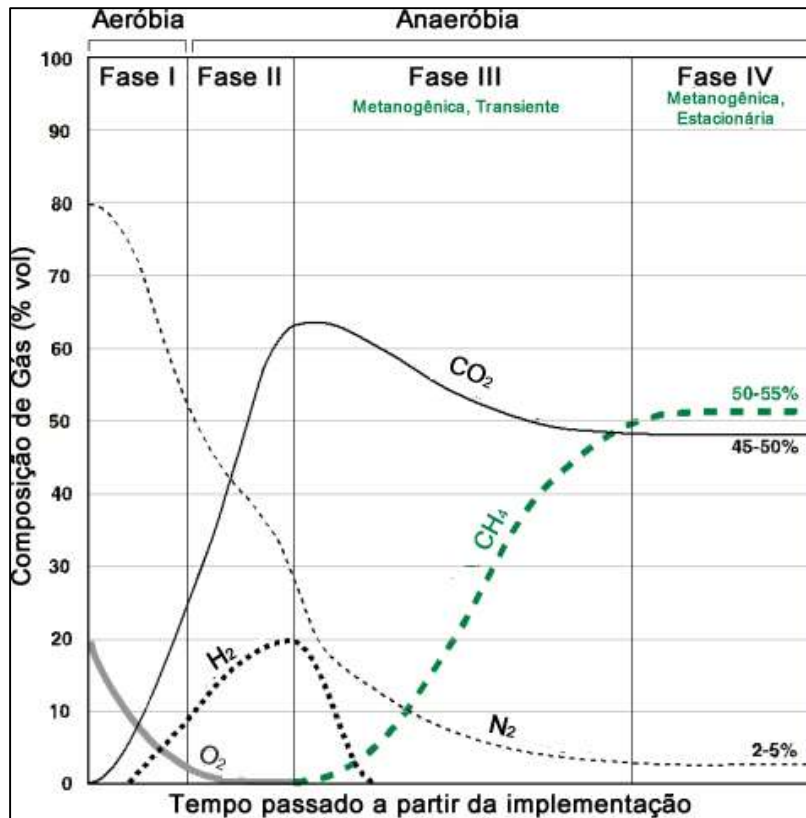


Figura 3 - Produtos formados nos aterros em cada uma das etapas de decomposição dos resíduos orgânicos (Adaptado de EPA, 2015)

- Fase I: Conduzido por bactérias aeróbias, que somente vivem na presença de O<sub>2</sub>. Ocorre quebra das longas cadeias de carboidratos e proteínas que compõem o lixo orgânico e rápida depleção do oxigênio disponível. Principal gás sendo produzido é o CO<sub>2</sub>
- Fase II: Já com um processo anaeróbio, bactérias convertem os compostos metabolizados por bactérias aeróbias em ácidos acético, lático e fórmico e álcoois tais quais metanol e etanol. A concentração de N<sub>2</sub> cai significativamente, e neste momento CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> são produzidos.
- Fase III: Bactérias anaeróbias consomem os ácidos orgânicos produzidos durante a Fase II, formando majoritariamente acetatos. O pH fica mais próximo do neutro, no qual bactérias produtoras de metano se estabelecem através do consumo de dióxido de carbono e acetatos.

- Fase IV: A composição e a taxa de produção dos gases se torna aproximadamente constante. Essa fase pode perdurar, como já citado, por mais de 20 anos.

#### 3.4.4 O potencial de efeito estufa dos gases emitidos por aterros sanitários

Estimativas globais de emissão de carbono apontam que as emissões de metano provenientes de aterros sanitários se aproximaram de 800MtCO<sub>2e</sub> em 2010 <sup>41</sup>. Esse valor é aproximadamente 11% de toda a emissão global de metano estimada para o mesmo ano. O Brasil ocupa o 9º lugar dentre os principais emissores de gás de aterro, produzindo 17,8 MtCO<sub>2e</sub> anuais. Os outros principais países são explicitados abaixo, em gráfico adaptado da *Global Methane Initiative* (GMI):

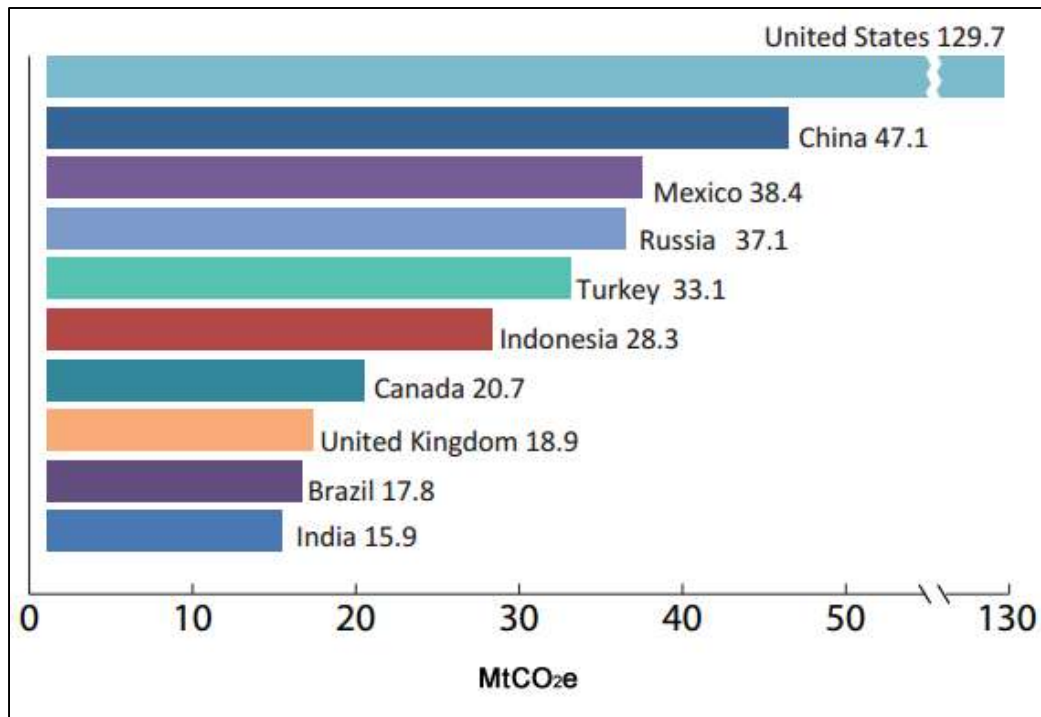


Figura 4 - Dez principais países emissores de Metano proveniente de gás de aterro no mundo em 2010 (GMI, 2011)

### 3.4.5 Alternativas para diminuição do impacto ambiental causado pelos gases de aterro<sup>38</sup>

Dada a comprovada natureza nociva dos gases gerados em aterros sanitários, como já mostrado acima, é imperativo que alternativas se apliquem de modo a mitigar tais emissões. Esse processo se dá em duas etapas distintas: primeiramente, é realizado o impedimento da emissão dos gases provenientes da decomposição, através da aplicação de uma barreira física. Segundo, destinação adequada dos gases capturados, que pode seguir três caminhos distintos: *flare*, geração de gás para consumo domiciliar/industrial ou geração energética para incorporação na rede de distribuição. Cada uma dessas etapas é descrita em detalhes a seguir:

- a. Primeira etapa: captura dos gases gerados – A coleta dos gases gerados por uma célula de aterro usualmente ocorre após a deposição de novos resíduos naquela região ter sido finalizada. Os sistemas de coleta podem ser feitos através de perfuração horizontal ou vertical. Usualmente faz-se necessário o uso de um soprador para que haja o transporte ativo do gás.<sup>38</sup>
- b. *flare* – A técnica de *flare* consiste em acoplar à saída dos poços de coleta um dispositivo de queima do gás. Sua utilização está presente em todos os projetos, inclusive naqueles que utilizam o gás como energia elétrica ou combustível, já que a queima do gás metano é uma alternativa para qualquer excedente de gás que seja produzido acima da capacidade de conversão energética da planta. Há dois tipos de *flare*: o de queima aberta e o de queima fechada. Os *flares* de queima fechada permitem maior controle das condições de combustão, bem como rigoroso monitoramento dos gases emitidos, menor vazamento de metano não-queimado e menor barulho/luminosidade produzidos. Alguns projetos utilizam o *flare* única e exclusivamente como mecanismo de redução de emissões de CH<sub>4</sub>, pela alternativa da emissão de CO<sub>2</sub>, um gás com menor GWP<sup>38</sup>.



Figura 5 - *flare* aberto (esquerda) e *flare* fechado (direita) (EPA, 2015)

- c. Tratamento do gás recuperado para produção energética – A necessidade de tratamento do gás de aterro dependerá de qual tipo de aplicação energética esse fará parte. Caldeiras e motores a combustão interna geralmente requerem tratamento mínimo, que consiste em desumidificação, filtração de partículas e compressão. Alguns tipos de motores mais sensíveis, assim como turbinas e microturbinas em geral, requerem a retirada de siloxano e  $H_2S$ , que é realizado através de colunas de absorção, ação biológica, dentre outras técnicas.
- d. Geração de energia elétrica – Para a geração de energia elétrica a partir do gás de aterro advindo das etapas adequadas de tratamento, um equipamento de conversão energética deve ser acoplado à saída do gás, como um motor a combustão interna, uma turbina a gás ou uma microturbina. Mais de 70% dos projetos de gás de aterro utilizam motores a combustão interna, ficando na faixa de 800kW a 3MW de potência <sup>38</sup>. Já turbinas atendem projetos de maior escala, acima de 5MW. Microturbinas, tal qual sugere o nome, correspondem a projetos de menor escala, entre 30 e 250kW. Outra maneira menos comum de gerar

eletricidade é através de um sistema de caldeira com turbina a vapor. Há também turbinas de ciclo combinado, nas quais a exaustão do gás queimado em uma turbina a gás está acoplada a uma turbina a vapor.<sup>38</sup>

- e. Uso direto do gás gerado – Tal qual o nome sugere, o uso direto do gás de aterro se dá em aplicações nas quais o material combustível utilizado é diretamente o gás tratado advindo do aterro. As aplicações mais comuns são: uso em caldeiras, com o intuito de gerar vapor para processos industriais; fornos, para fabricação de cimento, tijolos e cerâmicas, forjas, dentre outras; evaporação do chorume, ou, lixiviado do aterro, que pode reduzir os custos para o tratamento posterior.<sup>38</sup>

#### 3.4.6 A oportunidade presente em resíduos sólidos no Brasil

O Brasil encontra-se em posição privilegiada no cenário global de mitigação de emissões. O país é o 4º maior emissor global de GEEs<sup>9</sup>, porém, segundo relatório da McKinsey publicado em 2012, é também um dos cinco países com maior potencial para redução de emissões.<sup>9</sup>

Dentro das oportunidades de redução, 10% representam iniciativas de custo médio negativo, ou seja, os benefícios econômicos gerados pela iniciativa são maiores do que os investimentos de implementação.<sup>9</sup> A Figura 6, abaixo, ilustra essas oportunidades, bem como seus custos médios de implementação por tCO<sub>2e</sub>:



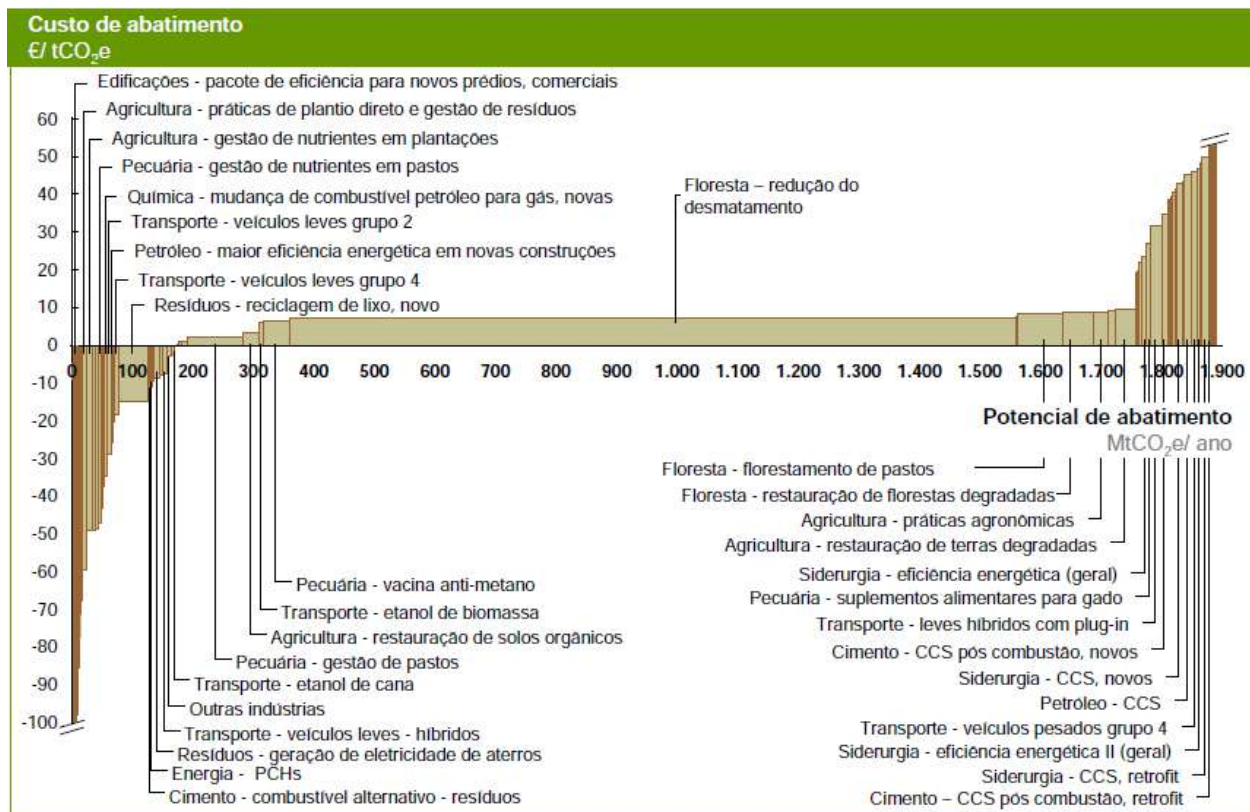


Figura 6 - Curva de custo de redução de gases do efeito estufa do Brasil projetada para 2030<sup>9</sup>

Alguns aspectos chamam imediata atenção no gráfico acima. O primeiro deles é o grande potencial de redução, em MtCO<sub>2</sub>e, que pode ser obtida através da redução do desmatamento, principal fonte de emissões brasileira.

Outro aspecto que pode ser observado é que os projetos que envolvem gestão de resíduos sólidos encontram-se na parte esquerda do gráfico, indicando que essas iniciativas têm um custo médio negativo. A Figura 6, abaixo, faz uma análise dessas oportunidades especificamente.

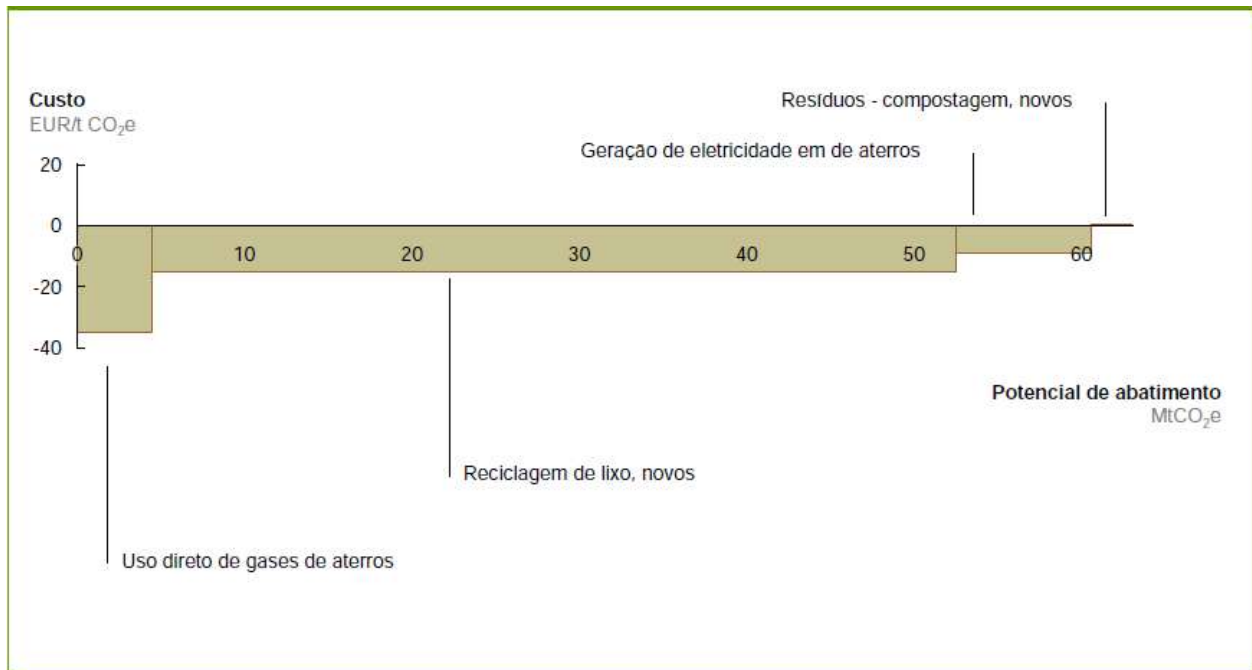


Figura 7 - Oportunidades de redução de emissões em resíduos sólidos e seus respectivos custos

Pode-se perceber que o uso direto do gás de aterro e a geração de eletricidade através dos gases de aterro possuem custo de implementação médio negativo, configurando assim uma área de grande atratividade no país. Neste sentido, o escopo do trabalho foi restrito a estudos de caso que explorassem essa área, dada sua atratividade e econômica e seu interesse estratégico.

#### 4 METODOLOGIA

Com o fim de entender adequadamente o perfil dos projetos de MDL que estão sendo realizados em todo o mundo, além da evolução histórica do Mecanismo, sua distribuição geográfica e quais os tipos de metodologias predominantes, algumas análises foram realizadas sobre dados disponíveis da UNFCCC. Abaixo, faz-se uma descrição da metodologia de extração de dados e quais análises relevantes foram realizadas.

Através da seção Project Search, presente na aba de CDM do site da UNFCCC (<https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>), uma busca foi realizada no dia 20 de Junho de 2015 sem quaisquer tipos de filtro aplicados, selecionando todos os escopos setoriais disponíveis. Essa busca retornou todos os projetos de MDL registrados na

UNFCCC, sejam eles aprovados, removidos, rejeitados ou com pendências. A pesquisa realizada retornou 7991 projetos no total.

Ao realizar *login* na página da UNFCCC, torna-se possível realizar a exportação dos dados para formato CSV, adequado para realizar análises com softwares de análise de planilhas, como o Microsoft Excel® ou BrOffice®. Os dados obtidos têm o formato que segue:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Registered	Project title	Host parties	Other Parties	Methodology	Reductions	Ref
2	18/11/2004	Brazil NovaGerar	Brazil	Japan/ Netherla	AM0003	670133	8
3	11/1/2005	RIO BLANCO Smal	Honduras	Finland	AMS-I.D. ver. 4	17800	28
4	8/3/2005	Project for GHG er	India	Switzerland/ Ja	AM0001 ver. 2	3000000	1
5	24/03/2005	HFC Decompositio	Republic of Kc	Switzerland/ Ja	AM0001 ver. 2	1400000	3
6	23/04/2005	Cuyamapa Hydroe	Honduras	Austria/ United	AMS-I.D. ver. 5	35660	45
7	23/05/2005	e7 Bhutan Micro F	Bhutan	Japan	AMS-I.A. ver. 5	524	62
8	23/05/2005	Biomass in Rajast	India	Netherlands/ G	AMS-I.D. ver. 5	31374	58
9	3/6/2005	Cortecito and San	Honduras	United Kingdom	AMS-I.D. ver. 5	37466	51
10	3/6/2005	Santa Cruz landfill	Bolivia		AM0003 ver. 1	82680	48
11	26/06/2005	Huitengxile Wind	China	Netherlands	AM0005	51429	64
12	Withdrawn	Paramonga CDM E	Peru		AMS-I.C. ver. 5	85300	70
13	18/07/2005	Graneros Plant Fu	Chile	Japan	AM0008	13543	24
14	18/07/2005	5 MW Dehar Grid-	India	Germany	AMS-I.D. ver. 5	16374	35
15	6/8/2005	Clarion 12MW (Gr	India	Switzerland/ Ur	AMS-I.D. ver. 5	26300	75
16	15/08/2005	Salvador da Bahia	Brazil	Japan/ Netherla	AM0002	664674	52
17	19/08/2005	La Esperanza Hydr	Honduras	Canada/ Nether	AMS-I.D. ver. 4	37032	9
18	27/08/2005	Kuyasa low-cost u	South Africa	Germany	AMS-I.C. ver. 5,	6580	79
19	2/9/2005	Methane capture	Chile	Japan/ New Zea	AM0006	84083	31

Figura 8 - Dados gerados pela extração do banco de dados da UNFCCC sem tratamento

Após a extração, tratamento foi realizado na base com o intuito de obter as informações relevantes ao projeto mais facilmente, sendo adicionadas as colunas “Ano de Registro”, “Metodologia sem Versão” e “Número de Outras Partes Envolvidas”.

#### 4.1 Descrição das análises realizadas

Todas as análises realizadas foram conduzidas utilizando o software Microsoft Excel® 2013, através da geração de Tabelas Dinâmicas.

As análises conduzidas em nível global foram sumarizadas na lista abaixo:

- i. Número total de projetos de MDL aprovados no mundo por ano (2004-2015)
- ii. Quantidade de projetos aprovados por país-sede no período 2004-2015
- iii. Quantidade total de emissões reduzidas por país-sede no período 2004-2015
- iv. Metodologias principais empregadas por número de projetos 2004-2015
- v. Redução de emissões média dos projetos aprovados por ano (2004-2015)
- vi. Número de partes envolvidas (Anexo I) nos projetos aprovados até o momento

Além das análises globais, análises específicas para o Brasil também foram realizadas, como descritas abaixo:

- i. Número total de projetos de MDL aprovados no Brasil por ano (2004-2015)
- ii. Metodologias principais empregadas no Brasil por número de projetos 2004-2015
- iii. Número de partes envolvidas (Anexo I) nos projetos aprovados até o momento no Brasil
- iv. Principais países do Anexo I envolvidos em projetos no Brasil, por número de projetos (2004-2015)
- v. Média do número de outras partes envolvidas em projetos de MDL no Brasil por ano (2004-2015)

## **5 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS PROJETOS SELECIONADOS - CANHANDUBA E BELFORD ROXO**

### 5.1 Metodologia utilizada para a restrição de escopo

Dado o enfoque do presente trabalho, a comparação a ser realizada ficou restrita a dois projetos somente, escolhidos com base em critérios de restrição aplicados sobre o banco de dados de projetos da UNFCCC. Este pode ser acessado através do endereço: <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.

Figura 9 - Layout da Página de Busca de Projetos da UNFCCC

Para a aplicação das restrições necessárias, foram aplicados alguns filtros disponíveis na ferramenta *Advanced Search*, conforme descrito abaixo:

- a. Filtro de Localidade – O primeiro filtro aplicado ao projeto foi o de localidade, restringindo a busca somente pra projetos cujo país-sede fosse o Brasil. Esta primeira restrição reduziu o número de projetos no escopo de 7997 para 376.
- b. Filtro de Título / Metodologia – Inicialmente, o filtro aplicado para restringir as entradas obtidas foi o de título, no qual foi utilizado o termo “landfill gas”, que retornou 42 resultados. Modificando os termos da pesquisa para “landfill”, obteve-se em contraste 49 resultados, englobando projetos que têm objetivos alinhados com os observados no trabalho, mas não apresentam a palavra “gas” em seu título, como por exemplo os projetos “CTRVV Landfill emission reduction Project” e “Exploitation of the biogas from Controlled Landfill in Solid Waste Management Central”. Investigou-se, também, a utilização de restrição por metodologia, aplicando um filtro de metodologia limitado ao uso da ACM0001. Este critério retorna 45 resultados, deixando de fora os projetos anteriores à consolidação da metodologia, como por exemplo “Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project” (que utiliza a AM0003) e “Salvador da Bahia Landfill Gas Management Project” (que utiliza a AM0002). Foi determinado então o filtro de Título restrito a projetos contendo o termo “landfill”, por tratar-se do mais abrangente dentre os filtros

cogitados. Este filtro, portanto, restringiu o universo de projetos no escopo da análise de 376 pra 49.

- c. Filtro de Data de Aprovação – Para os 49 projetos restritos pelos filtros supracitados, foi aplicado corte temporal para projetos aprovados de 2013 em diante, que ainda terão diversos anos em vigência e fazem parte de poucas análises econômicas e técnicas já publicadas. Este filtro resultou em 9 projetos, que são destacados abaixo:

26 Feb 13	CTR Rosario Landfill Gas Project	Brazil		ACM0001 ver. 13	63981	8242
08 Mar 13	CGR CATANDUVA LANDFILL GAS PROJECT	Brazil		ACM0001 ver. 13	70210	8205
21 Jun 13	CPTR Marituba landfill gas project	Brazil		ACM0001 ver. 13	110633	9298
24 Jun 13	CTDR Bob Ambiental landfill gas project	Brazil		ACM0001 ver. 13	77851	9295
24 Jun 13	Rio Grande landfill gas project	Brazil		ACM0001 ver. 13	11436	9300
28 Jun 13	CTR da Caturrita landfill gas project	Brazil		ACM0001 ver. 13	31957	9302
31 Jul 13	MACAÛBAS LANDFILL GAS PROJECT	Brazil		ACM0001 ver. 13	377528	9063
24 Aug 13	CTR Maceio Landfill Gas Project	Brazil		ACM0001 ver. 13	116336	9228
22 May 14	Canhanduba Landfill Project	Brazil		ACM0001 ver. 13	78269	9943

Figura 10 - Projetos selecionados após aplicação dos três principais filtros, conforme exibição na base da UNFCCC

Feita esta seleção de projetos, escolheu-se para foco do estudo os projetos “Canhanduba Landfill Project”, na cidade de Itajaí/SC, e “CTDR Bob Ambiental landfill gas Project”, em Belford Roxo/RJ. Sua escolha se deu pela similaridade de porte (ambos nos arredores de 78 mil tCO<sub>2</sub>e/ano) e pelo fato de ambos representarem, respectivamente, as regiões Sul e Sudeste, as principais regiões que concentram aterros sanitários no Brasil.

Esta seção segue, portanto, uma descrição comparativa de ambos os aterros, baseando-se nas descrições realizadas por seus DCPs.

## 5.2 Projeto do Aterro Sanitário Canhanduba

O projeto de MDL do Aterro Sanitário de Canhanduba “abrange a construção e a operação de um sistema de coleta e queima em flare de gás de aterro (LFG) com geração



de eletricidade usando LFG como combustível no Aterro Sanitário Canhanduba, localizado a oeste da cidade de Itajaí, no estado de Santa Catarina” 42.

### 5.2.1 O aterro sanitário e sua localidade

O aterro sanitário de Canhanduba tem uma área de 25,72ha, tendo iniciado sua operação em Janeiro de 2006. Dois municípios despejam RSUs e resíduos hospitalares no mesmo: Itajaí e Balneário Camburiú/SC. Sua operação está prevista para durar até pelo menos 2029.



Figura 11(a) e (b) - (a) Localização geográfica do aterro de Canhanduca em Itajaí/SC; (b) Imagem aérea do aterro, de 2012

## 5.2.2 Modificações técnicas implementadas

Os equipamentos instalados incluem:

- Rede de coleta de LFG composta por drenos verticais de coleta
- Valas horizontais de coleta de LFG
- Estação de queima em *flare* de LFG, contendo câmara para flare fechado a altas temperaturas e sistemas de controle
- Conjuntos motogeradores, sistema de pré-tratamento de LFG e as conexões elétricas necessárias, incluindo transformadores de potência e medidores de vazão adicionais para cada item do componente de geração de eletricidade da atividade do projeto.

## 5.2.3 Cenário de Linha de Base

O cenário de linha de base é o mesmo existente antes da implementação da atividade do projeto para gerenciamento do LFG: Todo o LFG produzido pelo aterro era emitido diretamente para a atmosfera com alto teor de metano, sem qualquer tipo de sistema de controle, combustão ou coleta. Além do grande potencial de efeito estufa, o metano liberado gerava risco de incêndio e explosões, além de os gases residuais acarretarem em mau odor na região.

Tabela 3 - Emissões de gases incluídas nos limites do projeto para o cenário de linha base do aterro de Canhanduba

Fonte		Gases de efeito estufa	Incluído(a)?	Justificativa/Explicação
Cenário da linha de base	Emissões decorrentes da decomposição de resíduos no local do SWDS.	CO <sub>2</sub>	Não	As emissões de CO <sub>2</sub> decorrentes da decomposição de resíduos orgânicos não são contabilizadas, já que o CO <sub>2</sub> também é liberado na atividade do projeto.
		CH <sub>4</sub>	Sim	A principal fonte de emissões na linha de base.
		N <sub>2</sub> O	Não	As emissões de N <sub>2</sub> O são muito pequenas em comparação às emissões de CH <sub>4</sub> do SWDS (em tCO <sub>2</sub> e). Isso é conservador.
	Emissões da geração de eletricidade	CO <sub>2</sub>	Sim	Fonte principal de emissões.
		CH <sub>4</sub>	Não	Excluído para fins de simplificação. Essa fonte de emissão é considerada muito pequena.
		N <sub>2</sub> O	Não	Excluído para fins de simplificação. Essa fonte de emissão é considerada muito pequena.



Antes da concepção do projeto, havia alguns drenos de LFG, que existiam com o intuito de evitar um acúmulo excessivo de gases no interior do aterro, diminuindo o risco de explosão.

#### 5.2.4 Fluxograma do projeto

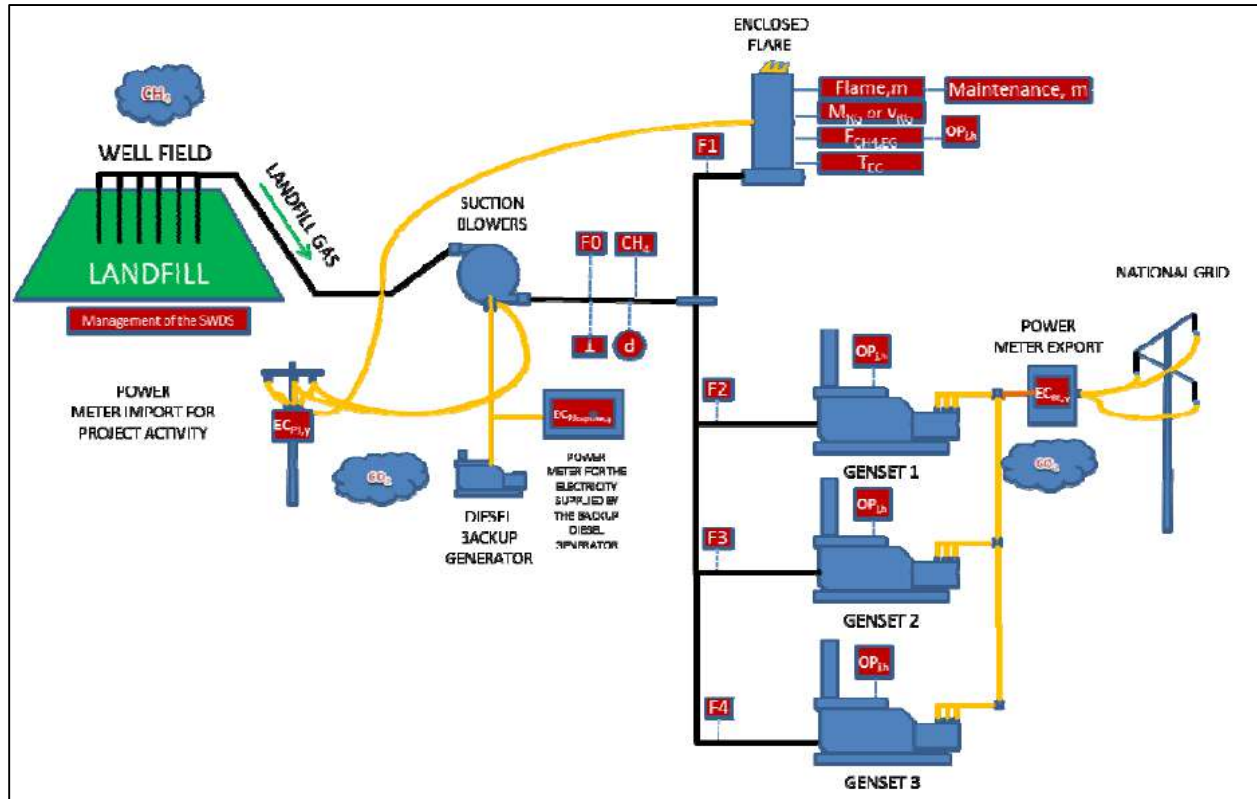


Figura 12 - Fluxograma de delineamento do limite do projeto, parâmetros de monitoramento, vazões mássicas e energéticas e equipamentos instalados

### 5.3 Projeto de gás de aterro CTDR Bob Ambiental

O Projeto de gás de aterro CTDR Bob Ambiental “engloba a construção e a operação de um sistema de coleta e destruição de gás de aterro (gás de aterro) (forçado) ativo completamente novo na CTDR Bob Ambiental, que é um aterro sanitário já existente localizado no município de Belford Roxo, no do estado do Rio de Janeiro” <sup>43</sup>

#### 5.3.1 O aterro sanitário e sua localidade

O aterro CTDR Bob Ambiental iniciou suas operações de disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Fevereiro de 2012. O aterro CTDR Bob Ambiental está atualmente licenciado para uma área total de disposição de resíduos sólidos urbanos de cerca de

21.200 m<sup>2</sup> (2,12 ha). Segundo Boechat do Bairro Tratamento de Resíduos Coleta e Conservação Ltda., “a vida útil operacional técnica esperada do aterro CTDR Bob Ambiental é de cerca de 40 anos (considerando-se uma taxa de disposição de resíduos sólidos urbanos inicial de 1,200 ton por dia e um crescimento anual previsto na taxa de disposição de resíduos sólidos urbanos de cerca de 2%)”.

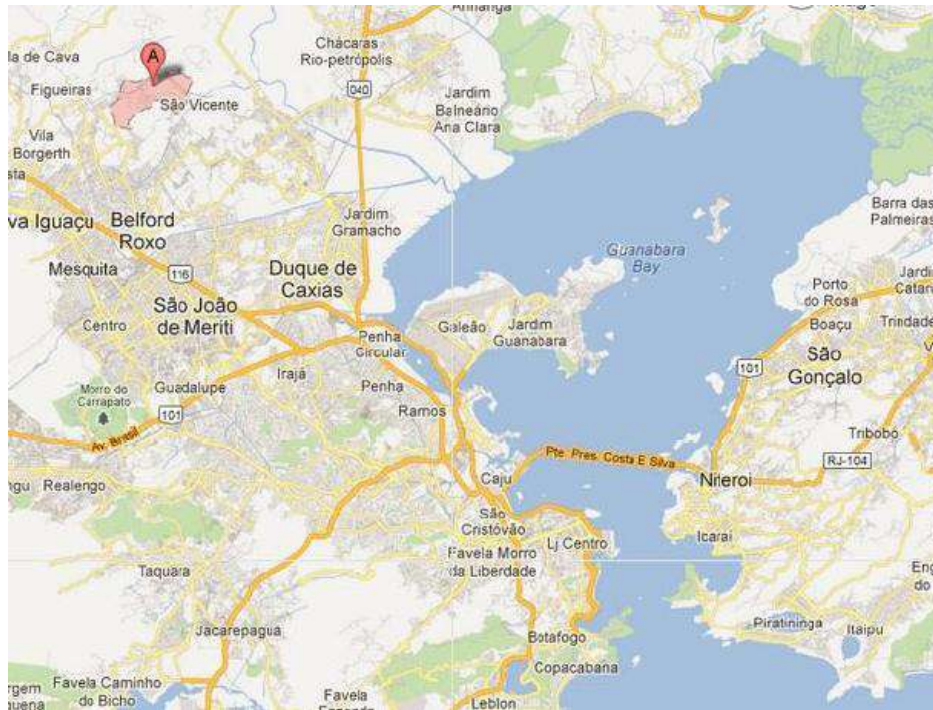




Figura 13 – Localização do aterro de Belford Roxo no Mapa da Região metropolitana do Rio de Janeiro (acima) e imagem aérea com representação das curvas de nível do CTDR Bob Ambiental.(abaixo)

### 5.3.2 Modificações técnicas implementadas

A atividade do projeto envolve a implementação de um avançado sistema ativo de coleta e queima forçadas de gás de aterro. Os equipamentos a serem instalados como parte da atividade do projeto incluem:

- Novos poços verticais de coleta gás de aterro e/ou novas trincheiras horizontais de coleta de gás de aterro
- Rede de tubulação de coleta de gás de aterro, com tubos de PEAD;
- *Flare(s)* enclausurado(s) de alta temperatura;
- Sistemas de monitoramento e controle para medir o fluxo e a composição do gás de aterro coletado e, eventualmente, equipamentos para medir a composição do gás de exaustão do(s) *flare(s)* em termos de oxigênio e metano residuais.

### 5.3.3 Cenário de Linha de Base

O cenário de linha de base se assemelha com aquele apresentado para o Aterro de Canhanduba: todo o LFG produzido pelo aterro era emitido diretamente para a atmosfera com alto teor de metano, sem qualquer tipo de sistema de controle, combustão ou coleta. Além do grande potencial de efeito estufa, o metano liberado gerava risco de incêndio e explosões, além de os gases residuais acarretarem em mau odor na região.

Tabela 4 - Emissões de gases incluídas nos limites do projeto para o cenário de linha base do aterro de Belford Roxo

Fonte		Gases de efeito estufa	Incluído(a) ?	Justificativa/Explicação
Cenário da linha de base	Emissões decorrentes da decomposição de resíduos no local do SDRS.	CO <sub>2</sub>	não	As emissões de CO <sub>2</sub> decorrentes da decomposição de resíduos orgânicos não são contabilizadas, já que o CO <sub>2</sub> também é liberado sob a atividade do projeto.
		CH <sub>4</sub>	Sim	A principal fonte de emissões na linha de base.
		N <sub>2</sub> O	não	As emissões de N <sub>2</sub> O são muito pequenas em comparação às emissões de CH <sub>4</sub> do SDRS (em tCO <sub>2</sub> e). Fato conservador.



### 5.3.4 Fluxograma do Projeto

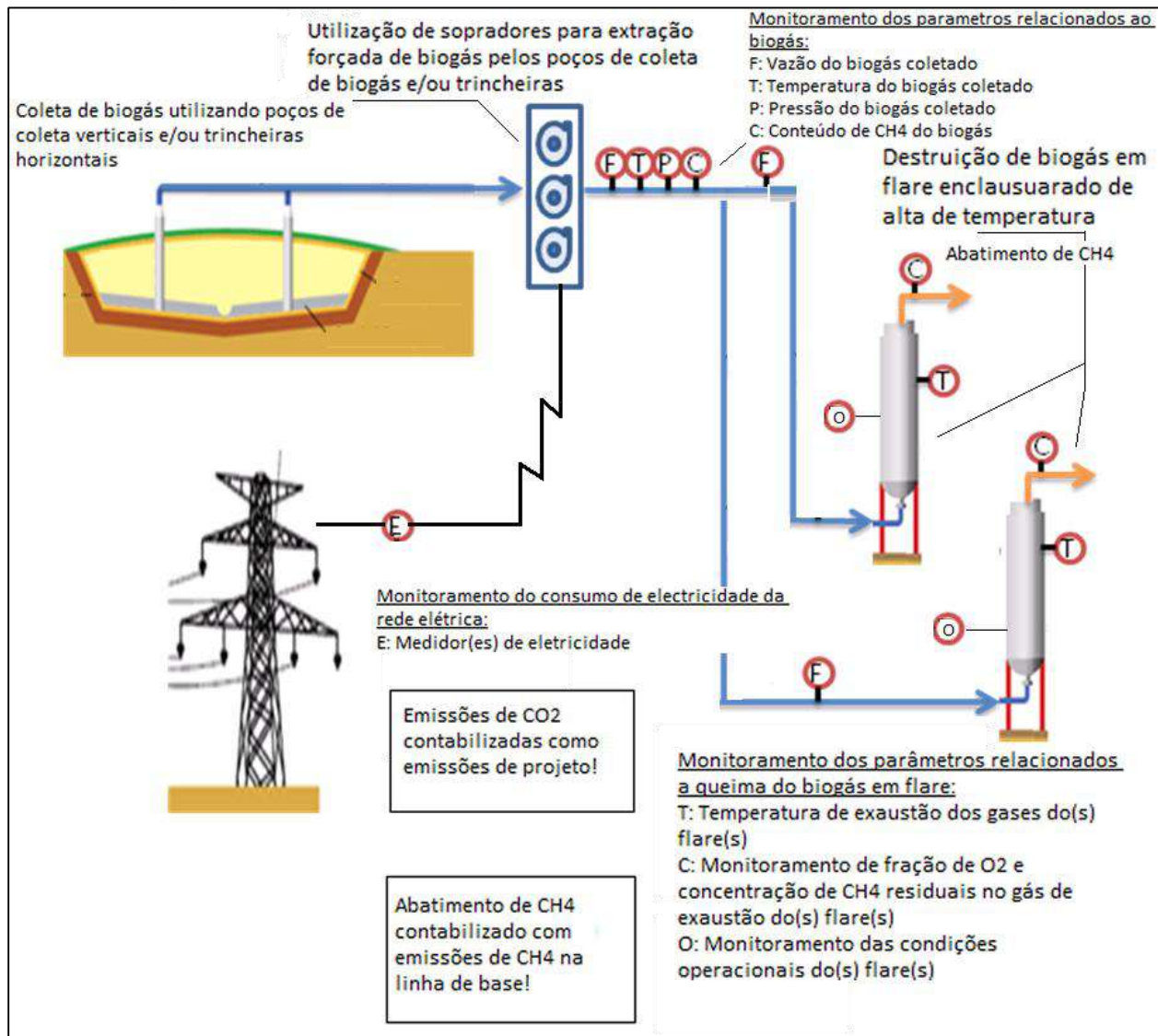


Figura 14 - Fluxograma de delineamento do limite do projeto, parâmetros de monitoramento, vazões mássicas e equipamentos instalados

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise global dos projetos de MDL

Seguem abaixo, uma a uma, as análises realizadas, acompanhadas de discussão pertinente em cada caso.

### 6.1.1 Número total de projetos de MDL aprovados no mundo por ano (2004-2015)

Uma análise da série histórica de aprovações de projetos de MDL em todo o mundo resultou na Figura 12:

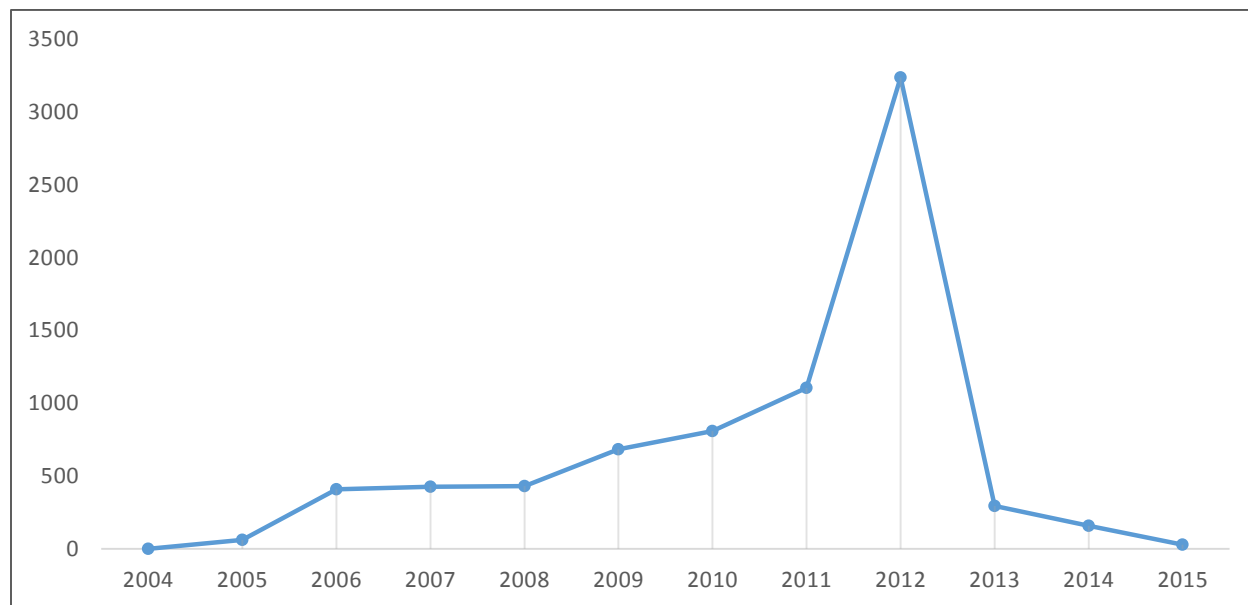


Figura 15 - Total de Projetos de MDL aprovados por ano (2004-2015)

Como se sabe, primeiro projeto de MDL, o aterro de NovaGerar, em Nova Iguaçu, foi aprovado em 2004, tendo sido o único projeto aprovado naquele ano. Sua aprovação abriu as portas para a primeira leva de projetos, que começaram pouco a pouco a consolidar as metodologias de acompanhamento e regulamentação, abrindo caminho para a aprovação de projetos posteriores. O ano de 2005 ainda foi modesto em número de aprovações, com apenas 62 aprovações.

O período de 2006-2008 apresenta relativa estabilidade na taxa de aprovação dos projetos, contando com pouco mais de 400 novos projetos por ano. A partir daí, vê-se uma breve aceleração no ritmo de aprovações no triênio 2009-2011, provavelmente impulsionada pelas perspectivas favoráveis do preço de comercialização das CERs e a maior familiaridade dos países com os mecanismos de aprovação dos projetos. <sup>44</sup>.

Em 2012 há o grande *boom* de aprovações de projetos de MDL, provavelmente justificado pelo alto patamar mantido pelo preço dos CERs no mercado global, que vinham sendo vendido por valores que variavam entre \$10-20 <sup>44</sup>.

Este enorme aumento da oferta resultou em pesada queda no preço dos CERs, que perderam 70% de seu valor só naquele ano <sup>45</sup>. A crise de crédito europeia, que começa a ter seus desdobramentos mais severos durante o ano de 2012, tem pesada influência nesse *crash*, dado que a EU sempre foi uma das maiores compradoras de CERs no mundo. Com atividade econômica reduzida, menos CERs foram necessárias para atingir as metas, levando a uma reduzida procura dos mesmos, justamente no momento de rápido aumento de oferta.

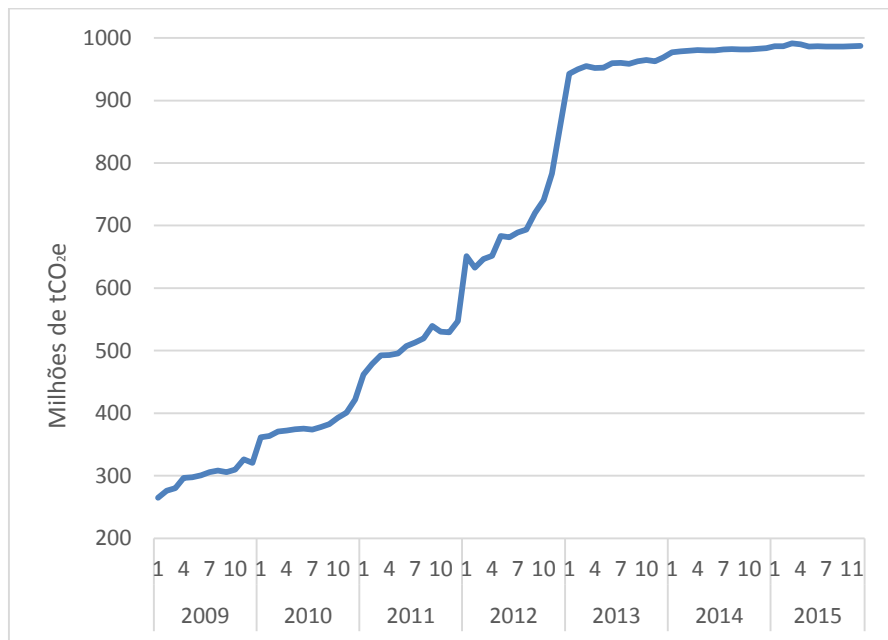


Figura 16 - Acumulado de redução de emissões por projetos de MDL no período 2009-2015 (Adaptado de UNFCCC, 2015)



Figura 17 - Preço médio de venda Spot por mês no período 2009-2015 (Adaptado de ICE, 2015)

No período de 2011 a 2012, como pode ser observado pelo gráfico acima, houve queda abrupta dos preços de negociação dos CERs, levando a uma desvalorização de 95% no período. Uma crise de desconfiança se instalou sobre o mercado de MDL, reduzindo drasticamente o número de procura da implementação de novos projetos, como fica claro observando a aprovação de projetos nos anos de 2013, 2014 e 2015 na Figura 12.

Esse pesado descolamento entre oferta e demanda ameaça a continuidade das políticas de MDL e poderá representar o fim das políticas de desenvolvimento limpo. Uma possível solução para este problema só poderia ser observada através de grande redução nas metas de emissão para países do Anexo I para os anos vindouros. Mas as metas negociadas para a segundo período de comprometimento do Protocolo de Quioto continuaram a manter o ritmo desacelerado. Além disso, outras modalidades de créditos de carbono, como as AAUs, estão com oferta significativamente mais alta que a demanda, em proporções de até mais de mil vezes <sup>46</sup>.

### 6.1.2 Volume de projetos aprovados por país-sede no período 2004-2015

Agrupando os resultados por país-sede, obtém-se o seguinte resultado:



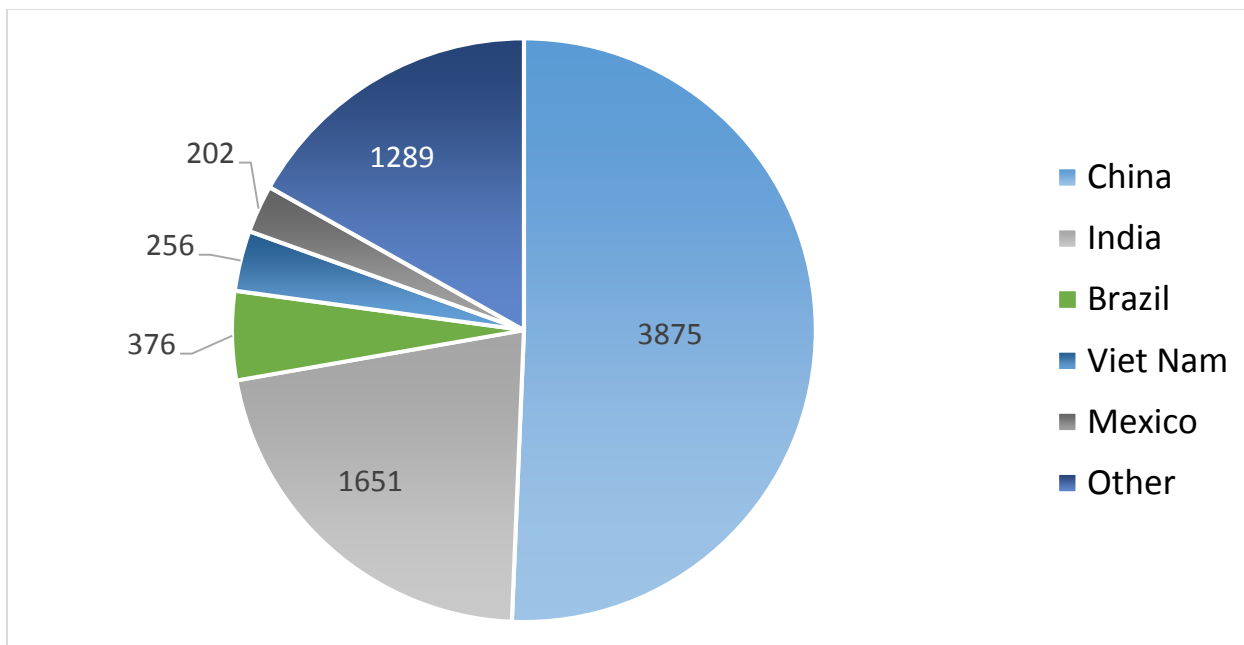


Figura 18 - Principais países-sede de projetos de MDL, pelo critério de número de projetos aprovados no período 2004-2015

Fica evidente a dominância absoluta de China e Índia, que juntas somam mais de 70% de todos os projetos de MDL aprovados no mundo. Quando analisado sob a ótica do número de CERs obtidas por país, a concentração torna-se ainda mais flagrante:

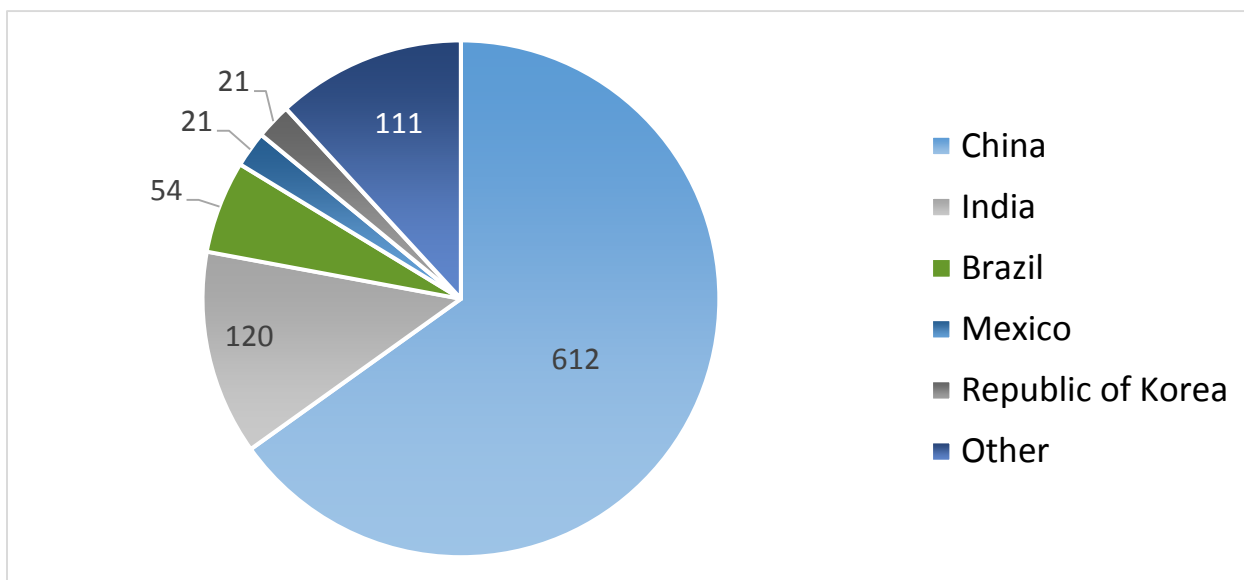


Figura 19 - Principais países-sede de projetos de MDL, pelo critério de total de toneladas de carbono aprovadas no período 2004-2015

A Figura xxx mostra que a China e Índia dominam mais de  $\frac{3}{4}$  de todos os CERs globais, sendo só a china responsável por mais de 60% do total. Isso mostra a larga escala dos projetos desenvolvidos no país, em comparação com a média global.

O Brasil se encontra em terceiro lugar em ambas as classificações, demonstrando sua proeminência na dinâmica global de MDL. Diversos projetos no momento estão sendo negativamente impactados pela dinâmica de preços que se estabeleceu no mercado de CERs.

### 6.1.3 Metodologias principais empregadas por número de projetos 2004-2015

Ao categorizar os projetos aprovados de acordo com as metodologias utilizadas pelos mesmos, obtém-se o seguinte resultado:

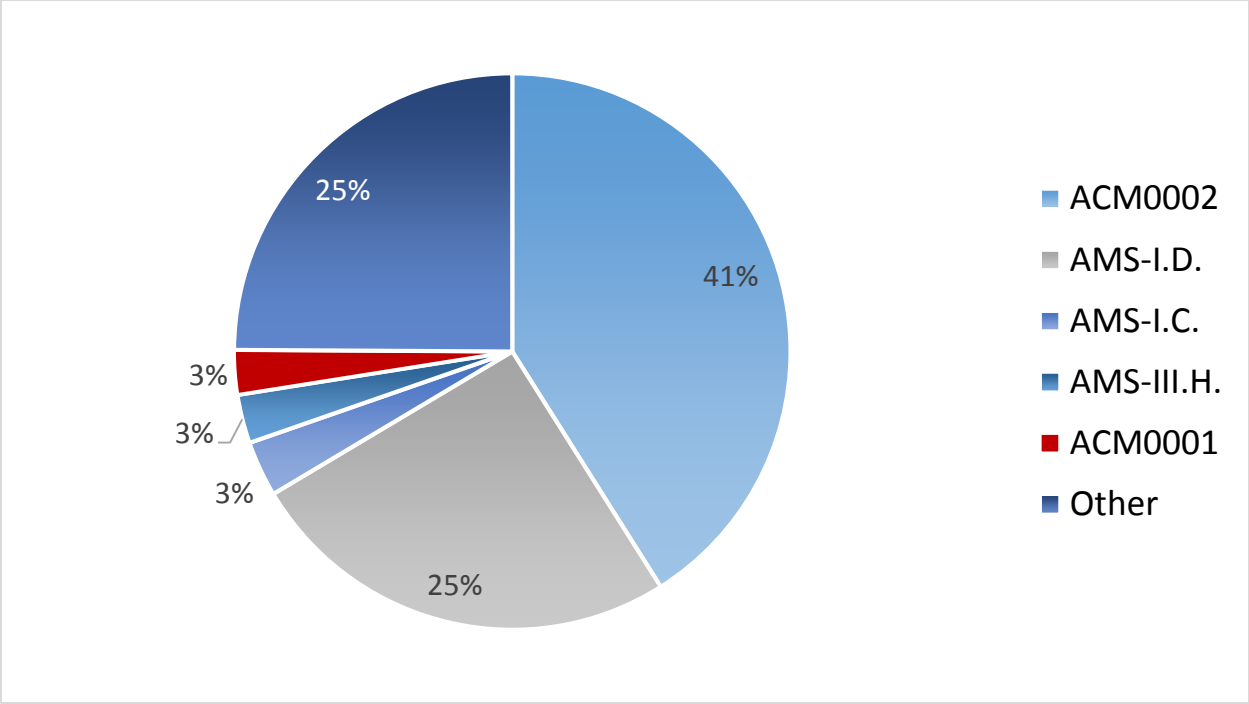


Figura 20 - Principais metodologias empregadas nos projetos de MDL no mundo

Pode-se perceber, claramente, que grande parte dos projetos de MDL aprovados utilizaram as metodologias ACM0002 e AMS-I.D., denominadas: “*Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources*” e “*Grid connected renewable electricity generation*”, respectivamente.

Vê-se que ambas as metodologias tratam do mesmo exato problema: geração energética através de fontes alternativas. A diferença se dá na escala dos projetos, sendo metodologias ACM aplicadas para projetos de larga escala enquanto as metodologias AMS são aplicáveis a projetos de pequena escala, tendo um processo de aprovação mais rápido. Essas duas iniciativas combinadas respondem por 2/3 de todos os projetos aprovados de MDL. Um panorama da dominância dentro de cada uma delas é descrito na Tabela 5:

Tabela 5 - Principais países-sede de projetos que utilizam ACM0002 e AMS-I.D.

ACM0002	AMS I.D.
---------	----------

País	Número de Projetos Aprovados	País	Número de Projetos Aprovados
China	2367	India	832
India	242	China	660
Brazil	114	Viet Nam	95
Viet Nam	111	Republic of Korea	50
Mexico	34	Brazil	47
Other	312	Other	295

As outras três metodologias que aparecem dentre as cinco primeiras: AMS.I.C; AMS-III.H. e AMC0001 são:

- AMS.I.C. – “*Thermal energy production with or without electricity*”
- AMS-III.H. – “*Methane recovery in wastewater treatment*”
- ACM0001 – “*Flaring or use of landfill gas*”

Observa-se que a AMS.I.C. mantém-se em escopo parecido com as duas metodologias dominantes, que é a geração de energia/eletricidade através de fontes renováveis. Alternativamente, as duas outras metodologias, AMS-III.H. e ACM0001, focam no problema de resíduos/rejeitos urbanos, grandes produtores de metano. Apesar de o foco dos mesmos ser a captura do metano, pode haver produção de energia, dependendo do setup definido pelos projetos.

#### 6.1.4 Redução Média de emissões por projeto ao longo do período 2004-2015

Ao longo dos anos, o porte dos projetos de MDL apresentou significativa redução, atingindo um patamar aproximadamente constante desde 2006. Esses números ficam evidentes na Figura 18, abaixo. Como o ano de 2004 possui apenas um projeto aprovado – o Aterro NovaGerar, projeto de grande porte – e como o valor para 2015 representa um resultado parcial, a análise exclui propositalmente estes anos.

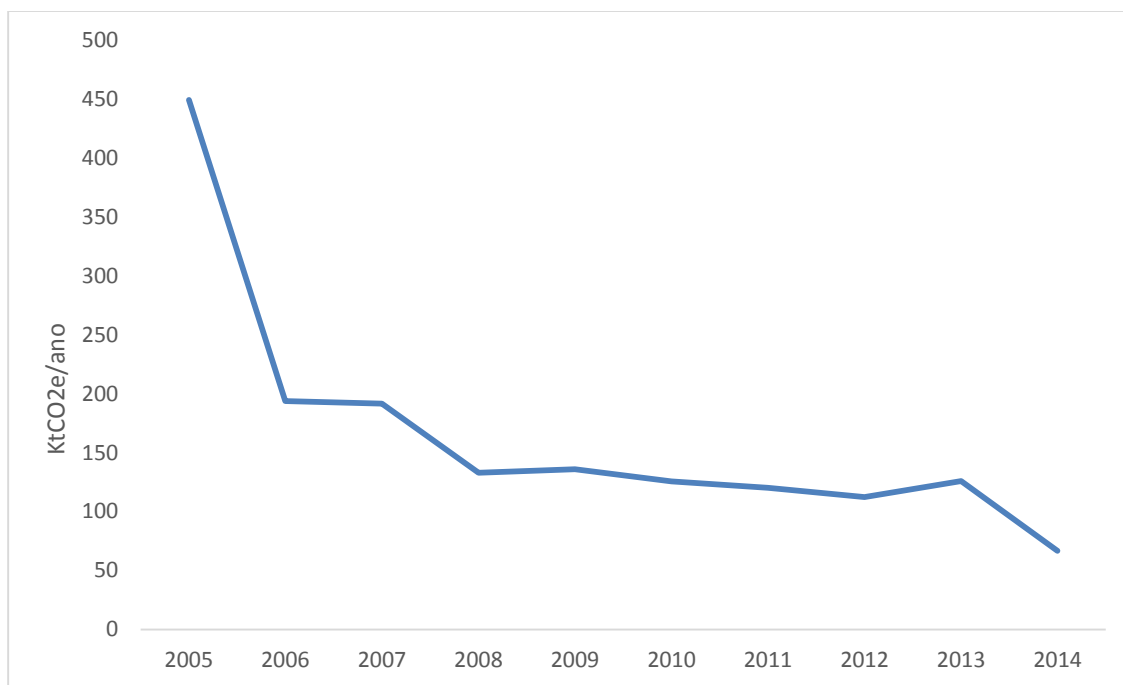


Figura 21 - Redução média de emissões de carbono anuais dos projetos de MDL aprovados por ano, no período 2005-2014

Pode-se perceber que há, atualmente, maior registro de projetos que geram um impacto mais próximo de 100 KtCO<sub>2</sub>e/ano. Esse fenômeno pode ter duas explicações plausíveis: a primeira delas é a de que boa parte dos grandes projetos de redução já foram contemplados e a segunda é a de que as dificuldades de gestão/aprovação/manutenção, bem como o reduzido risco associado a projetos de menor escala aumentam a atratividade dos mesmos.

#### 6.1.5 Número de partes envolvidas (Anexo I) nos projetos aprovados

Classificando os projetos de MDL aprovados até o momento de acordo com o número de outras partes envolvidas (países do Anexo I), o resultado obtido foi o que segue:

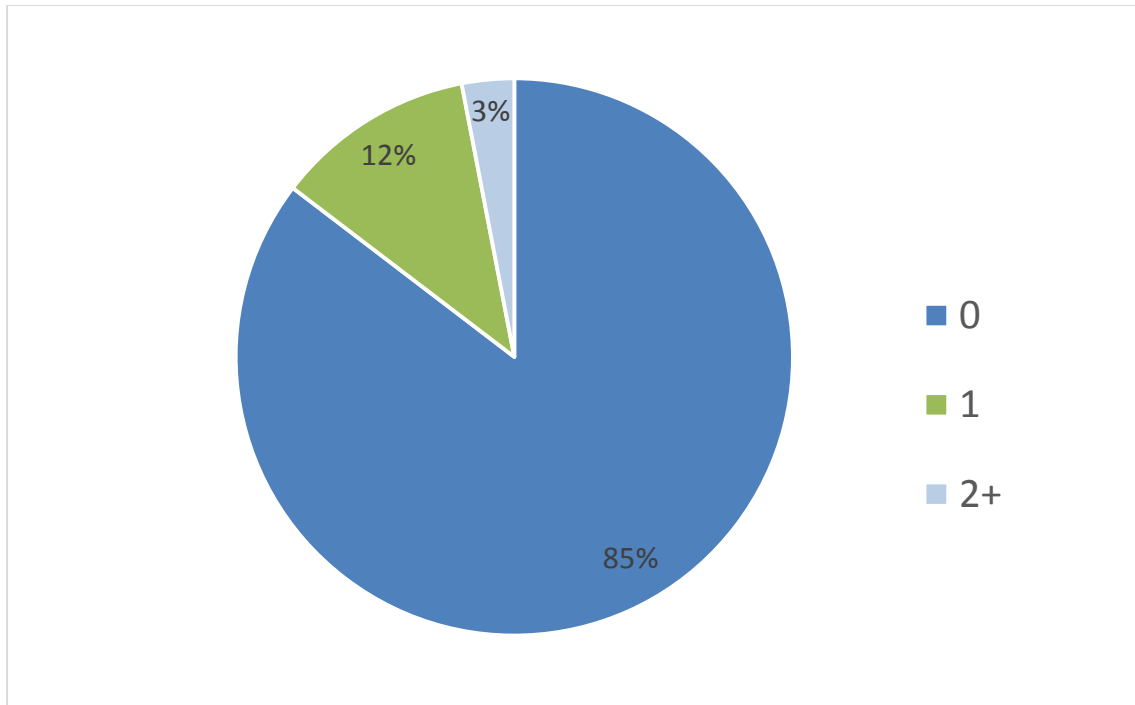


Figura 22 - Número de outras partes envolvidas (Anexo I) nos projetos de MDL no período 2004-2015

Como já foi levantado na revisão bibliográfica, consta dentre os objetivos dos projetos de MDL a transferência de tecnologias mais limpas de países do Anexo I para implementação em países em desenvolvimento, com apoio técnico, financeiro e de gestão para o sucesso dos projetos. Percebe-se claramente que 85% dos projetos ocorrem por implementação independente, um fenômeno citado por Shei em seu artigo *“Understanding the dominance of unilateral CDM projects in China: origins and implications for governing carbon markets”*<sup>47</sup>, ao qual denomina uCDM (projetos de MDL unilaterais). Percebe-se aqui uma relação dos países do Anexo I como compradores dos CERs gerados advindos de projetos independentes, ao invés de “tutores” ou “fomentadores” da proliferação dos mesmos. Essa também pode ser uma razão levantada pela qual a oferta de para créditos de carbono se descolou tão significativamente da demanda.

Fazendo uma análise da evolução temporal desse número, vê-se uma completa tendência de queda, sendo que nos anos de 2014 e 2015 nenhum dos projetos aprovados envolvia países do Anexo I.

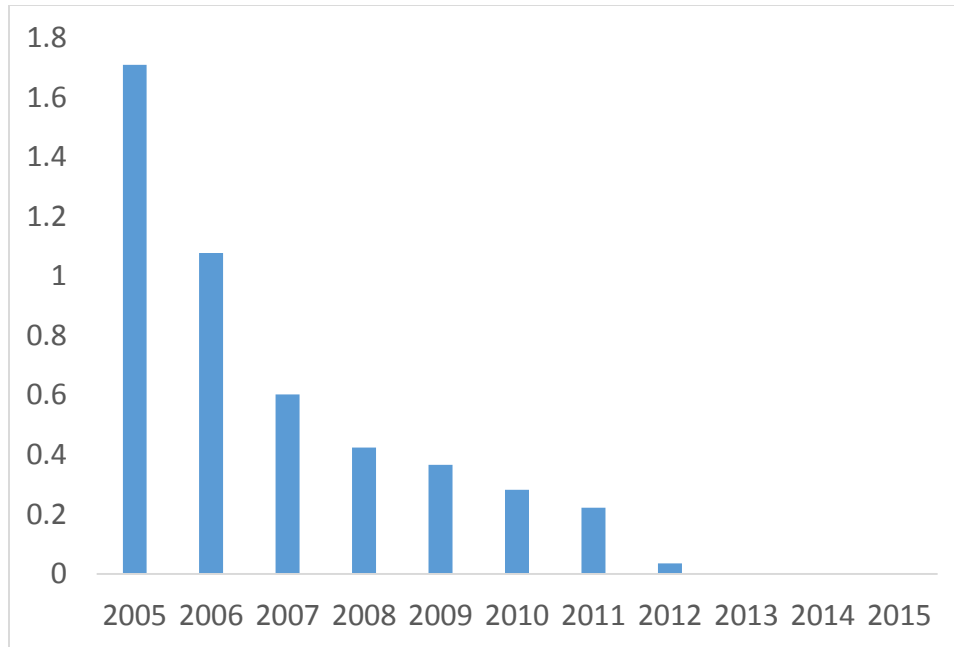


Figura 23 - Evolução do número médio de outras partes envolvidas (Anexo I) nos projetos de MDL (2005-2015)

## 6.2 Análises dos projetos de MDL no Brasil

### 6.2.1 Evolução histórica do número de projetos aprovados

Há diversas semelhanças no perfil dos projetos de MDL desenvolvidos no Brasil com o resto dos projetos aprovados globalmente. A série histórica de número de projetos registrados é a que segue:

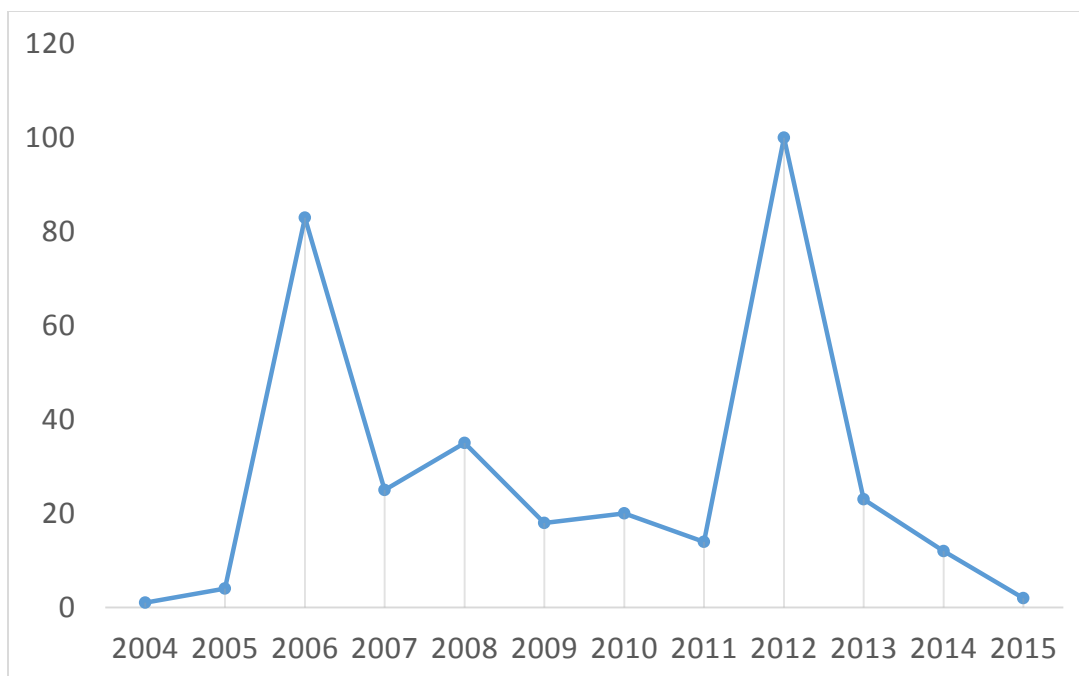


Figura 24 - Total de Projetos de MDL aprovados por ano no Brasil (2004-2015)

A tendência brasileira converge bem significativamente com a global, à exceção do ano de 2006, onde o volume de aprovações tem, também, um grande pico. Nos anos seguintes, entretanto, o Brasil perde significativa participação global por conta da grande permeação chinesa e indiana.

#### 6.2.2 Metodologias principais empregadas no Brasil por número de projetos 2004-2015

Durante o período, as principais metodologias que foram empregadas na implementação de projetos no Brasil foram as que seguem:



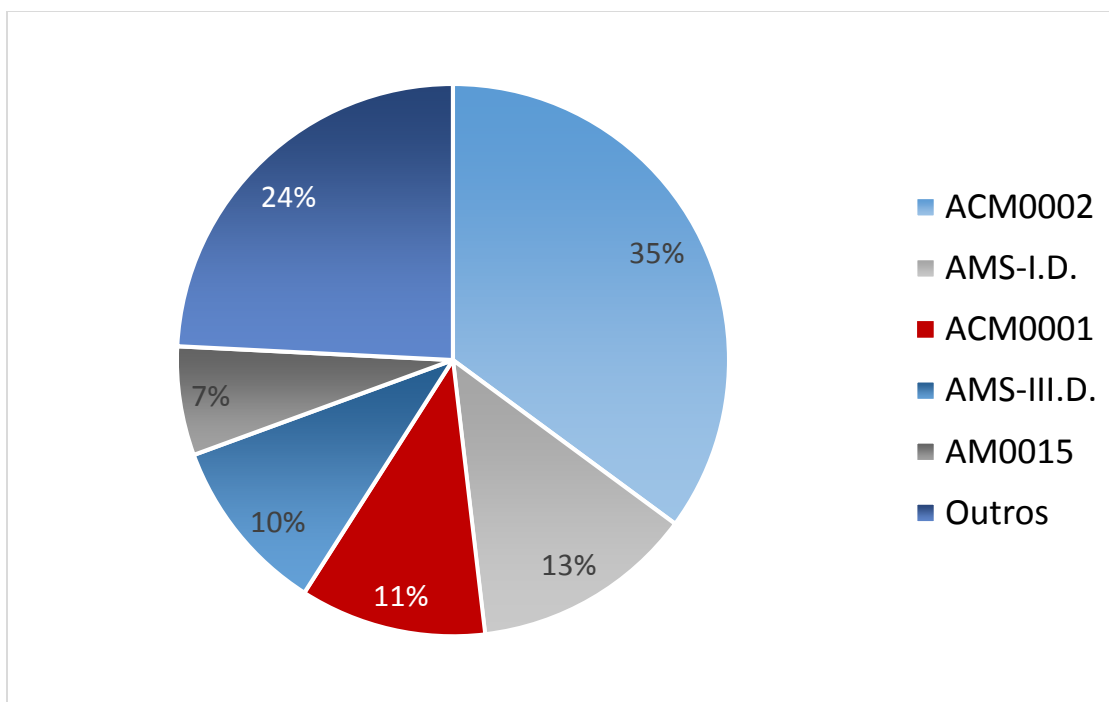


Figura 25 - Principais metodologias empregadas nos projetos de MDL aprovados no Brasil, pelo critério de número de projetos (2004-2015)

Fica nítida a menor concentração de projetos nas duas metodologias predominantes no resto do mundo, ACM0002 e AMS-I.D., tendo essas contribuído com um total de 48% dos projetos brasileiros. A ACM001 aparece em terceiro lugar no país, com 11% do total de projetos, contrastantes com a percentagem de 3% global. Isso demonstra a importância de projetos de gás de aterro no Brasil, mesmo com o grande potencial a ser desenvolvido.

Duas metodologias não figuravam dentre as principais metodologias no contexto global. São elas:

- AMS-III.D. – *“Methane recovery in animal manure management systems”*
- AM0015 – *“Bagasse-based cogeneration connected to an electricity grid”*

Elas refletem particularidades da matriz produtiva brasileira. O Brasil possui uma das maior população de gado do planeta, contando com pouco mais de 50 milhões de cabeças de gado. O país é, conseqüentemente, o maior exportador de carne vermelha, detendo mais de 20% da percentagem global em 2013 <sup>48</sup>.

Além da produção bovina, o Brasil é, de longe, o principal exportador de açúcar de cana do mundo, sendo responsável por mais da metade da produção global, exportando mais de 26 milhões de toneladas de açúcar anualmente. Além disso, o Brasil possui grande utilização da matéria prima na produção do álcool combustível, estando este presente em proporções de 20-25% em toda a gasolina comercializada no país, que também conta com quase a totalidade dos veículos vendidos (mais de 90%, excluindo veículos a diesel) com motores com a tecnologia *flex fuel*.<sup>49</sup>

### 6.2.3 Principais países do Anexo I envolvidos em projetos no Brasil, por número de projetos (2004-2015)

A Figura 23 explicita os principais países do Anexo I envolvidos nos projetos ocorridos no Brasil, ranqueados por número de projetos:

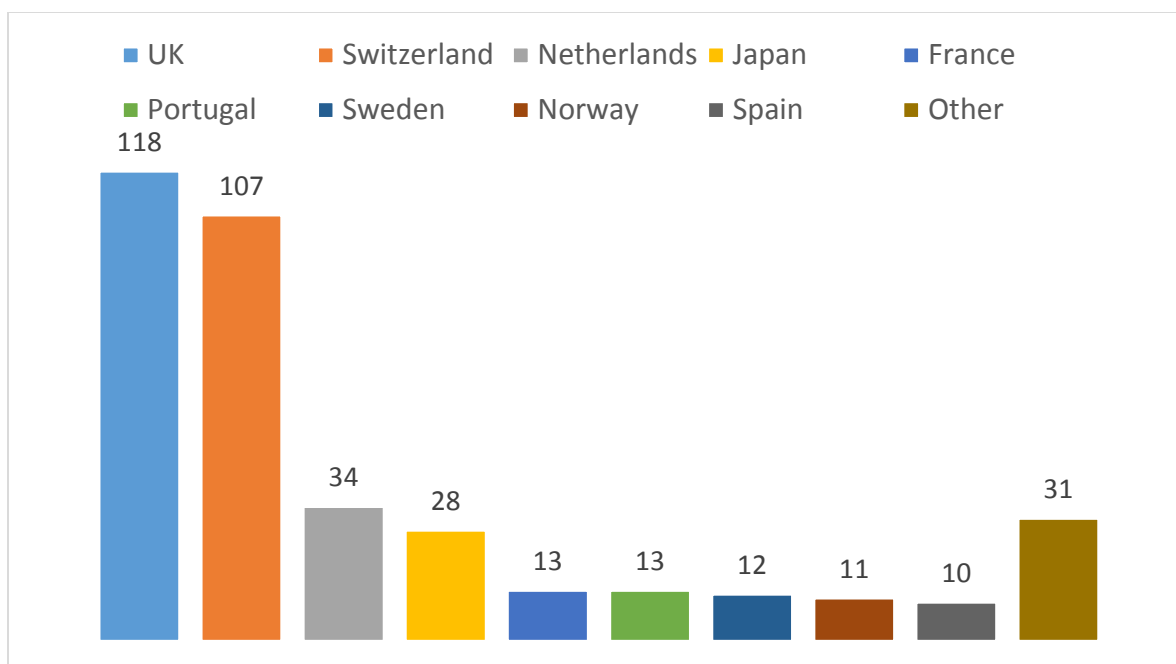


Figura 26 - Principais países do Anexo I em colaboração com projetos de MDL desenvolvidos no Brasil (2004-2015)

Pode-se perceber, inicialmente que Reino Unido e Suíça representam os principais apoiadores de projetos no Brasil, cada qual presente em mais de 100 projetos. Vale ressaltar, também, que dos 9 países destacados, apenas um deles não pertence à União

Europeia, reforçando a ideia de que o continente Europeu absorve boa parte dos créditos de carbono gerados por projeto de MDL gerados no mundo.

Apesar de ser possível citar países com grande colaboração com os projetos brasileiros de MDL, a análise seguinte demonstra que o país replica em boa parte a tendência mundial no que tange às parcerias de países do Anexo I na implementação de projetos.

#### 6.2.4 Número de outras partes envolvidas nos projetos aprovados até o momento no Brasil e evolução histórica da participação de países do Anexo I.

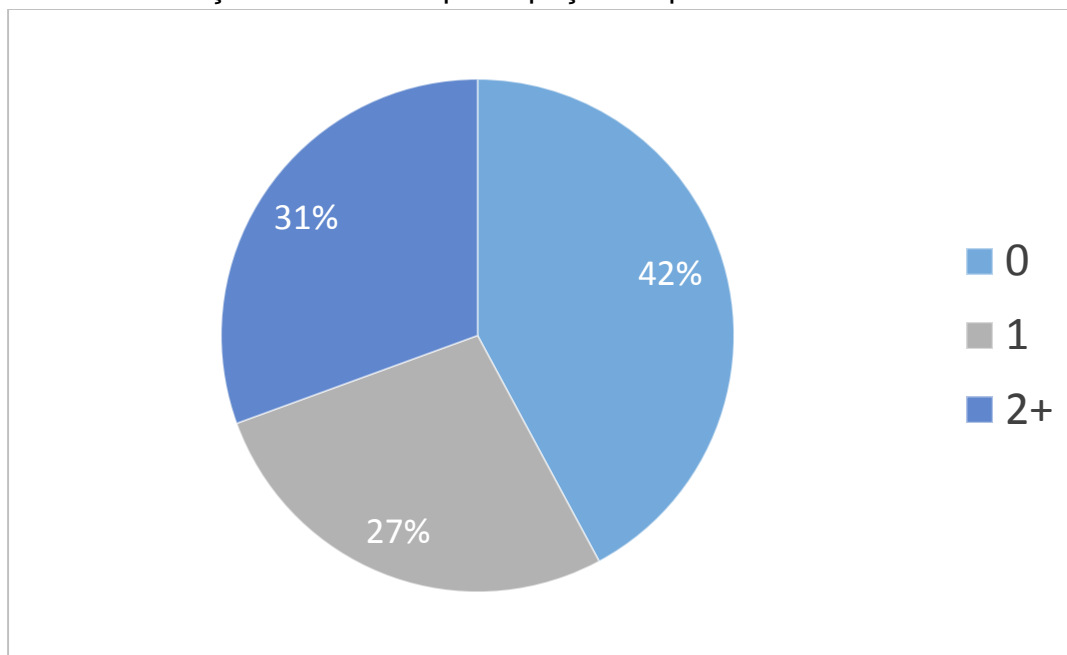


Figura 27 - Percentual de projetos aprovados por número de outras partes envolvidas (2004-2015)

Fica evidente, pela observação das percentagens, que há no Brasil uma participação muito mais significativa de outras partes na elaboração/condução de projetos de MDL do que no resto dos países-sede que compõem o *pool* global de análise apresentado anteriormente. No caso brasileiro, 58% dos projetos possuem a participação de pelo menos um país do Anexo I, demonstrando a factibilidade do modelo colaborativo proposto inicialmente pela UNFCCC. Essa porcentagem entra em claro contraste com o valor global de apenas 15% dos projetos com colaboração exterior.

Apesar dos projetos já estabelecidos com colaboração externa, o país aparenta estar rumando, do mesmo modo que o resto do globo, para um modelo de implementação individual, sem participação de países do Anexo I. Essa tendência fica evidente pela evolução histórica da média de outras partes envolvidas em projetos ao longo dos anos, explicitada pela Figura 25:

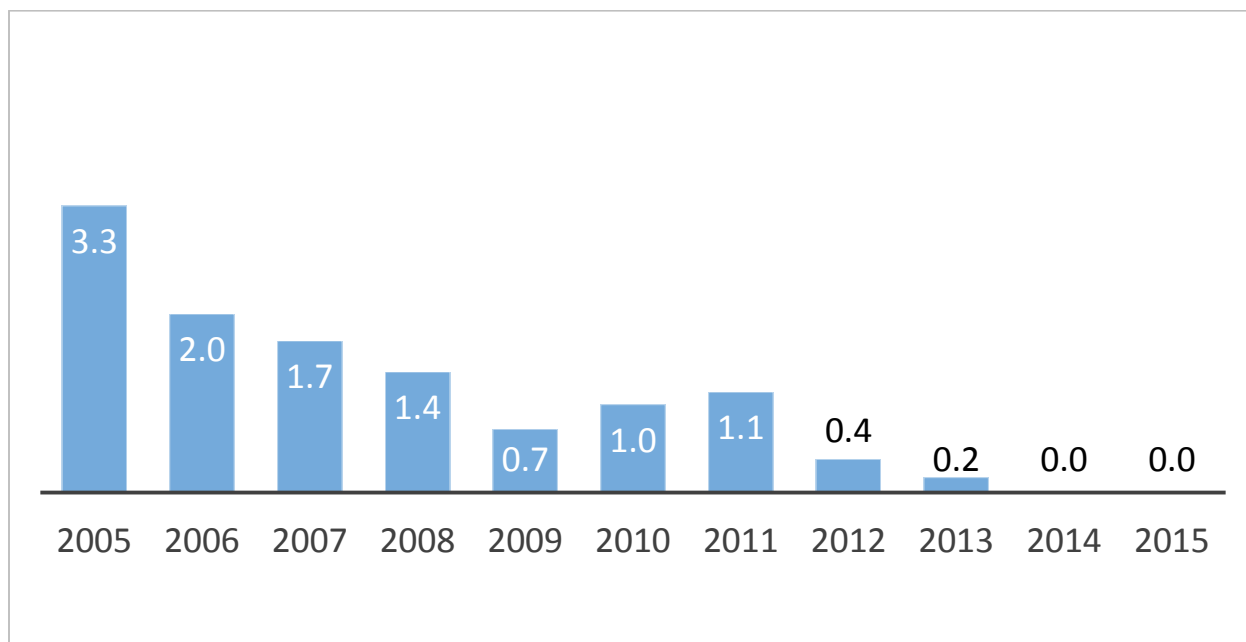


Figura 28 - Número médio de outras partes envolvidas em projetos aprovados por ano no Brasil (2004-2015)

Como pode-se ver, a média Brasileira para os últimos três anos foi expressivamente baixa, indicando uma migração para um modelo menos colaborativo e mais comercial, onde uma empresa do próprio país concebe o projeto, implementa-o, obtém os CERs e comercializa-os em bolsas como a ICE.

### 6.3 Análise econômica dos projetos de recuperação de gás de aterro no Brasil

#### 6.3.1 Aterro Sanitário de Canhanduba

Para a determinação da viabilidade do aterro sanitário de Canhanduba, alguns parâmetros foram utilizados tal qual descritos no DCP. Outros foram atualizados à luz de projeções econômicas mais recentes.

- Preço de venda da energia pelo LFG: Foi-se admitido que o preço de venda do MWh produzido pelos geradores seria igual a R\$102,41, teto do valor de energia gerada por biomassa negociada durante o “leilão de Energia A3/2011”.
- Reforma/Custo residual dos geradores: A vida útil dos equipamentos do projeto é de, no mínimo, 20 anos, portanto nenhuma reforma foi prevista durante o período de funcionamento do projeto. Além disso, o período de depreciação dos equipamentos é de 10 anos, não havendo, portanto, valor residual recuperado ao fim da vida do projeto.
- Taxa de Câmbio: A taxa de câmbio utilizada no DCP para o Euro foi de R\$2,45, média dos 12 meses anteriores. Para as análises realizadas nesse trabalho, foi utilizada uma taxa de câmbio de R\$3,23, média observada no período de julho de 2014 a julho de 2015 <sup>50</sup>.
- Taxa de inflação: Dado que o DCP utiliza projeções do FMI, que subestima algumas projeções para a inflação brasileira no período 2014-2017, a previsão que foi utilizada foi a oferecida pela Price Waterhouse&Coopers <sup>51</sup>, considerando-se previsão de fechamento da inflação de 2015, 2016 e do período de 2017-2021 de, respectivamente, 8,0; 6,3 e 4,8%.
- Taxa Líquida de Mínima Atratividade: Seguiu-se a taxa de mínima atratividade utilizada na elaboração do DCP, disponibilizada por Moody's para projetos de energia no Brasil, de 11,75%.
- Impostos: Dado que a destinação da energia não é um consumidor final, somente PIS e COFINS são aplicáveis, não havendo cobrança de ICMS, sendo cobrado, assim, um total de  $1,65+7,60=9,25\%$  de imposto total.
- Projeção de Instalação da Capacidade: O planejamento realizado para a instalação da capacidade de geração ocorreu segundo a projeção de energia estimada a ser produzida pelo LFG gerado pelos resíduos do aterro. Essa projeção é tal que nos anos de 2013, 2015 e 2020 as capacidades instaladas sejam de, respectivamente, 1.060, 2.120 e 3.180 kW. Esses valores sofreram incrementos pontuais em cada um dos anos citados nos cálculos desenvolvidos no item 6.3.3.

O investimento total para a capacidade final projetada, de 3.180kW é de €2.164.945.

- Custos de Operação e Manutenção: O DCP utiliza os custos de manutenção do gerador a gás proporcionais à energia produzida, estimados em €20,20/MWh. Esse valor foi mantido nas análises desse trabalho.

Munidos destas informações, é possível determinar o Valor Presente Líquido do projeto, através da aplicação da taxa de mínima atratividade e inflação adequadas, chegando a um VPL de -€1.199.098. Claramente trata-se de um projeto cuja realização não seria possível sem a renda advinda dos CERs.

Tabela 6 - Cálculo de VPL do Projeto de Canhanduba

Anos	VPL	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Despesas</b> (-) Infraestrutura	1471912	721648	0	721648	0	0	0	0	721648
(-) Man. & Oper.	206829	21412	32118	42824	47106	51389	55671	59954	64236
(-) Impostos	48889	4098	6498	9184	10911	12652	14365	16212	18204
<b>Receitas</b> Venda Energia	528532	44308	70250	99287	117953	136783	155294	175267	196800
<b>VPL FINAL</b>	<b>-1199098</b>	-702851	26866	-470269	36433	39422	39644	39537	-207878

O aterro de Canhanduba gerará, em sua capacidade plena, um total de 78.269 tCO<sub>2</sub>e/ano, gerando essa mesma quantidade de CERs. Esse número evolui conforme descrito na tabela de projeto, descrita abaixo:

Tabela 7 - CERs emitidos anualmente pelo Aterro de Canhanduba

Anos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>CERs gerados (tCO<sub>2</sub>e)</b>	0	39135	52179	57397	62615	67833	73051	78269

Com base nos dados de redução de emissões, o valor total que pode ser obtido através da comercialização dos mesmos será analisado posteriormente, em três cenários distintos de precificação.

### 6.3.2 Aterro de Belford Roxo

Para a análise do projeto de Belford Roxo, as mesmas premissas utilizadas para o aterro de Canhanduba. O DCP produzido pela Bob Ambiental separa as despesas em dois tipos, distribuindo-as através dos anos: Infraestrutura e Startup (englobando equipamentos de captura e monitoramento, serviço de montagem e engenharia, etc.) e Manutenção & Operação (separados por cada parte do projeto, como os tubos de coleta, analisadores, válvulas e bombas, testagem, etc.). Não há, no caso deste projeto, receita gerada pelo projeto *per se*, conforme ocorre no Aterro de Canhanduba. A Tabela 8 apresenta os valores de VPL em função das despesas do projeto:

Tabela 8 - Cálculo de VPL do Projeto da Bob Ambiental

Anos		VPL	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Despesas</b>	(-) Infraest. e Startup	2054260	1925977	8480	15208	8480	15208	197273	15208	8480
	(-) Man. & Oper	2864261	332893	653787	653787	653787	653787	653787	653787	653787
<b>VPL FINAL</b>		<b>-4918520</b>	-2258870	-563871	-484972	-408765	-351569	-380798	-254862	-214814

As emissões de CERs estimadas pelo projeto, tal qual apresentado para o projeto de Canhanduba, são mostradas na Tabela 9:

Tabela 9 - CERs emitidos anualmente pelo Aterro da Bob Ambiental

Anos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>CERs gerados (tCO2e)</b>	16541	51228	65304	76605	86005	94094	101272	53905

Com base nesses valores, a análise realizada nos item 6.3.3 descreve a receita obtida através da comercialização dos CERs.

### 6.3.3 Análise da viabilidade dos projetos baseando-se na comercialização de CERs

Três estimativas-base serão utilizadas para o preço dos CERs no mercado global. O Cenário 1 será o de manutenção do preço de spot atual de negociação na ICE. O Cenário 2 será de moderada recuperação do preço observado pré-quebra de 2012, esperando um preço médio de negociação de €3,00. O Cenário 3 será o cenário de recuperação de 100% do valor médio de negociação pré-2011, de €12,00. Os três cenários são descritos

na tabela abaixo, com os respectivos valores gerados pela venda de CERs em cada um dos projetos e cenários.

Tabela 10 - Valores obtidos através da Comercialização de CERs no Mercado de Carbono em diferentes cenários de preço, para ambos os projetos

Cenários		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Projeto</b>	<b>Preço CER (EUR)</b>	0,45	3,00	12,00
<b>Canhanduba Bob Ambiental</b>	<b>Total Gerado</b>	193.716	1.291.439	5.165.754
		245.229	1.634.862	6.539.449

Subtraindo-se as despesas de cada um dos projetos, chegamos a um valor de VPL para ambos os projetos que considera a renda com créditos de carbono em cada um dos cenários propostos:

Tabela 11 - VPLs finais obtidos com a comercialização esperada de CERs advindos da atividade de Projeto

Cenários		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<b>Projeto</b>	<b>Preço CER (EUR)</b>	0.45	3.00	12.00
<b>Canhanduba Bob Ambiental</b>	<b>Total Gerado</b>	(1,005,382)	92,341	3,966,656
		(4,673,291)	(3,283,658)	1,620,929

Como fica evidente, o cenário atual não é favorável para nenhum dos dois projetos analisados no presente trabalho. O Projeto de Canhanduba leva significativa vantagem em relação ao CTDR Bob Ambiental por conta da comercialização da energia gerada pelo gás recuperado. Com o cenário de manutenção dos preços atuais de comercialização dos CERs, o projeto da Bob Ambiental tem retorno de -95%, perdendo quase todo o dinheiro investido ao longo dos 7 primeiros anos.



Cenário mais confortável se apresenta com o Aterro de Canhanduba, que, apesar de acumular perdas com o cenário atual de preços dos CERs, torna-se viável já com estes sendo negociados a €3,00.

Uma outra observação relevante é que ambos os projetos seriam plenamente viáveis no cenário de preços anterior à descendente observada em 2011/2012. Ao que tudo indica, o planejamento dos projetos foi realizado durante o período ligeiramente anterior à crise dos mercados de carbono, momento no qual ainda não se possuía noção da extensão que o problema poderia tomar.

## **7 CONCLUSÕES**

A partir do estudo realizado as seguintes conclusões puderam ser tiradas:

- Os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo oferecem, atualmente, um total de quase 1 bilhão de tCO<sub>2</sub>e de redução das emissões globais. Sua atuação em conjunto com outras modalidades da UNFCCC são as únicas iniciativas sendo tomadas em escala global com o intuito de fomentar uma economia com menor emissão de carbono.
- Os projetos de MDL atualmente conduzidos no mundo estão extremamente concentrados em uma pequena quantidade de países. China e Índia têm papel de destaque no cenário global de projetos de MDL, sendo juntas responsáveis por mais de 70% do total de projetos aprovados e 75% do total de emissões mitigadas.
- Em 2012 observou-se um grande boom no número de projetos aprovados pela UNFCCC, que resultou em severo descolamento entre oferta e demanda e gerou queda abrupta nos valores dos CERs.
- CERs negociados em intervalos de €10-20 até 2011 passaram a ser negociados na casa dos centavos de euro a partir de 2012, devido à massiva oferta de novos projetos e baixa procura por conta de países do Anexo I. A desvalorização observada foi da ordem de 95%.

- Grande parte dos projetos de MDL desenvolvidos no mundo não têm um país do Anexo I envolvido, sendo que essa tendência tem se acentuado ao longo dos anos, principalmente a partir de 2012
- Metodologias que envolvem fontes alternativas de energia para geração de eletricidade ou calor são preponderantes no cenário global.
- A distribuição percentual dentre as metodologias é enormemente concentrada, sendo duas metodologias responsáveis por 69% do número de projetos aprovados globalmente.
- Observou-se tendência de queda no porte médio de projetos ao longo dos anos, com uma estabilização na média de 100-150KtCO<sub>2</sub>e de redução por projeto.
- Os principais países do Anexo I envolvidos em projetos de MDL no Brasil são Reino Unido e Suíça, cada qual envolvido em pouco mais de 100 projetos no país, individualmente ou como co-participante.
- Os projetos de MDL conduzidos no Brasil têm natureza mais colaborativa, tendo 58% deles ao menos um país do Anexo I envolvido. Esse número contrasta claramente com os 15% observados para o resto do mundo. Apesar disso, o país segue a tendência global de rumar para projetos sem participação externa.
- A diferença de destinação do gás de aterro tem profundo impacto na economia de ambos os projetos Canhanduba e Belford Roxo, sendo o Aterro de Canhanduba bem menos vulnerável aos preços praticados pelo mercado de carbono.
- Ambos os projetos analisados demonstraram VPL substancialmente negativo para o panorama atual de negociação dos CERs. O cenário de retomada a €3 torna o projeto de Canhanduba atrativo, porém mantém o projeto de Belford Roxo no vermelho. Somente com o cenário proposto de recuperação a €12 ambos projetos têm VPL positivo ao longo dos 7 anos investigados.
- Medidas governamentais para aplicação de sanções para países que não cumprirem com suas metas de emissão precisam ser estabelecidas em nível global, com o intuito de viabilizar a compra de CERs a um preço mais condizente com as expectativas geradas inicialmente para projetos de MDL. Somente com arrocho nas políticas coercitivas, países do Anexo I se propõem a adquirir CERs a um preço mais elevado, sob a pena de sofrerem multas severas.

## **8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Expandir as análises de VPL para outros projetos envolvendo resíduos sólidos ativos no Brasil, de modo a verificar a viabilidade econômica dos mesmos, aplicando os valores dos CERs para todo o período de vigência, compreendendo qual é o valor de negociação destes que permite a viabilidade plena dos projetos.
- Prospectar potenciais projetos de MDL em resíduos sólidos no Brasil, que possuam viabilidade econômica apesar do reduzido preço de negociação dos CERs.
- Realizar levantamento de iniciativas geopolíticas e econômicas sendo desenvolvidas atualmente para recuperação do mercado de carbono global, sob a ótica das mais recentes negociações

## 9 REFERÊNCIAS

- 1 - STOCKER, T.F, D. QIN, G.-K Plattner, M.M.B Tignor, S.K Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M Midgley. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge UP, 2013.
- 2 - Arrhenius, Svante. "XXXI. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground." *Philosophical Magazine Series* 541.251 (1896): 237-76. Web.
- 3 - "The Rio+20 Earth Summit." *Global Warming, Alternative Energy*. NRDC, n.d. Web. 19 Julho 2015. <<http://www.nrdc.org/international/rio-2012/cleanenergy.asp>>.
- 4 - "What Is the CDM." *CDM: About CDM*. UNFCCC, n.d. Web. 15 Julho 2015. <<https://cdm.unfccc.int/about/index.html>>
- 5 – "Project: 0008 Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project." *CDM: S7AT4T5YDHX1RNDGO6ZOZO6SDNY485*. UNFCCC, 18 Nov. 2004. Web. 15 Julho 2015. <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1095236970.6/view>>
- 6 – Análise própria, Base de dados da UNFCCC, extraída de <[cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html](http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html)>, com metodologia descrita no item 4
- 7 – *Caminhos Para Uma Economia De Baixa Emissão De Carbono No Brasil*. pag 21. São Paulo, SP: McKinsey, 2009.
- 8 – "Project: 0008 Brazil NovaGerar Landfill Gas to Energy Project." *CDM: S7AT4T5YDHX1RNDGO6ZOZO6SDNY485*. UNFCCC, 18 Nov. 2004. Web. 15 Julho 2015. <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1095236970.6/view>>
- 9 – *Caminhos Para Uma Economia De Baixa Emissão De Carbono No Brasil*. São Paulo, SP: McKinsey, 2009.
- 10 – Weart, Spencer R. *The Discovery of Global Warming*. Cambridge, MA: Harvard UP, 2008.11 –

- 11 - Schapiro, Mark. *Carbon Shock: A Tale of Risk and Calculus on the Front Lines of the Disrupted Global Economy, How Carbon Is Changing the Cost of Everything*. Chelsea: Chelsea Green, 2014.
- 12 –Yergin, Daniel. *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. New York: Simon & Schuster, 1991.
- 13 – "Simple Models of Climate." *The Discovery of Global Warming*. AIP, n.d. Web. 16 Julho 2015. <[https://www.aip.org/history/climate/simple.htm#N\\_9a\\_](https://www.aip.org/history/climate/simple.htm#N_9a_)>.
- 14 –"Introduction - Summary." *The Discovery of Global Warming*. AIP, n.d. Web. 14 Julho 2015. <<https://www.aip.org/history/climate/summary.htm>>.
- 15 – Fourier, Jean Baptiste Joseph. "Mémoire Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires." *Oeuvres De Fourier* (2009): 95-126.
- 16 – Tyndall, John. "On Radiation through the Earth's Atmosphere." *Journal of the Franklin Institute* 77.6 (1864): 413-18.
- 17 – Chamberlin, Thomas C. (1899). "An Attempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis." *J. Geology* 7: 545-84, 667-85, 751-87.
- 18 – Brooks, C.E.P. (1922). "A Period of Warm Winters in Europe." *Meteorological Magazine*, Junho, pp. 203-05.
- 19 –"Greenhouse Gas Emissions: Greenhouse Gases Overview." EPA. Environmental Protection Agency, n.d. Web. 15 Julho 2015. <<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases.html>>.
- 20 – Elrod, Matthew J. "Greenhouse Warming Potentials from the Infrared Spectroscopy of Atmospheric Gases." *J. Chem. Educ. Journal of Chemical Education* 76.12 (1999): 1702.
- 21 –EPA, 2015
- 22 –"Status of Ratification." *Status of Ratification - Kyoto Protocol*. UNFCCC, n.d. Web. 24 Junho 2015. <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)>.
- 23 –*Kyoto Protocol*. New York: United Nations, 1997.

- 24 – "Conference of Parties (COP)." *COP*. UNFCCC, n.d. Web. 16 Julho 2015. <<http://unfccc.int/bodies/body/6383.php>>.
- 25 – "Parties to the Convention and Observer States." *Parties to the Convention and Observer States*. UNFCCC, n.d. Web. 18 Julho 2015. <[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/items/2352.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/items/2352.php)>.
- 26 – "List of Annex I Parties to the Convention." *List of Annex I Parties to the Convention*. UNFCCC, n.d. Web. 28 Julho 2015. <[http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/annex\\_i/items/2774.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php)>.
- 27 – "Status of Ratification." *Status of Ratification - Kyoto Protocol*. UNFCCC, n.d. Web. 24 Junho 2015. <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/status\\_of\\_ratification/items/2613.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)>.
- 28 – *Report of the Conference of the Parties on Its Third Session, Held at Kyoto from 1 to 11 December 1997: Addendum Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at Its Third Session*. Bonn: UNFCCC Secretariat, 1998.
- 29 – "10.4.4. Where Should the Response Take Place? The Relationship between Domestic Mitigation and the Use of International Mechanisms." *IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001*. N.p., n.d. Web. 05 Agosto. 2015. <[http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/?src=%2Fclimate%2Fipcc\\_tar%2Fwg3%2F441.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=%2Fclimate%2Fipcc_tar%2Fwg3%2F441.htm)>
- 30 – "International Emissions Trading." *Emissions Trading*. UNFCCC, n.d. Web. 03 Agosto. 2015. <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/mechanisms/emissions\\_trading/items/2731.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/emissions_trading/items/2731.php)>.
- 31 – "CDM Project Cycle." *CDM: Project Activities*. UNFCCC, n.d. Web. 03 Julho 2015. <<https://cdm.unfccc.int/Projects/diagram.html>>.
- 32 – "CDM Methodologies." *CDM: Methodologies*. UNFCCC, n.d. Web. 05 Julho 2015. <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>>.
- 33 – *CDM METHODOLOGY BOOKLET*. 6<sup>a</sup> ed. Geneva: UNFCCC, 2014.
- 34 – *Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil*. 10a ed. São Paulo: ABRELPE, 2012.
- 35 – "Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. 2012. *What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management*. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> License: CC BY 3.0 IGO."

- 36 – "Gross Domestic Product." (2014): n. pag. World Bank. Web. 25 Julho 2015. <<http://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf>>.
- 37 – *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. 10a ed. São Paulo: ABRELPE, 2012.
- 38 – *LFG Energy Project Development Handbook*. EPA, 2015.
- 39 – "Renewable Energy Project Development Assistance (Fact Sheet)." (2013): n. pag. *LFG Energy Project Development Handbook*. EPA, Feb. 2015. Web. 16 Julho 2015. <[http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf\\_full.pdf](http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf_full.pdf)>.
- 40 - "Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário". *Aproveitamento Energético Do Biogás De Aterro Sanitário*. Ministério Do Meio Ambiente, n.d. Web. 05 Julho 2015. <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>.
- 41 - U.S. EPA, 2011. DRAFT: Global Anthropogenic Emissions of Non-CO2 Greenhouse Gases: 1990–2030 (EPA 430-D-11-003), [www.epa.gov/climatechange/economics/international.htm](http://www.epa.gov/climatechange/economics/international.htm)
- 42 – "Canhanduba Landfill Project" (2013) "PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM FOR CDM PROJECT ACTIVITIES (F-CDM-PDD)" UNFCCC CDM Executive Board, Web.15 Abril 2015
- 43 – "CTDR Bob Ambiental landfill gas project" (2013) "PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM FOR CDM PROJECT ACTIVITIES (F-CDM-PDD)" UNFCCC CDM Executive Board, Web.15 Abril 2015  
<<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/Germanischer1356621386.29/view>>
- 44 – "CER Index." *CER Index*. ICE, n.d. Web. 25 Julho 2015. <<https://www.theice.com/marketdata/reports/icefutureseurope/ECXCERIndex.shtml>>.
- 46 – "Complete Disaster in the Making." *The Economist*. The Economist Newspaper, 15 Sept. 2012. Web. 20 Julho 2015. <<http://www.economist.com/node/21562961>>.
- 47 – Shen, Wei. "Understanding the dominance of unilateral CDM projects in China: origins and implications for governing carbon markets" In *The Governance of Clean Development Working Paper Series No. 16.*, 2011

48 – "World Beef Cow Inventory (2013 vs. 2014)." *World Beef Cow Inventory (2013 vs. 2014)*. Beef2Live, n.d. Web. 22 Julho 2015. <<http://beef2live.com/story-world-beef-cow-inventory-2013-vs-2014-130-116221>>.

49 – "Brazilian Transportation Fleet." *SugarCane.org - Brazilian Transportation Fleet*. SugarCane.org, n.d. Web. 23 Julho 2015. <<http://sugarcane.org/the-brazilian-experience/brazilian-transportation-fleet>>.

50 – "Average Exchange Rates." *OANDA*. OANDA, n.d. Web. 18 Julho 2015. <<http://www.oanda.com/currency/average>>.

51 - "Economic Projections: Julho 2015." *Global Economy Watch*. PwC, n.d. Web. 26 Julho 2015. <<http://www.pwc.com/gx/en/issues/economy/global-economy-watch/projections.jhtml>>.