

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA LUIZA SLAPNIG MARTINS

REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GÁS DE EFEITO ESTUFA PELA IMPLANTAÇÃO DE  
PROJETO DE MDL NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS, LUANDA, ANGOLA

CURITIBA

2018

ANA LUIZA SLAPNIG MARTINS

REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GÁS DE EFEITO ESTUFA PELA IMPLANTAÇÃO DE  
PROJETO DE MDL NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS, LUANDA, ANGOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de  
Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profª. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi

CURITIBA

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

## TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

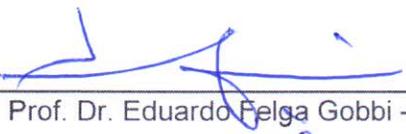
ANA LUIZA SLAPNIG MARTINS

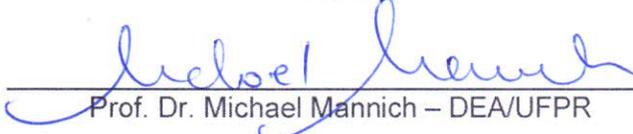
### REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GÁS DE EFEITO ESTUFA PELA IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE MDL NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 100, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):   
Prof.ª. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi – DEA/UFPR

Co-orientador(a): \_\_\_\_\_  
Nome do(a) Professor(a) Co-orientador(a)  
Departamento / Instituição do(a) Co-orientador(a)

Membro(a) 1:   
Prof. Dr. Eduardo Felga Gobbi – DEA/UFPR

Membro(a) 2:   
Prof. Dr. Michael Mannich – DEA/UFPR

Membro(a) 3: \_\_\_\_\_  
Nome do(a) Membro(a) Examinador 3  
Departamento / Instituição do(a) Membro(a) 3

Curitiba, 07 de dezembro de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por tudo de bom e pelas oportunidades que tem me concedido.

Aos meus pais e meu irmão por todo o apoio extra que me deram durante todo esse ano e exemplo que me passaram para minha formação.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi, pelos ensinamentos e auxílio na elaboração deste trabalho.

Ao Engenheiro Nuno Barbosa, que mesmo de longe e com muita boa vontade, esclareceu todas as minhas dúvidas ao longo da elaboração deste trabalho.

E a todos, que de algum jeito, me incentivaram e deram motivação ao longo deste ano, meu muito obrigada!

## RESUMO

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos instrumentos de flexibilização com o objetivo de facilitar o cumprimento de metas de redução de emissão de GEE, definidas para os países que ratificaram o Protocolo de Quioto. Empresas e países estrangeiros que não desejam ou não conseguem diminuir suas emissões podem comprar os RCEs de países em desenvolvimento, através de projetos de mitigação de GEE. Na lista de projetos de MDL que visam a mitigação de GEE, está a disposição final de resíduos sólidos com os aterros sanitários, já que a decomposição da matéria orgânica promove a liberação do biogás, cujos principais constituintes são o gás carbônico e o metano. O biogás é considerado uma fonte de energia renovável que, com sua recuperação e uso energético, apresenta vantagens ambientais com a redução de emissões de GEE, sociais e tecnológicas. Portanto, este trabalho desenvolve um estudo de implantação de projeto de MDL no Aterro Sanitário dos Mulenvos, em Luanda/Angola e tem como objetivo analisar uma estimativa das reduções de emissões de GEE que teriam ocorrido desde 2010 pela implantação do projeto e a utilização do biogás para a geração de energia elétrica. Esse estudo mostrou que, com um projeto de MDL no aterro, reduções de emissão de até 9.300.000 tCO<sub>2</sub>eq poderiam ser alcançadas em um período de 21 anos, e uma planta geradora de energia elétrica com capacidade máxima de aproximadamente 7 MW poderia ser instalada, chegando a promover energia elétrica para até 122.000 pessoas.

Palavras chaves: Aterro Sanitário. Biogás. Reduções de Emissões. Energia Elétrica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Registros publicados de mudanças de temperatura da superfície da Terra desde 1840, em grandes regiões, de acordo com diferentes autores.....	10
FIGURA 2 – Concentração de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O a partir do ano um do calendário cristão.....	11
FIGURA 3 – Demonstração das emissões da linha de base e emissões do projeto, resultando na redução de emissões.....	18
FIGURA 4 – Emissões globais antrópicas de gases do efeito estufa.....	23
FIGURA 5 – Fontes antropogênicas de metano.....	24
FIGURA 6 – Imagens das drenagens pluviais permanentes do Aterro Sanitário dos Mulenvos.....	29
FIGURA 7 – Imagens da impermeabilização de fundo do Aterro Sanitário dos Mulenvos, com manta PEAD.....	30
FIGURA 8 – Imagens da drenagem intermediária e de fundo para coleta de percolado, no Aterro Sanitário dos Mulenvos.....	30
FIGURA 9 – Imagens da lagoa de lixiviado do Aterro Sanitário dos Mulenvos.....	31
FIGURA 10 – Dreno de gás do Aterro Sanitário dos Mulenvos.....	31
FIGURA 11 – Fluxograma esquemático: delineamento do limite do projeto para a atividade de projeto e as estimativas de emissões de linha de base e projeto consideradas, segundo ACM0001.....	34
FIGURA 12 – Sistemas elétricos de Angola.....	73

## LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 1 – Gravimetria dos resíduos sólidos de Luanda, no ano de 2007. ....</i>	<i>39</i>
<i>TABELA 2 – Total de créditos de carbono obtidos pela redução de emissões. ....</i>	<i>53</i>
<i>TABELA 3 – Casos para determinação do metano capturado e destruído na linha de base. ....</i>	<i>66</i>
<i>TABELA 4 - Valor e fonte de informação de cada variável para o cálculo de BECH4, SWDS, y. ....</i>	<i>69</i>
<i>TABELA 5 – Valor e fonte de informação de cada variável para o cálculo de BECH4, SWDS, y. ....</i>	<i>70</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS .....	9
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EFEITO ESTUFA .....	10
2.2 CONTEXTO DO MDL.....	13
2.2.1 CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA.....	13
2.2.2 PROTOCOLO DE QUIOTO .....	14
2.3 MDL E O CRÉDITO DE CARBONO.....	16
2.3.1 EMISSÕES DE LINHA DE BASE .....	17
2.3.2 ADICIONALIDADE .....	18
2.3.3 ETAPAS DO MDL.....	19
2.3.4 MERCADO DOS CRÉDITOS DE CARBONO .....	21
2.4 ATERROS SANITÁRIOS COMO GERADORES DE GASES DE EFEITO ESTUFA....	23
2.5 MÉTODOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE MDL EM ATERROS.....	25
2.6 ESTUDO DE CASO – ATERRO DE MULENVOS EM LUANDA, ANGOLA .....	27
2.6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	27
2.6.2 ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS – PROJETO E FUNCIONAMENTO .....	28
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
3.1 O PROJETO .....	32
3.2 MÉTODO UTILIZADO – ACM0001 .....	34
3.2.1 Emissões do cenário de linha de base.....	35
3.2.2 Emissões do cenário de projeto .....	36
3.2.3 Redução de emissões.....	38
3.3 DADOS DO ATERRO .....	38
3.4 POTENCIAL ECONÔMICO COM AS REDUÇÕES CERTIFICADAS DE EMISSÕES	40
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
4.2 Etapas para o cálculo das emissões do cenário de linha de base do projeto .....	43
4.2.1 Geração anual de metano no Aterro Sanitário dos Mulenvos.....	43
4.2.2 Emissões de linha de base de metano provenientes de um LDRS (BECH <sub>4</sub> , y) .....	45
4.2.3 Emissões de linha de base associadas com a geração de eletricidade (BEEC, y) .....	46
4.3 Emissões do cenário da Linha de Base do Projeto para o Aterro Sanitário dos Mulenvos..	50
4.4 Emissões do Projeto .....	50
4.4.1 Resultado das emissões provenientes do consumo de energia elétrica pelo projeto .....	50
4.5 Redução de emissões .....	51
4.6 Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) .....	53
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>

<b>APÊNDICE A – PASSOS PARA DETERMINAÇÃO DE EMISSÕES DE LINHA DE BASE PROVENIENTES DE UM LDRS (<math>BE_{CH_4,y}</math>) .....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE B – PASSOS PARA DETERMINAÇÃO DE EMISSÕES DE LINHA DE BASE PROVENIENTES DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE (<math>BE_{EC,y}</math>) .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE C – PREVISÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DEPOSITADA NO ATERRO DOS MULENVOS .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE D – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA LINHA DE BASE PROVENIENTES DO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE E – POTÊNCIA E ENERGIA GERADAS NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE F – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA LINHA DE BASE ASSOCIADAS COM A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE G – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DO CENÁRIO DA LINHA DE BASE .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE H – REDUÇÃO ESTIMADA DAS EMISSÕES DE GEE PELO PROJETO NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS.....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a questão da mudança do clima faz parte da realidade política e econômica internacional, com repercussão nas diversas áreas do conhecimento, e demandando inovações e desenvolvimentos científicos e tecnológicos. Para combater os fenômenos antrópicos que ocasionam a mudança do clima e potencialmente o aquecimento global, é preciso fazer uso de soluções já existentes e implantadas, bem como buscar novas soluções viáveis de mitigação.

Assim, a entrada em vigor do Protocolo de Quioto em 2005 e a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), resultou em um incentivo para buscar soluções que visam diminuir a geração de Gases de Efeito Estufa (GEE) e atrair cada vez mais a atenção do mundo dos negócios. Além de ser um facilitador para países desenvolvidos do Anexo I, que possuem metas de reduções de emissões de GEE a alcançar, ele representa uma oportunidade para promover o desenvolvimento sustentável aos que precisam (CGEE, 2010).

Um dos tipos de projetos de MDL é o aplicado em Aterros Sanitários, com a captura e aproveitamento dos gases gerados pela decomposição natural da matéria orgânica depositada. Esse tipo de projeto, além de resultar em reduções de emissões de metano, funciona como um facilitador do processo de destinação mais adequada de resíduos sólidos, principalmente em países em desenvolvimento, onde o número de habitantes é usualmente grande, gerando conseqüentemente uma grande quantidade de resíduos, e o descarte é, muitas vezes, inadequado. E quanto maior a quantidade de resíduos orgânicos, maior é o potencial de geração de metano, que, quando tratado, pode levar à obtenção e à venda de certificados de redução de emissão de GEE, agregando receita à operação dos aterros sanitários.

Desse modo, o resultado da implantação de um projeto de MDL em aterro sanitário nesses países proporciona a diminuição da emissão de GEE, tornando essa alternativa ambientalmente mais adequada ao país e ainda podendo levar à obtenção de receita adicional e geração de cobenefícios ambientais, econômicos e sociais.

Angola é um exemplo de país em desenvolvimento que poderia se beneficiar da implantação de um projeto de MDL. Luanda, sua capital, possui o segundo maior aterro sanitário da África Subsaariana, o Aterro Sanitário dos Mulenvos, e é o único no país criado com base nos critérios e métodos de engenharia para receber e tratar resíduos sólidos. Além disso, a reciclagem nessa Província ainda é incipiente e inexpressiva, ocasionando quase a total disposição no Aterro

dos Mulenvos, que chegou a receber 7.000 ton/dia de resíduos e, de acordo com gravimetria realizada em 2007 pela empresa ASM, com aproximadamente 25% de matéria orgânica.

Um ensaio de extração de biogás naquele aterro foi realizado em 2012 para avaliar o potencial de utilização do mesmo, e apontou que a porcentagem de metano na fase anaeróbia estava na faixa de 57,5% e desse modo, a qualidade do biogás era considerada padrão (o biogás é composto tipicamente por 60% de metano). Além disso, constatou-se que a cobertura de solo aplicada sobre os resíduos era eficiente para evitar o ingresso de ar através da camada superior de cobertura quando da sua extração. No entanto, devido a outras prioridades, um projeto de MDL que poderia ser aplicado no Aterro Sanitário dos Mulenvos, após confirmado pelo ensaio do biogás, não foi levado em consideração.

Este estudo pretende, portanto, apresentar o resultado da implantação de um projeto de MDL no Aterro Sanitário dos Mulenvos, quantificando o potencial de mitigação da emissão dos GEE, o potencial de geração de energia e avaliar potenciais fontes de receita.

## 1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo geral estimar as reduções de emissões de GEE caso fosse implantado um projeto de MDL no Aterro Sanitário dos Mulenvos, em Luanda/Angola, por meio da geração de energia elétrica e queima do excesso do biogás.

Como objetivos específicos deste trabalho, citam-se:

- Analisar a elegibilidade do projeto no Aterro dos Mulenvos com base nos dados obtidos;
- Determinar o cenário linha de base e de projeto;
- Estimar o potencial de geração de energia com a utilização do biogás do aterro;
- Estimar o potencial de redução de emissões desde o ano de 2010;
- Estimar o montante de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) que poderiam ter sido gerados no Aterro dos Mulenvos com a implantação do projeto;
- Determinar o potencial de receita que poderia ter sido gerada com as Reduções Certificadas de Emissões, em função da variação do seu preço ao longo do período de estudo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

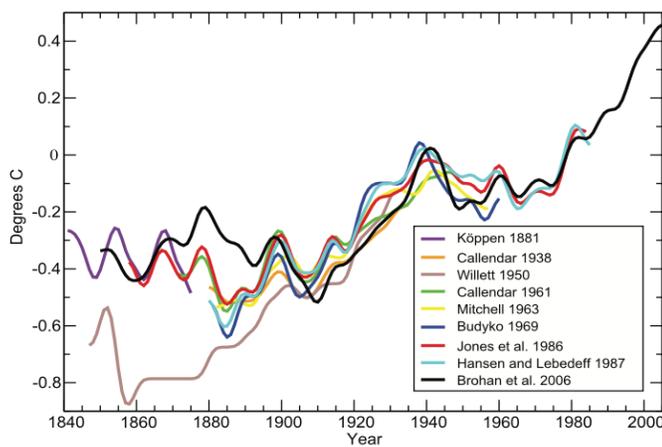
### 2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EFEITO ESTUFA

O entendimento das influências humanas sobre o clima avançou muito nos últimos anos, por meio da constante evolução da ciência climática, levando a uma menor controvérsia sobre o grau de responsabilidade humana nas alterações climáticas e na relação direta do aumento dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera com o aquecimento global (IPCC, 2007).

IPCC (2007) (do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*) apontou que o sistema climático evolui no tempo sob a influência de sua própria dinâmica interna e por mudanças nos fatores externos. Um dos fatores que altera o balanço de radiação da Terra é o aumento da concentração de gases de efeito estufa. Por sua vez, o clima responde diretamente a essa mudança, como mostram as Figuras 1 e 2, onde há relação temporal do aumento da temperatura da Terra publicadas por diferentes autores, com o aumento concentração dos gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

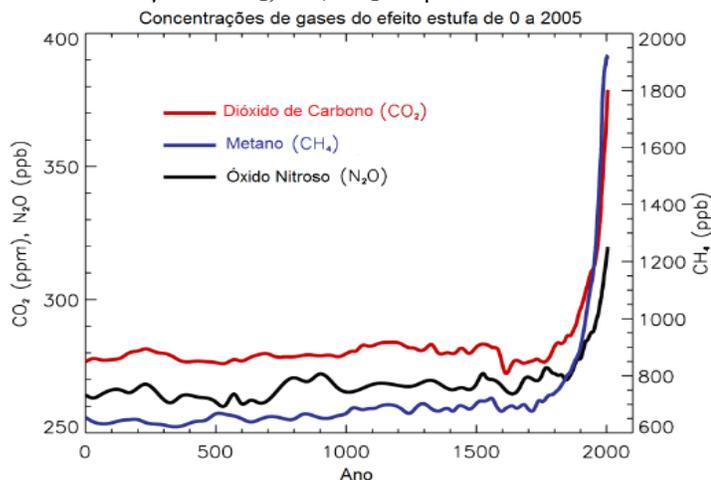
Emissões antropogênicas de GEE aumentaram desde a era pré-industrial, impulsionada em grande parte pelo crescimento econômico e populacional. É muito provável que mais da metade do aumento observado na temperatura média da superfície da Terra de 1950 a 2010, tenha sido causado pelo aumento das concentrações de GEE e outras forçantes antropogênicas juntas. Além disso, as emissões de 2000 a 2010 foram as mais altas da história (IPCC, 2014).

FIGURA 1 – Registros publicados de mudanças de temperatura da superfície da Terra desde 1840, em grandes regiões, de acordo com diferentes autores.



FONTE: (IPCC 2007)

FIGURA 2 – Concentração de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O a partir do ano um do calendário cristão.



FONTE: (IPCC 2007)

A Organização Meteorológica Mundial (apud MARCOVITCH; JACQUES, 2006), apontou também que a última década foi a mais quente da história. O século XX foi o mais quente do milênio e, se continuar nesse ritmo acelerado, a temperatura pode aumentar 3,5°C nos próximos 100 anos.

O Sol é uma grande fonte externa de calor para a Terra. A energia solar chega ao planeta na forma de radiação de ondas curtas, e parte dessa radiação é refletida pelas nuvens e absorvida pela atmosfera. Porém, a maior parte passa pela atmosfera, aquece a superfície e é reemitida, na forma de irradiação infravermelha de ondas longas (NOAA, 2015).

Os GEE atuam na atmosfera retendo a radiação infravermelha que tenta retornar ao espaço, processo que aumenta a temperatura na atmosfera tal como acontece em uma estufa. Esse fenômeno de efeito estufa é algo natural do Planeta e é causado principalmente por vapor d'água e dióxido de carbono, que atuam absorvendo grandes quantidades de ondas longas (radiação IV) irradiadas da superfície do planeta e da atmosfera (IPCC, 2007).

Por causa dessa capacidade dos gases de funcionar de maneira semelhante a uma estufa de calor, este efeito estufa natural é importante para manter a atmosfera da Terra em uma temperatura habitável, já que sem ele, ela seria cerca de 30°C mais fria (NOAA, 2015).

A intensificação do fenômeno do efeito estufa ocorre como resultado do aumento na concentração de gases decorrentes das atividades humanas em todo o mundo. Essas atividades vão desde a queima de combustíveis fósseis, atividades de transporte, geração de energia, indústria e agricultura, até disposição de resíduos sólidos e desmatamento. Em decorrência da

intensificação desse fenômeno, a mudança global do clima é um dos mais importantes desafios do século XXI (MCTIC, 2009). As mudanças climáticas compõem um problema de ação coletiva em escala global, já que a maioria dos GEE acumulam ao longo do tempo e se misturam globalmente, e as emissões de qualquer agente (por exemplo, indivíduo, comunidade, empresa, país) afetam outros agentes. A mitigação eficaz não será alcançada se os agentes individuais promoverem seus próprios interesses independentemente. As respostas cooperativas, incluindo a cooperação internacional, são, portanto, necessárias para mitigar efetivamente as emissões de GEE (IPCC, 2014).

Em seu último relatório publicado, IPCC (2014) afirmou que, com 95% de certeza, o homem com suas ações é o principal causador do aquecimento global. Além disso, ele destaca que atualmente existem meios de limitar as mudanças climáticas e suas consequências, com soluções que permitem o desenvolvimento humano e econômico, porém, quanto mais postergada for a ação, maiores serão os desafios tecnológicos, sociais e institucionais enfrentados.

Entre os GEE de emissão humana, o CO<sub>2</sub> é o mais importante, sendo o responsável por aproximadamente 55% do total das emissões (IPCC 2007). Mas, de acordo com o Anexo A do Protocolo de Quioto, além do CO<sub>2</sub>, incluem-se também Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos (PFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) como gases de efeito estufa.

Para comparar a capacidade de absorção de energia desses gases com a do CO<sub>2</sub> (gás utilizado como referência), em determinado horizonte de tempo, definiu-se o termo CO<sub>2</sub> equivalente ou CO<sub>2</sub>eq. Esse termo estabelece a relação dos gases com base no seu potencial de aquecimento global (sigla em inglês *GWP*). Assim, pode-se utilizar os GWPs para comparar os efeitos das reduções das emissões de CO<sub>2</sub> em relação às reduções das emissões dos demais gases para um determinado horizonte de tempo (IPCC 2007 ; Atlas 2013).

## 2.2 CONTEXTO DO MDL

### 2.2.1 CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA

Preocupada com o potencial impacto catastrófico do aumento da temperatura no planeta, a Organização das Nações Unidas criou em 1988 o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Esse painel é um organismo intergovernamental e científico que engloba a participação de cientistas do mundo todo, os quais sintetizam, a cada cinco a sete anos, os desenvolvimentos mais recentes da ciência do clima, sua capacidade de adaptação, vulnerabilidade e mitigação (UCSUSA, 2017). O primeiro Relatório de Avaliação do IPCC divulgado em 1990 concluiu que o aquecimento global era muito provavelmente causado pelas atividades humanas devido às crescentes emissões de GEE.

O IPCC também conduziu a criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUMC e sigla em inglês UNFCCC de *United Nations Framework Conference on Climate Change*), caracterizado como o principal tratado internacional para reduzir o aquecimento global. Esse acordo multilateral foi aprovado e aberto para assinatura em 1992 durante a “Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento” ocorrida no Rio de Janeiro. 192 países ratificaram, aceitaram e aderiram à essa Convenção, e em 1994 a CQNUMC (em inglês, UNFCCC) entrou em vigor (MCTIC, 2009).

Ao entrar em vigor, seu objetivo final foi de estabilizar as concentrações na atmosfera de gases de efeito estufa, a fim de evitar perigosas interferências antropogênicas no sistema climático. Observando que a maior parcela das emissões globais históricas e atuais de GEE se originava nos países desenvolvidos, e reconhecendo as dificuldades dos países em desenvolvimento, cujas economias são particularmente dependentes da produção, uso e exportação de combustíveis fósseis para tomar ações limitando as emissões de GEE, o Artigo 3 estabeleceu o princípio das responsabilidades comuns, mas diferenciadas. Comuns visto que todos os países contribuem para a mudança global do clima e todos serão atingidos, mas diferenciadas conforme suas capacidades econômicas e tecnológicas. Além disso, afirmou que os países desenvolvidos devem tomar iniciativa no combate da mudança no clima (UNFCCC, 1992).

Estabelecidas as responsabilidades, o Artigo 4 apontou as intenções das Partes diferenciando o compromisso das Partes no Anexo I (sendo os países desenvolvidos incluindo os que estão em transição para economia de mercado) daqueles das Partes não-Anexo I (países em desenvolvimento). Para as Partes do Anexo I, medidas deveriam ser adotadas objetivando o retorno individual ou em conjunto por volta dos anos 2000, aos níveis anteriores de 1990. Os demais países, das Partes não-Anexo I, deveriam relatar em termos gerais suas ações em relação ao controle das mudanças climáticas, porém não ficam sujeitos às metas de redução dos gases.

Já no seu Artigo 7, foi estabelecido a Conferência das Partes (COPs), o órgão supremo da Convenção, com encontros anuais, sendo que sua responsabilidade é monitorar e promover a implementação dessa Convenção e de quaisquer instrumentos legais relacionados ao combate do problema do aquecimento global (UNFCCC, 1992).

### 2.2.2 PROTOCOLO DE QUIOTO

Em 1997 na cidade de Quioto no Japão foi realizada a COP 3 (Conferência das Partes), com o objetivo principal de adotar, entre outras medidas, um Protocolo contendo obrigações mais rigorosas para o engajamento dos países desenvolvidos na questão das mudanças climáticas e desse modo, o Protocolo de Quioto foi adotado. Para que ele pudesse entrar em vigor, havia necessidade de o acordo ser ratificado por ao menos 55 países, representando juntos 55% das emissões ocorridas em 1990. Isso só foi possível em 2005, ano em que entrou em vigor (GODOY, 2013).

O Anexo B do Protocolo lista as Partes que possuem compromissos de limitação ou redução de emissões, e suas respectivas metas de redução (em CO<sub>2</sub>eq). Os países apresentados nesse anexo são os mesmos das Partes do Anexo I da CQNUMC, menos Belarus e Turquia (UNFCCC *Kyoto Protocol*, 1998).

Assim, o Protocolo estabelece metas para as Partes do Anexo I, já que deveriam, individual ou conjuntamente, assegurar que suas emissões antrópicas de gases de efeito estufa (em CO<sub>2</sub>eq) não excedam as suas quantidades atribuídas do Anexo B. Visando reduzir as emissões globais desses gases, esses limites, em conjunto, significam uma redução de pelo menos 5% em relação aos níveis verificados no ano de 1990. Tais metas deveriam ser atingidas no período compreendido entre 2008 e 2012, sendo esse o primeiro período de compromisso.

Segundo GODOY (2013), as COPs continuaram a ocorrer e, em 2012, ano em que se encerra o primeiro período de compromisso do Protocolo, um novo acordo para o segundo período de compromisso de Quioto foi firmado em Doha, no Catar. Esse período compreende o ano de 2013 até 2020. A partir dele, foram incluídos novos compromissos para as Partes do Anexo I, comprometendo-se a reduzir suas emissões em pelo menos 18% comparadas aos níveis de 1990.

O Protocolo de Quioto desencadeou, a partir do momento que as metas de redução foram estabelecidas, um comércio para as reduções de emissões, que passaram a ter valor econômico. Para auxiliar e incentivar o alcance dessas metas, tanto para o setor privado quanto para países em desenvolvimento, o Protocolo incluiu três mecanismos baseados no mercado: A Implementação Conjunta (JI), o comércio de emissões e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O primeiro afirma que os países com compromissos no âmbito do Protocolo são elegíveis para transferir e/ou adquirir unidades de redução de emissões (UREs), podendo comercializá-las entre si e utilizá-las para cumprir parte de suas metas. Já o comércio de emissões é somente aplicado aos países do Anexo B e permite que eles negociem entre si as metas de emissão. O último, definido no Artigo 12 do Protocolo, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), é o único que permite a participação de Partes não-Anexo I (UNFCCC, CDM, *online*).

### 2.3 MDL E O CRÉDITO DE CARBONO

Na primeira Conferência das Partes (COP 1), em Berlim (1995), foi decidido a negociação de um protocolo ou outro instrumento legal, sendo suas diretrizes estabelecidas na Resolução conhecida por Mandato de Berlim. Segundo Juras (2007), o Brasil participou e apresentou uma proposta para a elaboração desse instrumento.

Essa proposta considerava os gases de efeito estufa como sendo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), e seria estabelecido um limite superior para as emissões dos mesmos pelas Partes do Anexo I, que quando não cumpridas custariam US\$ 3,33 para cada unidade de emissão ultrapassada, expressa em tCO<sub>2</sub>eq. Esses recursos arrecadados iriam para um Fundo de Desenvolvimento Limpo e estes seriam utilizados para desenvolver projetos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas nas Partes não-Anexo I. Essa proposta, com algumas modificações e baseado no Fundo de Desenvolvimento Limpo, resultou no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Visto que a característica central do Protocolo de Quioto é apontar aos países as exigências de se estabelecer limites e reduções de emissões de GEE, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi proposto como uma ferramenta para auxiliá-los a atingir tais metas de redução. Ele permite que países em desenvolvimento realizem projetos de redução de emissão de GEE para gerar créditos com Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), os quais equivalem a uma tonelada de CO<sub>2</sub>eq, sendo comercializados posteriormente em uma bolsa de valores de carbono. Esses certificados em questão podem ser negociados e vendidos para países industrializados, que farão uso deles para atingir parte de suas metas de redução de emissão de gases, apontadas no Protocolo de Quioto (FEAM, 2011).

De forma geral, o objetivo do MDL é alcançar o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões de GEE. Paralelamente a isso, ele oferece a países desenvolvidos certa flexibilidade para alcançar suas metas de limitação de redução de emissões. Em outras palavras, um país desenvolvido encontra duas alternativas para atender suas metas de redução de emissões de GEE, investir em tecnologia eficiente em seu próprio território ou utilizar esse Mecanismo (MDL) e investir nesses projetos de redução nos países em desenvolvimento (GODOY, 2013).

Para a utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, é preciso conhecer todas as etapas para sua implantação, incluindo principalmente a compreensão dos dois conceitos

principais linha de base e adicionalidade, e as análises da evolução do projeto (FEAM, 2011 ; MCTIC 2009).

### 2.3.1 EMISSÕES DE LINHA DE BASE

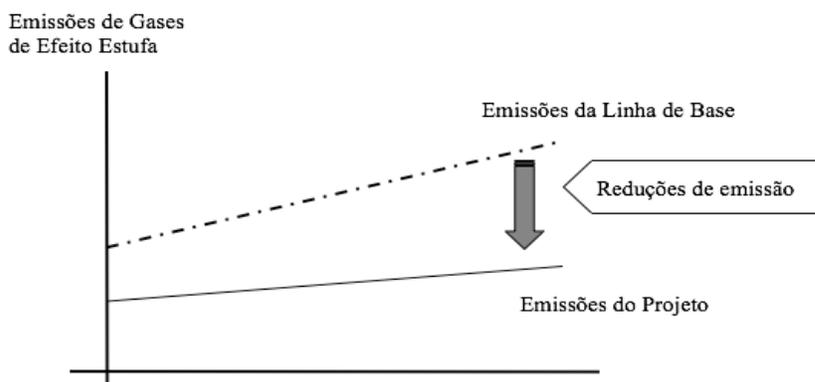
Conforme definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto (UNFCCC *Kyoto Protocol*, 1998), o cenário linha de base representa as emissões antrópicas que ocorreriam na ausência da atividade de projeto de MDL proposta, sendo uma das fases cruciais do seu desenvolvimento. Ela deve ser estabelecida pelos participantes do projeto com o uso de metodologia aprovada e cobrir todas as emissões dos setores e fontes dentro do limite do projeto. É selecionado um cenário de referência na ausência do projeto para servir de comparação com o cenário de projeto de MDL e desse modo, são avaliadas as reduções de emissões e futura emissão de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs).

Junto aos métodos disponíveis para formular e desenvolver um projeto de MDL, são referenciadas ferramentas metodológicas, as quais auxiliam os cálculos e demonstrações de específicos parâmetros necessários para resultar nas reduções de emissões. Uma dessas ferramentas com utilização obrigatória para o participante que utilize métodos aprovados do Conselho Executivo do MDL é a chamada “Ferramenta combinada para a identificação da linha de base e demonstração da adicionalidade” (UNFCCC, ACM0001, *online*).

De acordo com esta ferramenta, para a identificação da linha de base, é necessário identificar cenários alternativos à atividade de projeto do MDL proposta, que podem ser o cenário de linha de base. Por exemplo, um cenário em que a atividade do projeto seria realizada sem estar registrada como atividade de projeto de MDL, ou, um cenário em que corresponde a continuação da situação atual do aterro, ou seja, a liberação atmosférica ou captura parcial do gás do aterro para atender às normas ou exigências contratuais ou para abordar preocupações com odor e segurança. Também podem ser citados como cenários a serem analisados, o gás do aterro ser parcialmente não gerado porque parte da fração orgânica dos resíduos sólidos é reciclada, tratada aerobicamente ou incinerada, e assim, não disposta no aterro.

De acordo com a Figura 3, o cenário linha de base é essencial para demonstrar as reduções de emissões que o projeto implantado irá alcançar, por meio da subtração dessas emissões, das emissões previstas do projeto.

FIGURA 3 – Demonstração das emissões da linha de base e emissões do projeto, resultando na redução de emissões



FONTE: Adaptado de MCTIC (2009)

### 2.3.2 ADICIONALIDADE

Um dos motivos principais de rejeição de projetos de MDL na fase de registro é a falta da demonstração da adicionalidade (MCTIC, 2009). Conforme definido no item 5 do Artigo 12 do Protocolo de Quioto (UNFCCC *Kyoto Protocol*, 1998), além de outras especificações, as reduções de emissões devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto de MDL. Para isso, deve-se avaliar, para todas as atividades do projeto, as emissões de GEE (essencialmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub>) e mostrar que, caso o projeto não viesse a ser implementado, tais emissões seriam maiores (DUARTE, 2006).

A mesma ferramenta metodológica referenciada no item 2.3.1 deve ser utilizada por participantes de projetos, para demonstrar que o projeto proposto é adicional. O primeiro passo foi descrito no item acima, apresentando os cenários mais plausíveis para o cenário da linha de base. O passo seguinte é realizar uma análise de barreiras, identificando barreiras que impediriam a implementação dos cenários listados e eliminando os cenários que seriam evitados pelas barreiras identificadas. O terceiro passo é realizar uma análise de investimentos afim de verificar a atratividade financeira das alternativas dos cenários restantes após o Passo 2, e escolher qual o cenário economicamente mais atraente. Do cenário mais atraente escolhido, avalia-se se as emissões desse cenário da linha de base são maiores do que as emissões do cenário da atividade de projeto proposto. Se não forem maiores, o projeto é automaticamente não adicional.

O quarto e último passo é realizar uma análise da prática comum do projeto. Se a atividade de projeto proposto é o primeiro do seu tipo, esse passo não é aplicável, e será

automaticamente adicional se as emissões do cenário da linha de base escolhido forem maiores que as do cenário do projeto proposto. Se já existirem projetos do mesmo estilo no país, a análise é necessária como uma checagem de credibilidade para demonstrar a adicionalidade e complementar os passos 2 e 3. Se o resultado do passo 4 for que a atividade de projeto proposta não é considerada uma prática comum (exceto para projetos de MDL), então a atividade de projeto proposta é adicional (UNFCCC, ACM0001, *online*).

### 2.3.3 ETAPAS DO MDL

De modo simplificado, um projeto de MDL deve passar por cinco etapas para que ao final, resulte em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs). As etapas mencionadas por FEAM (2011), MCTIC (2009), IBAM (2007), CGEE (2010) e FGV (2002) começam pela elaboração de Documento de Concepção de Projeto (DCP ou sigla PDD em inglês).

A elaboração do DCP é realizada pelos participantes do projeto e deve conter informações que descrevam como o projeto irá funcionar, suas descrições técnicas e sua organização, qual será o método utilizado para o cálculo do cenário linha de base e monitoramento, incluindo uma estimativa das reduções de emissões antes das reduções reais, e como será feito o monitoramento das emissões do projeto e a demonstração da adicionalidade do mesmo.

A escolha do método utilizado para estimar as reduções de emissão é feita pelos participantes do projeto, elegendo entre os diversos registrados pelo Conselho Executivo do MDL, o que melhor se encaixa no projeto de MDL.

O próximo passo é a validação/ aprovação do projeto proposto. Para isso, uma entidade jurídica ou organização internacional creditada pelo Conselho Executivo do MDL, a Entidade Operacional Designada (EOD ou sigla DOE em inglês), é responsável por realizar auditorias com o objetivo de comprovar/validar a adequação da concepção do projeto de MDL, aplicando diretrizes internacionais, além de analisar o DCP.

Após essa auditoria, o conteúdo da mesma é encaminhado para a Autoridade Nacional Designada (AND ou DNA em inglês), que é uma autoridade definida por cada país (ou parte) que ratificou o Protocolo de Quioto, certificando que as reduções dos GEE geram créditos de carbono e, além disso, consequentes cobenefícios tanto ambientais, como econômicos e sociais para o país.

A aprovação é o processo no qual as ANDs das Partes envolvidas confirmam que a Parte representada participa voluntariamente do MDL e por sua vez, a AND do país anfitrião confirma que a atividade do projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país. Essa aprovação é concedida por meio de uma Carta de Aprovação (LoA, do inglês *letter of approval*) emitida pelas ANDs envolvidas.

Após o projeto de MDL ser aprovado, cabe ao Conselho Executivo do MDL, composto por representantes das Partes incluídas e não incluídas no Anexo I, fazer a aceitação formal de um projeto válido como atividade de projeto de MDL.

Nessa etapa, depois de obter a Carta de Aprovação, a EOD deve encaminhar ao Conselho um formulário preenchido de solicitação de registro. Essa solicitação é considerada recebida somente após o pagamento da taxa de registro e o correto preenchimento do formulário com as devidas documentações anexadas. Após isso, o Conselho Executivo do MDL faz a aceitação formal de validação do mesmo. A taxa de registro destina-se à cobertura de custos administrativos do MDL. O valor atribuído a essa taxa é tomado com base nas estimativas de redução de emissões declaradas no DCP.

A etapa a seguir é dedicada aos participantes do projeto, por meio do monitoramento da atividade de projeto/verificação e certificação. Eles devem monitorar a atividade do projeto, coletando e armazenando todos os dados necessários para o cálculo das reduções de emissão de GEE. Aqui, existe uma relação com a primeira etapa, na qual foi estabelecido por meio do DCP o método que seria utilizado. Desse modo, os dados coletados e armazenados devem estar conforme o plano de monitoramento presente nele.

A EOD contratada avalia o Relatório de Monitoramento elaborado pelos participantes do projeto e verifica se as reduções de emissão monitoradas realmente ocorreram como resultado da atividade de projeto. O próximo passo é a certificação pela EOD, que é obtida quando há garantia que durante a atividade de projeto, foi atingido redução de emissões de GEE. Cabe também à EOD divulgar o Relatório de Certificação aos participantes do projeto, às Partes envolvidas, ao Conselho Executivo e ao público.

A última etapa para a implantação do projeto é o resultado do mesmo, ou seja, a emissão das RCEs. O Relatório de Certificação possui uma solicitação da EOD para que o Conselho Executivo emita as RCEs correspondentes ao total de reduções de emissões pelo projeto.

A emissão desses Certificados ocorre quando o Conselho Executivo do MDL faz a confirmação de que todas as etapas do projeto foram cumpridas e que as reduções de emissões de GEE são reais, mensuráveis e de longo prazo.

O período para obtenção de créditos pode ser de sete anos, com direito a no máximo 2 renovações ou dez anos, sem renovações, conforme definido em cada atividade de projeto.

#### 2.3.4 MERCADO DOS CRÉDITOS DE CARBONO

Os três mecanismos de flexibilização desenvolvidos no Protocolo de Quioto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Implementação Conjunta e Comércio de Emissões, foram importantes para a formação do novo mercado ambiental: o mercado chamado mercado de carbono (CGEE, 2010).

A “moeda comum”, em se tratando de mercados de carbono, é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o principal gás de efeito estufa de origem antrópica. A criação do  $\text{CO}_2\text{eq}$  resultou na possível comparação de projetos diferentes que tratem de outro gás de efeito estufa, com suas reduções de emissões apresentadas em  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Com o exemplo do  $\text{CH}_4$ , metano, que possui um potencial de aquecimento global de 28 vezes maior que o  $\text{CO}_2$  em horizonte de 100 anos, ou seja, um projeto que promova a redução de uma tonelada de  $\text{CH}_4$  equivale a 28 toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$  (Fujihara e Lopes, 2009 ; IPCC, 2014).

De acordo com Fujihara e Lopes (2009), uma vez que os mecanismos existentes tratam de iniciativas para obter reduções de emissões, o resultado de sua aplicação é sempre o mesmo: certa quantidade de emissões reduzidas, medidas sempre em toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$ , gerando um crédito para cada tonelada de  $\text{CO}_2\text{eq}$  que deixou de ser emitida.

Os mercados de carbono podem ser divididos em duas categorias: voluntários e regulados. Os mercados voluntários são aqueles nos quais os compradores não estão regulados por legislações mandatórias, e o próprio mercado determina quais parâmetros devem ser seguidos e quais as regras estabelecidas.

Já os mercados regulados de carbono são quaisquer mercados de redução de GEE nos quais os participantes estão submetidos a uma legislação local ou internacional que, de alguma forma, impõe restrições com relação à emissão desses gases. Esse tipo de mercado teve origem no Protocolo de Quioto, e o *European Union Emission Trading Scheme* (EU ETS) é o mais

importante deles, no qual são comercializadas permissões (*allowances*) para emissão entre os países da União Europeia. Dentro do contexto de mercados regulados, as metas de reduções de emissão dentro de um mecanismo de flexibilização (MDL) permitem a compra e venda de créditos, chamado de “mercado de *cap-and-trade*”.

Dentro desse mercado de *cap-and-trade*, existem dois principais tipos de créditos: *allowances* e *offsets*. O primeiro são créditos conhecidos como “permissões” de emissão que são comercializadas entre os países da União Europeia, sendo aqui o *European Union Emission Trading Scheme* (EU ETS). Elas são fornecidas ou leiloadas pelo órgão responsável, podendo ser transacionadas entre os participantes de mercado para o cumprimento de suas metas. Já o segundo, são créditos gerados a partir de projetos de redução de emissão, ou seja, as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) geradas a partir de projetos de MDL se encaixam nesse tipo de crédito (ATLAS 2013 ; Fujihara e Lopes, 2009).

O mercado de RCEs não tem tanta estrutura e as transações são geralmente realizadas bilateralmente, em mercados de balcão, sem intermediários. Sendo assim, a determinação dos valores é realizada em função dos valores de comercialização das *allowances*. Logo, os preços da RCEs seguem os preços das *allowances*, com algum tipo de desconto, em função dos riscos associados à sua geração, como por exemplo, tipo de projeto, tipo de empresa, situação financeira da empresa e riscos tecnológicos (Fujihara e Lopes, 2009).

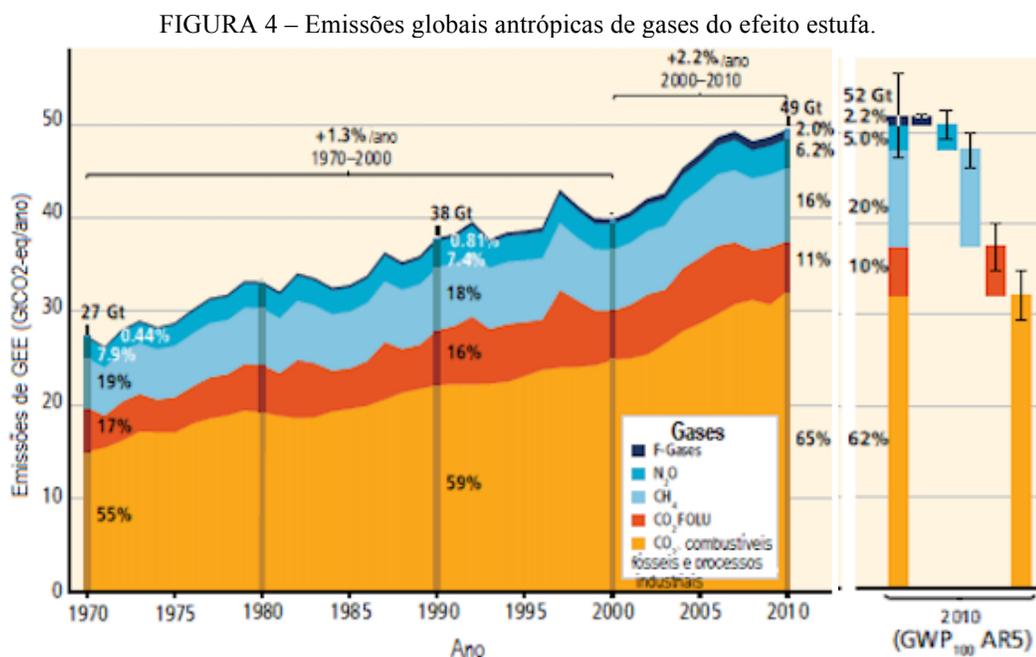
Não há um único mercado de carbono, definido por uma única *commodity* e assim, o que é comumente chamado de mercado de carbono é uma coleção de diversas transações, por meio das quais reduções de emissões de GEE são comercializados e podem diferenciar-se em relação ao tamanho, formato e regulamentação. Por não existir um local central para as transações, e as negociações ocorrerem por intermédio de acordos particulares e as transações por meio de acordos de “balcão”, as informações referentes a esse mercado são muito limitadas e difíceis de mensurar, e além disso a publicação dos preços e negociações não é obrigatória (GODOY, 2007).

## 2.4 ATERROS SANITÁRIOS COMO GERADORES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

De acordo com a Figura 4, a maior emissão de gás de efeito estufa em  $\text{CO}_2\text{eq}$  desde 1970, é de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) proveniente da queima de combustíveis fósseis e de processos industriais. O  $\text{CO}_2$ , desse modo, continua sendo o principal GEE antropogênico, já que representou 76% do total de emissões antropogênicas de GEE em 2010, seguido pelo metano ( $\text{CH}_4$ ) com 16%.

Na representação do lado direito da Figura 4, os valores foram adaptados para os valores de  $\text{GWP}_{100}$  mais recentes publicados pelo AR5 (do inglês, *5th Assessment Report* do IPCC, 2014), o que resultou em um maior valor anual de emissão de GEE (52  $\text{GtCO}_2\text{eq/ano}$ ), pelo aumento da contribuição de metano, que passou a ter seu Potencial de Aquecimento Global ( $\text{GWP}$ ) de 21 para 28 vezes superior ao do  $\text{CO}_2$ .

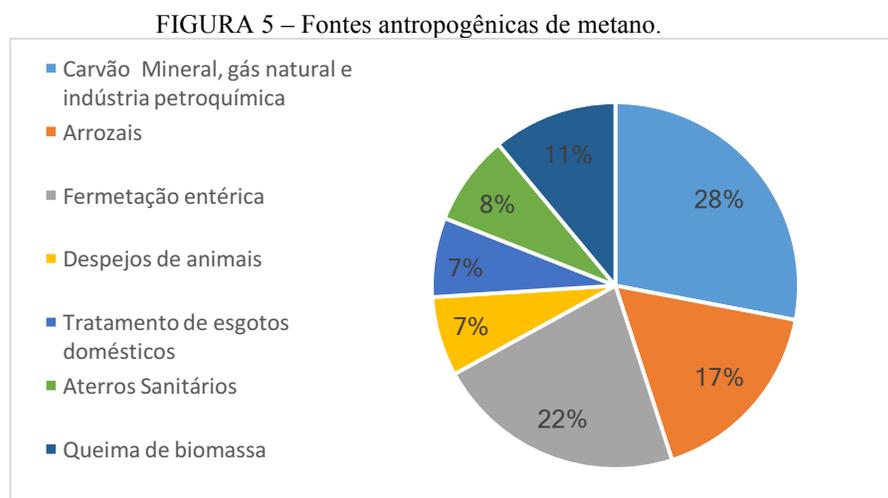
Assim, um dos gases que desempenha papel importante no processo de efeito estufa é o metano ( $\text{CH}_4$ ). Ele, como quase todos os gases de efeito estufa, têm origem na natureza, mas também é potencializado por interferências antropogênicas (CETESB, 2006).



FONTE: IPCC (2014)

As principais fontes antropogênicas de CH<sub>4</sub>, de acordo com CETESB (2006) em quantidades emitidas, são: as plantações de arroz, a fermentação entérica, a queima de biomassa, o manejo de resíduos, o uso de combustíveis fósseis e as perdas de gás natural.

Resultante da decomposição anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos, o biogás produzido em aterros é rico em metano. De acordo com a Figura 5, os aterros sanitários compreendem 8% das fontes de emissão de metano antrópicas. Segundo USEPA (2008 apud PEDOTT; AGUIAR 2014), a estimativa global de produção de biogás nos aterros pode variar entre 20 a 60 Tg/ano.



FONTE: Adaptado de IPCC (1995 apud CETESB 2006)

Segundo Duarte (2006), a produção de biogás decorrente do processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários apresenta quatro fases de produção de gases. A primeira fase, é a fase da decomposição aeróbia, e ocorre imediatamente após o resíduo ter sido depositado, enquanto o oxigênio está presente na massa de resíduo. A decomposição aeróbia produz dióxido de carbono, água e calor. Na fase II, anóxica, compostos ácidos e gás hidrogênio são formados, e ainda há continuada produção de CO<sub>2</sub>. Na terceira fase, é observado um declínio na produção de CO<sub>2</sub>, com o seu final caracterizado pelo início da geração de CH<sub>4</sub>. Já durante a fase IV, o biogás é gerado, e basicamente composto por CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> em proporção 45 a 60% e 55 a 40%, respectivamente.

A captura e aproveitamento dos gases gerados pela decomposição natural da matéria orgânica depositada em aterros sanitários é um dos tipos de projetos de MDL atualmente

utilizados. Segundo o ATLAS (2013), o setor de manejo e destinação de resíduos sólidos representa 13% do total de projetos de MDL registrados, perdendo somente para projetos na categoria de energia em indústria energética (fontes renováveis/não renováveis).

## 2.5 MÉTODOS PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE MDL EM ATERROS

Para formular e desenvolver um projeto de acordo com o MDL, é necessário utilizar um método previamente aprovado pelo Conselho Executivo do MDL. Estes métodos descrevem diferentes aspectos que devem ser considerados para que o projeto se qualifique nos termos do MDL. Todos eles referem-se frequentemente a ferramentas metodológicas, que abordam diferentes aspectos da atividade de projeto, como por exemplo, calcular as emissões de GEE de fontes específicas (ATLAS, 2013) e identificação do cenário linha de base e demonstração da adicionalidade, como mencionado nos itens 2.3.1 e 2.3.2.

Para orientar possíveis participantes de projetos de MDL através dos complexos métodos existentes e ajudá-los a identificar métodos adequados para suas atividades de projeto, a UNFCCC criou um Manual de Metodologias do MDL (UNFCCC, 2017). Nele, os métodos são classificados em cinco categorias: Método para atividades de projeto de MDL de larga escala, Método para atividades de projeto de MDL de pequena escala, Método para florestamento de grande escala e atividade de projeto de reflorestamento, Método para projeto de MDL de pequena escala de reflorestamento e Método para captura e armazenamento de carbono na atividade de projeto.

Para o caso particular de projetos em aterros sanitários, os métodos que podem ser aplicados são separados por duas categorias, segundo as regras do MDL. Essa separação se dá de acordo com o porte do projeto, podendo ser métodos de grande escala e métodos de pequena escala (UNFCCC, 2017).

A diferença entre essas categorias de métodos é definida pela quantidade de reduções de emissões de GEE que o projeto pode conseguir. Para aplicação de métodos de pequena escala, o projeto pode gerar reduções menores que 60.000 tCO<sub>2</sub>e/ano, já para métodos de grande escala, as reduções de emissões podem ser superiores a 60.000 tCO<sub>2</sub>e/ano (ATLAS, 2013).

O ATLAS (2013) apresentou os métodos aplicáveis para projetos de larga escala de MDL em aterros sanitários, sendo:

- ACM0001 Queima ou uso do gás do aterro (do inglês, *Flaring or use of landfill gas*). Basicamente, esse método consolidado e aprovado é aplicável quando o biogás recuperado pela atividade de projeto proposta é queimado ou utilizado para gerar eletricidade, aproveitamento térmico ou purificação e injeção em uma rede de gás natural. Os cálculos das reduções de emissão devem ser feitos antes das reduções reais, e devem ser consideradas as emissões de projeto associadas pelo consumo de eletricidade da rede elétrica e combustíveis fósseis pela implementação da atividade de projeto. Para todos esses cálculos e os demais, devem ser utilizadas as ferramentas nas quais o método faz referência, para garantir que estas emissões sejam calculadas de maneira precisa. Esse método é o mais aplicado pelos projetos de MDL de aterros sanitários no mundo e no Brasil, sendo que 36 projetos no Brasil o seguem (78% dos projetos neste setor de aterros).
  
- AM00069 Uso de metano biogênico como matéria-prima e combustível para produção de gás urbano. Esse método aprovado é aplicável para projetos de captura de biogás em uma instalação de tratamento de águas residuais ou aterro sanitário e o uso do biogás para substituir total ou parcialmente o gás natural ou outros combustíveis fósseis como matéria-prima e combustível para a produção de gás urbano. Esse método é pouco utilizado sendo que em 2013 somente 2 projetos em todo o mundo o aplicaram.
  
- AM00083 Prevenção de emissões de gás de aterro sanitário por aeração *in-situ* dos aterros. Para o projeto aplicar esse método, os resíduos depositados no aterro sanitários devem ser tratados aerobiamente no local por meio de ventilação de ar ou aeração de baixa pressão com o objetivo de evitar processos de degradação anaeróbicos. Resumidamente, o objetivo do projeto é evitar a geração do biogás, mas ainda é relativamente nova e pouco utilizada.

## 2.6 ESTUDO DE CASO – ATERRO DE MULENVOS EM LUANDA, ANGOLA

### 2.6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Angola está localizada na costa ocidental da África e estava sob domínio colonial de Portugal até 11 de novembro de 1975, data em que se tornou uma nação independente. O país estende-se por uma área de 1.246.700 km<sup>2</sup> e está dividido em 18 províncias, sendo Luanda a capital (*Embassy of Angola, online*). A população total residente no ano de 2014 era de 24.383.301 habitantes (CEIC-UCAN, 2014).

Após longo conflito de libertação colonial contra Portugal, Angola mergulhou numa prolongada guerra civil durante 27 anos, que envolveu os dois principais movimentos de libertação, o Movimento Popular de Libertação de Angola (MPLA) e os rebeldes da União Nacional para a Independência Total de Angola (UNITA).

Somente em fevereiro de 2002, um Acordo de Paz foi conduzido entre o MPLA e UNITA, colocando um fim a guerra que, segundo uma missão de investigação internacional, devastou o país inteiro com a morte de milhares de cidadãos, deixando mais de quatro milhões de pessoas deslocadas internamente, obrigando ainda cerca de 450.000 a procurar refúgio nos países vizinhos e destruindo uma grande parte das infraestruturas.

Ainda segundo essa investigação, 12 anos após o final da guerra, Angola é vista no cenário econômico, a nível regional e internacional, como um parceiro estratégico e seu crescimento econômico é sustentado pela produção e exportação de petróleo, diamantes e outros recursos naturais. Porém, apesar dos desempenhos econômicos do país, a pobreza e as enormes desigualdades mantêm-se generalizadas. Dentre 189 países que constam no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), Angola mantém-se em 149º lugar, conservando a posição que teve em 2013 (FIDH e OMCT, 2015).

A desigualdade no país também é visível, visto que o coeficiente de Gini, importante índice de medição das desigualdades sociais para avaliar a distribuição das riquezas de determinado lugar, está entre os mais altos do mundo, 0,6. Enquanto 20% dos angolanos mais ricos usufruem de 59% da riqueza disponível, 20% mais pobres tem acesso a apenas 3% (CEIC-UCAN, 2014).

Já no cenário do MDL, a República de Angola ratificou a Convenção Quadro das Nações Unidas (CQNUMC da sigla em inglês, UNFCCC) sobre alterações climáticas em Maio de 2000 e

o Protocolo de Quioto em Março de 2007. Essas ações reafirmaram o seu compromisso na implementação de medidas e programas de estabilização das emissões de gases de efeito estufa.

Esse compromisso foi reforçado em Junho de 2008, com a Resolução nº 52/08 do Conselho dos Ministros, na qual foi aprovada a Estratégia Nacional de Implementação, compreendendo linhas programáticas com o objetivo de mitigar os efeitos negativos das alterações climáticas. Para promover a implementação tanto das recomendações da CQNUMC quanto do Protocolo de Quioto, estas linhas deveriam ser desenvolvidas em Planos de Ação contendo, entre outros, o estabelecimento da Autoridade Nacional Designada (AND) e do Fundo Nacional de Carbono (Diário da República, 2008).

Como apontado na Resolução 52/08, em Janeiro de 2010 por meio do Decreto nº 2/10 do Conselho de Ministros, a Autoridade Nacional Designada de Angola (instituição obrigatória no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) foi criada, e seu regulamento de funcionamento aprovado (Diário da República, 2010).

Em relação a disposição dos resíduos sólidos, Luanda é atualmente atendida pela Empresa de Limpeza e Saneamento (Elisal), encarregada do processo público de limpeza, juntamente com outras empresas parceiras, desde as operadoras e micro-operadoras, sendo responsável pela coleta, transporte, deposição do resíduo e gestão do Aterro Sanitário dos Mulenvos. Porém, acompanhamentos realizados em áreas nessa Província concluíram que a limpeza em Luanda é ineficaz (ANGONOTICIAS, 2015 ; Encontro Nacional de Geógrafos, 2016). O resultado dessa coleta ineficaz é o acúmulo de resíduos em locais impróprios, causando inúmeros efeitos negativos como mau cheiro, proliferação de insetos e até doenças, agravando ainda mais a situação de pobreza que muitos angolanos enfrentam.

## 2.6.2 ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS – PROJETO E FUNCIONAMENTO

O Aterro Sanitário dos Mulenvos localiza-se no Município de Cacuaco, Província de Luanda, ocupa uma área total de 2,7 km<sup>2</sup> e é responsável pelo recebimento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados em toda a Província de Luanda. Projetado no ano de 2001 pela necessidade de se destinar corretamente os resíduos sólidos urbanos (não perigosos), gerados em quantidades crescentes em função do aumento populacional da Província, o Aterro Sanitário dos

Mulenvos foi inaugurado em novembro de 2007, iniciando sua operação que atualmente atende em 3 turnos diários (24h/dia), 7 dias por semana, com previsão de vida útil de 24 anos.

Apesar do Projeto Final de Engenharia para o Aterro dos Mulenvos ter sido realizado para atender 2.500 ton/dia de resíduos sólidos (ASM, 2001), foi verificado pelos relatórios mensais da Operadora do Aterro que esse valor foi ultrapassado, e que a disposição de resíduos em determinados períodos chegou a atingir 7.000 ton/dia.

De acordo com o Memorial Descritivo do projeto (ASM, 2001), o aterro possui uma rede de captação e drenagem de águas pluviais, permitindo reduzir o volume de águas contaminadas pelo contato com os resíduos. Esse sistema de drenagem superficial visa principalmente impedir a condução de águas de chuva pelo caminho natural da bacia através da área que abrange a disposição do resíduo, circulação de caminhões coletores e sistemas de tratamento de percolados. Deste modo, é evitada a contaminação desnecessária de águas de escoamento superficial e a consequente necessidade de tratamento. Esse sistema é constituído de uma rede de canaletas trapezoidais, no entorno de toda a área do aterro sanitário, acompanhando as vias internas de circulação de veículos, e entre os patamares dos módulos que estejam operando e aterrando resíduos (Figura 6).

FIGURA 6 – Imagens das drenagens pluviais permanentes do Aterro Sanitário dos Mulenvos.



FONTE: Disponibilizadas pela operadora do aterro.

Inclui também, a impermeabilização do fundo dos módulos de disposição de resíduos, com utilização de membrana de PEAD (geomembrana) bloqueando o processo de infiltração de águas contaminadas no solo. A colocação dessa membrana foi feita após a regularização da camada de fundo através do espalhamento de material arenoso (Figura 7).

Foi instalada também uma rede de drenagem dos módulos, para coleta e condução para área de tratamento dos líquidos contaminados que tendem a se acumular no fundo dos mesmos, em decorrência da percolação da água da chuva e do próprio processo de decomposição da fração orgânica do resíduo disposto (chorume).

FIGURA 7 – Imagens da impermeabilização de fundo do Aterro Sanitário dos Mulenvos, com manta PEAD.



FONTE: Disponibilizadas pela operadora do aterro.

Dado o alto potencial poluidor do chorume com a possibilidade de contaminação do solo e do sistema hídrico, o sistema de drenagem de fundo foi constituído de malhas de drenos, dispostos horizontalmente e em forma de espinha de peixe, colocados no fundo dos patamares e em níveis intermediários do aterro. Essas malhas horizontais são conectadas por drenos verticais (Figura 8).

FIGURA 8 – Imagens da drenagem intermediária e de fundo para coleta de percolado, no Aterro Sanitário dos Mulenvos.



FONTE: Disponibilizadas pela operadora do aterro.

Foi construído um sistema de tratamento das águas contaminadas provenientes do aterro, prevendo a contenção e evaporação destas águas dentro dos limites do aterro, através de lagoa de

evaporação. A escolha dessa alternativa para o tratamento dos efluentes da massa de resíduos foi baseada nas condições climáticas favoráveis ao processo de evaporação ao longo do ano inteiro. Ainda, para aumentar a eficiência do processo de evaporação de efluentes coletados, foi acrescentado à lagoa um sistema de recirculação das águas lixivantes para a área do aterro, o que propicia a redução do volume de líquidos e acelera o processo de estabilização do aterro.

FIGURA 9 – Imagens da lagoa de lixiviado do Aterro Sanitário dos Mulenvos.



FONTE: Disponibilizadas pela operadora do aterro.

Com relação à captação de gás, no Memorial Descritivo (ASM, 2001) consta a instalação de sistema de drenagem e queima passiva do biogás produzido, conforme demonstrado na Figura 10. Os efluentes gasosos são captados e conduzidos à superfície por meio da rede de drenagem vertical integrante da malha de drenagem dos líquidos percolados. A medida em que o aterramento atinge cotas mais altas, a drenagem vertical instalada vai sendo alongada. A queima do efluente em questão é realizada pelo acendimento manual na boca do dreno vertical.

FIGURA 10 – Dreno de gás do Aterro Sanitário dos Mulenvos.



FONTE: Disponibilizadas pela operadora do aterro.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo de implantação de projeto de MDL foi realizado para o Aterro dos Mulenvos, em Luanda/Angola, local que recebe atualmente grande parte dos resíduos sólidos urbanos de toda a cidade. O ano escolhido para o início da estimativa das reduções de emissões e do potencial de produção de energia foi 2010. Considerando a vida útil do aterro de 24 anos, o primeiro período de creditação seria de 2010 a 2016, o segundo período seria de 2017 a 2023, e o terceiro de 2024 a 2030. A justificativa da escolha do início do estudo leva em consideração a criação da AND em Angola em 2010, requisito indispensável para apresentação de projetos de MDL no país, e ainda o período estabelecido pelo Conselho Executivo, para obtenção de créditos de sete anos (renováveis).

#### 3.1 O PROJETO

A atividade de projeto proposta neste estudo considerou capturar, queimar em flare e gerar eletricidade por meio do uso de gás de aterro (LFG) produzido em condições anaeróbicas no Aterro Sanitário dos Mulenvos. De acordo com ICLEI (Governos Locais pela Sustentabilidade) (2009), independentemente da utilização escolhida para o biogás, é recomendado a instalação de flare(s) enclausurado(s), principalmente para projetos que visam a obtenção de créditos de carbono, já que caso haja falha no sistema de geração de energia, evita-se a emissão de metano e conseqüentemente a perda de créditos. Desse modo, a principal utilização do gás do Aterro dos Mulenvos seria na geração de energia e, quando necessário, por motivos de excesso de gás e para reserva em casos de manutenção da planta geradora, o LFG seria desviado para o(s) flare(s).

Assim, a atividade resultará na redução de emissões de gases de efeito estufa por duas maneiras, pela utilização do biogás destruído como combustível e queimado em flare(s), e pela substituição de energia na rede, já que a quantidade de eletricidade gerada com a atividade de projeto será disponibilizada à rede elétrica, evitando o lançamento da mesma quantidade de energia produzida por outra matriz energética para essa rede, e potencialmente evitando as emissões de CO<sub>2</sub>. Normalmente, a eletricidade proveniente da rede nacional é o resultado de uma geração que inclui tanto energias renováveis como centras hidrelétricas, projetos eólicos e a

biomassa, como também termoelétricas que operam a combustíveis fósseis como carvão e gás natural, o que ocasiona uma emissão a cada MWh entregue pela rede.

De acordo com a experiência de outros participantes de projetos de MDL, ICLEI (2009) e ATLAS (2013), a operação do presente caso consistirá na coleta de LFG do aterro de maneira forçada com o uso de sopradores e o direcionando para o grupo de transformadores da unidade geradora de eletricidade e/ou para a combustão em flare(s) fechado(s) de alta temperatura. Deve ser instalado também, um sistema de pré-tratamento de LFG, que consiste na passagem do mesmo através de um filtro, para a remoção de material particulado eventualmente arrastado juntamente com o gás, e um desumidificador para remover sua umidade. Depois disso, o biogás já isento de partículas sólidas e de gotículas líquidas, passa pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada no(s) flare(s) e para os geradores de energia. A separação das duas utilidades do biogás é feita por uma válvula automática, que passa o fluxo do gás para o(s) flare(s) quando o gerador estiver parado para eventuais manutenções.

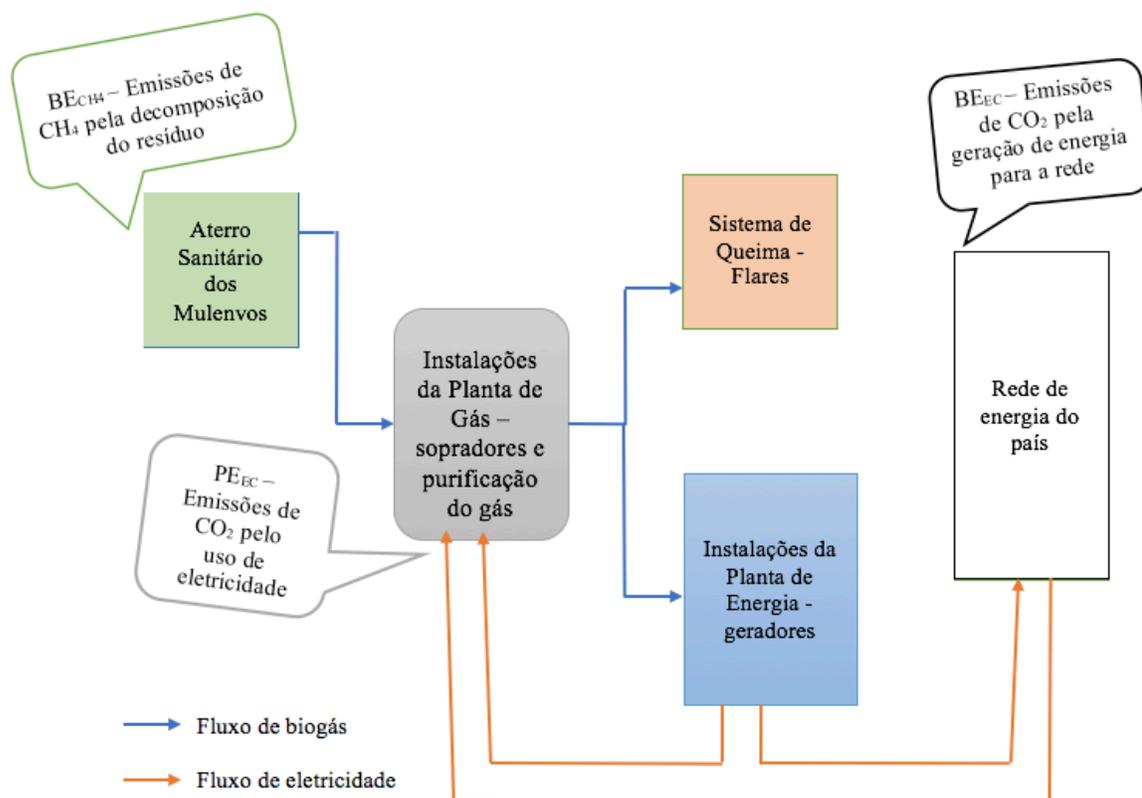
Para o propósito desse estudo, e de maneira conservadora, foi considerado que o sistema de captação de biogás tem eficiência de 75% (ATLAS, 2013), 90% do fluxo do biogás captado será encaminhado para os geradores de energia (de acordo com a experiência de outros participantes de projetos) e os 10% restantes serão destinados para o(s) flare(s), para não serem emitidos para a atmosfera. O sistema do projeto deve ainda ser equipado com todo o sistema de monitoramento necessário para assegurar todas as medições exigidas pelo método ACM0001 como vazão do biogás, teor de metano no biogás, quantidade queimada no(s) flare(s), entre outras. Como no presente trabalho calcula-se as emissões antes das emissões reais, os resultados obtidos são uma estimativa da realidade, sendo necessário posteriormente o monitoramento para obter os créditos das reduções de emissões reais.

A Figura 11 apresenta um fluxograma do limite da atividade do projeto proposto por este estudo, e ainda as fontes de emissão que são estimadas para o cálculo da redução de emissões. O cenário de linha de base do projeto é composto pelas emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) proveniente da decomposição dos resíduos sólidos no Aterro dos Mulenvos, e pelas emissões de  $\text{CO}_2\text{eq}$  relacionadas com cada MWh entregue pela rede.

Já as emissões do projeto, de acordo com as estimativas antes das emissões reais do método ACM0001, englobam as emissões de  $\text{CO}_2\text{eq}$  pelo consumo de eletricidade da rede pelo projeto. Para este trabalho e conforme informações de outros participantes de projetos de MDL,

foi considerado que a partir do 3º ano do funcionamento da atividade, 3% da energia gerada pelo projeto será destinada para seu autoconsumo.

FIGURA 11 – Fluxograma esquemático: delineamento do limite do projeto para a atividade de projeto e as estimativas de emissões de linha de base e projeto consideradas, segundo ACM0001.



FONTE: Autora (2018)

### 3.2 MÉTODO UTILIZADO – ACM0001

O método utilizado para o estimar as reduções de emissões provenientes da implantação do projeto de MDL foi o método consolidado ACM0001, versão 18, sendo a última versão disponível no período em que este estudo é elaborado (UNFCCC, ACM0001, *online*).

A implantação do projeto prevê a geração de energia e a queima do saldo do biogás proveniente do Aterro Sanitário dos Mulenvos. Para casos como esse, foram utilizadas as seguintes ferramentas metodológicas inseridas no método.

- Emissões provenientes de locais de eliminação de resíduos sólidos;

- Emissões linha de base, projeto e/ou fugas pelo consumo de eletricidade e monitoramento de geração de energia;
- Cálculo do fator de emissão para sistemas elétricos.

### 3.2.1 Emissões do cenário de linha de base

Para determinar as emissões no cenário de linha de base, o método ACM0001 utiliza a equação,

$$BE_y = BE_{CH_4,y} + BE_{EG,z} + BE_{HG,y} + BE_{NG,y} , \quad (1)$$

sendo que  $BE_y$  são as emissões totais no cenário linha de base no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano),  $BE_{CH_4,y}$  são as emissões no cenário linha de base de metano em um LDRS (Local de Disposição de Resíduos Sólidos) no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano),  $BE_{EC,y}$  são as emissões no cenário linha de base associadas com a geração de eletricidade no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano),  $BE_{HG,y}$  são as emissões no cenário linha de base associadas com a geração de calor no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano) e  $BE_{NG,y}$  são as emissões no cenário linha de base associadas com a utilização de gás natural no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano).

Como o presente projeto visa gerar energia e queimar o biogás, é preciso levar em consideração nos cálculos, o cenário linha de base da emissão de metano no aterro e ainda a emissão associada a geração da eletricidade que é usada pelo país, já que parte dela (o equivalente ao que será gerado pelo projeto) será substituída pela energia gerada com o projeto no aterro. Portanto, as emissões  $BE_{HG,y}$  e  $BE_{NG,y}$  não se aplicam no contexto da determinação de emissões da linha de base, e a equação (1) fica simplificada para,

$$BE_y = BE_{CH_4,y} + BE_{EC,y} . \quad (2)$$

O método ACM0001 estabelece como proceder com os cálculos de cada uma dessas duas variáveis da equação (2), que entram na estimativa de emissões do cenário linha de base.

### 3.2.1.1 Emissões de linha de base de metano provenientes de um LDRS ( $BE_{CH_4,y}$ )

Para as emissões no cenário linha de base de metano no local de disposição de resíduos sólidos ( $BE_{CH_4,y}$ ), o método aponta que elas são determinadas com base na quantidade de metano que é capturada na atividade de projeto e na quantidade que seria capturada e destruída na linha de base. Ainda, deve-se levar em consideração o efeito da oxidação do metano que está presente na linha de base e ausente no projeto. Essas emissões são determinadas em tCO<sub>2</sub>eq/ano e os passos para o seu cálculo estão descritos detalhadamente no Apêndice A deste trabalho.

### 3.2.1.2 Emissões de linha de base associadas com a geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ )

Para a última variável da equação (2), que contempla a substituição de uma quantia da energia do país pela energia gerada com o projeto, sendo as emissões no cenário de linha de base associadas com a geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ ), foram utilizadas as seguintes ferramentas metodológicas: “Emissões linha de base, projeto e/ou fugas pelo consumo de eletricidade e monitoramento de geração de energia” e “Cálculo do fator de emissão para sistemas elétricos”.

Usando a primeira ferramenta metodológica citada acima, segundo o método ACM0001, e os passos detalhados dos cálculos que estão descritos no Apêndice B deste trabalho, a seguinte orientação foi considerada.

- $EC_{BL,k,y}$  na ferramenta corresponde a quantidade de eletricidade que seria consumida pelo consumidor  $k$  no ano  $y$ , e é equivalente a quantidade líquida de eletricidade gerada pelo projeto usando o biogás no ano  $y$ .

## 3.2.2 Emissões do cenário de projeto

De acordo com o método ACM0001, para calcular emissões no cenário de projeto, foi utilizada a equação,

$$PE_y = PE_{EC,y} + PE_{FC,y} + PE_{DT,y} + PE_{SP,y} , \quad (3)$$

onde  $PE_y$  são as emissões de projeto no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>e/ano),  $PE_{EC,y}$  são as emissões provenientes do consumo de energia elétrica devido a atividade de projeto no ano  $y$  (em

tCO<sub>2</sub>e/ano),  $PE_{FC,y}$  são as emissões provenientes do consumo de combustíveis fósseis causadas pela atividade de projeto, para outros fins que não a produção de energia elétrica, no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>e/ano),  $PE_{DT,y}$  são as emissões provenientes da distribuição de biogás comprimido/liquefeito usando caminhões, no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano) e  $PE_{SP,y}$  são as emissões decorrentes do suprimento do gás para consumidores por linhas de transmissão, no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>e/ano).

A atividade do projeto proposta não utilizará caminhões nem linhas de transmissão para distribuir o gás, então não há emissões do projeto associadas à essas duas últimas variáveis. Também, a atividade do projeto não irá consumir nenhum combustível fóssil para outros fins além da geração de eletricidade. Assim, a equação (3) fica simplificada para,

$$PE_y = PE_{EC,y} \cdot \quad (4)$$

### 3.2.2.1 Emissões provenientes do consumo de energia elétrica pelo projeto

As emissões do projeto decorrentes do consumo de eletricidade pela sua atividade ( $PE_{EC,y}$ ) foram consideradas, já que para a operação do sistema de captura de biogás com os sopradores, pré-tratamento do gás e projeto de eletricidade, o projeto consome eletricidade da rede. Esse parâmetro foi calculado seguindo os procedimentos determinados pela ferramenta metodológica “Emissões linha de base, projeto e/ou fugas pelo consumo de eletricidade e monitoramento de geração de energia”. Aplicando esta ferramenta, a seguinte orientação foi levada em consideração.

- $EC_{PJ,j,y}$  é equivalente a quantidade de eletricidade consumida pela atividade do projeto no ano  $y$ ;

O projeto irá consumir eletricidade da rede somente nos dois primeiros anos, já que pretende-se, nos anos posteriores, utilizar a própria energia gerada com o biogás para o autoconsumo do projeto. Então, por consumir eletricidade da rede nos dois primeiros anos, as emissões do projeto provenientes desse consumo foram calculadas com base na quantidade de energia elétrica consumida pela atividade do projeto e no fator de emissão da rede, ajustando as perdas na transmissão, através da equação,

$$PE_{EC,y} = \sum_j EC_{PJ,j,y} \cdot EF_{EF,j,y} \cdot (1 + TDL_{j,y}) , \quad (5)$$

onde  $PE_{EC,y}$  são as emissões do projeto provenientes do consumo de eletricidade da rede no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>/ano),  $EC_{PJ,j,y}$  é a quantidade de eletricidade consumida pela fonte  $j$  de consumo de eletricidade do projeto no ano  $y$  (em MWh/ano),  $EF_{EF,j,y}$  é o fator de emissão para a geração de eletricidade para a fonte  $j$  no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>/MWh),  $TDL_{j,y}$  são as perdas técnicas médias na transmissão e distribuição devido ao fornecimento de eletricidade à fonte  $j$  no ano  $y$ , e  $j$  são as fontes de consumo de eletricidade no projeto.

O fator de emissão para a geração de eletricidade é o mesmo encontrado na linha de base, e apresentado no Apêndice B. Para o valor das perdas técnicas ( $TDL_{j,y}$ ), foi considerado 14% de acordo com o Ministério da Energia e Águas, da República de Angola (Ministério da Energia e Águas, *online*). Para encontrar a quantidade de eletricidade consumida pelo projeto, para propósito desse estudo, foi imposto que é o equivalente à 3% da quantidade de energia produzida pelo gás do aterro, conforme outros participantes de projetos de MDL.

Como nos anos posteriores, 3% da energia produzida pelo gás do aterro anualmente será destinada para o seu autoconsumo, não se espera ter emissões provenientes da importação de energia da rede a partir de 2012.

### 3.2.3 Redução de emissões

Para estimar a redução de emissões do projeto, as emissões no cenário linha de base foram reduzidas das emissões do projeto, como mostra a equação,

$$ER_y = BE_y - PE_y . \quad (6)$$

## 3.3 DADOS DO ATERRO

Para a estimativa das emissões, pelo método ACM0001, vários registros de dados do aterro estudado foram necessários. O primeiro foi a gravimetria dos resíduos sólidos da província de Luanda, apresentada na Tabela 1, realizada pela empresa ASM no ano de 2007 (ASM, 2007).

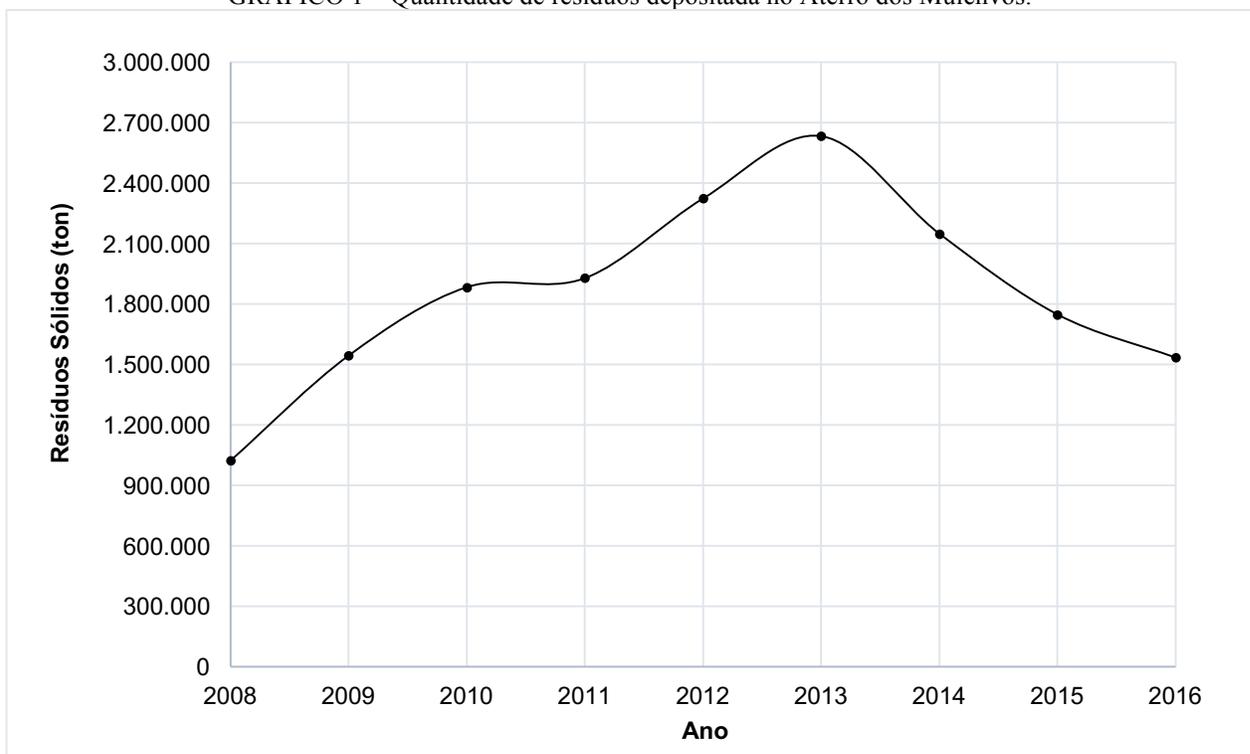
TABELA 1 – Gravimetria dos resíduos sólidos de Luanda, no ano de 2007.

Madeira ou produtos de madeira	Polpa de papel, papel, papelão	Comida, resto de comida, bebidas e tabaco	Têxteis	Resíduos de jardinagem, parques e jardins	Vidros, plásticos, metais, outros resíduos inertes
0%	16%	24%	8%	0%	51%

FONTE: Adaptado do relatório da empresa ASM no ano de 2007 (ASM, 2007).

Outro dado pesquisado foi a quantidade anual de resíduos depositada no aterro. Para este último, os valores de 2008 a 2016 foram extraídos dos relatórios mensais elaborados pela operadora do aterro, conforme Gráfico 1. Já para o resto dos anos da vida útil do aterro (vida útil de 24 anos) até o ano de 2031, foi estabelecido para este estudo de modo conservador a quantidade recebida em 2016, pois este é o último ano com dados disponíveis. Assim, o crescimento populacional, tendo como consequência o aumento da quantidade de resíduos depositada no Aterro, não foi considerada.

GRÁFICO 1 – Quantidade de resíduos depositada no Aterro dos Mulenvos.



FONTE: Adaptado de relatórios mensais da Operadora do Aterro.

### 3.4 POTENCIAL ECONÔMICO COM AS REDUÇÕES CERTIFICADAS DE EMISSÕES

Uma vez determinadas as reduções de emissão, sua conversão em certificados foi considerada, ou seja, as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) foram estimadas. Em relação ao preço das Reduções Certificadas de Emissões, o valor médio anual desde o primeiro ano de estudo (2010) foi verificado nos mercados em operação. Depois, foram levantadas as receitas provenientes da venda desses certificados, com base nos preços verificados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira simplificada, para um projeto ser elegível ao MDL, ele precisa ser implantado em um país em desenvolvimento (não Anexo I segundo o Protocolo de Quioto), ser voluntário (estar além do que prevê a legislação, ou seja, não ser uma prática mandatória), sua redução de emissões deve ser real, mensurável e de longo-prazo, deve contribuir para o desenvolvimento sustentável do país ou região e ser adicional. Este último critério significa que o projeto deve resultar em menores emissões que as que ocorreriam em sua ausência, ser um projeto que não ocorreria de nenhuma maneira, independentemente do MDL.

O projeto de captura para geração de energia e combustão do biogás gerado no Aterro dos Mulenvos atende a todos os critérios expostos acima, pois: Angola é um país não pertencente ao Anexo I da UNFCCC; não há determinação por leis ou regulamentações em Angola que obriguem os operadores de aterros sanitários a capturarem e destruírem o metano gerado, o que demonstra sua voluntariedade; o referido projeto é adicional e sua redução de emissões é de longo-prazo, podendo ser demonstrada e mensurada com base nos cálculos deste trabalho e finalmente, contribui com o desenvolvimento sustentável do país ao cumprir com vários critérios estabelecidos pela AND angolana no Anexo III do Decreto do Conselho dos Ministros de nº 2/10 de 13 de janeiro, como alguns elencados abaixo:

A. “Ambiental:

- a. A poluição e degradação ambientais são evitadas, ou onde elas não podem ser evitadas completamente, podem ser minimizadas e mitigadas;
- b. Que o desenvolvimento, uso e exploração dos recursos renováveis e os ecossistemas dos quais elas são parte não excedam a sua capacidade de regeneração;
- c. Que a aversão ao risco e abordagem cautelosa é aplicada, tomando em consideração os limites de conhecimento atual sobre as consequências das decisões e ações;
- d. Que o impacto negativo no ambiente e nos direitos ambientais das pessoas é antecipado e prevenido, e onde não pode ser prevenido completamente, é minimizado ou mitigado;
- e. Impacto do projeto na qualidade do ar;

#### B. Social:

- a. Impacto do projeto na criação de emprego – Obs.: referente à construção do sistema de extração de biogás;
- b. Contribuição do projeto no quadro do desenvolvimento local.

#### C. Econômico:

- a. Impacto do projeto nas exigências das trocas comerciais estrangeiras;
- b. Impacto do projeto nas atividades econômicas já existentes na área de implementação;
- c. Impacto do projeto como investimento estrangeiro direto e a transferência de tecnologia apropriada com implicações positivas na transferência de tecnologia resultantes do projeto;
- d. Demonstração e potencial de replicação do projeto.”

#### 4.1 Determinação do Cenário de Linha de Base e Estudo de Adicionalidade

Como não há normas ou leis em Angola que obriguem a captura e destruição do metano produzido em aterros sanitários, e que não existem perspectivas de que um projeto de captura e/ou utilização do biogás do aterro seja implantado, pode-se sugerir que o cenário de linha de base do projeto proposto é a continuidade da prática atual, caracterizada por um sistema de drenos de lixiviados em comum com os poços de ventilação passiva que elimina o gás no topo do dreno. A combustão do gás não é uma prática rotineira, sendo feita de forma manual no topo do dreno, resultando em coleta e queima muito limitadas do biogás gerado no aterro. Além disso, com relação a eletricidade, o cenário de linha de base é a continuidade da matriz energética do país que emite uma quantidade de GEE de acordo com o fator de emissão da rede elétrica, sem a participação da eletricidade gerada a partir do biogás do aterro.

O projeto proposto seria o primeiro do seu tipo no país, portanto, pode ser considerado adicional, pois promoveria a redução efetiva do gás metano (CH<sub>4</sub>) emitido para a atmosfera no cenário de linha de base, promoveria ainda a redução do fator de emissão da rede elétrica de Luanda ao fornecer eletricidade a partir do biogás, seria implementado de forma voluntária e necessitaria do auxílio do MDL, através das receitas advindas com a venda de RCEs.

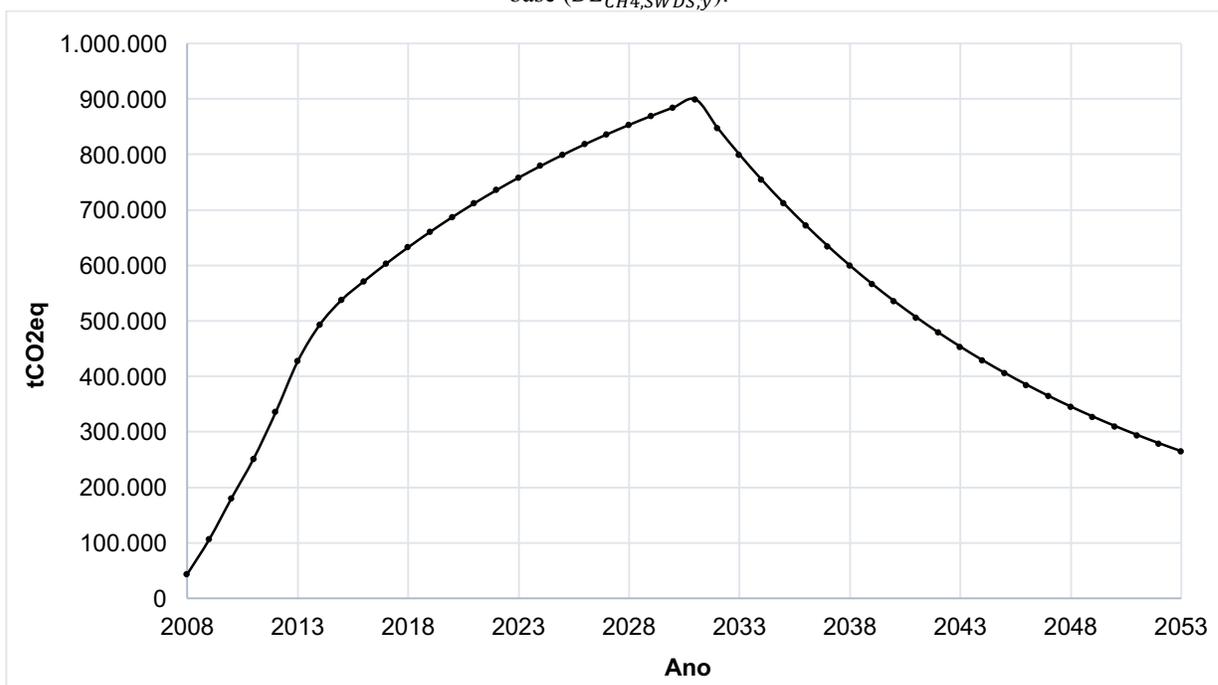
## 4.2 Etapas para o cálculo das emissões do cenário de linha de base do projeto

### 4.2.1 Geração anual de metano no Aterro Sanitário dos Mulenvos

A estimativa da quantidade de metano gerada no aterro depende, além da quantidade de resíduos sólidos depositada, da composição dos resíduos que ele recebe, entre outros. Na estimativa para o Aterro Sanitário dos Mulenvos, não entraram nos cálculos os resíduos de madeira e resíduos de jardinagem, visto que não foram encontrados na gravimetria de 2007. Além deles, os resíduos de vidros, plásticos, metais e outros inertes também não, visto que a sua taxa de degradação ( $k$ ) e sua fração de carbono orgânico degradável ( $DOC_j$ ) são zero.

O Gráfico 2 mostra a geração total de metano (em tCO<sub>2</sub>eq) anual do aterro, desde o ano de 2008 até 21 anos depois de seu fechamento, conforme a equação 10 deste estudo. O comportamento crescente da curva corresponde ao período em que o aterro recebe os resíduos, pois a cada tonelada de resíduo, soma-se um novo potencial. O último ano de deposição, 2031, é dado pelo ponto máximo da curva. No decaimento, a curva é dirigida pela constante  $k$ , referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

GRÁFICO 2 – Quantidade anual de metano que é gerada no Aterro Sanitário dos Mulenvos, no cenário da linha de base ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ).



FONTE: Autora (2018)

A transformação dos resíduos depositados em um aterro sanitário em gases não é um processo simples, principalmente pela presença de uma diversidade de materiais que os compõem e pelas interações físico-químicas e biológicas que ocorrem ao longo do tempo que o resíduo se encontra no aterro (IBAM, 2007). Ainda, segundo Brito Filho (2005), a capacidade de um aterro gerar gás depende de muitos fatores, que incluem e não se limitam a: composição dos resíduos, umidade, tamanho das partículas, idade do resíduo, pH, temperatura, além de dimensões do aterro, operação e outros. Desse modo, a comparação da geração de gás entre aterros é complicada, já que diversos fatores afetam essa produção. Por esse motivo, compara-se aqui dois fatores de influencia para geração de biogás, a idade do resíduo e composição de resíduos dispostos.

Resíduos novos possuem potencial de geração de metano maior quando comparados à resíduos antigos que já passaram pelos processos de decomposição. Assim, quanto maior a quantidade de resíduos depositados por ano, maior o potencial de geração de biogás (FIGUEIREDO, 2011). O Inventário e Balanço de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de Curitiba (Ecowood, 2011), com um estudo do Aterro da Caximba, apontou que em 2008 (20 anos após o começo das atividades do aterro) aproximadamente 598.623 toneladas de resíduos de Curitiba foram enviadas para o Aterro da Caximba, resultando em uma geração de cerca de 535.320 tCO<sub>2</sub>eq de metano, e assim, uma tonelada de resíduo depositada gerando cerca de 0,89 tCO<sub>2</sub>eq. Já o Aterro dos Mulenvos, com uma estimativa de recebimento de 1.534.440 toneladas para o ano de 2027 (20 anos após o começo de suas atividades), geraria aproximadamente 836.401 tCO<sub>2</sub>eq de metano neste ano, o que resulta em uma emissão aproximada de 0,55 tCO<sub>2</sub>eq por tonelada de resíduo depositada.

A composição do resíduo depositado em um Aterro Sanitário é o fator o mais importante na avaliação do potencial de geração de gás do local, já que o biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica (BRITO FILHO, 2005 ; FIGUEIREDO, 2011). Segundo o Inventário de Emissões de Curitiba (Ecowood, 2011), a composição dos resíduos enviados para a Caximba em 2008 era de aproximadamente 40% de comida, restos de comida e bebidas e 26% de resíduos inertes. Já o Aterro dos Mulenvos, tem a proporção de recebimento de cerca de 51% de resíduos inertes e 24% de comida, restos de comida e bebidas.

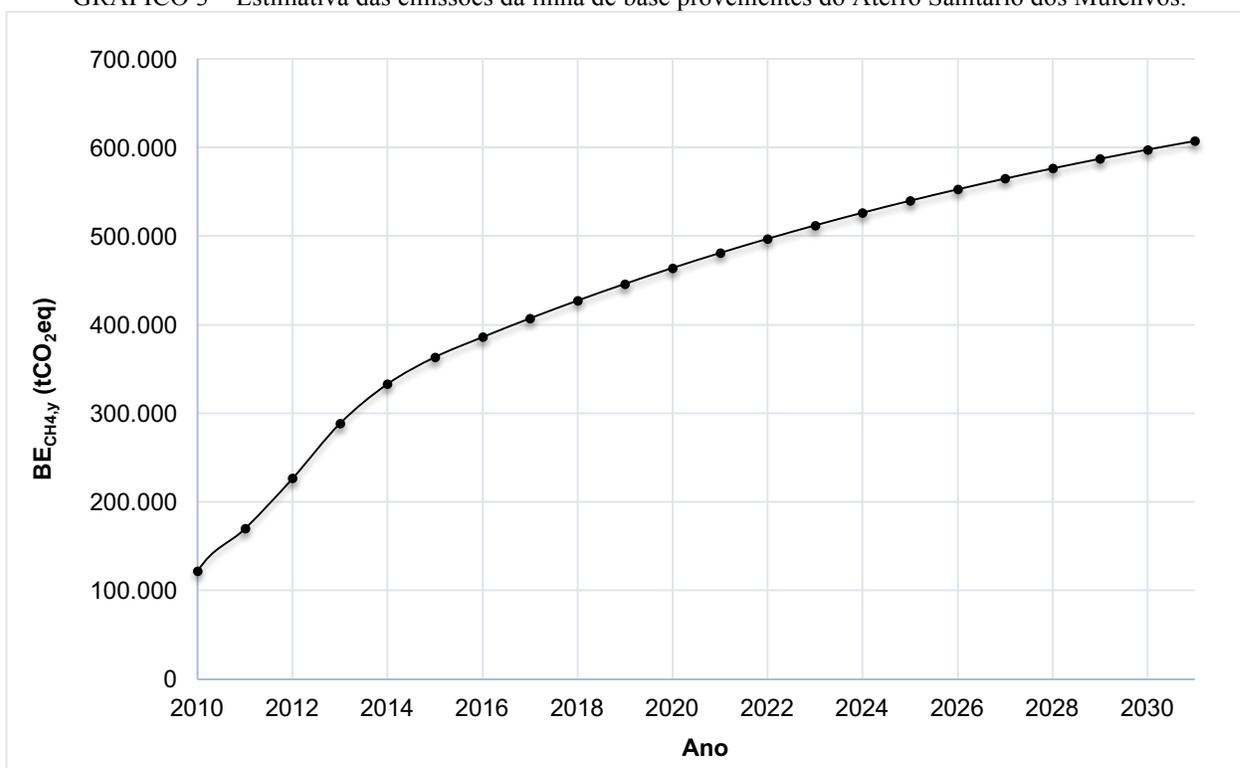
Considerando que a composição do Aterro dos Mulenvos seja a mesma composição de matéria orgânica e resíduos inertes de Curitiba, no ano de 2027, o aterro em Luanda geraria

aproximadamente 1.334.692 tCO<sub>2</sub>eq de metano neste ano, resultando em uma emissão de cerca de 0,87 tCO<sub>2</sub>eq por tonelada de resíduo. Assim, mesmo o Aterro dos Mulenvos recebendo grandes quantidades de resíduos quando comparado a outros aterros, o seu potencial de geração por tonelada de resíduo depositada pode não ser maior, já que sua composição é majoritariamente de resíduos inertes.

#### 4.2.2 Emissões de linha de base de metano provenientes de um LDRS ( $BE_{CH_4,y}$ )

De acordo com a equação 2, as componentes para o cálculo das emissões de linha de base do projeto são as emissões de linha de base de metano provenientes do aterro ( $BE_{CH_4,y}$ , componente 1) e as emissões de linha de base provenientes da geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ , componente 2). Para quantificar a primeira componente foi utilizada a equação 7 e os resultados apresentados na Gráfico 3.

GRÁFICO 3 – Estimativa das emissões da linha de base provenientes do Aterro Sanitário dos Mulenvos.



FONTE: Autora (2018)

Na estimativa da componente 1 foi utilizado o total de metano que o aterro gera ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ) apresentado no item 4.2.1, o total de metano que o projeto capturaria ( $F_{CH_4,PJ,y}$ ) e o total de metano que é capturado no aterro sem o projeto ( $F_{CH_4,BL,y}$ ). Foi considerado 75% de eficiência no sistema de captação do biogás gerado no aterro para estimar o total de metano que pode ser recuperado com o projeto ( $F_{CH_4,PJ,y}$ ) (ATLAS, 2013). Já o total de metano capturado no cenário sem o projeto, foi considerado 0, conforme o Caso 1 explicado no Apêndice A.

Em suma, no presente estudo, a emissão de linha de base proveniente de um local de Disposição de Resíduos Sólidos é o total de metano que o projeto captura em tCO<sub>2</sub>eq, pois será este total que deixará de ser emitido.

Pelo resultado apresentado no Gráfico 3, se o projeto proposto por esse estudo tivesse sido implantado em 2010, com uma eficiência de 75% na captação, ele estaria evitando a emissão de aproximadamente 120.000tCO<sub>2</sub>eq no ano inicial, chegando até aproximadamente 607.000tCO<sub>2</sub>eq no último ano de funcionamento do Aterro.

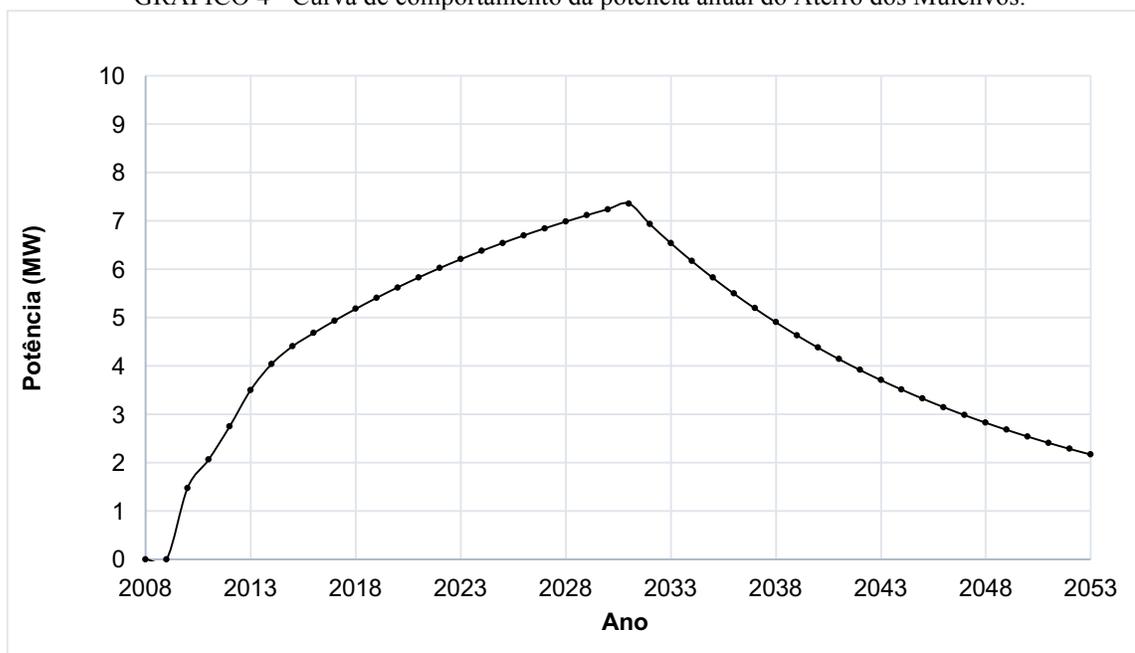
#### 4.2.3 Emissões de linha de base associadas com a geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ )

Para encontrar o valor da componente 2 das emissões do cenário da linha de base (equação 2), as associadas com a geração de eletricidade, é necessário primeiramente encontrar a eletricidade líquida resultante de ser gerada com o gás do aterro.

Nos Gráficos 4 e 5 são apresentados os resultados dos cálculos da potência (MW) e energia gerada com o projeto (MWh) até o ano de 2053, em função da vazão de metano (em m<sup>3</sup>/h) captada, conforme equações 12 e 13. Para a estimativa desse estudo, foram considerados motores de combustão interna do tipo Ciclo Otto por ser um mecanismo muito utilizado, prático e com durabilidade, com uma eficiência de 30% no grupo gerador (CENBIO, 2006 ; ICLEI, 2009), e um tempo de funcionamento contínuo – 24h/dia x 90% (paradas para manutenção), segundo outros participantes de projetos. Os anos de 2008 e 2009 não apresentam valores de disponibilidade de potência e energia, já que o ano proposto neste estudo para a análise do começo da atividade de projeto é 2010.

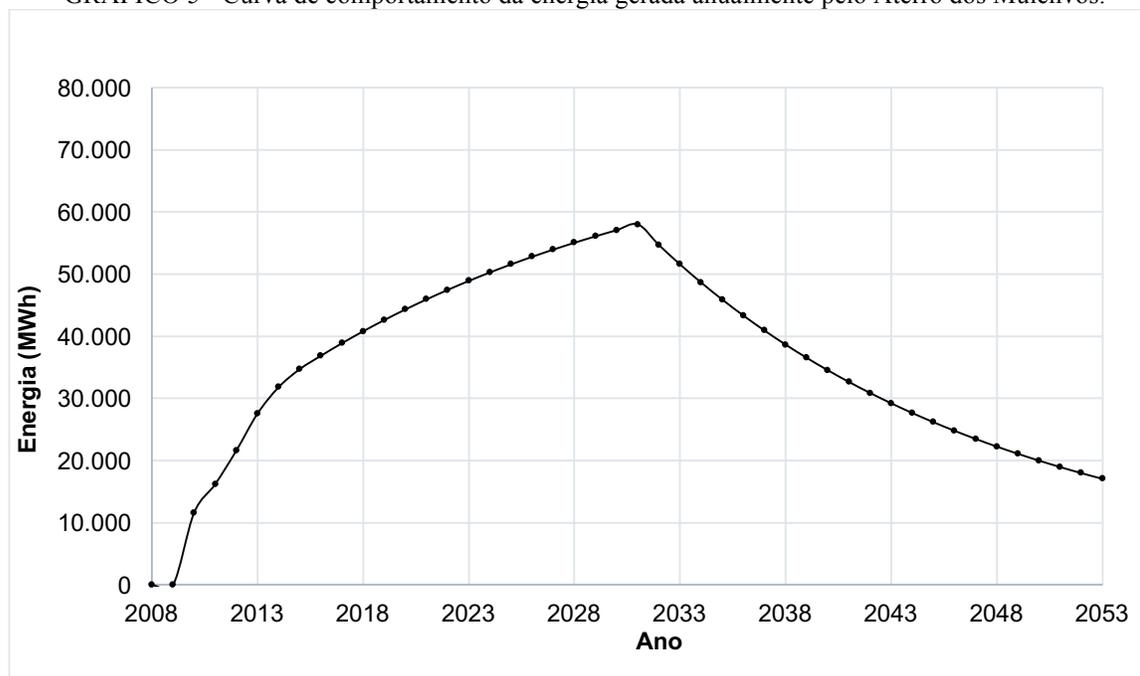
Assim como na produção de metano, representada pelo Gráfico 2, o ponto máximo das curvas da potência e energia correspondem ao último ano de deposição de resíduos no aterro e o decaimento delas é também dirigida pela constante k.

GRÁFICO 4 - Curva de comportamento da potência anual do Aterro dos Mulenvos.



FONTE: Autora (2018)

GRÁFICO 5 - Curva de comportamento da energia gerada anualmente pelo Aterro dos Mulenvos.



FONTE: Autora (2018)

Analisando o cenário do projeto, se o mesmo tivesse sido implantado no ano de 2010, a partir dos resultados acima, é possível verificar o potencial para geração de energia elétrica pelo

biogás do Aterro dos Mulenvos, com capacidade máxima da planta geradora de aproximadamente 7,0 MW. No último ano apresentado no gráfico, ano de 2053 com o aterro desativado, a potência gerada com o biogás ainda seria de 2,2 MW e a energia gerada neste ano seria de uma estimativa de aproximadamente 17.000 MWh.

De acordo com FIGUEIREDO (2011), a Alemanha é um exemplo a ser seguido. A Lei de Energias Renováveis criada no ano de 2000 naquele país passou a exigir que os operadores da energia elétrica paguem um preço fixo (superior ao preço da energia convencional) para a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis, além de garantir a compra em longo prazo. Essa lei acarretou a expansão da geração de energia elétrica pelo biogás, apresentando aproximadamente 4.000 plantas com capacidade instalada de 1.400 MWe.

De acordo com o Ministério da Energia e Águas da República de Angola, entre 2008 e 2014, o consumo de eletricidade no país Africano registrou uma taxa de crescimento significativa, atingindo em 2014 um consumo de 9,48 TWh. Esse crescimento veio principalmente de uma abrangência maior da eletrificação do país, uma melhor qualidade de vida da população com consequência num maior consumo de eletricidade e pelo aumento da capacidade de produção disponível no país (Ministério da Energia e Águas, *online*).

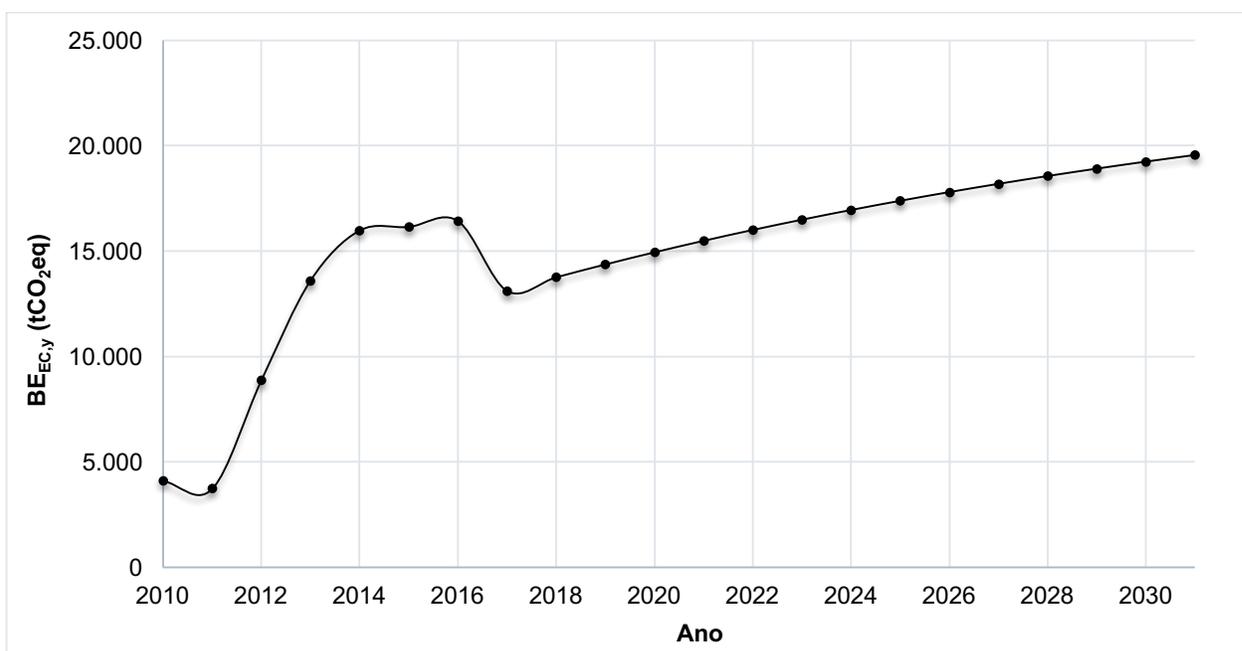
Porém, o documento ATLAS e Estratégia Nacional para as Novas Energias Renováveis (2014), e o Plano de Ação do Ministério de Energia e Águas, apontam que apesar dos elevados investimentos no setor de energia em Angola, a situação continua com constantes falhas de fornecimento e uma baixa abrangência, já que somente 30% da população é atendida, dos quais 70% em Luanda. Esse ATLAS (2014) apresenta estratégias que procuram promover a diversificação da matriz energética nacional, já que Angola depende fundamentalmente dos seus recursos hídricos e dos derivados de petróleo para a geração de eletricidade, e as energias renováveis não tem expressão. Sendo assim, uma possibilidade de diversificar a matriz energética do país seria a utilização da energia produzida pela utilização do biogás do Aterro Sanitário dos Mulenvos.

Considerando informações do Ministério de Energias e Águas (*online*), o consumo per capita em MWh em Angola no ano de 2010 foi estimado de 0,4 MWh e considerando esse valor para o primeiro e segundo períodos de créditos (de 2010 até 2023), se o projeto para o Aterro de Mulenvos tivesse sido implementado em 2010, teria atendido aproximadamente 29.000 pessoas e terminaria o ano de 2023 atendendo 122.000 pessoas. Já uma projeção para 2025 com consumo

per capita de 1,2 MWh, o projeto começaria o ano de 2024 atendendo cerca de 41.000 pessoas e terminaria o terceiro período de créditos, ano de 2030, disponibilizando energia para aproximadamente 47.000 pessoas. Ressalta-se aqui que, após o final do terceiro período de créditos escolhido, o projeto continuará a captar o biogás gerado no Aterro e disponibilizará para a geração de eletricidade. Em uma projeção de 22 anos após o encerramento das atividades dos Mulenvos (ano 2053), e considerando um aumento no consumo de eletricidade pela população angolana, 2,1 MWh per capita, o Aterro dos Mulenvos atenderia aproximadamente 8.000 pessoas.

Para calcular a estimativa das emissões da linha de base relacionadas a geração de eletricidade, foi utilizado o resultado da energia gerada pelo gás do Aterro (em MWh) e o fator de emissão calculado conforme os passos do Apêndice B pela equação 14. O fator de emissão foi calculado com os dados disponíveis no site do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTIC, *online*) que vão até o ano de 2017. O resultado do ano de 2017 foi utilizado também para os anos posteriores. Aplicando esses valores na equação 11, junto com as perdas técnicas na transmissão e distribuição de energia na rede de 14% em Angola, obteve-se a estimativa das emissões de linha de base relacionada a geração de eletricidade, conforme Gráfico 6.

GRÁFICO 6 – Estimativa das emissões da linha de base associadas a geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ )

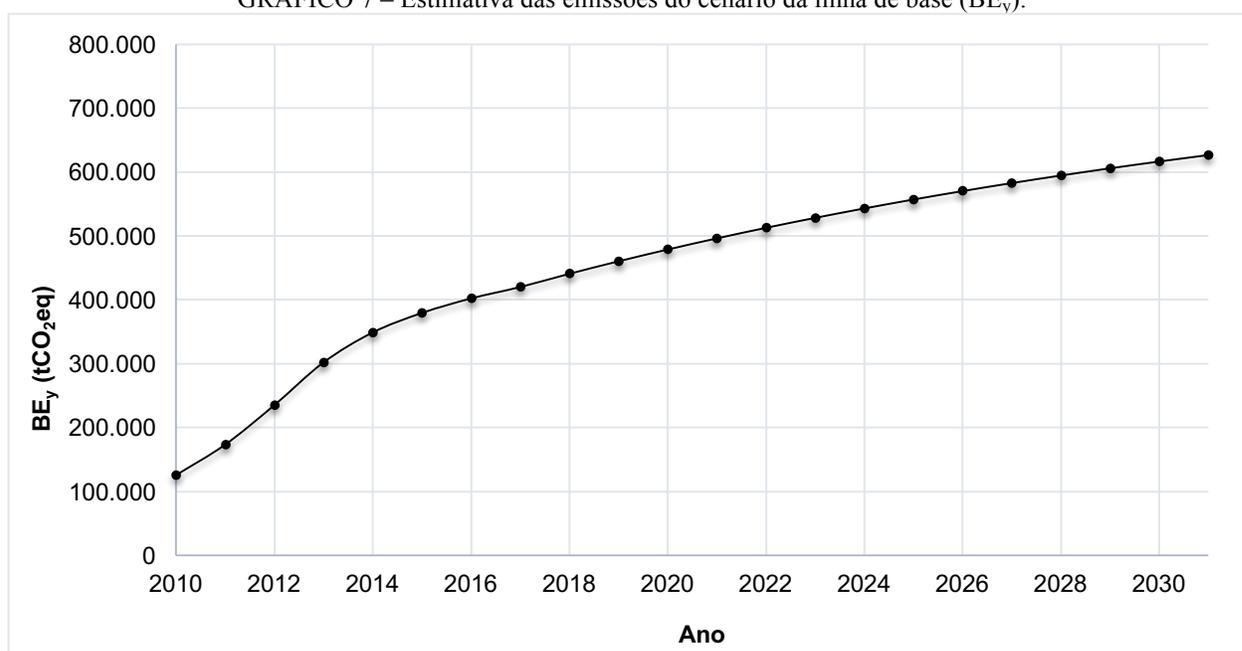


FONTE: Autora (2018)

### 4.3 Emissões do cenário da Linha de Base do Projeto para o Aterro Sanitário dos Mulenvos

Aplicando a equação 2, e utilizando os resultados das etapas 4.2.2 e 4.2.3, as emissões totais do cenário de linha de base do presente projeto são apresentadas no Gráfico 7.

GRÁFICO 7 – Estimativa das emissões do cenário da linha de base ( $BE_y$ ).



FONTE: Autora (2018)

As emissões do cenário linha de base de um projeto dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e que visa a geração de eletricidade, são a soma das emissões de GEE em tCO<sub>2</sub>eq provenientes do Aterro geradas pela decomposição da matéria orgânica e das emissões em tCO<sub>2</sub>eq relacionadas com a substituição de energia na rede.

Este cenário está relacionado à estimativa de reduções certificadas de emissões (RCEs) do MDL, visto que esses certificados surgem da diferença das emissões de linha de base em relação às emissões verificadas devido a atividade de um projeto de MDL.

### 4.4 Emissões do Projeto

#### 4.4.1 Resultado das emissões provenientes do consumo de energia elétrica pelo projeto

Para os dois primeiros anos de projeto, considerando que é o início de sua atividade, foi imposto que a energia será importada da rede e igual a 3% da energia produzida pelo aterro,

segundo experiência de outros projetos. Assim, para os anos de 2010 e 2011, o consumo de eletricidade da rede ( $EC_{PJ,y}$ ) seria de 350 MWh/ano e 488 MWh/ano, respectivamente.

Pela equação 5, utilizando o consumo de eletricidade citado acima e o mesmo fator de emissão e perdas técnicas do cenário de linha de base, foram encontradas as emissões de projeto pelo consumo de energia elétrica da rede, que são 124 tCO<sub>2</sub>eq para o ano de 2010 e 112 tCO<sub>2</sub>eq para o ano de 2011. Para os demais anos, considerou-se que 3% da produção de energia pelo biogás do aterro será utilizada para consumo próprio. Assim, somente para o ano de 2010 e 2011 resultam emissões provenientes do projeto proposto, por importar energia da rede.

Mesmo considerando que o projeto irá fornecer 3% de sua produção de energia para o seu autoconsumo a partir de 2012, o número de habitantes atendidos por ele não chega a ser alterado consideravelmente. No ano de 2010, como o projeto exportaria energia da rede, o número de pessoas atendidos não se altera. Já no final do segundo período de créditos, ano de 2023 e utilizando a sua energia produzida para o autoconsumo, o projeto forneceria energia para cerca de 118.000 pessoas. Começaria o terceiro período de créditos (ano de 2024) atendendo 40.000 pessoas e terminaria em 2030 atendendo um estimado de 46.000 pessoas. E, após 22 anos de encerramento das atividades de disposição de resíduos, o projeto ainda seria capaz de fornecer energia para aproximadamente 7.500 habitantes de Luanda.

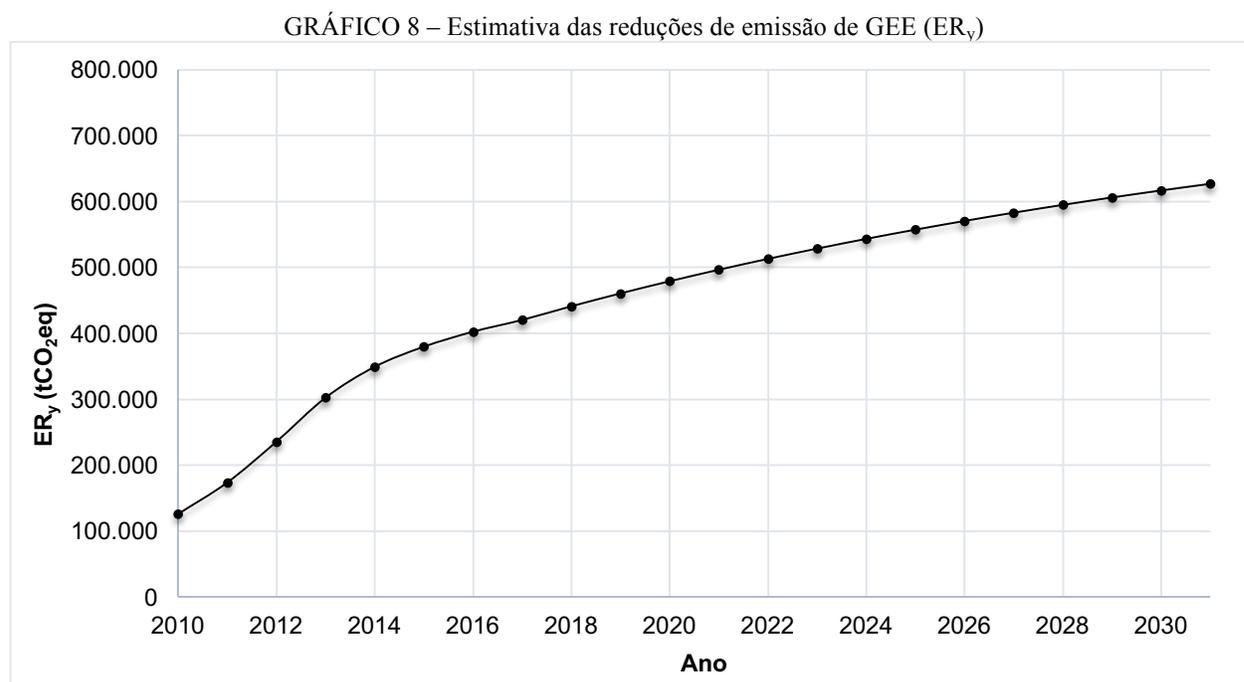
De acordo com o método ACM0001 utilizado para este trabalho, além das emissões de projeto associadas com o consumo de eletricidade, no caso de queima do biogás em flare, é necessário considerar as emissões fugitivas de metano associadas à eficiência de destruição do biogás no(s) flare(s), mesmo que essa parcela de contribuição seja pequena. Para isso, o método apresenta ferramentas metodológicas que descrevem procedimentos de cálculo e requerimentos de monitoramento para garantir que estas emissões sejam calculadas de maneira precisa (CGEE, 2010 ; ATLAS, 2013). Por ser um parâmetro que deve ser monitorado e calculado após a implantação do projeto, as emissões de metano provenientes da queima em flare não foram consideradas na estimativa deste estudo.

#### 4.5 Redução de emissões

Subtraindo as emissões do cenário da linha de base, apontadas no Gráfico 7, das emissões do projeto mencionadas na subseção 4.4., encontra-se a redução de emissões em tCO<sub>2</sub>eq que o projeto proposto pelo estudo pode alcançar.

O Gráfico 8 demonstra a redução de emissões que resultaria do projeto. O total é expresso como a massa de dióxido de carbono, em toneladas, equivalente à redução decorrente da destruição e utilização do gás metano e da substituição de uma matriz energética (ou seja, tCO<sub>2</sub>eq).

Como já explicado, o resultado da redução de emissões é uma estimativa, e para ser validado, o projeto deve possuir um sistema de monitoramento contínuo que demonstre que as reduções são reais.



FONTE: Autora (2018)

Como resultado, obtêm-se um total estimado de aproximadamente 9.300.000tCO<sub>2</sub>eq que deixariam de ser emitidas no período de 21 anos (2010 a 2030), e que praticamente correspondem ao potencial de créditos que seriam obtidos, distribuídos conforme o período de obtenção de créditos permitido pelo MDL e utilizados neste estudo, de 7 anos renováveis.

Para avaliar a grandeza do resultado das reduções de emissão obtido com o trabalho, cita-se o Aterro Bandeirantes, localizado na região metropolitana de São Paulo, como um dos maiores aterros do Brasil. Recebendo resíduos de 1979 até 2007 (quando foi encerrado), o Aterro acumulou nesses 29 anos de operação, um aproximado de 27 milhões de toneladas de resíduos, com uma composição de 61% de alimentos, resíduos de alimentos, bebidas e 19% de vidro,

plástico, metal e outros materiais inertes. O Projeto de Gás para Energia do Aterro Sanitário de Bandeirantes foi registrado como projeto de MDL no ano de 2006 e começou o primeiro período de créditos em 2004 e finalizou em 2010. O seu segundo período de créditos solicitado foi de 2010 a 2017. Os DCPs dos dois períodos apontam reduções de emissão estimadas de 7.494.404 tCO<sub>2</sub>eq e 1.751.876 tCO<sub>2</sub>eq, respectivamente, que quando somadas apresentam um total de aproximadamente 9.701.280 tCO<sub>2</sub>eq para 14 anos de projeto, e com o aterro já encerrado (DCP1 Aterro de Bandeirantes, *online* ; DCP2 Aterro de Bandeirantes, *online*).

O Aterro dos Mulenvos, com um acúmulo estimado nos seus 24 anos de operação (de 2008 até 2031) de aproximadamente 39 milhões de resíduos sólidos, e com composição de 24% de alimentos, resíduos de alimentos, bebidas e 51% de vidro, plástico, metal e outros materiais inertes, reduziria aproximadamente 9.300.000 tCO<sub>2</sub>eq, conforme demonstrado no Gráfico 8, nos 21 anos analisados. Após o seu encerramento, até o ano de 2044, reduziria ainda suas emissões em aproximadamente 6.191.370 tCO<sub>2</sub>eq.

Verifica-se que as reduções de emissão do Aterro dos Mulenvos são significativas e importantes pela possibilidade de geração de benefícios econômicos. Além da redução de emissão de GEE, o projeto seria capaz de gerar energia para um país com uma baixa abrangência de fornecimento de energia elétrica e com a conversão para créditos de carbono, aplicar a receita em projetos ambientais.

#### 4.6 Reduções Certificadas de Emissões (RCEs)

A Tabela 2 apresenta a divisão dos resultados das reduções de emissões separadas nos 3 períodos renováveis de 7 anos escolhidos no presente estudo. Vale ressaltar que a cada renovação, o projeto passa por nova validação e o método utilizado, o cálculo da redução de emissões estimadas e o plano de monitoramento devem ser atualizados conforme a versão do método em vigor.

TABELA 2 – Total de créditos de carbono obtidos pela redução de emissões.

<b>Período de Obtenção de Crédito</b>	<b>Total de créditos</b>
2010/2016	1.967.438
2017/2023	3.337.296
2024/2030	4.069.989

FONTE: Autora (2018)

Com relação aos preços das RCEs, com a saída da Rússia, Japão e Canadá do compromisso do Protocolo de Quioto na 17ª edição da COP realizada em Durban em 2011, a confiabilidade do mercado regulado diminuiu. Somando-se a isso a recessão econômica e a diminuição da demanda por créditos de carbono, as RCEs apresentaram queda em seus preços (ATLAS, 2013).

Além disso, de acordo com o Estado e Tendências do Mercado de Carbono (*World Bank*, 2010), em 2010, vários fatores influenciaram a baixa oferta de RCEs, incluindo o menor tamanho dos projetos recentes, menos projetos sendo realizados pela menor atividade econômica, dificuldade em obter financiamento e principalmente a falta de clareza na frente pós-2012 (segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto). Muitos desses fatores diminuíram a expectativa de novos projetos de MDL e desencorajaram novos investimentos. Assim, atrasos e incertezas levaram a maiores custos de transação, perdas nos volumes de RCEs e menores valores de mercado, potencialmente diminuindo o interesse de patrocinadores de projetos de longo prazo. Segundo *World Bank* (2010), analistas do Banco Barclays projetaram um valor de €20,00 euros por certificado para a 3ª fase do mercado EU-ETS (de 2013 à 2020).

Porém, com base no ATLAS (2013), no ano de 2012 quase 90% das RCEs foram negociadas a €1,50 euros, enquanto as VERs (provenientes de mercador voluntários) foram negociadas a um valor entre €3,50 a €15,00 euros. Isso indica que a oferta de carbono esta sendo direcionada aos mercados voluntários, anteriormente caracterizados como mercados incertos.

Por trás desse crescimento do mercado voluntário também estão as restrições estabelecidas pela EU-ETS, que a partir de 2013 (pós-2012), determinou que os participantes desse mercado de permissões da União Européia só podem comprar créditos internacionais de projetos de MDL e JI que estejam localizados dentro de países menos desenvolvidos (LDC do inglês, *Least Developed Countries*) (*European Commission, online*).

Angola está na lista dos LDC pela UNFCCC (*LDC Country Information, online*) e por isso, registrando o projeto de MDL após o ano de 2012, pode receber tratamento diferenciado na venda de seus créditos, ou seja, as seus RCEs são ainda aceitas na Europa dentro das *European Allowances*, porém o preço ainda é muito baixo por não existir demanda desses certificados.

Para avaliar a receita do projeto provinda da venda dos certificados, o preço considerado para o primeiro período de créditos, de 2010 até 2016, foi obtido pelo ATLAS (2013). A partir do segundo período, 2017 em diante, o preço foi obtido pelo site da *Intercontinental Exchange*, uma

empresa americana que possui bolsas de mercados financeiros e commodities, e opera 12 bolsas de valores e mercados que incluem as bolsas de créditos de carbono.

Assim, considerou-se o preço das RCEs de €1,50 euros para o primeiro período. Já para o segundo e terceiro períodos, no site da *Intercontinental Exchange*, o preço delas está disponível até os dias de hoje e são atualizados diariamente (*Intercontinental Exchange, online*). Infelizmente, o preço para o ano de 2017 não ultrapassou €0,30 euros, sendo considerado para os cálculos uma média conservadora de €0,20 euros para o segundo período de créditos. Já em Julho de 2018, o preço teve sua alta de €0,35 euros, e a média conservadora considerada para os cálculos foi de €0,25 euros, e usada para a análise da receita do projeto dos anos posteriores (terceiro período de créditos).

Então, com um certificado de redução de emissões que é o equivalente a uma tonelada de CO<sub>2</sub>eq não emitida, valendo o preço de €1,50 euros, a receita do primeiro período de créditos do projeto proposto por esse estudo seria de aproximadamente €2.900.000 euros. Para o segundo período de créditos, com um RCE valendo €0,20 euros, a receita encontrada foi cerca de €600.000 euros e para o terceiro período de créditos, com preço de €0,25 euros, o resultado estimado foi de €1.000.000 euros.

O preço das RCEs diminuiu bastante desde 2012, por diversos fatores como restrições do mercado EU-ETS, crise econômica, pouca demanda entre outros. Desse modo, ressalta-se que se o projeto tivesse sido implementado em 2010, os preços seriam diferentes e maiores, com consequência de receita maior. Também vale ressaltar que, o mercado é incerto, e para os anos posteriores deste estudo, o preço pode chegar a aumentar.

De acordo com informações de participantes de projetos de geração de energia a partir do biogás, uma estimativa de investimento para instalação de geradores é de aproximadamente €800.000 euros por MW instalado. Neste estudo, com a tecnologia complexa e não disponível no país, não foram considerados os custos com operações e manutenções. Sendo assim, o total de receita obtido com os 21 anos analisados cobriria aproximadamente 82% do investimento necessário para implantar 7MW no projeto.

Contudo, considerando que projeto desta natureza seria o único na África Subsaariana, há uma grande probabilidade de existirem interessados na compra de seus créditos para cumprimento de metas de responsabilidade social, além de ambientais, por valores superiores aos encontrados na bolsa de créditos referenciada acima. Desse modo, supondo um acordo comercial

para compra dos créditos, por um valor de €2,0 euros por crédito, obter-se-iam receitas para o primeiro, segundo e terceiro períodos analisados de cerca de €3.900.000, €6.600.000 e €8.100.000 euros, respectivamente.

Com esse resultado, a venda de créditos dos 2 primeiros períodos de projeto cobriria o custo de instalação de geração de energia necessária para os 21 anos estudados neste trabalho. Além disso, o seu excedente poderia ser utilizado para a criação de projeto de reciclagem e triagem de materiais recicláveis na Província de Luanda.

Segundo IBAM (2007), o desenvolvimento sustentável como o aspecto central dos projetos de MDL deve procurar conciliar a preservação ambiental, crescimento econômico e melhoria da qualidade de vida da população. Uma das oportunidades sociais que se abrem a partir de um projeto de MDL com o foco em resíduos sólidos estão voltadas para a reciclagem e educação ambiental.

Quando materiais descartados são reciclados há uma menor demanda por materiais virgens, cuja extração, transporte e processamento são grandes fontes de emissão de GEE. Desse modo, a reciclagem reduz as emissões em indústrias como mineração, silvicultura, agricultura e extração de petróleo.

Como a reciclagem não é vista como principal solução para o problema dos resíduos sólidos urbanos, ela deve ser encarada como um elemento dentro de um conjunto de soluções, como por exemplo, dentro de um projeto de MDL. Além de trazer benefícios como preservação de recursos naturais, redução das emissões de gases de efeito estufa, diminuição dos impactos ambientais e diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada (aumentando a vida útil do aterro), ela pode ser geradora de novos negócios e empregos diretos e indiretos através da criação de unidades de triagem (MONTEIRO, 2001).

Um exemplo de desenvolvimento social e inclusão da população é em Bali, Indonésia, com um projeto de pequena escala de MDL registrado em 2008 chamado “*Gianyar Waste Recovery Project*”, que evitava as emissões de metano por meio da compostagem, e envolveu a expansão da separação de resíduos orgânicos. Ele capacitou as comunidades para decidir qual a mais apropriada abordagem para gerenciar seus resíduos sólidos, criou empregos com até 125 postos de trabalhos que estão diretamente ligados a este projeto e que englobam aprimoramento de gestão de resíduos e forneceu oportunidades de treinamento e educação para comunidades

locais por meio da construção de um centro de educação ambiental em um aterro restaurado (UNFCCC, *CDM Project co-benefits, online*).

A receita gerada com a venda dos créditos do Aterro dos Mulenvos pode também ser utilizada para projetos sociais como este, que visam a participação da comunidade por meio de educação ambiental, criação de empregos e incentivo a reciclagem, obtendo assim impactos positivos ambientais e sociais.

## 5. CONCLUSÃO

O Aterro Sanitário dos Mulenvos em Angola, é o único no país criado com base nos critérios e métodos de engenharia para receber e tratar resíduos sólidos, e se mantém como um exemplo de disposição mais adequada dos resíduos. Este trabalho teve como objetivo quantificar o potencial de redução de emissão de GEE do aterro por meio de um projeto de MDL de geração de energia elétrica, utilizando o método ACM 0001 consolidado e aprovado pelo Conselho Executivo do MDL. O método utilizado para essa previsão de redução de emissão e geração de eletricidade, é adequado e indicado pela UNFCCC, e considerou o potencial de produção de metano de acordo com a composição dos resíduos, o fluxo de resíduos anual, o tempo de vida útil do aterro e a constante de decaimento.

Esse estudo mostrou que o aterro poderia ter se beneficiado com a implantação desse projeto no começo de suas atividades, aproveitando o potencial energético do biogás e principalmente reduzindo as emissões de GEE, podendo se tornar um exemplo ainda mais importante para o continente africano. Observou-se que se o projeto de MDL proposto tivesse sido implantando no Aterro Sanitário dos Mulenvos em 2010, ele teria resultado em um ganho no aspecto ambiental, social e tecnológico, incluindo receitas após a venda dos Certificados obtidos.

No aspecto ambiental, o aterro deixaria de emitir um total de aproximadamente 9.300.000 tCO<sub>2</sub>eq no período de 21 anos analisados e que quando convertidas em RCEs, acarretaria receita que poderia compensar custos de implantação da planta geradora de energia elétrica e/ou financiar, por exemplo, projetos visando a reciclagem. No quesito social, este estudo mostrou que o Aterro dos Mulenvos possui um potencial de geração de energia elétrica de aproximadamente 7 MW podendo atender as necessidades de até 122.000 pessoas.

Cabe ressaltar que além das reduções de emissão e geração de energia elétrica analisadas nos 21 anos deste estudo, o projeto ainda forneceria benefícios por mais de 23 anos (após o aterro já estar desativado), visto que no ano de 2053 ainda estaria gerando um potencial de energia elétrica de aproximadamente 2,2 MW e consequentemente reduzindo emissões.

Assim, além da geração de energia, teria o aproveitamento dos resíduos sólidos como combustível, melhor gerenciamento do aterro sanitário, redução da utilização de combustíveis fósseis, incentivo a reciclagem para um melhor aproveitamento do aterro e geração de metano e ainda redução e monitoramento das emissões de gases de efeito estufa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, P. **Elaboração de um Plano de Gestão de Resíduos**. Relatório de estágio (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Ambiente) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

AMBROSI, P.; KOSSOY, A. **State and Trends of the Carbon Market 2010**. Carbon Finance at the World Bank, Washington, DC, 2010.

ANGOLA ENERGIA 2025, Evolução da Procura. **Ministério da Energia e Águas**, República de Angola. Disponível em: <<http://www.angolaenergia2025.com/pt-pt/conteudo/evolucao-da-procura>> Acesso em: 03 ago. 2018.

ANGONOTÍCIAS. É hora de limpar Luanda. 2015. Disponível em: <<http://www.angonoticias.com/Artigos/item/47868/e-hora-de-limpar-luanda>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

ASM Engenharia e Consultoria Ltda. **Projeto Final de Engenharia: Aterro Sanitário de Mulenvos** - Memorial Descritivo do Projeto e Orçamento. Luanda, Angola, 2001.

ASM Engenharia e Consultoria Ltda. **Elaboração de Estratégias para Gestão e Proposta para Implementação de Política para Resíduos Especiais – Resíduos Urbanos Especiais**. Relatório 8. Luanda, Angola, 2007.

**ATLAS Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. São Paulo: ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2013.

**ATLAS e Estratégia Nacional para as Novas Energias Renováveis**. Angola: República de Angola e Ministério da Energia e Águas, 2014.

Centro de Estudos e Investigação Científica, Universidade Católica de Angola. **Relatório Social de Angola**. Luanda: CEIC-UCAN, 2014.

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Governo do Estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente. **Biogás: Pesquisas e projetos no Brasil**. São Paulo: SMA, 2006.

CGEE Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Manual de capacitação sobre mudança do clima e projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo**. Brasília, DF: 2010.

Comunicado Técnico da Gerência de Energia e Mudanças Climáticas, Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento e Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: procedimentos para implementação e análise da evolução dos projetos**. Belo Horizonte: FEAM, 2011.

Conselho de Ministros, ANGOLA. Decreto nº 2/10 de 13 de janeiro de 2010. Criada a Autoridade Nacional Designada. **Diário da República**, Luanda - I Série - Nº 7.

Conselho de Ministros, ANGOLA. Resolução nº 52/08 de 05 de junho de 2008. Aprova a Estratégia Nacional de Implementação. **Diário da República**, Luanda - I Série - Nº 102.

DUARTE, A. C. **Projetos de MDL em Aterros Sanitários no Brasil: Alternativa para o desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

Ecowood Assessoria Ambiental. **Inventário e balanço de emissões de gases de efeito estufa no município de Curitiba**. Relatório Síntese, Curitiba, 2011.

EMBASSY OF ANGOLA. W. D. **About Angola**. Disponível em: < <http://www.angola.org>>. Acesso em 1 maio 2018.

Espírito Santo Research. Angola – 3º e 4º Trimestres de 2009. Disponível em < [http://www.info-angola.ao/images/documentos/pdf/outlook\\_3e4trimestre\\_2009.pdf](http://www.info-angola.ao/images/documentos/pdf/outlook_3e4trimestre_2009.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. Emissions Trading System (EU ETS). Use of international credits. Disponível em: < [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/credits\\_en#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/credits_en#tab-0-0)>. Acesso em: 23 out. 2018.

Federação Internacional dos Direitos Humanos e Organização Mundial Contra a Tortura. **Angola "Querem manter-vos vulneráveis". Defensores dos direitos humanos sob pressão**. Luanda: FIDH e OMCT, 2015.

FGV Fundação Getúlio Vargas. **O mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Guia de Orientação**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2002.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Energia). Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto Eletrotécnica e Energia, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FILHO, L. F. B. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FUJIHARA, M. A.; LOPES, F. G. **Sustentabilidade e mudanças climáticas: guia para o amanhã**. São Paulo: Editora Senac, 2009.

GODOY, S. G. **Panorama Mundial do Mercado de Crédito de Carbono**. Bacharel em economia FEA/USP, mestre em Economia Política PUC/SP, doutoranda Programa de Ciência Ambiental PROCAM/USP. Oficina Pensa. USP, São Paulo, 2007.

GODOY, S. G. Projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa: desempenho e custos de transação. **Revista de Administração**, Universidade de São Paulo, São Paulo [online]. 2013, vol.48, n.2, pp.310-326. ISSN 0080-2107. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5700/rausp1090>> .

**ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe.** Manual para aproveitamento do biogás, Volume I, Aterros Sanitários. Escritório de Projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal; **Redução de emissões na disposição final: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

INTERCONTINENTAL EXCHANGE – CER Futures. Disponível em: <<https://www.theice.com/products/814666/CER-Futures/data?marketId=1240046&span=3>>. Acesso em: 10 out. 2018.

IPCC **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. R. K. Pachauri ; L.A. Meyer. Geneva, Switzerland, 2014.

IPCC **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, New York, NY, U.S.A., 2007a.

JURAS I. A. G. M.; **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Fundamentos, Histórico e Estatística.** Consultoria Legislativa, Câmara do Deputados, Brasília-DF: 2007.

MARCOVITCH, Jacques. **Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais.** São Paulo: Saraiva, 2006.

MCTIC Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio Gráfica e Editora Ltda, 2009.

MCTIC Método da análise de despacho. Disponível em: <  
[http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_despacho.htm](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.htm)  
> Acesso em: 20 jul. 2018.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NOAA **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, U.S. Department of Commerce, 2015.

PAULA, R. T.; CHAVES, D. E.; ALMEIDA, V. A. A. **Problema Urbano de Luanda: A questão do Lixo na Capital Angolana**. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 2016, São Luís, MA: Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016.

PEDOTT, J. G. J.; AGUIAR, A. O. Biogás em Aterros Sanitários: Comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista Científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte HOLOS**, São Paulo, Ano 30, v. 4. ISSN 1807-1600. 2014. Disponível em: <  
[http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1715/pdf\\_63](http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1715/pdf_63)>. Acesso em: 12 mai. 2018.

PROJETO 0164 – Projeto de energia pelo gás do Aterro Bandeirantes. DCP1. Disponível em: <  
<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56/view?cp=1>>. Acesso em: 15 out. 2018.

PROJETO 0164 – Projeto de energia pelo gás do Aterro Bandeirantes - DCP2 – Solicitação de renovação do período de crédito. Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56/view?cp=2>>. Acesso em: 16 out. 2018.

UCSUSA Union of Concerned Scientists. **The IPCC: Who Are They and Why Do Their Climate Reports Matter?** [online] 2017. Disponível em: <<https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/ipcc-backgrounder.html#bf-toc-1>> Acesso em 18 mai. 2018.

UNFCCC CDM Project co-benefits in Bali, Indonesia. Disponível em: < [https://cdm.unfccc.int/about/ccb/CDM\\_Cobenefits\\_Bali\\_Indonesia.pdf](https://cdm.unfccc.int/about/ccb/CDM_Cobenefits_Bali_Indonesia.pdf)> Acesso em: 20 set. 2018.

UNFCCC **United Nations Framework Convention on Climate Change**, 1992. United Nations. Disponível em: < <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>. Acesso em 2 mai. 2018.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change, 1998. United Nations. **Kyoto Protocol to the United Nation Framework Convention on Climate Change**. Disponível em: < <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf#page=12>>. Acesso em 5 mai. 2018.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change. **CDM Methodology Booklet**. Ninth edition, Novembro 2017. Disponível em: < <https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/index.html>>. Acesso em 20 mai. 2018.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mecanism CDM**. Disponível em About CDM: <<https://unfccc.int>>. Acesso em 26 abr. 2018.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change. **Clean Development Mecanism CDM - Methodology ACM 0001**. Disponível em:

<<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/Y88077XT5O83TZ2PYEZ36LFIAMAODR> >.

Acesso em: 21 mai. 2018.

UNITED NATIONAL CLIMATE CHANGE – LDC Country Information. Disponível em:

<<https://unfccc.int/topics/resilience/workstreams/national-adaptation-programmes-of-action/ldc-country-information> > Acesso em: 24 out. 2018.

WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT – RIO 6, 2006, Rio de Janeiro. **Energy Generation by a Renewable Source – Sewage Biogas**. Rio de Janeiro, CENBIO, 2006.

## APÊNDICE A – PASSOS PARA DETERMINAÇÃO DE EMISSÕES DE LINHA DE BASE PROVENIENTES DE UM LDRS ( $BE_{CH_4,Y}$ )

Para calcular as emissões de linha de base de um Local de Disposição de Resíduos Sólidos (LDRS), o método ACM0001 leva a equação (7).

$$BE_{CH_4} = \{(1 - OX_{top\_layer}) \cdot F_{CH_4,PJ,y} - F_{CH_4,BL,y}\} \cdot GWP_{CH_4} \quad (7)$$

Em que  $BE_{CH_4,y}$  são as emissões no cenário linha de base de metano em um LDRS no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano),  $OX_{top\_layer}$  é a fração de metano no gás que seria oxidado na camada superior do LDRS na linha de base (adimensional),  $F_{CH_4,PJ,y}$  é a quantidade de metano no gás que é queimada em flare e/ou usada na atividade de projeto no ano  $y$  (em tCH<sub>4</sub>/ano),  $F_{CH_4,BL,y}$  é a quantidade de metano no gás que seria queimado em flare na linha de base no ano  $y$  (em tCH<sub>4</sub>/ano) e  $GWP_{CH_4}$  é o potencial de aquecimento global do metano (em tCO<sub>2</sub>eq/tCH<sub>4</sub>).

Avaliando a equação (7), é necessário encontrar os valores de  $F_{CH_4,PJ,y}$  e  $F_{CH_4,BL,y}$ . Para o valor da quantidade de metano no gás que seria queimado em flare na linha de base ( $F_{CH_4,BL,y}$ ), o método ACM0001 apresenta 4 casos diferentes para o participante do projeto determinar a quantidade de metano destruída devido a exigências regulatórias e contratuais ou para abordar preocupações com segurança e odores, apresentados na tabela 3.

TABELA 3 – Casos para determinação do metano capturado e destruído na linha de base.

Situação no início da atividade do projeto	Exigência de destruição de metano	Sistema existente de captura e destruição de gás de aterro (LFG)
Caso 1	Não	Não
Caso 2	Sim	Não
Caso 3	Não	Sim
Caso 4	Sim	Sim

FONTE: Autora (2018), adaptado de UNFCCC método ACM0001.

Em relação aos casos citados acima, o Caso 1 foi aplicado para o projeto no Aterro Sanitário dos Mulenvos. Em relação a exigência de destruição de metano, não há nenhuma

obrigação legal para a captura e destruição do LFG no aterro em questão. Também, de acordo com a operadora do aterro, não existem exigências para destruir o metano devido a preocupações com segurança ou odor.

Em relação ao sistema existente de captura e destruição de LFG, foi considerado para este estudo que, apesar de existir um sistema de captura de LFG no aterro sanitário dos Mulenvos, não há uma destruição eficiente, já que a combustão desse gás não é uma prática rotineira. Portanto, o único caso aplicável à atividade do projeto é o Caso 1 (Exigência de destruição de metano = Não ; Sistema de captura e destruição de LFG existente = Não), resultando na seguinte situação.

$$F_{CH_4,BL,y} = 0 \quad (8)$$

Para completar os parâmetros da equação (7), o método ACM0001 apresenta duas maneiras de calcular o valor de  $F_{CH_4,PJ,y}$ . A primeira é por meio do monitoramento da quantidade de metano que é queimada e usada na atividade do projeto, durante o período de obtenção de créditos. A segunda maneira, sendo a utilizada para estimar as emissões de linha de base de metano antes do período de obtenção de créditos, é o cálculo por meio de uma estimativa da quantidade de metano que é gerada no aterro e o quanto desse gás será capturado de acordo com a eficiência do sistema de captura instalado no projeto. Para essa estimativa, foi utilizada a fórmula (9).

$$F_{CH_4,PJ,y} = \frac{n_{PJ} \cdot BE_{CH_4,SWDS,y}}{GWP_{CH_4}} \quad (9)$$

Onde  $F_{CH_4,PJ,y}$  é a quantidade de metano no gás que é queimada em flare e/ou usada na atividade de projeto no ano  $y$  (em tCH<sub>4</sub>/ano),  $n_{PJ}$  é eficiência do sistema de captura do gás que será instalado na atividade do projeto,  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  é a quantidade de metano no gás que é gerada pelo aterro no cenário da linha de base no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>eq/ano) e  $GWP_{CH_4}$  é o potencial de aquecimento global do metano (em tCO<sub>2</sub>eq/tCH<sub>4</sub>).

Seguindo os passos do método ACM0001, o valor de  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  foi determinado pela aplicação da ferramenta metodológica “Emissões dos locais de disposição de resíduos sólidos”. As orientações a seguir foram levadas em conta ao se aplicar a ferramenta.

- Na ferramenta, deve-se atribuir um valor de 0 para  $f_y$ , porque a quantidade de LFG que teria sido capturado e destruído no cenário de linha de base já é contabilizada pela equação (8);
- Na ferramenta,  $x$  inicia no ano em que o aterro começou a receber resíduos, ou seja, o seu primeiro ano de operação;
- Não é necessária uma amostragem para determinar as frações dos diferentes tipos de resíduos, porque a composição deles pode ser obtida de estudos anteriores.

Portanto, para a estimativa de  $F_{CH_4,PJ,y}$  na equação (9), o cálculo da quantidade de metano que seria, na ausência da atividade do projeto, gerada a partir da eliminação de resíduos sólidos no aterro ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ) foi feito por meio de um modelo multifase. O cálculo deste último é baseado em um modelo de decaimento de primeira ordem, apresentado pela ferramenta, conforme a equação (10).

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi_y \cdot (1 - f_y) \cdot GWP_{CH_4} (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_{f,y} \cdot MCF_y \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j}) \quad (10)$$

Onde  $BE_{CH_4,SWDS,y}$  é a emissão de metano de linha de base ocorridas no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>e/ano),  $x$  são os anos no período de tempo no qual os resíduos são descartados no LDRS, estendendo-se desde o primeiro ano ( $x=1$ ) até o ano  $y$  ( $x=y$ ),  $y$  é o ano do período de obtenção de créditos para o qual as emissões de metano são calculadas,  $DOC_{f,y}$  é a fração de carbono orgânico degradável (DOC) que pode ser decomposta e que ocorrem no LDRS para o ano  $y$  (fração de peso),  $W_{j,x}$  é a quantidade de resíduos orgânicos tipo  $j$  dispostos no LDRS no ano  $x$  (ton),  $\varphi_y$  é o fator de correção do modelo para considerar as incertezas do modelo para o ano  $y$ ,  $f_y$  é a fração de metano capturada no LDRS e queimada ou usada de outra maneira que evita as emissões de metano para atmosfera no ano  $y$ ,  $GWP_{CH_4}$  é o potencial de aquecimento global do metano (GWP),  $OX$  é o fator de oxidação (refletindo a quantidade de metano do LDRS que é oxidado no solo ou em outro material de cobertura dos resíduos),  $F$  é a fração de metano no gás LDRS (fração de volume),  $MCF_y$  é o fator de correção do metano para o ano  $y$ ,  $DOC_j$  é fração de carbono orgânico degradável (peso) no tipo de resíduo  $j$ ,  $k_j$  é a taxa de degradação de cada tipo de resíduo  $j$  (em 1/ano) e  $j$  é a categoria do tipo de resíduo.

Os valores de  $\varphi_y$ ,  $OX$ ,  $F$ ,  $DOC_{f,y}$ ,  $MCF_y$ ,  $k_j$ ,  $DOC_j$  são padrão, ou seja, dados e parâmetros não monitorados e definidos na literatura. O método ACM0001 apresenta opções de valores de cada parâmetro, e as Tabelas 4 e 5 a seguir mostram os valores considerados e as fontes de informação para cada uma das variáveis citadas acima. Já  $W_{j,x}$  foi obtido pela gravimetria dos resíduos de Luanda feita pela empresa ASM no ano de 2007 de acordo com a Tabela 1 e os dados de recebimento de resíduos dos anos analisados do Aterro Sanitário dos Mulenvos foram disponibilizados pela operadora do aterro, conforme Gráfico 1.

Juntando os resultados das equações 10, 9 e 8 na equação 7, foi encontrado o valor das emissões de linha de base provenientes do Aterro Sanitário dos Mulenvos.

TABELA 4 - Valor e fonte de informação de cada variável para o cálculo de  $BE_{CH_4,SWDS,y}$ .

Parâmetro	Valor		Fonte de informação	
$DOC_j$	Resíduos tipo $j$		<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>	
	Madeira e derivados de madeira			43
	Celulose, papel e papelão			40
	Alimentos, resíduos de alimentícios, bebidas e tabaco			15
	Têxteis			24
	Resíduos de jardins, pátios e parques			20
	Vidro, plástico, metal e outros resíduos inertes			0
$k_j$	Velocidade de degradação	Tipo de resíduo	<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – para locais secos e com índice pluviométrico &lt;1000mm</i>	
	Lenta	Polpa de papel, papel, papelão, têxteis		0,045
		Madeira, produtos de madeira e palha		0,025
	Moderada	Matéria orgânica (exceto alimentos) e resíduos de parques e jardinagem		0,065
Rápida	Alimentos, restos de alimentos, lodo de esgoto, bebidas e tabaco	0,085		

FONTE: Autora (2018), adaptado de UNFCCC método ACM0001

TABELA 5 – Valor e fonte de informação de cada variável para o cálculo de  $BE_{CH_4,SWDS,y}$ .

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Fonte de informação</b>
$\varphi_y$	0,75	Ferramenta metológica “Emissões dos locais de disposição de resíduos sólidos” Versão 6 – para locais secos
$OX$	0,1	<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>
$F$	0,5	<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>
$DOC_{f,y}$	0,5	<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>
$MCF_y$	1,0	<i>IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i> – para aterros sanitários com condições anaeróbicas

FONTE: Autora (2018), adaptado de UNFCCC método ACM0001.

## APÊNDICE B – PASSOS PARA DETERMINAÇÃO DE EMISSÕES DE LINHA DE BASE PROVENIENTES DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE ( $BE_{EC,y}$ )

Seguindo o método ACM0001, para calcular as emissões de linha de base associadas com a geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ ), a ferramenta metodológica “Emissões linha de base, projeto e/ou fugas pelo consumo de eletricidade e monitoramento de geração de energia” foi utilizada. Segundo ela, as emissões do projeto, da linha de base e das fugas são calculadas com base na quantidade de eletricidade consumida, em um fator de emissão para geração de eletricidade e em um fator para contabilizar as perdas na transmissão. Especificamente para as emissões da linha de base, foi utilizada a equação (11).

$$BE_{EC,y} = \sum_j EC_{BL,k,y} \cdot EF_{EL,k,y} \cdot (1 + TDL_{k,y}) \quad (11)$$

Sendo que  $BE_{EC,y}$  são as emissões associadas com a geração de eletricidade (em tCO<sub>2</sub>/ano),  $EC_{BL,k,y}$  é a quantidade de eletricidade que seria consumida pelo consumidor  $k$  da linha de base (quantidade líquida de eletricidade gerada usando o LFG no ano  $y$ ) (em MWh/ano),  $EF_{EL,k,y}$  é o fator de emissão para a geração de eletricidade para a fonte  $k$  no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>/MWh) e  $TDL_{k,y}$  são as perdas técnicas médias na transmissão e distribuição do fornecimento de eletricidade para a fonte  $k$  no ano  $y$ .

De acordo com o Ministério da Energia e Águas da República de Angola, estima-se que as perdas técnicas médias na transmissão e distribuição do fornecimento de eletricidade ( $TDL_{k,y}$ ) estejam próximas de 14% (Ministério da Energia e Águas, *online*). Já para a quantidade de eletricidade consumida, que equivale a quantidade líquida de eletricidade gerada usando o LFG do aterro, foi calculado de acordo com a sugestão feita pelo ICLEI (2009) no seu Manual para Aproveitamento de Biogás.

A determinação da potência e energia líquida disponíveis no aterro varia em função da vazão de metano captada pela atividade de projeto, e assim foram utilizadas as equações (12) e (13).

$$P = \frac{Q \cdot PCI \cdot \eta}{860.000} \quad (12)$$

$$E = P \cdot \text{Disponibilidade} \cdot \text{Tempo de Operação} \cdot 365 \quad (13)$$

Sendo que  $P$  é a potência disponível no aterro (em MW),  $Q$  é a vazão de metano captado (em  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{h}$ ),  $PCI$  é o poder calorífico do metano, sendo adotado o valor de  $5.500 \text{ kcal}/\text{m}^3\text{CH}_4$  para 50% de metano presente no biogás do aterro,  $\eta$  é a eficiência dos geradores e  $860.000$  é o valor de conversão de kcal para MW.

Já para a equação (13),  $E$  é a energia líquida disponível (em MWh), *Disponibilidade* e *Tempo de Operação* foi considerado para este estudo 90% de disponibilidade, pelas pausas para manutenção e um tempo de funcionamento contínuo de 24hras/dia.

Para conseguir realizar o cálculo da equação (11), e considerando que o cenário da linha de base em Luanda é um consumo de eletricidade feito somente pela rede, sem nenhuma usina de energia fornecendo energia direto ao consumidor, foi preciso encontrar o valor do fator de emissão dessa geração de eletricidade ( $EF_{EL,k,y}$ ), isso porque a geração e seu deslocamento resultam em uma emissão de  $\text{CO}_2$ .

Para isso, foi preciso utilizar a segunda ferramenta metodológica, “Cálculo do fator de emissão para sistemas elétricos”, a qual demonstra os passos para se calcular o fator de emissão da margem combinada (CM) do sistema elétrico aplicável no país, e que é o equivalente ao fator de emissão necessário ( $EF_{EL,k,y} = EF_{grid,CM,y}$ ) para a equação (11). Esse fator CM é o resultado da média ponderada de dois fatores de emissão contidos no sistema elétrico, o fator de emissão da margem de operação (OM) e o fator de emissão da margem de construção (BM).

O fator de emissão da margem de operação (OM) é o que se refere ao grupo de usinas de energia existentes no país, das quais a geração de energia seria afetada pelo projeto de MDL proposto. Já o fator de emissão da margem de construção (BM) é o que engloba o grupo de usinas de energia potenciais de iniciarem suas atividades, das quais a construção e a futura operação também seria afetada pelo projeto de MDL proposto.

Os seguintes cinco passos, segundo a ferramenta metodológica, foram seguidos para resultar no valor do fator de emissão.

- Passo 1: Identificar os sistemas elétricos relevantes;
- Passo 2: Selecionar um método para determinar a margem de operação (OM);

- Passo 3: Calcular o fator de emissão da margem de operação (OM) de acordo com o método selecionado;
- Passo 4: Calcular o fator de emissão da margem de construção (BM);
- Passo 5: Calcular o fato de emissão de margem combinada (CM).

O setor elétrico angolano é constituído por 3 sistemas principais independentes, alicerçados em aproveitamentos hidrelétricos, sendo eles os Sistemas Norte, Centro e Sul, e os Sistemas Isolados. O Sistema Norte é responsável por 83% da energia produzida em Angola, com forte predominância na energia hídrica, e é esta zona que fornece eletricidade para província de Luanda. Em 2008, esse sistema gerou 87% do seu total de produção de energia a partir de hidrelétricas, enquanto os restantes 13% corresponderam às centrais térmicas (Espírito Santo Research, 2009). A figura 12 mostra os principais sistemas elétricos angolanos.

FIGURA 12 – Sistemas elétricos de Angola



FONTE: Adaptado de Espírito Santo Research (2009).

O fator de emissão da rede elétrica é geralmente calculado por especialistas ao setor em cada país/região, sendo, muitas vezes, fornecido por agências ou instituições oficiais do governo. Para o propósito deste trabalho, foi considerado o Sistema Interligado Nacional do Brasil como fonte de referência, para o fator de emissão, já que o Sistema Norte em Angola, possui características similares ao do Brasil com relação a participação de hidrelétricas na geração de energia para esta rede que atende Luanda.

Seguindo o passo 2 da ferramenta metodológica, são apresentados quatro métodos para determinar a margem de operação (OM). São eles, método de OM simples, OM simples ajustada, OM da análise dos dados de despacho e OM média. Já que foi considerado para este trabalho, o Sistema Interligado Nacional do Brasil como referência, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTIC) calcula o fator de emissão da margem de operação (OM) segundo o método da análise dos dados de despacho. Desse modo, esse método foi escolhido.

Para o passo 3, os valores do fator de emissão OM segundo o método da análise dos dados de despacho foram encontrados no site do MCTIC, já que os valores são postados a cada ano. Passando para o passo 4, o qual indica que é preciso calcular o fator de emissão da margem de construção (BM), o site do MCTIC também foi utilizado, pois o valor desse fator também é postado anualmente (MCTIC método da análise de despacho, *online*).

Por fim, o passo 6, se refere ao cálculo do fator de emissão da margem combinada (CM), e que representa o fator de emissão da linha de base, na equação (11). Ele foi calculado por meio da média ponderada dos fatores de emissão da margem de operação (OM) e da margem de construção (BM) encontrados com os passos anteriores, como na equação (14).

$$EF_{grid,CM,y} = w_{OM} \cdot EF_{grid,OM,y} + w_{BM} \cdot EF_{grid,BM,y} \quad (14)$$

Onde  $EF_{grid,OM,y}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de operação no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>/MWh),  $EF_{grid,BM,y}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> da margem de construção no ano  $y$  (em tCO<sub>2</sub>/MWh),  $w_{OM}$  é a ponderação do fator de emissões da margem de operação (em %) e  $w_{BM}$  é a ponderação do fator de emissões da margem de construção (em %).

Para ponderar esses dois fatores,  $w_{OM}$  e  $w_{BM}$ , foi aplicado o valor padrão de 50% aos dois, seguindo orientações da ferramenta metodológica “Cálculo do fator de emissão para sistemas elétricos”.

Assim, encontrados os valores da quantidade de energia gerada com o gás no aterro, da perda técnica na transmissão e distribuição do fornecimento de eletricidade e do fator de emissão da linha de base com os passos acima, foi calculado as emissões de linha de base provenientes da geração de eletricidade ( $BE_{EC,y}$ ), conforme equação 11.

**APÊNDICE C – PREVISÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS DEPOSITADA NO  
ATERRO DOS MULENVOS**

<b>Ano</b>	<b>Quantidade de resíduos estimada (t/ano)</b>	<b>Quantidade de resíduo recebida (t/ano)</b>
2008		1.023.400
2009		1.545.000
2010		1.884.460
2011		1.929.280
2012		2.324.920
2013		2.634.300
2014		2.149.650
2015		1.748.660
2016		1.534.440
2017	1.534.440	
2018	1.534.440	
2019	1.534.440	
2020	1.534.440	
2021	1.534.440	
2022	1.534.440	
2023	1.534.440	
2024	1.534.440	
2025	1.534.440	
2026	1.534.440	
2027	1.534.440	
2028	1.534.440	
2029	1.534.440	
2030	1.534.440	
2031	1.534.440	

FONTE: Autora (2018)

**APÊNDICE D – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA LINHA DE BASE PROVENIENTES  
DO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS**

<b>Ano</b>	<b>Estimativa de <math>BE_{CH_4,SWDS,y}</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Estimativa de <math>F_{CH_4,PJ,y}</math> (tCH<sub>4</sub>)</b>	<b>Estimativa de <math>F_{CH_4,BL,y}</math> (tCH<sub>4</sub>)</b>	<b>Estimativa de <math>BE_{CH_4,y}</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
2010	180.421	4.833	0	121.784
2011	251.654	6.741	0	169.866
2012	335.471	8.986	0	226.443
2013	427.460	11.450	0	288.535
2014	493.358	13.215	0	333.017
2015	538.331	14.420	0	363.374
2016	571.609	15.311	0	385.836
2017	603.021	16.152	0	407.039
2018	632.684	16.947	0	427.062
2019	660.703	17.697	0	445.974
2020	687.179	18.407	0	463.846
2021	712.204	19.077	0	480.738
2022	735.867	19.711	0	496.710
2023	758.248	20.310	0	511.817
2024	779.423	20.877	0	526.110
2025	799.463	21.414	0	539.638
2026	818.435	21.922	0	552.444
2027	836.401	22.404	0	564.571
2028	853.420	22.859	0	576.058
2029	869.545	23.291	0	586.943
2030	884.827	23.701	0	597.258
2031	899.316	24.089	0	607.038

FONTE: Autora (2018)

**APÊNDICE E – POTÊNCIA E ENERGIA GERADAS NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS**

<b>Ano</b>	<b>Potência disponível (MW)</b>	<b>Energia gerada (MWh)</b>
2010	1,48	11.614
2011	2,06	16.238
2012	2,75	21.646
2013	3,50	27.582
2014	4,04	31.834
2015	4,41	34.736
2016	4,68	36.883
2017	4,94	38.910
2018	5,18	40.824
2019	5,41	42.632
2020	5,62	44.340
2021	5,83	45.955
2022	6,02	47.482
2023	6,21	48.926
2024	6,38	50.292
2025	6,54	51.585
2026	6,70	52.810
2027	6,85	53.969
2028	6,98	55.067
2029	7,12	56.108
2030	7,24	57.094
2031	7,36	58.029

FONTE: Autora (2018)

**APÊNDICE F – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DA LINHA DE BASE ASSOCIADAS  
COM A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE**

<b>Ano</b>	<b>Estimativa de <math>EC_{BL,k,y}</math> (MWh)</b>	<b>Valores de <math>EF_{EL,k,y}</math> (tCO<sub>2</sub>eq/MWh)</b>	<b>Estimativa de <math>BE_{EC,y}</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
2010	11.614	0,3095	4.108
2011	16.238	0,2017	3.732
2012	21.646	0,3593	8.866
2013	27.582	0,4322	13.591
2014	31.834	0,4400	15.967
2015	34.736	0,4075	16.135
2016	36.883	0,3904	16.416
2017	38.910	0,2955	13.106
2018	40.824	0,2955	13.751
2019	42.632	0,2955	14.360
2020	44.340	0,2955	14.936
2021	45.955	0,2955	15.479
2022	47.482	0,2955	15.994
2023	48.926	0,2955	16.480
2024	50.292	0,2955	16.940
2025	51.585	0,2955	17.376
2026	52.810	0,2955	17.788
2027	53.969	0,2955	18.179
2028	55.067	0,2955	18.549
2029	56.108	0,2955	18.899
2030	57.094	0,2955	19.231
2031	58.029	0,2955	19.546

FONTE: Autora (2018)

### APÊNDICE G – ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DO CENÁRIO DA LINHA DE BASE

Ano	Estimativa de $BE_{CH_4,y}$ (tCO <sub>2</sub> eq)	Estimativa de $BE_{EC,y}$ (tCO <sub>2</sub> eq)	Estimativa das emissões da linha de base $BE_y$ (tCO <sub>2</sub> eq)
2010	121.784	4.108	125.892
2011	169.866	3.732	173.599
2012	226.443	8.866	235.309
2013	288.535	13.591	302.126
2014	333.017	15.967	348.984
2015	363.374	16.135	379.509
2016	385.836	16.416	402.252
2017	407.039	13.106	420.146
2018	427.062	13.751	440.813
2019	445.974	14.360	460.335
2020	463.846	14.936	478.781
2021	480.738	15.479	496.217
2022	496.710	15.994	512.704
2023	511.817	16.480	528.298
2024	526.110	16.940	543.051
2025	539.638	17.376	557.014
2026	552.444	17.788	570.232
2027	564.571	18.179	582.750
2028	576.058	18.549	594.607
2029	586.943	18.899	605.842
2030	597.258	19.231	616.490
2031	607.038	19.546	626.584

FONTE: Autora (2018)

**APÊNDICE H – REDUÇÃO ESTIMADA DAS EMISSÕES DE GEE PELO PROJETO  
NO ATERRO SANITÁRIO DOS MULENVOS**

<b>Ano</b>	<b>Estimativa de <math>BE_y</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Estimativa de <math>PE_y</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Estimativa de <math>ER_y</math> (tCO<sub>2</sub>eq)</b>
2010	125.892	124	125.768
2011	173.599	112	173.487
2012	235.309	0	235.309
2013	302.126	0	302.126
2014	348.984	0	348.984
2015	379.509	0	379.509
2016	402.252	0	402.252
2017	420.146	0	420.146
2018	440.813	0	440.813
2019	460.335	0	460.335
2020	478.781	0	478.781
2021	496.217	0	496.217
2022	512.704	0	512.704
2023	528.298	0	528.298
2024	543.051	0	543.051
2025	557.014	0	557.014
2026	570.232	0	570.232
2027	582.750	0	582.750
2028	594.607	0	594.607
2029	605.842	0	605.842
2030	616.490	0	616.490
2031	626.584	0	626.584
<b>TOTAL</b>			<b>9.374.724</b>

FONTE: Autora (2018)