

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO



KEKE ROSBERG GUIMARÃES DA SILVA

INVENTÁRIOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O MUNICÍPIO DE MACEIÓ

Maceió  
2017

KEKE ROSBERG GUIMARÃES DA SILVA

**Inventários de Gases de Efeito Estufa para o Município de Maceió**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador(a): Prof(a). Dr.(a) Karina Ribeiro  
Salomon

Maceió  
2017

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S586i Silva, Keke Rosberg Guimarães da.  
Inventários de gases de efeito estufa para o município de Maceió /  
Keke Rosberg Guimarães da Silva. – 2017.  
81 f. : il.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.  
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –  
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa  
de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 67-72.  
Apêndice: f. 73.  
Anexos: f. 74-81.

1. Mudança climática – Maceió (AL). 2. Aquecimento global. 3. Efeito estufa. 4. Poluição atmosférica. 5. Emissão de gases. I. Título.

CDU: 628:551.588.74(813.5)



## Folha de Aprovação

KEKE ROSBERG GUIMARÃES DA SILVA

Inventários de Gases de Efeito Estufa para o Município de Maceió

Dissertação apresentada no dia 30 de março de 2017 ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Prof.ª Dr.ª Karina Ribeiro Salomon  
(Orientadora- PPGRHS)

### Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim  
(Examinador interno – PPGRHS-UFAL)

Prof.ª Dr.ª Ana Karla de Souza Abud  
(Examinadora externa – UFS)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por Seu infinito cuidado e misericórdia para comigo.

A minha companheira, Helena Moraes, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e apoiando.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo.

À Prof. Dr.(a) Karina Ribeiro Salomon pela orientação, apoio, motivação e amizade, que muito me ajudou na conclusão deste trabalho.

A minha família, pela confiança.

Aos amigos e colegas, em especial a Diogo Carlos, Ricardo Reis, Lucas Tardelly , Alane Patrícia, Cristiano Seabra e Marconi José pela amizade e ajuda e a Danielle Bomfim por sua ajuda imensurável.

Aos professores do PPGRHS/UFAL.

## RESUMO

No Brasil, país que contribui de forma expressiva para o aquecimento global, principalmente devido às queimadas na região Amazônica, algumas iniciativas de governos locais em busca de reduzir suas emissões merecem destaque, como, por exemplo: as cidades do Rio de Janeiro, Belo Horizonte, São Paulo, Recife e Fortaleza, que já elaboraram seus inventários de emissões de GEE. Diante disso, o presente trabalho é uma iniciativa que buscou inventariar as emissões de gases do efeito estufa da cidade de Maceió. Além disso, fez parte do escopo desse trabalho estudar e propor medidas de mitigação e neutralização de CO<sub>2</sub> a fim de reduzir sua concentração na atmosfera. Para realização desse estudo foram coletados dados de consumo de combustíveis, eletricidade e disposição de resíduos em órgãos públicos e concessionárias de serviços públicos. A metodologia empregada na contabilização das emissões foram as propostas por IPCC 2006 e pelo GHG *Protocol*. Os resultados obtidos mostraram que as emissões de GEE cresceram 80% num período relativamente curto de tempo (de 2009 a 2014). Ficou claro que o setor de transporte, em especial o transporte rodoviário, contribuiu com a maior parcela de emissões ao longo dos anos inventariados, em consequência do aumento da utilização de combustíveis fósseis, especificamente óleo diesel e gasolina, reflexo do aumento da frota de veículos particulares. Esses dois combustíveis são responsáveis por mais de 75% das emissões do setor de transportes. Estima-se que as propostas de mitigação e neutralização de CO<sub>2</sub> apresentadas no estudo podem, se implementadas, reduzir as emissões em até 31%. As projeções futuras mostraram que, caso nada seja feito, as emissões de GEE totais do município de Maceió tendem a alcançar 3.072.636 tCO<sub>2</sub>e em 2020, 8.190.780 tCO<sub>2</sub>e em 2030 e 22.003.644 tCO<sub>2</sub>e em 2040.

Palavras-chave: Aquecimento global. Mudanças climáticas. Neutralização de CO<sub>2</sub>. Mitigação de emissões. Poluição atmosférica

## ABSTRACT

In Brazil, a country that contributes significantly to global warming, mainly due to the fires in the Amazon region, some initiatives of local governments in search of fun emissions are worth mentioning, for example, as cities of Rio de Janeiro, Belo Horizonte, São Paulo, Recife and Fortaleza, which have already prepared their inventories of GHG emissions. Therefore, the present work is an initiative that sought to inventory as emissions of greenhouse gases from the city of Maceió. In addition, it was part of the work and proposed measures of mitigation and neutralization of CO<sub>2</sub> in order to reduce its concentration in the atmosphere. To carry out a study with data on fuel consumption, electricity and waste disposal in public agencies and concessionaires of public services. A methodology used in accounting for emissions as proposed by the IPCC 2006 and the GHG Protocol. The results obtained showed that GHG emissions increased 80% in a relatively short period of time (from 2009 to 2014). It became clear that the transport sector, in particular road transport, contributed with a larger share of emissions over the years, as a consequence of the increased use of fossil fuels, specifically diesel oil and gasoline, reflecting the increase in the fleet of vehicles Individuals. These two fuels account for more than 75% of the emissions from the transport sector. It is estimated that as CO<sub>2</sub> mitigation and neutralization proposals presented in the study can, if implemented, decrease as emissions by up to 31%. As future projections have shown, if anything, as total GHG emissions from the municipality of Maceió tend to reach 3,072,636 tCO<sub>2</sub>e in 2020, 8,190,780 tCO<sub>2</sub>e in 2030 and 22,003,644 tCO<sub>2</sub>e in 2040.

**Keywords:** Global warming. Climate changes. Neutralization of CO<sub>2</sub>. Mitigation of GHG emissions. Atmospheric pollution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do efeito estufa .....	21
Figura 2 - Localização do Município de Maceió.....	35
Figura 3 - Fontes e limites de emissão de gases de efeito estufa da cidade .....	37
Figura 4 – Menu da ferramenta GHG Protocol 2016.1.1 .....	39
Figura 5 – Evolução das Emissões de CO <sub>2</sub> e.....	47
Figura 6 – Emissões de CO <sub>2</sub> e do setor de energia .....	48
Figura 7 – Evolução do fator de emissão de CO <sub>2</sub> para eletricidade.....	49
Figura 8 – Percentual de participação dos setores nas emissões por consumo de eletricidade em 2009 .....	50
Figura 9 – Percentual de participação dos setores nas emissões por consumo de eletricidade em 2014 .....	50
Figura 10 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão estacionária .....	51
Figura 11 - – Participação dos setores nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão estacionária .....	52
Figura 12– Contribuição de cada tipo de transporte nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão móvel .....	53
Figura 13 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão móvel .....	54
Figura 14 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão móvel em 2009 .....	54
Figura 15 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO <sub>2</sub> e por combustão móvel em 2014 .....	55
Figura 16 – Evolução do consumo de combustíveis no setor rodoviário .....	55
Figura 17 – Emissões de CO <sub>2</sub> e do setor de resíduos .....	56
Figura 18 – Contribuição de cada tipo de tratamento de efluente nas emissões de CO <sub>2</sub> e.....	57
Figura 19 – Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> e de origem biogênica.....	58
Figura 20 - Emissões de GEE e reduções percentuais por setor após a simulação de cenários	59
Figura 21 - Emissões de GEE e reduções percentuais por setor após a simulação de cenários	61
Figura 22 - Projeção das emissões do setor de resíduos.....	62
Figura 23 - Projeção das emissões do setor de energia .....	62
Figura 24 - Projeção das emissões do setor de resíduos.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria da Iluminação

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo

BEM – Balanço Energético Nacional

CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas

CFC – Clorofluorcarbono

CIMC – Comitê Interministerial sobre Mudanças do Clima

CTC – Tetracloretos de Carbono

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

FGV – Fundação Getúlio Vargas

ICLEI – *International Council for Local Environmental Initiatives*

IEA – *International Energy Agency*

GEE – Gases de Efeito Estufa

GHG – *Greenhouse Gas*

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNV – Gás Natural Veicular

GPC – *Global Protocol for Communities*

GVces – Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas

HFC – Hidrofluorcarbono

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografias e Estatísticas

iNDC – *Intended Nationally Determined Contributions*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

LED – *Light Emitting Diode*

LUC – *Land Use Change*

MC – Ministério das Cidades

MCTI – Ministério das Ciências, Tecnologias e Inovação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ONUBR – Organização das Nações Unidas no Brasil

PFC– Perfluorcarbonos

PNMC – Plano Nacional sobre Mudanças do Clima

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RSS – Resíduos de Serviço de Saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SDO – Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio

SLUM – Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

WRI – *World Resources Institute*

WBSCD – *World Business Council for Sustainable Development*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 Objetivos geral .....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 Poluição Atmosférica.....	15
2.1.1 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	15
2.1.2 Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	16
2.1.3 Gás Metano (CH <sub>4</sub> ) .....	17
2.2 Principais fontes de emissão de GEE .....	18
2.2.1 Combustíveis Fósseis .....	18
2.2.2 Resíduos .....	18
2.2.3 Atividade Agrícola, Pecuária e Uso e Ocupação do Solo .....	19
2.3 O Efeito Estufa e o Aquecimento global .....	21
2.4 Mudanças Climáticas e as Cidades .....	22
2.5 Políticas Internacionais Sobre Mudanças Climáticas .....	23
2.5.1 Protocolo de Montreal .....	23
2.5.2 Protocolo de Kyoto .....	23
2.5.3 Conferência de Paris .....	24
2.6 Políticas Nacionais e Estaduais de Mudanças Climáticas .....	26
2.7 Inventário de Emissões Atmosféricas.....	26
2.8 Estratégias de Mitigação e Neutralização de GEE .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
3.1 Revisão da Literatura .....	34
3.2 Delimitação da Área de Estudo .....	34
3.3 Inventário de Emissões de GEE .....	35
3.3.1 Coleta de dados .....	36
3.3.2 Análise dos Dados e Cálculo das Emissões.....	37
3.3.2.1 Emissões de CO <sub>2</sub> Provenientes do Consumo de Eletricidade.....	40
3.3.2.2 Emissões de GEE Devido a Combustão de Fontes de Combustão Estacionária .....	40
3.3.2.3 Emissões de GEE Provenientes da Combustão em Fontes Móveis.....	41
3.3.2.4 Emissões Provenientes da Disposição de Resíduos Sólidos.....	41
3.3.3 Neutralização e Mitigação de GEE .....	43
3.3.3.1 Número de Árvores a Serem Plantadas .....	43
3.3.3.2 Propostas de Mitigação .....	44
3.3.4 Cenários Tendenciais de Emissões Futuras .....	45
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>47</b>
4.1 Inventário de Emissões de GEE .....	47
4.2 Neutralização de Carbono e Medidas de Mitigação .....	59
4.3 Cenários Tendenciais de Emissões Futuras.....	61
4.4 Comparação do Resultado com Outros Inventários.....	64
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>66</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>68</b>
<b>APÊNDICE A – Informações sobre combustíveis utilizados em fontes de combustão estacionária</b> .....	<b>74</b>
<b>APÊNDICE B – Informações sobre combustíveis utilizado em fontes de combustão móvel</b> .....	<b>76</b>
<b>APÊNDICE D – Informações sobre o consumo de energia elétrica</b> .....	<b>78</b>

<b>APÊNDICE E – Informações sobre geração de resíduos sólidos urbanos .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE F – Informações sobre geração e tratamento de efluentes líquidos.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente um dos temas mais preocupantes relacionado ao futuro do planeta, que vem sendo discutido amplamente pela comunidade internacional, é o aquecimento global. Apesar de não haver consenso na comunidade científica sobre as causas desse fenômeno, a hipótese mais aceita pela comunidade internacional e grupos ambientalistas é a do grupo de cientistas que defendem que a Terra está aquecendo devido à destruição da camada de ozônio, causada pela emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Nos últimos anos, diversas conferências sobre poluição do ar e questões relacionadas a mudanças climáticas foram realizadas. Destacam-se, por sua importância, a Conferência de Toronto (Canadá, 1988), que foi a primeira a discutir as mudanças climáticas ocasionadas pela atividade humana, resultando na criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a Rio-92, onde foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, cujo objetivo era estabilizar a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera; a Conferência de Kyoto (Japão, 1997), onde foi elaborado o Protocolo de Kyoto, um documento legalizado que sugere a redução de gases do efeito estufa (cujas metas são de 5,2%) (ALMER; WINKLER, 2017)

Em 2015 aconteceu a Conferência do Clima de Paris (COP21), em que se chegou a um acordo, o qual foi ratificado pelas 195 partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e pela União Europeia. Um dos objetivos do documento assinado é o de manter o aquecimento global “muito abaixo de 2 °C”, buscando ainda “esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 ° C acima dos níveis pré-industriais” (ONUBR, 2015).

Nessa perspectiva, diversos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de contabilizar as emissões desses gases e desenvolver novas ferramentas que auxiliem na redução de suas emissões e seus impactos no meio ambiente ((D'AVIGNON et. al., 2010; KENNEDY et. al., 2010; STONE et. al., 2012; BAUR et al. 2015). Boa parte das pesquisas estão focadas nas comunidades locais. Estima-se que 70% das emissões de gases de efeito estufa relacionadas com a energia do mundo veem de cidades, um número que é provável que continue aumentando à medida que são esperados dois terços de todas as pessoas vivendo em áreas urbanas até metade do século XXI (FONG et. al., 2014).

Segundo Dulal; Akibar (2012), as emissões provenientes de cidades dependem principalmente de quatro fatores: Base econômica: industrial ou orientada; Forma urbana:

densidade e padrões de localização de sua liquidação; Layout e estrutura de um sistema de transporte; Sistema de gestão de resíduos: eficiência e eficácia da recolha e eliminação de resíduos.

Na maioria das cidades dos países em desenvolvimento, os fatores acima mencionados são um desafio para os governos locais. A base econômica está focando em atividades industriais, a forma urbana é cada vez menos densa, o layout e a estrutura dos sistemas de transporte favorecem cada vez mais o transporte privado, e com o aumento do volume de resíduos, a gestão de resíduos é cada vez mais caótico e ineficiente (DULAL; AKIBAR, 2012).

As cidades, devido a sua alta concentração de ativos físicos e populações, são mais vulneráveis do que outras áreas para as alterações climáticas (GASPER; BLOHM; RUTH, 2011). Se as temperaturas da superfície global subirem acima de 4°C dos valores pré-industriais, as cidades enfrentarão vários riscos, os quais se podem destacar três perigos biofísicos: saúde urbana, inundações urbanas e perigos geológicos (MORIARTY; HONNERY, 2014).

Diante disso, várias cidades ao redor do mundo veem buscando contribuir de alguma forma para combater o aquecimento global. Kennedy et al. (2012) citam os esforços das cidades de Berlim, Boston, Toronto, Londres, Nova York e Seattle, que estão conseguindo reduzir suas emissões de GEE per capita, principalmente através de alterações referentes à combustão estacionária.

No Brasil, país que contribui de forma expressiva para o aquecimento global, principalmente devido às queimadas na região amazônica, algumas iniciativas de governos locais em busca de reduzir suas emissões merecem destaque, como, por exemplo: as cidades do Rio de Janeiro, Belo Horizonte, São Paulo, Recife e Fortaleza que já elaboraram seus inventários de emissões de GEE e que, dessa forma, deram um passo importante para o planejamento de ações voltadas para redução das emissões desses gases. Esse tipo de inventário pode ser utilizado como um instrumento de políticas públicas urbanas, capaz de auxiliar os tomadores de decisão na identificação das emissões produzidas por diferentes atividades municipais e no planejamento de ações (CARLONI, 2012).

A cidade de Maceió, a qual está localizada na região litorânea do nordeste do Brasil, é um exemplo de município que ainda não dispõe de instrumentos legais e políticas públicas voltadas para as questões relacionadas ao aquecimento anormal do planeta. Entretanto, a capital alagoana está entre as cidades que mais podem sofrer com as consequências desse fenômeno,

haja vista que cidades costeiras estão mais vulneráveis a elevação do nível do mar e a ocorrência de grandes tempestades (NOBRE; YOUNG, 2011).

Assim sendo, esse estudo é uma iniciativa que busca desenvolver uma série de inventários de gases do efeito estufa para a cidade de Maceió e que servirá de subsídio para os tomadores de decisão, quando da elaboração de políticas públicas, além disso esse instrumento será de grande importância para auxiliar os gestores locais no controle e combate das causas do efeito estufa e o conseqüente aumento da temperatura global.

### **1.1 Objetivos geral**

Elaborar o inventário de emissões de gases de efeito estufa da cidade de Maceió.

### **1.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar a evolução das emissões de GEE num horizonte de seis anos, período de 2009 a 2014;
- b) Identificar os principais agentes responsáveis pela maior parte das emissões;
- c) Propor e simular a implementação de medidas de mitigação e neutralização de emissões de CO<sub>2</sub>e;
- d) Avaliar cenários tendenciais futuros de emissões de GEE.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Poluição atmosférica

A poluição atmosférica pode ser definida como qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso às matérias, à fauna e à flora ou, ainda, prejudicial à segurança, ao uso da propriedade e atividades normais da comunidade (LISBOA; KAWANO, 2007 *apud* DRUMM et al., 2014).

De acordo com a Resolução CONAMA N° 003 de 8 de junho de 1990 poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (BRASIL, 1990).

Os poluentes do ar originam-se principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis, para fins de transporte, aquecimento e produção industrial. As principais categorias de fontes de poluição do ar ligadas às atividades antrópicas são: transporte, combustão e fontes estacionárias, processos industriais e resíduos sólidos (FILHO, 1989 *apud* MENDES, 2011).

Os GEE são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte da radiação infravermelha refletida pelo planeta. Muitos deles, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e ozônio (O<sub>3</sub>), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida. Devido às atividades antrópicas na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, vem aumentando na atmosfera. Além disso, passou a ocorrer emissão de outros GEE, compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) (FONG et al., 2014).

#### 2.1.1 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

O CO<sub>2</sub> também conhecido como dióxido de carbono ou simplesmente gás carbônico, é uma substância essencial para a realização do processo de fotossíntese das plantas - processo

pelo qual as plantas transformam a energia solar em energia química. Porém, a grande quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera, decorrente em grande parte da queima de combustíveis fósseis (gasolina, diesel, querosene, carvão mineral e vegetal), é prejudicial ao planeta, pois ocasiona o efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global.

O aumento do CO<sub>2</sub> observado na atmosfera é resultante da queima de combustíveis fósseis, da queima de florestas e outras atividades antrópicas. Há fissuras na Terra das quais também surge CO<sub>2</sub> inorgânico, apesar disso acontece em uma taxa de emissão muito pequena (NOBRE, REID & VEIGA, 2012).

Percebe-se assim que a redução da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera passa inevitavelmente pela mudança de nossa matriz energética. Daí a preocupação com fontes de energia que não liberem esse gás, energias limpas e renováveis como eólicas, biomassa, energia das marés, solar entre outras. Conforme Rendelucci (2005), “Se pararmos as emissões de CO<sub>2</sub> a atmosfera a curto e médio prazo não volta ao normal. O tempo de permanência do CO<sub>2</sub> na atmosfera é de mais ou menos 150 anos”.

Em outras palavras, caso se consiga – o que já vimos não ser possível – parar totalmente de emitir dióxido de carbono, de forma antrópica, nossa atmosfera levaria um bom tempo para se regenerar. O que se mostra como medida paliativa mais importante no momento é minimizar ao máximo o problema, diminuindo o máximo possível as emissões para, dessa forma, reduzir gradativamente os danos à atmosfera no tempo em que se conseguisse elaborar novas formas de produzir energia, mais viáveis do ponto de vista econômico-industrial com menor impacto para o planeta.

Uma proporção significativa das emissões de CO<sub>2</sub> provém da queima de biomassa (material biológico feito de carbono, hidrogênio e oxigênio), especialmente nas atividades produtivas relacionadas ao setor agrícola. Queimar biomassa resulta em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois este CO<sub>2</sub> é gerado através de um ciclo biológico (e não um ciclo geológico, como no caso do CO<sub>2</sub> de origem fóssil) (FONG, 2014).

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

As emissões GEE, particularmente em relação ao óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), são de importância crescente e um dos principais contribuintes para a mudança climática global. O N<sub>2</sub>O tem um potencial de aquecimento global equivalente a 310 vezes o CO<sub>2</sub> (BEHEYDT et al., 2008; JAHANGIR et al., 2013; WAGENA et al., 2016).

Entre os vários gases de efeito de estufa, o  $N_2O$  é produzido sobretudo por processos biológicos que ocorrem no solo e na água e por uma variedade de atividades antropogênicas nos campos agrícola, energético, industrial e de gestão de resíduos (JIANG et al., 2016).

A gestão agrícola do solo, a gestão do estrume e a queima de combustíveis fósseis em fontes móveis e estacionárias têm sido as principais fontes comuns de emissões de  $N_2O$  (JIANG et al., 2016).

Ademais, as emissões de  $N_2O$  provenientes do tratamento de águas residuárias têm recebido crescente atenção nos últimos anos (KAMPSCHREUR et al., 2009; MANNINA et al., 2016). A geração de  $N_2O$ , nesse contexto, ocorre sobretudo na remoção de nitrogênio biológico (COSENZA et al., 2012), através de processos de nitrificação e desnitrificação, uma vez que tanto as bactérias autotróficas como as heterotróficas podem ser responsáveis pela produção de  $N_2O$  durante esses processos (KAMPSCHREUR et al., 2009).

### 2.1.3 Gás metano ( $CH_4$ )

O metano é um gás produzido através de matéria orgânica, podendo ser chamado de biogás. Quando lançado na atmosfera, contribui para o efeito estufa, sendo 21 vezes mais agressivo que o gás carbônico. (FONG, 2014)

A agricultura e a exploração de combustíveis fósseis representam em conjunto cerca de dois terços de todas as emissões de  $CH_4$  derivadas de seres humanos (MONTZKA et al., 2012).

As principais atividades que causam emissões de metano no setor de energia incluem sistemas de petróleo e gás natural, mineração de carvão e combustão de biomassa. Enquanto isso, o tratamento de resíduos e outros processos industriais levam a menor quantidade de emissões de  $CH_4$  (JIANG et al., 2016).

Dentre os três principais GEEs, as atividades industriais em larga escala, desde 1750, levaram a um maior aumento percentual nas concentrações de  $CH_4$  na atmosfera, seguido de  $CO_2$  e  $N_2O$  respectivamente (JIANG et al., 2016).

## 2.2 Principais fontes de emissão de GEE

### 2.2.1 Combustíveis fósseis

Os combustíveis fósseis são a principal fonte de energia primária das economias modernas. Globalmente, em 2014, 31% da energia primária foi fornecida pelo petróleo, 28,6% pelo carvão e 21% pelo gás natural (IEA, 2016).

Quando um combustível fóssil é queimado, gases de efeito estufa (GEEs) são formados e liberados para o meio ambiente. Um importante GEE é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mas também podem ocorrer emissões significativas de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dependendo das condições de combustão. Esses GEEs se misturam uniformemente em toda a atmosfera e começam a capturar calor através do processo de forçamento radiativo (SATHRE, 2014).

A combustão em larga escala de combustíveis fósseis atualmente observada resulta em emissões significativas de GEE, gerando preocupação com a desestabilização do clima e consequentes impactos nos sistemas físicos, biológicos e sociais (IPCC, 2007; SATHRE, 2014).

Diante disso, é indispensável que se reduza a participação dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial, a fim de reduzir as emissões GEE e, consequentemente, minimizar os impactos do aquecimento global.

### 2.2.2 Resíduos

Em todo mundo são gerados aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas métricas de resíduos sólidos anualmente, o que é quase o dobro dos montantes gerados há uma década (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012 *apud* LIM et al., 2016). A eliminação e o tratamento de resíduos produzem emissões de GEE através da decomposição aeróbia ou anaeróbia ou incineração (FONG et al, 2014). O biogás, gerado em aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes e dejetos de animais é uma mistura de gases que contém principalmente metano e dióxido de carbono, que são causadores do efeito estufa (ICLEI, 2009).

De acordo com IPCC (2006); Chen (2016) a eliminação total de resíduos é responsável por cerca de 3 a 4% das emissões antropogênicas de GEE no mundo. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA – United States Environmental Protection Agency ) analisou as emissões de GEE de 29 categorias de materiais e concluiu que a minimização de

resíduos e a reciclagem de materiais são alternativas recomendadas no que diz respeito à mitigação de GEE (US EPA, 2006 *apud* CHEN, 2016).

Na maioria das vezes, os países de renda mais alta geram mais resíduos, reciclam mais e dispõem de mais recursos para empregar novas tecnologias para trata-los. Quanto aos países de menor rendimento, os resíduos gerados são de natureza mais orgânica, o que exige uma menor reciclagem, ao passo que a eliminação é feita em lixões a céu aberto (KATHIRAVALE; YUNUS, 2008).

Outro tipo de resíduo são as águas residuais, que se originam de uma variedade de fontes domésticas, comerciais e industriais e podem ser tratadas no local (não recolhidas), esgotadas para uma estação de tratamento (coletadas) ou dispostas sem tratamento nas proximidades ou através de um emissário (IPCC, 2006).

Os gases de efeito estufa, óxido nitroso ( $N_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ) também podem ser produzidos durante o tratamento de águas residuais, sendo cada vez mais necessário reduzir tais emissões e identificar os fatores que as controlam (KAMPSCHREUR et al., 2009).

A produção de óxido nitroso ( $N_2O$ ) está associado à degradação de componentes de nitrogênio nas águas residuais, a exemplo, da ureia, do nitrato e da proteína. As emissões diretas de  $N_2O$  podem ser geradas durante a nitrificação e desnitrificação do nitrogênio presente. Ambos os processos podem ocorrer na estação de tratamento e no corpo d'água que está recebendo o efluente (IPCC, 2006).

Os sistemas de tratamento ou vias de descarga que proporcionam ambientes anaeróbios geralmente produzirão  $CH_4$ , enquanto que os sistemas que proporcionam ambientes aeróbios normalmente produzirão pouco ou nenhum  $CH_4$ . A extensão da produção de  $CH_4$  depende, principalmente, da quantidade de matéria orgânico degradável nas águas residuais, da temperatura e do tipo de sistema de tratamento (IPCC, 2006).

### 2.2.3 Atividade agrícola, pecuária e uso e ocupação do solo

A quota de participação da agricultura nas emissões globais totais de GEE é de cerca de 10 a 12% o que faz com que essa atividade contribua de forma expressiva com o efeito estufa (SMITH *et al.*, 2007 *apud* Pratibha, 2016).

As atividades agrícolas contribuíram diretamente, em 2010, com cerca de 11% das emissões antropogênicas globais de GEE (FONG, 2014) e cerca de 60% de todas as emissões

de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e 50% de todas as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) em 2007 (SMITH et al., 2007 *apud* FONG, 2014).

As principais práticas que contribuem para as emissões de GEE são o preparo intensivo do solo, o aumento do uso de fertilizantes, a melhoria das práticas de proteção das culturas e a queima de resíduos da cultura (MOSIER et al., 2006 *apud* PRATIBHA, 2016).

Algumas práticas de manejo podem reduzir as emissões de GEE e o potencial de aquecimento global (PAG) como, por exemplo: plantio direto, aumento da intensidade de cultivo, rotação de culturas diversificadas, cultivo de cobertura e taxas reduzidas de fertilização nitrogenada (ROBERTSON et al., 2000 *apud* PRATIBHA, 2016).

Por último, a produção de insumos agrícolas e de diversas atividades a jusante, como a transformação e o transporte de produtos agrícolas, contribui com mais 3 a 6% das emissões globais (VERMUELEN et al., 2012 *apud* FONG, 2014).

A criação de animais de gado é considerada uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, sobretudo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), resultante da fermentação entérica, manejo de estrume, bem como indiretamente da mudança no uso da terra (HRISTOV et al., 2015)

O uso do solo corresponde à maneira a partir da qual o território é explorado e/ou ocupado pelas atividades humanas. Nesse sentido, as chamadas mudanças no uso do solo (também conhecidas como LUC – *Land Use Change*) ocorrem quando são realizadas conversões entre as diferentes categorias de uso e que, conseqüentemente, podem gerar fluxos de  $\text{CO}_2$  (emissões e remoções). Via de regra, mudanças em práticas de manejo ou conversões no uso do solo que gerem remoções de  $\text{CO}_2$  têm efeitos duradouros sobre os estoques de carbono, podendo persistir por décadas até que o equilíbrio seja alcançado (GVces, 2016).

Os fluxos de  $\text{CO}_2$  entre a atmosfera e os ecossistemas são primariamente controlados pela captação através da fotossíntese das plantas e liberações através da respiração, da decomposição e da combustão da matéria orgânica. O  $\text{N}_2\text{O}$  é primariamente emitido pelos ecossistemas como subproduto da nitrificação e desnitrificação, enquanto que o  $\text{CH}_4$  é emitido através da metanogênese em condições anaeróbias no solo e armazenamento de dejetos, por fermentação entérica e durante a combustão incompleta ao queimar matéria orgânica (IPCC, 2006).

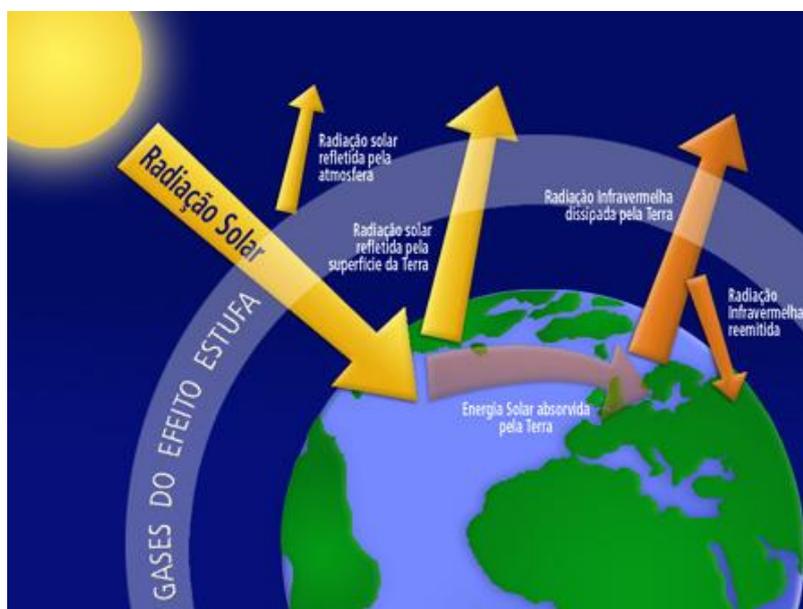
Múltiplas práticas de uso da terra nas florestas levam à perda de estoques de carbono e emissões de dióxido de carbono e, se a biomassa é queimada durante o processo de limpeza,

são emitidos gases adicionais. (PENMAN et al., 2003 *apud* DE FRIES, 2007). As queimadas, que ocorrem nas florestas liberam dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). A decomposição libera  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , enquanto os solos na floresta nativa são fontes e sumidouros de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  que são eliminados por desmatamento. O desmatamento também cria fontes de  $\text{CH}_4$  de gado e de  $\text{N}_2\text{O}$  de solo de pastagem (FEARNSIDE et al., 2009).

### 2.3 O efeito estufa e o aquecimento global

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre quando a radiação solar passa em grande parte sem obstáculos através da atmosfera, aquecendo a superfície da Terra, que, por sua vez, reflete essa energia na forma de radiação infravermelha, na qual grande parte é absorvida pelo  $\text{CO}_2$  e vapor de água na atmosfera, atuando como um cobertor em torno da Terra, conforme ilustrado na figura 1. Sem esse fenômeno natural a temperatura média da superfície despencaria para cerca de  $-21^\circ\text{C}$  (SILVA; PAULA, 2009).

**Figura 1 - Ilustração do efeito estufa**



Fonte: <<http://www.cmqv.org>> acesso em 12/01/2017

Por outro lado, o aquecimento global pode ser entendido como um aumento da temperatura média superficial global, provocado por fatores internos naturais (atividade solar, composição físico-química da atmosfera; tectonismo e vulcanismo) e/ou externos antropogênicos (emissões de GEE por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas etc.) (SILVA; PAULA,

2009). O aquecimento da temperatura média global percebidos durante os últimos 50 anos é consequência do aumento nas concentrações de GEE de origem antropogênica. Em um período de 100 anos houve um aumento médio da temperatura global dos continentes de 0,85 °C, da temperatura global do oceano de 0,55 °C e da temperatura global da Terra de 0,7 °C (IPCC 2007 apud SILVA & PAULA, 2009).

As emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEEs) são as principais responsáveis pelo aquecimento global atual. As trajetórias atuais de emissões podem levar a mudanças potencialmente catastróficas no clima, uma vez que alguns dos dados disponíveis sugerem que os cientistas têm sido conservadores em suas previsões dos impactos sobre as mudanças climáticas (BRYSSSE et al., 2013).

#### **2.4 Mudanças climáticas e as cidades**

As mudanças climáticas veem sendo amplamente estudadas ao longo das últimas décadas, a fim de avaliar suas causas e consequências, além de investigar possíveis estratégias de mitigação e adaptação (AGUILERA et al., 2013; WREFORD et al., 2010 *apud* LOZANO-GARCÍA et al., 2017). A capacidade de prever os efeitos das condições climáticas futuras nos ecossistemas terrestres é fundamental para enfrentar esses impactos. Diversos modelos de circulação geral (BNC2, CNCM3, ECHAM5, EGMAN, COCM2, entre outros), capazes de prever tendências futuras e realizar a análise de cenários, têm sido utilizados nas últimas décadas para avaliar e projetar os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas agrícolas e florestais (LUGATO et al., 2014; LOZANO-GARCÍA et al., 2017).

O aumento da concentração de GEE está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico, bem como suas consequências nas mudanças climáticas, o que impõe severos desafios para áreas urbanas em economias desenvolvidas e emergentes, visto que cerca de 80% das emissões de GEE são provenientes dessas regiões (RECIFE, 2013).

Segundo Gasper; Blohm; Ruth (2011) as áreas urbanas enfrentam mudanças físicas em consequência das mudanças climáticas a exemplo: do aumento do nível do mar, da precipitação mais variável e intensa, das inundações e dos deslizamentos de terra mais frequentes.

Os impactos sociais das alterações climáticas são aqueles que afetam diretamente o bem-estar físico e emocional dos residentes, incluindo os efeitos na saúde, a escassez de alimentos e água, os impactos nos meios de subsistência e o deslocamento (GASPER; BLOHM; RUTH, 2011). Nesse contexto as inundações, secas e precipitação severas poderão causar danos

a fontes urbanas de alimentos, aumentando ainda mais o problema já existente da escassez de alimentos (AWUOR et al., 2008). Mudanças nas condições ambientais - incluindo redução da disponibilidade de água, perda de biodiversidade e aumento de doenças transmitidas por vetores podem afetar recursos locais críticos para a indústria do turismo. Evidências sugerem que mudanças sociais, como a segurança percebida ou a estabilidade política de uma região, podem ser indiretamente afetadas pelas alterações climáticas (TIMOTHY; DUVAL, 2004; EARTHSCAN, 2008 *apud* GASPER; BLOHM; RUTH, 2011).

## **2.5 Políticas internacionais sobre mudanças climáticas**

### **2.5.1 Protocolo de Montreal**

O Protocolo de Montreal, que foi criado em 1987 e entrou em vigor em 01 de janeiro de 1989, trata de gases que provocam o aquecimento global. Esse tratado internacional propõe a substituição de substâncias que demonstraram reagir quimicamente com o ozônio na parte superior da estratosfera, provando dessa forma a destruição da camada de ozônio. Os grupos clorofluocarbonos (CFCs), halons, tetracloretos de carbono (CTCs) e hidroclorofluorcarbono (HCFCs), emitidos em todo o globo a partir dos processos de industrialização são exemplos de substâncias nocivas a camada de ozônio (HENRIQUES, 2009).

Os 197 países que assumiram o compromisso de proteger a camada de ozônio, a partir da assinatura do Protocolo de Montreal, devem cumprir certas obrigações impostas por esse documento, em específico a redução de forma gradual da produção e consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDOs) até sua eliminação total. Sendo assim, foram estabelecidas metas de eliminação para todas as partes, respeitando o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas. A vista disso, em 1990, foi instituído o fundo multilateral para a implementação do Protocolo de Montreal a fim de fornecer assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento a partir de recursos oriundos dos países desenvolvidos (MMA, 2017).

### **2.5.2 Protocolo de Kyoto**

O Protocolo de Kyoto foi adotado inicialmente por 37 países e a União Europeia em 11 de dezembro de 1997, onde os chamados países do Anexo B, que faziam parte os mais industrializados nos anos 1990, assumiram o compromisso de reduzir suas emissões de (GEE)

em 5,2%, em média, no período de 2008 a 2012 em comparação com os níveis de 1990. As metas individuais de emissão deveriam ser cumpridas até o final de 2012 (THE ECONOMIST, 1997 *apud* ALMER & WINKLER, 2017). O documento foi ratificado por 189 países entre eles o Brasil em 2002 e a Rússia em 2005 o que deu força para que o mesmo entrasse em vigor (TUFFANI, 2015).

O Protocolo propôs três mecanismos: 1) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL); 2) Implementação Conjunta e 3) Comércio de Emissões) para ajudar as nações ratificadas desenvolvidas a cumprir seu compromisso quantificado de limitação ou redução de emissões quantificadas de uma forma mais economicamente viável (LAU et al., 2012).

Após o prazo de vigência do Protocolo de Kyoto as emissões mundiais de GEE aumentaram em torno de 16,2%, o que mostra que o acordo fracassou em reduzir emissões de GEE. Todavia, houve progressos em conscientizar a sociedade a implantar projetos ambientais, tecnológicos e de desenvolvimento econômico para evitar o agravamento do aquecimento global (TUFFANI, 2015).

### 2.5.3 Conferência de Paris

Ao final da 21ª Conferência das Partes (COP21) da Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Alterações Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC), em Paris, foi proposto um novo acordo com o objetivo central de intensificar o combate às mudanças climáticas e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças (MMA, 2017).

Os principais destaques da COP21 em Paris incluem: (1) reduzir as emissões de carbono o mais rapidamente possível, (2) conseguir um equilíbrio entre as emissões antrópicas por fontes e as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa, (3) limitar preferencialmente o aumento da temperatura global desde 1800 a 1,5 °C em 2100 (4) determinar que os países desenvolvidos deverão investir 100 bilhões de dólares por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação, em países em desenvolvimento e (5) rever os progressos registados a cada cinco anos (ONUBR, 2015). A contribuição de cada país para o alcance do objetivo final do acordo partiu de seus próprios compromissos, a partir das chamadas Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas (intended Nationally Determined Contributions - iNDC). Por meio desse instrumento, cada nação apresentou sua contribuição de

redução de emissões dos gases de efeito estufa seguindo o que cada governo considera viável diante do cenário socioeconômico local (MMA,2017).

A iNDC do Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. O país se comprometeu ainda a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, o fim do desmatamento ilegal na Amazônia, a restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares, a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e o alcance de 45% na participação de energias renováveis na composição da matriz energética. (VERDÉLIO, 2015; MMA, 2015).

#### 2.5.4 COP 22

Em avaliação preliminar, Sarney & Marcondes (2016) descrevem a COP21 como um “ponto de chegada”, que finalizou um processo de negociação com a adoção do Acordo de Paris. Por outro lado, a COP22 constituiu em “ponto de partida”, cujo foco é a definição do chamado "livro de regras" para a implementação dos compromissos assumidos em Paris.

Dentre os objetivos da COP22 estavam a definição de uma agenda para os próximos dois anos, com um calendário para a resolução de regras técnicas para o financiamento e a prestação de contas das ações prometidas em Paris. Ao final da conferência, o Brasil, em parceria com Argentina e Uruguai, realizaram um manifesto conjunto, ressaltando a importância da adaptação às mudanças climáticas, da agricultura, segurança alimentar e das florestas (AMARAL, 2016).

Durante o encontro, os países desenvolvidos reafirmaram a meta de mobilizar 100 bilhões de dólares anuais para subsidiar o financiamento de projetos climáticos, melhorar a capacidade e a tecnologia no planeta. Outro ponto importante foi a promessa de líderes mundiais de avançar na implementação do Acordo de Paris, que entrou em vigor no início de novembro de 2016 (ONUBR, 2016).

A declaração final da COP22 cita o envolvimento de todos no combate às mudanças climáticas no mundo, incluindo não só os governos, mas também cientistas, setor privado e a ação global de todos os tipos e níveis. O documento afirma que o “clima global está esquentando em um nível alarmante e sem precedentes e a comunidade internacional tem o dever urgente de responder”. Do mesmo modo, alerta para necessidade de solidariedade com os países mais em situação de vulnerabilidade aos impactos da mudança climática (ONUBR, 2016).

## **2.6 Políticas nacionais e estaduais de mudanças climáticas**

Entrou em vigor em 2009, no Brasil, a Lei Federal 12.187 que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, a lei federal é considerada um avanço para a legislação ambiental do país. Esse dispositivo legal tem como diretrizes gerais o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil junto à Convenção sobre Mudança do Clima, a saber: a) adotar ações de mitigação que sejam mensuráveis, passíveis de ser informadas e verificáveis, no contexto do desenvolvimento sustentável; b) adotar medidas de adaptação para reduzir os impactos e a vulnerabilidade dos sistemas ambiental, social e econômico; c) promover a pesquisa, o desenvolvimento e a difusão de tecnologias; d) utilizar mecanismos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação; e) promover a cooperação internacional e aperfeiçoar e garantir a observação sistemática e precisa do clima; f) garantir e estimular a participação dos governos estaduais e municipais no processo de combate à mudança do clima (BRASIL, 2009).

Nesse contexto, Estados e Municípios brasileiros criaram dispositivos legais para instituir suas políticas sobre alterações climáticas, onde das 27 unidades da Federação 16 já criaram o seu Fórum Estadual de Mudanças Climáticas, todos entre 2005 e 2009. Uma das contribuições das legislações estaduais relativas à política de mudanças climáticas é o estabelecimento de um compromisso com a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE), geralmente expresso em objetivos, metas, orientações ou diretrizes relacionadas a sua redução ou estabilização (MARTINS; SPERANZA, 2012).

A maioria das legislações vigentes, com exceção das de São Paulo e da Paraíba, não apresentam, até o momento, meta definida de redução de emissões de GEE. A meta de São Paulo é reduzir em 20% as emissões de GEE até 2020, em relação às emissões inventariadas em 2005. Já a meta da Paraíba reproduz a meta nacional de reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões projetadas para 2020, no cenário tendencial (MARTINS; SPERANZA, 2012).

## **2.7 Inventário de emissões atmosféricas**

O inventário de emissões atmosféricas de GEE é composto por um estudo que apresenta a quantidade de GEE provenientes de diferentes fontes, os quais entram na atmosfera em um dado intervalo de tempo, em uma dada área definida a partir de fronteiras fixas e ainda fornece

informações de quem emitiu, o que emitiu, onde emitiu, quando e quanto (STERN, 1984 *apud* ALMEIDA, 2011).

Um inventário de GEE pode ser definido como uma compilação das emissões e das remoções de GEE quantificadas, oriundos de fontes e sumidouros antrópicos, elaborado segundo uma metodologia apropriada e relatada por um país, estado, município ou organização, por um determinado período de tempo e abrangência previamente delimitada (IPCC, 1996; ARIAS, 2008 *apud* ALMEIDA, 2011). Esse instrumento é importante para auxiliar no processo de definição de ações e medidas de mitigação no que diz respeito às mudanças do clima, além de subsidiar a implantação de políticas públicas de gestão das mudanças do clima, uma vez que determinam de maneira qualitativa e quantitativa as emissões atmosféricas desses gases (ALMEIDA, 2011). Inventários de poluentes atmosféricos são fundamentais para análises ambientais em escalas global, regional ou local (STERN, 1984 *apud* ALMEIDA, 2011).

De acordo com Pinho (2009, p. 22),

A concepção do inventário compreende as etapas: identificação das fontes de emissão de GEE; escolha da metodologia apropriada para o cálculo; coleta dos dados de atividade e seleção dos fatores de emissão; aplicação das metodologias de cálculo; e registro dos dados.

Em 2006, o IPCC lançou um conjunto de orientações para elaboração de inventários de GEE nacionais. Essa metodologia é uma das mais aplicadas na produção de inventários regionais. Entretanto, com o objetivo de uniformizar e aperfeiçoar diversas metodologias de produção de inventários, em 2014, o WRI (*World Resources Institute*), em parceria com o C40 de liderança climática das cidades (C40 - *Cities Climate Leadership Group*) e o ICLEI 'Governos locais pela sustentabilidade (ICLEI - *International Council for Local Environmental Initiatives*) lançaram o Protocolo Global para Comunidades (GPC – *Global Protocol for community*), um protocolo que padroniza a elaboração de inventários de GEE em cidades (FONG, 2014).

Outrossim, em 2007 foi publicada a NBR ISO 14064 (2007), com o objetivo de especificar princípios e requisitos no âmbito da organização para a quantificação e para a elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE. Essa norma inclui determinações para o projeto, o desenvolvimento, o gerenciamento, a elaboração de relatórios e a verificação de um inventário de GEE da organização. Mais recentemente, em 2015, o SEBRAE, em parceria com a ABNT, lançou o guia de implementação: Gestão de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, voltado para elaboração de planos de gestão de GEE em organizações (SBRAGIA; REYES, 2015).

A abordagem na elaboração de inventários pode ser feita de duas maneiras: *Top-down* (do geral para o detalhe) e a *Bottom-up* (do detalhe para o geral). Conforme USEPA (2009) apud ALMEIDA (2011), essas abordagens podem ser definidas a seguir:

- a) *Top Down*: é uma abordagem que se baseia em informações e dados a nível nacional, com medidas diretas ou indiretas do nível de atividade de uma região, como o uso de dados de vendas, nível de emprego ou fatores de emissão per capita;
- b) *Bottom-Up*: é uma abordagem que se fundamenta no cálculo de suas emissões, em fontes individuais, onde a soma de todas as fontes se obtém estimativas locais e estaduais. Sendo as emissões calculadas individualmente para cada fonte o processo acaba necessitando de maiores recursos, mas as estimativas de emissões são mais exatas do que na abordagem *Top-down*.

Em meio a diversas metodologias existentes para a elaboração de inventários de gases do efeito estufa, o *GHG Protocol* vem sendo a ferramenta mais utilizada mundialmente por empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. A ferramenta foi desenvolvida pelo WRI em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBSCD - *World Business Council for Sustainable Development*). O *GHG Protocol* oferece diretrizes para contabilização de GEE, com caráter modular e flexível e neutralidade em termos de políticas ou programas. A metodologia do *GHG Protocol* é compatível com as normas ISO e com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), e sua aplicação no Brasil acontece de modo adaptado ao contexto nacional (FGV, 2009).

## **2.8 Estratégias de mitigação e neutralização de GEE**

Embora a população das cidades seja responsável por uma quantidade significativa de emissões de GEE as principais poluidoras são as grandes indústrias. Sendo assim, é imprescindível que essas empresas invistam em neutralização de suas emissões (NETTO et al., 2008).

De acordo com Murray; Dey (2007), o termo neutralização de carbono ou carbono neutro pode ser definido como a forma de cancelar o dano causado à atmosfera terrestre por um tipo de gás de efeito estufa oriundo de atividade antropogênica, através de outra atividade humana que reduza as emissões de CO<sub>2</sub> em uma quantidade igual ou evite que uma quantidade

igual seja gerada por uma atividade humana essencial responsável pela emissão de CO<sub>2</sub>, substituindo-a por uma alternativa que não emita carbono ou possua baixa emissão.

Netto et al. (2008); Flizikowski (2012) afirmam que a neutralização de carbono pode ser considerada como uma forma de mitigação ambiental e que a sociedade pode, através desse mecanismo compensar suas emissões de CO<sub>2</sub>, por meio da fixação de carbono realizada por árvores ao longo de seu crescimento e desenvolvimento pois, dessa forma, o CO<sub>2</sub> que é lançado na atmosfera é retirado pelas florestas, ou seja, é neutralizado.

Nessa perspectiva, diversos trabalhos veem sendo desenvolvidos como os de Netto et al. (2008) sobre estimativas de potencial de neutralização de CO<sub>2</sub> utilizando espécies nativas e de reflorestamento, o de Flizikoski (2012), que estuda simulações de cenários de reflorestamento a fim de otimizar a neutralização com espécies diferentes e o de Miranda (2008) baseado em modelos matemáticos de estoques de carbono e biomassa em áreas de reflorestamento.

Com o intuito de otimizar o sequestro de carbono pelo solo, algumas estratégias podem ser implementadas como, por exemplo: (1) aumento da área cultivada sob plantio direto; (2) aproveitamento de restos culturais nas áreas de plantio; (3) controle da erosão; (4) melhoramento dos índices de produtividade; (5) melhoria da fertilidade do solo (essencial ao aumento da produção de restos culturais); (6) redução do desmatamento; (7) revegetação de solos degradados e, por fim, (8) preservação de solos orgânicos em ambientes de várzea (LAL, 1997 *apud* BARBOSA et al, 2013).

O solo, sob plantio direto em combinação com culturas de cobertura de leguminosas atua como um coletor líquido de gases de efeito estufa a longo prazo. O aumento das emissões de N<sub>2</sub>O no solo é compensado pelos efeitos da forte retenção de CO<sub>2</sub> na matéria orgânica do mesmo. As emissões reduzidas de GEE resultantes mostram que o plantio direto em combinação com uma cultura de cobertura de leguminosa reduz a emissão por unidade de produção agrícola, permitindo a produção sustentável de alimentos juntamente com a mitigação do aquecimento global mesmo sob as condições quentes e úmidas das regiões tropicais e subtropicais (BAYER et al., 2016).

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) define mitigação no âmbito das mudanças climáticas como sendo:

As mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso de recursos e as emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros de carbono (CIMC, 2008, p.27).

Dubex (2007) lista as principais medidas de mitigação de emissões de GEE, que os gestores municipais têm capacidade de implementar no município. Apresenta, também, medidas de maior impacto que podem ser adotadas pelo setor privado devido à normatização ou incentivo das prefeituras:

A) Substituição de combustíveis convencionais (por energia de fonte renovável ou por combustíveis fósseis com menor teor de carbono):

- Uso de metano produzido em estação de tratamento de esgoto ou em aterro sanitário;
- Uso de biodiesel produzido a partir de gordura obtida em estações de tratamento de esgotos;
- Uso de biodiesel de óleos vegetais virgens ou de animais e vegetais usados (provenientes de restaurantes e indústrias alimentícias);
- Uso de combustíveis fósseis com menor conteúdo de carbono;
- Uso de energia elétrica;
- Uso de energia solar.

B) Substituição de energia elétrica convencional (por energia de fonte renovável):

- Utilização de energia elétrica proveniente de painéis solares;
- Utilização de energia elétrica proveniente de geradores a biogás e a biodiesel;
- Utilização de energia elétrica produzida com RSUs.

C) Aumento da eficiência no uso da energia:

- Uso de veículos híbridos;
- Aperfeiçoamento de sistemas de controle de trânsito (controle de velocidade de veículos,
- Sincronização de sinais de trânsito, etc.);
- Mudança de trajetos com vistas a encurtamento de distâncias e desafogamento de tráfego;
- Otimização de itinerários;
- Construção (ou ampliação) de ciclovias para substituição de modais movidos a combustíveis emissores;
- Uso de materiais de construção e equipamentos de iluminação de acordo com critérios de eficiência energética.

D) Sequestro de carbono:

- Reflorestamento de Áreas Degradadas;

E) Eliminação de biogás (existente ou potencial):

- Queima de metano;
- Secagem do lixo.

O PNMC (2008) estabelece quais são as tecnologias mais relevantes por setor para a realidade brasileira, conforme abaixo:

- 1) Setor de energia: melhoria da eficiência da oferta e distribuição de energia, substituição de combustíveis mais carbono-intensivos por aqueles com menor teor de carbono ou por combustíveis de fontes renováveis, e captação e armazenamento de carbono;
- 2) Setor de transportes: utilização de veículos eficientes e modernização de frota, expansão do uso de sistemas ferroviários e aquaviários, e incentivos aos transportes coletivos em substituição aos particulares;
- 3) Setor de edificações: utilização de equipamentos eficientes e de energia solar, além da adoção de um sistema de planejamento integrado que permita ganhos de eficiência no uso da energia;
- 4) Setor de indústria: utilização de equipamentos eficientes, adoção de práticas de reciclagem e de substituição de materiais, controle das emissões de gases, e captação e armazenamento de carbono;
- 5) Setor agrícola: manejo adequado para aumentar o armazenamento de carbono no solo, recuperação de áreas degradadas, intensificação da pecuária bovina, melhorias em cultivos e na fertilização para reduzir emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, e estabelecimento de culturas energéticas;
- 6) Setor de silvicultura/florestas: redução do desmatamento, estímulo ao manejo florestal sustentável, ao florestamento e reflorestamento, e estímulo ao uso de produtos e subprodutos florestais, obtidos em bases sustentáveis, para geração de energia e
- 7) Setor de resíduos: recuperação do metano de aterros sanitários, incineração com recuperação energética, e reciclagem (CIMC, 2008, p. 27).

De acordo com Abilux (2015), a iluminação representa cerca de 20% do consumo da energia consumida no país e novas tecnologias, como por exemplo, as lâmpadas de LED, já disponíveis no mercado, podem reduzir esse consumo à mais da metade. Diante disso o estudo

realizado por Abilux (2015) traz dez medidas que capazes de reduzir o consumo de energia elétrica, conforme a seguir:

- 1) Trocar os cerca de cinco (05) milhões de pontos de iluminação pública existentes com lâmpadas a vapor de mercúrio (50 lumens por Watt) por luminárias modernas com LEDs (>100 lumens por Watt) com controles inteligentes. A economia será de cerca de 70% da energia consumida. A iluminação pública consome cerca de 3,5% da energia elétrica no país e a mudança sugerida representa cerca de 0,8%, ou seja, 3,7 TWh ano, algo como 440 milhões de reais ano ao custo marginal de energia;
- 2) Modificar o programa da ANEEL- Distribuidoras de Energia Elétrica de subsídios ou gratuidade na substituição de lâmpadas incandescentes (14 lumens por Watt) com a entrega de lâmpadas fluorescentes compactas (50/60 lumens por Watt) por lâmpadas LED (80/100 lumens por Watt) minimizando o custo de energia para o consumidor menos favorecido e maximizando o resultado para o país;
- 3) Entregar casas do programa Minha Casa Minha Vida e programas similares estaduais e municipais já com o ponto de luz com luminárias e lâmpadas eficientes e de longa vida instalado;
- 4) Tornar o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações compulsório de imediato para edifícios a serem construídos e em reforma, obtendo eficiências máximas de equipamentos e mínimas de consumo por metro quadrado
- 5) Tornar compulsório a obrigação de governos federal e os estaduais e municipais comprem apenas produtos com os selos PROCEL/INMETRO que garantem um mínimo de eficiência, desempenho e segurança;
- 6) Programar que num período de quatro (04) anos todos os edifícios federais estaduais e municipais façam uma auditoria energética e modernizem seus equipamentos de iluminação;
- 7) Tornar obsoletas em até 2020 as lâmpadas a vapor de mercúrio, de luz mista e de indução magnética por possuírem lâmpadas substitutas mais eficientes e devido ao seu conteúdo de mercúrio, e por estarem na programação do Acordo de Minamata assinado pelo Governo Brasileiro. Desde já aumentar a alíquota de impostos destas lâmpadas devido a ineficiência e uso de mercúrio;
- 8) Tornar obsoletos os reatores magnéticos para lâmpadas fluorescentes, pois os eletrônicos economizam cerca de 70% de energia;

- 9) Criação de linhas de financiamento a produtos e projetos de iluminação eficiente para as cidades para Iluminação pública, prédios públicos e edificações em geral;
- 10) Reduzir a carga tributária em todos os níveis de produtos que utilizem LEDs como lâmpada, módulos e luminárias assim como drivers e controles para LEDs.

Atualmente existe uma gama enorme de medidas que podem ser adotadas a fim de reduzir as emissões de GEE. As medidas citadas anteriormente deixam claro que todos os setores são capazes de dar sua parcela de contribuição para mitigação das emissões. Sendo assim bastaria cada um desses assumir o compromisso de adotar as medidas mais relevantes cada um em sua área para que tivéssemos resultados mais expressivos de redução de emissões.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia foi composta por quatro etapas, as quais envolveram a revisão da literatura, a caracterização da área de estudo, a produção de inventário de GEE e a elaboração de propostas de mitigação e neutralização de GEE.

#### **3.1 Revisão da literatura**

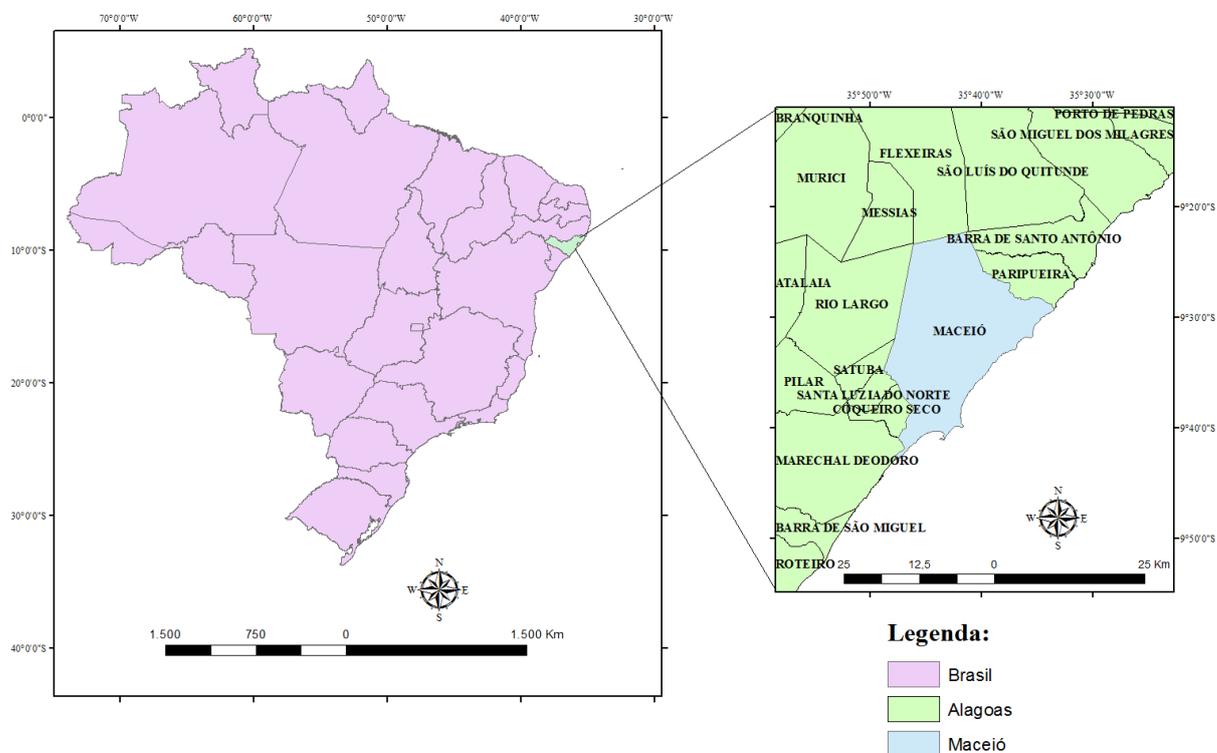
Nesta etapa foi feito um levantamento do estado da arte de outros estudos relacionados ao tema em questão a fim de verificar o que existia de mais atual na área de gestão de GEE, na elaboração de inventários, legislação nacional e internacional sobre mudanças climáticas, estratégias de mitigação e neutralização de GEE, servindo de subsídio para elaboração do estudo.

Dentre as fontes consultadas, estão inclusos: artigos científicos publicados em revistas internacionais, protocolos, guias e padrões publicados por instituições reconhecidas internacionalmente; leis nacionais e tratados internacionais; inventários realizados por outras cidades, entre outras.

#### **3.2 Delimitação da área de estudo**

O objeto a ser estudado é o município de Maceió Figura 2, que está localizado na região nordeste do Brasil e é banhado pelo oceano Atlântico, tendo uma área da unidade territorial de 509,909 km<sup>2</sup> e população aproximada de 1.021.709 habitantes em 2016 (IBGE, 2016). Para elaboração do inventário de emissões de GEE não foram contabilizados dados da região metropolitana de Maceió. Assim sendo, o estudo se limita à região delimitada pelas fronteiras geopolíticas do município.

**Figura 2 - Localização do Município de Maceió**



Fonte: Autor (2017)

### 3.3 Inventário de emissões de GEE

Foram contabilizadas as emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) provenientes dos setores de energia e resíduos, emitidos dentro dos limites do município, durante os anos de 2009 a 2014. Isso permitiu uma comparação da evolução dos padrões de emissões nos últimos seis anos. A contabilização das emissões foi realizada para cada tipo de GEE e convertidos para toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{tCO}_2\text{e}$ ) de acordo com os potenciais de aquecimento global apresentados abaixo:

- ✓ Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) = 1  $\text{CO}_2\text{e}$ ;
- ✓ Metano ( $\text{CH}_4$ ) = 21  $\text{CO}_2\text{e}$ ;
- ✓ Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) = 310  $\text{CO}_2\text{e}$ .

A metodologia utilizada para produção do inventário teve como base o Guia de Orientações do IPCC 2006, o Protocolo Global para Cidades (GPC - *Global Protocol for*

*Communities*), que foi lançado em 2014 pela WRI, o C40 e o ICLEI, a NBR 14064 (2007) e a metodologia proposta pelo *GHG Protocol*, que é compatível com todas as outras citadas anteriormente, adaptando-se ao contexto e cenário brasileiro.

### 3.3.1 Coleta de dados

Foram coletados dados de consumo de combustíveis, energia elétrica e geração e disposição de resíduos (resíduos sólidos urbanos e efluentes líquidos). Esses dados foram subdivididos em subsetores: residencial, industrial, comercial e setor público. Isso se fez necessário para que se pudesse identificar qual a parcela de contribuição de cada subsetor nas emissões.

As informações sobre o consumo de energia, combustíveis e geração de resíduos foram levantadas junto a fornecedores, como Algás e Eletrobrás, e a órgãos públicos como ANP (Agência Nacional de Petróleo), SLUM (Superintendência de Limpeza Urbana), Ministério das Cidades (MC) e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), conforme Tabela 1.

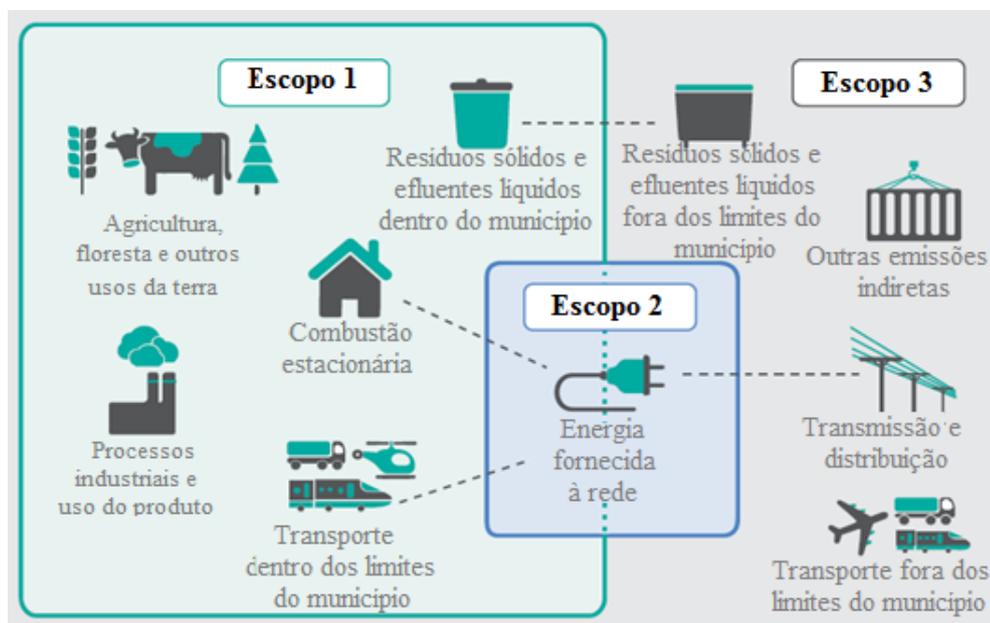
**Quadro 1 - Dados de entrada e origem das informações**

Fonte	Dado da Atividade	Fonte da Informação
Combustíveis - fontes estacionárias	Vendas realizadas em Maceió	Algás (Gás Natural) /ANP (outros)
Combustíveis - fontes móveis	Vendas realizadas em Maceió	Algás (GNV) /ANP (outros)
Energia elétrica	Consumo de energia elétrica	Eletrobrás Distribuição Alagoas
Resíduos sólidos	Disposição de RSU	SLUM
Efluente líquido	Coleta e tratamento	Ministério das Cidades/CASAL

Fonte: Autor (2017)

Para distinguir atividades que ocorrem dentro de uma cidade e que podem gerar emissões que ocorrem dentro dos limites da cidade, bem como fora dos limites da cidade, as emissões foram divididas em três categorias, com base onde ocorrem: escopo 1, escopo 2 ou escopo 3, como mostra a Figura 3.

**Figura 3 - Fontes e limites de emissão de gases de efeito estufa da cidade**



Fonte: Adaptado de Fong (2014)

Definição dos escopos:

- ✓ Escopo 1: emissões de GEE provenientes de fontes localizadas dentro do limite de cidade;
- ✓ Escopo 2: emissões de GEE que ocorrem como consequência da utilização da energia fornecida à rede, calor, vapor e / ou de arrefecimento dentro dos limites da cidade;
- ✓ Escopo 3: Todas as outras emissões de GEE que ocorrem fora do limite da cidade, como resultado de atividades dentro do limite da cidade.

Devido à escassez de dados essa pesquisa se limitou a contabilizar apenas as emissões do Escopo 1 (fontes estacionárias, fontes móveis, resíduos sólidos e efluentes líquidos) e Escopo 2 (energia elétrica). Dessa maneira, as emissões provenientes da agricultura, mudanças no uso e ocupação do solo, bem como as em decorrência de processos industriais e uso de produtos, que fazem parte do Escopo 1, e todas as do Escopo 3 não fizeram parte do estudo.

### 3.3.2 Análise dos dados e cálculo das emissões

Após a coleta, os dados foram tabulados e receberam tratamento estatístico, tendo em vista que os dados fornecidos pela ANP não continham informações de consumo de

combustível separadas por setor. Sendo assim, esses dados foram estimados por setor utilizando-se para isso o percentual de consumo médio nacional calculado a partir das médias nacionais de consumo de combustível por setor, encontradas no Balanço Energético Nacional (BEM, 2015). Os dados de venda de combustível e energia elétrica fornecidos por outras instituições citadas vieram organizadas por setor, não sendo necessário utilizar a média nacional.

Os dados de geração anual de RSU fornecidos pela SLUM vieram incompletos, pois não haviam informações completas sobre geração de resíduos para os anos de 2009 e 2010. Diante disso, os valores para esses anos foram estimados por regressão linear simples, utilizando-se para isso a ferramenta do Microsoft Excel. Os dados sobre geração e tratamento de efluentes fornecidos pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades foram tabulados de acordo com as informações da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), que forneceu informações sobre a proporção de esgoto tratado correspondente ao respectivo tratamento empregado.

Em relação ao setor de resíduos não foram considerados nesse estudo, em virtude da escassez de dados:

- a) Disposição de RSU a “céu aberto”;
- b) Disposição e/ou tratamento de resíduos sólidos industriais;
- c) Incineração de Resíduos Serviços de Saúde (RSS), bem como a de outros resíduos sólidos incinerados no período;
- d) Disposição de efluentes sem tratamento a “céu aberto”, para rede de drenagem ou não coletados lançados em corpos d’água;
- e) Disposição ou tratamento de efluentes industriais.

A Tabela 2 apresenta categorização dos setores e as fontes de emissão, assim como o tipo de resíduo e o tratamento correspondente empregado.

**Quadro 2 – Setores Inventariados e Fontes de Emissão de GEE**

Fonte de Emissão		Setor
Consumo de Eletricidade	Combustão Estacionária	Setor Público
		Residencial
		Comercial
		Industrial/Rural
Fonte de Emissão	Tipo de Transporte	
Combustão Móvel	Rodoviário	
	Hidroviário	
	Ferroviário	
	Transporte Aéreo	
Fonte de Emissão	Tipo de Resíduo	Tipo de Disposição
Resíduos	Resíduos sólidos Urbano	Aterro Sanitário
	Efluente Líquidos	Emissário Submarino
		Lagoas de Estabilização
		Fossa Séptica

Fonte: Autor (2017)

Todas as emissões de GEE foram calculadas utilizando-se a ferramenta *GHG Protocol 2016.1.1*, desenvolvida no software Microsoft Excel pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Essa ferramenta permite a categorização e contabilização das emissões de diversas fontes, conforme figura 4.

**Figura 4 – Menu da ferramenta *GHG Protocol 2016.1.1***

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Agrícolas e mud. no uso do solo	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Fonte: *GHG Protocol* (2016)

Além disso, essa ferramenta é capaz de calcular emissões de vários anos e traz os fatores de emissões de GEE nacionais de diversas fontes de emissão de GEE. A metodologia empregada nos cálculos está em conformidade com IPCC (2006).

### 3.3.2.1 Emissões de CO<sub>2</sub> Provenientes do Consumo de Eletricidade

A contabilização das emissões de GEE oriundas do consumo de energia elétrica foi realizada através da Equação 1. Para realização das estimativas, adotou-se o fator de emissão do sistema interligado nacional, divulgado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI.

$$E_{CO_2} = \text{Cons} \times F_e \quad (1)$$

Onde,

$E_{CO_2}$ : Emissões de GEE (tCO<sub>2</sub>/ano)

Cons.: Consumo de eletricidade (KWh/Ano)

$F_e$ : Fator de Emissão do SIN (tCO<sub>2</sub>/MWh)

### 3.3.2.2 Emissões de GEE Devido a Combustão de Fontes de Combustão Estacionária

Os cálculos desse tipo emissão foram feitos utilizando-se a metodologia desenvolvida por IPCC (2006), seguindo as Equações {2}, {3} e {4}, respectivamente.

#### Emissões de CO<sub>2</sub>

$$E_{CO_2} = C_{\text{combustível}} \times PCI_{\text{combustível}} \times FO_{\text{combustível}} \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

Onde,

$E_{CO_2}$  = Emissão total de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>/ano);

$C_{\text{combustível}}$  = Consumo de combustível (m<sup>3</sup>/ano);

$PCI_{\text{combustível}}$  = Poder calorífico inferior do combustível (TJ/m<sup>3</sup>);

$F_{\text{combustível}}$  = Teor de carbono do combustível por energia (tC/TJ);

$FO_{\text{combustível}}$  = Fator de oxidação de carbono para dióxido de carbono (%);

$\frac{12}{44}$  = Fator de conversão de massa molecular de C para CO<sub>2</sub>;

#### Emissões de Metano

$$E_{CH_4} = \frac{C_{\text{combustível}} \times PCI_{\text{combustível}} \times F_{CH_4}}{10^3} \quad (3)$$

$E_{CH_4}$  = Emissão total de metano (t<sub>CH<sub>4</sub></sub>/ano);

$C_{\text{combustível}}$  = Consumo de combustível ( $\text{m}^3/\text{ano}$ );

$\text{PCI}_{\text{combustível}}$  = Poder Calorífico Inferior do combustível ( $\text{TJ}/\text{m}^3$ );

$F_{\text{CH}_4}$  = Fator de emissão de metano para o combustível ( $\text{kg}/\text{TJ}$ ).

$10^3$  = Conversão de unidades (de “kg” para “t”;  $1\text{ t}=10^3\text{ kg}$ )

#### Emissões de $\text{N}_2\text{O}$

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = \frac{C_{\text{combustível}} \times \text{PCI}_{\text{combustível}} \times F_{\text{N}_2\text{O}}}{10^3} \quad (4)$$

$E_{\text{N}_2\text{O}}$  = Emissão total de Oxido Nitroso ( $\text{tN}_2\text{O}/\text{ano}$ );

$C_{\text{combustível}}$  = Consumo de combustível ( $\text{m}^3/\text{ano}$ );

$\text{PCI}_{\text{combustível}}$  = Poder Calorífico Inferior do combustível ( $\text{TJ}/\text{m}^3$ );

$F_{\text{N}_2\text{O}}$  = Fator de emissão de Oxido Nitroso para o combustível ( $\text{kg}/\text{TJ}$ ).

$10^3$  = Conversão de unidades (de “kg” para “t”;  $1\text{ t}=10^3\text{ kg}$ )

#### 3.3.2.3 Emissões de GEE Provenientes da Combustão em Fontes Móveis

As estimativas das emissões de GEE provenientes da combustão de fontes móveis foram baseadas no consumo anual de combustíveis e obtidas através da Equação {5}:

$$E_{\text{GEE}} = \text{Cons}_c \times F_{\text{GEE},c} \quad (5)$$

Onde:

$E_{\text{GEE}}$  = Emissão do GEE ( $\text{tGEE}/\text{ano}$ )

$\text{Cons}_c$  = Consumo do combustível ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )

$F_{\text{GEE},c}$  = Fator de emissão do GEE ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) devido ao consumo do combustível “c” ( $\text{tGEE}/\text{m}^3$ ).

#### 3.3.2.4 Emissões Provenientes da Disposição de Resíduos Sólidos

As emissões de  $\text{CH}_4$  devido a disposição de resíduos sólidos seguiu a metodologia proposta por IPCC 2006, a qual se baseia na massa de carbono orgânico degradável para estimar o potencial de geração de metano. A Equação {6} foi utilizada para esse fim.

$$E_{\text{CH}_4} = \frac{16}{12} \times F \times \text{DOC}_f \times \text{FCM}_{\text{aterro}} \times \sum_{x=1}^y \sum_j Q_{j,x} \times \text{DOC}_j \times e^{-k_j \times (y-x)} \times (1 - e^{-k_j}) \quad (6)$$

Onde,

$E_{CH_4}$  = Emissões de Metano no ano y, através de decomposição anaeróbica de resíduos do tipo j, no local de disposição (tCH<sub>4</sub>/ano);

$\frac{16}{12}$  = fator de conversão de massa molecular de C para CH<sub>4</sub>;

$Q_{j,x}$  = quantidade de resíduo j gerada no ano y (t);

F = fração de metano no biogás (%)

$DOC_f$  = fração do carbono degradável total dissimilado para o biogás (kg C/kg resíduo);

$DOC_j$  = fração de carbono degradável (kg C/kg resíduo) no resíduo do tipo j;

$FCM_{aterro}$  = fator de correção de metano;

y = ano para o qual as emissões são calculadas;

x = ano no qual os resíduos foram dispostos;

$k_j$  = taxa de decomposição do resíduo do tipo j.

### 3.3.2.5 Emissões de CH<sub>4</sub> Devido ao Tratamento de Efluentes Líquidos

A maior parte dos efluentes domésticos de Maceió que são coletados pela concessionária local seguem para o emissário submarino que os lança no mar. A outra parte segue para tratamento em lagoas de estabilização, que posteriormente lançam os efluentes em corpos hídricos promovendo naturalmente a depuração destes através de processos microbiológicos que podem emitir metano. Sendo assim, a Equação {7}, adaptada de IPCC (2006), serviu para calcular as emissões decorrentes da autodepuração dos corpos hídricos em virtude do lançamento de efluentes.

$$E_{CH_4} = V_y \times DBO_{efluente} \times 10^{-9} B_0 \times FCM_{autodep} \quad (7)$$

$E_{CH_4}$  = Emissão de metano por autodepuração em corpo hídrico de efluentes sanitários não tratados, no ano y (tCH<sub>4</sub>);

$V_y$  = Volume de efluente líquido produzido no ano y (L);

$DBO_{efluente}$  = Demanda bioquímica de oxigênio média do efluente sanitário bruto (mg/L)

$B_0$  = Produção máxima de metano para efluentes sanitários (kg CH<sub>4</sub>/kg DBO)

$FCM_{autodep}$  = Fator de correção de metano para autodepuração em corpo hídrico.

A maior parte do esgoto do município não é coletada pela concessionária local e, portanto, poderia ser disposta de várias maneiras. Então para fins de simplificação, considerou-se que os efluentes domésticos não coletados foram tratados em sistemas independentes representados por fossas sépticas e, portanto, as emissões provenientes desse tipo de tratamento poderiam ser estimadas a partir da Equação {8}.

$$E_{CH_4} = V_y \times DBO_{\text{efluente}} \times 10^{-9} B_0 \times FCM_{\text{fossa}} \quad (8)$$

$E_{CH_4}$  = Emissão de metano por autodepuração em corpo hídrico de efluentes sanitários não tratados, no ano y (tCH<sub>4</sub>);

$V_y$  = Volume de esgoto produzido no ano y (L);

$DBO_{\text{efluente}}$  = Demanda bioquímica de oxigênio média do efluente sanitário bruto (mg/L);

$B_0$  = Produção máxima de metano para efluentes sanitários (kg CH<sub>4</sub>/kg DBO);

$FCM_{\text{fossa}}$  = Fator de correção de metano para autodepuração em corpo hídrico.

As emissões de GEE contabilizadas nesse inventário foram todas convertidas para a unidade de CO<sub>2</sub>e, conforme Equação {9}:

$$E_{CO_2e} = 1 \times E_{CO_2} + 21 \times E_{CH_4} + 310 \times E_{N_2O} \quad (9)$$

Após a fase de contabilização das emissões os resultados foram tabulados e dispostos em gráficos e tabelas, que foram analisados e serviram de subsídio para elaboração de propostas de mitigação e neutralização dos gases de efeito estufa.

### 3.3.3 Neutralização e Mitigação de GEE

O cálculo da neutralização por reflorestamento de áreas degradadas com espécies nativas da mata atlântica foi baseado na metodologia utilizada por Gonzaga (2016), conforme as Equações {10} e {11}, respectivamente.

#### 3.3.3.1 Número de Árvores a Serem Plantadas

$$N = \frac{E_{CO_2e}}{F_f} \times 1,2 \quad (10)$$

$$F_f = \frac{IMA \times T_{cms}(12 \div 44) \times t}{n_{arv/ha}} \quad (11)$$

$N$  = Número de árvores a serem plantadas;

$E_{CO_2e}$  = Emissão total de CO<sub>2</sub>e (tCO<sub>2</sub>e);

$F_f$  = Fator de fixação de carbono em biomassa (tCO<sub>2</sub>/árvore).

1,2 = Fator de compensação para possíveis perdas de mudas

IMA = Incremento médio anual de carbono a massa seca (valor de referência 7 para espécies arbóreas da América do Sul (IPCC, 2003 apud GONZAGA, 2016)).

$n_{arv/ha}$  = Número de árvores por área (ha) (valor de referência 1667 árvores/ha, com espaçamento de 2x3m) recomendado por Bechara (2006).

$T_{cms}$  = Teor de carbono na biomassa seca (IPCC (2006) recomenda adotar o valor padrão 0,5);

$t$  = Período de neutralização (valor de referência: 20 anos, conforme Azevedo & Quintino (2010));

$\frac{12}{44}$  = Fator de transformação de C em CO<sub>2</sub>

### 3.3.3.2 Propostas de mitigação

Com o intuito de propor um conjunto de medidas para neutralização, bem como para mitigações das emissões de GEE e considerando que o município ainda não dispõe de uma meta para redução de emissões de GEE estabeleceu-se a meta de 37% de redução das emissões de GEE abaixo dos níveis de 2014, baseando-se para isso na meta nacional, tendo em vista que o Brasil assumiu o compromisso de reduzir até 2025 suas emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005. Os valores de redução de emissões propostos para o município são menores que os nacionais, pois foram levadas em contas características locais e regionais do município para a definição da meta de redução, a exemplo a industrialização, a matriz energética, o desmatamento, entre outros.

Para o alcance da meta proposta para o município foram avaliados dois cenários:

#### Cenário 1

- i) Ampliação da rede de abastecimento de gás natural encanado em substituição ao GLP nas residências em 50%;
- ii) Ampliação da rede coletora de esgoto, com objetivo de atender pelo menos 75% da população, substituindo os sistemas individuais (fossas sépticas), pela coleta, tratamento e lançamento em corpos d'água;
- iii) Recuperação do metano produzido em aterro com a queima em flare de pelo menos 75%;
- iv) Neutralização de CO<sub>2</sub> por meio do reflorestamento de 5% do território do município com espécies arbóreas nativas da mata atlântica;

- v) Substituição da gasolina pelo etanol e pelo GNV na combustão móvel, nos percentuais de 50% e 25%, respectivamente;
- vi) Substituição de 100% das lâmpadas convencionais utilizadas atualmente por lâmpadas de LED.

#### Cenário 2

- i) Ampliação da rede de abastecimento de gás natural encanado em substituição ao GLP nas residências em 50%;
- ii) Ampliação da rede coletora de esgoto, com objetivo de atender pelo menos 95% da população, substituindo os sistemas individuais (fossas sépticas), pela coleta, tratamento e lançamento em corpos d'água;
- iii) Recuperação do metano produzido em aterro com a queima em flare de pelo menos 95%;
- iv) Neutralização de CO<sub>2</sub> por meio do reflorestamento de 10% do território do município com espécies arbóreas nativas da mata atlântica;
- v) Substituição da gasolina pelo etanol e pelo GNV na combustão móvel, nos percentuais de 50% e 25% respectivamente.
- vi) Substituição de 100% das lâmpadas convencionais utilizadas atualmente por lâmpadas de LED;
- vii) Reduzir a circulação de veículos particulares em 20% através do sistema de rodízio de placas.

As equações utilizadas na simulação dos cenários são as mesmas já mencionadas anteriormente. Entretanto, nessa etapa, fez-se uso de fatores de equivalência de combustíveis, disponíveis no BEN (2015). Além disso, continuou-se usando a ferramenta *GHG Protocol 2016.1.1* para auxiliar nos cálculos e em informações extraídas da literatura. Para estimar as reduções de GEE, provenientes do consumo de eletricidade tomou-se como base o estudo de Abilux (2015). Os Apêndices de A à F trazem as os dados coletados para a elaboração deste trabalho.

#### 3.3.4 Cenários tendenciais de emissões futuras

Os cenários tendenciais de emissões futuros foram obtidos através da análise gráfica da linha de tendência dos pontos dos gráficos de emissões de GEE dos setores de energia, resíduos

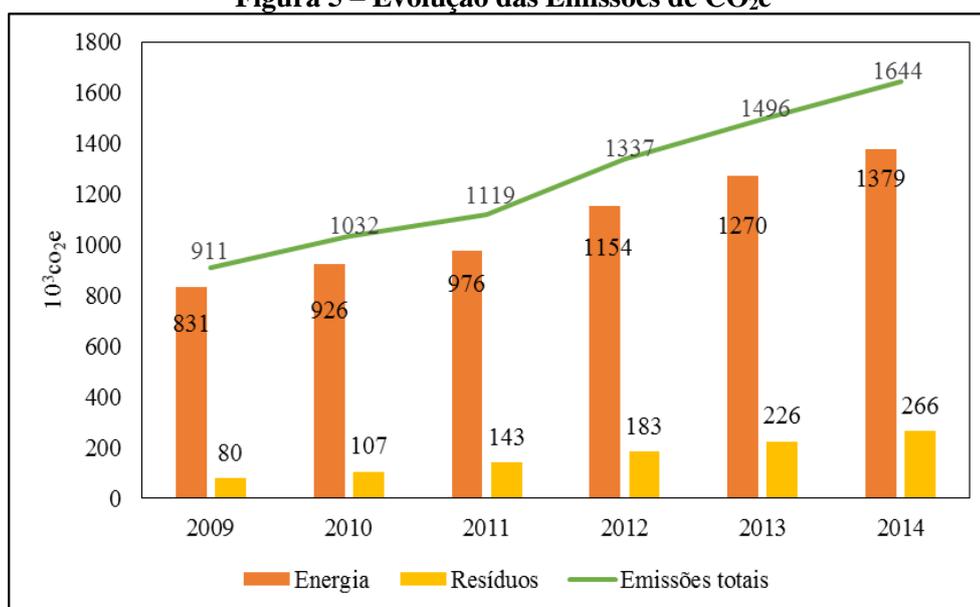
e emissões totais. Essa análise foi realizada com o auxílio da ferramenta gráfica do Microsoft Excel que além de plotar os gráficos também forneceu uma equação que ajustava seus pontos. As estimativas de emissões futuras de GEE foram obtidas a partir dessas equações.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Inventário de emissões de GEE

As emissões totais de GEE para a atmosfera contabilizadas nos anos de 2009 a 2014 aumentaram em torno de 80%. Após análise das informações coletadas (Figura 5), verificou-se que as emissões do setor de energia, bem como do setor de resíduos aumentaram de forma expressiva, fator determinante para quase duplicar as emissões totais do município num período de seis anos. Isso demonstra que a cidade de Maceió não está conseguindo contribuir para combater as causas do aquecimento global.

**Figura 5 – Evolução das Emissões de CO<sub>2</sub>e**

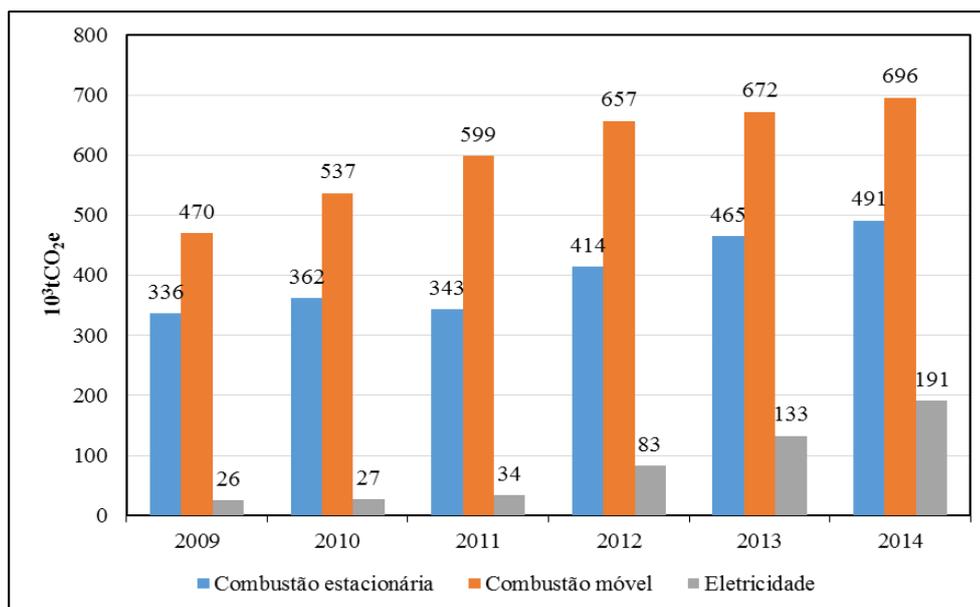


Fonte: Autor (2017)

Nesse contexto, uma análise mais profunda dessas emissões se fez necessária a fim de determinar quais as principais fontes de emissões de GEE do município. Entre 2009 e 2014 houve uma mudança na participação percentual das emissões totais de GEE. Em 2009, os setores de energia e resíduos participavam com 91% e 9% das emissões totais, respectivamente. No entanto, em 2014, essa proporção se alterou para 84% e 16%, respectivamente. Vários fatores podem explicar essa mudança como, por exemplo, o aumento na geração de resíduos sólidos, o aumento na produção de biogás proveniente do aterro sanitário, e o aumento dos sistemas individuais de tratamento de efluentes líquidos (fossas sépticas).

A partir da análise das emissões do setor de energia, constatou-se que a combustão de fontes móvel é responsável pela maior parte dos gases que vão para a atmosfera, seguida das emissões provenientes das fontes de combustão estacionária, conforme ilustrado na Figura 6.

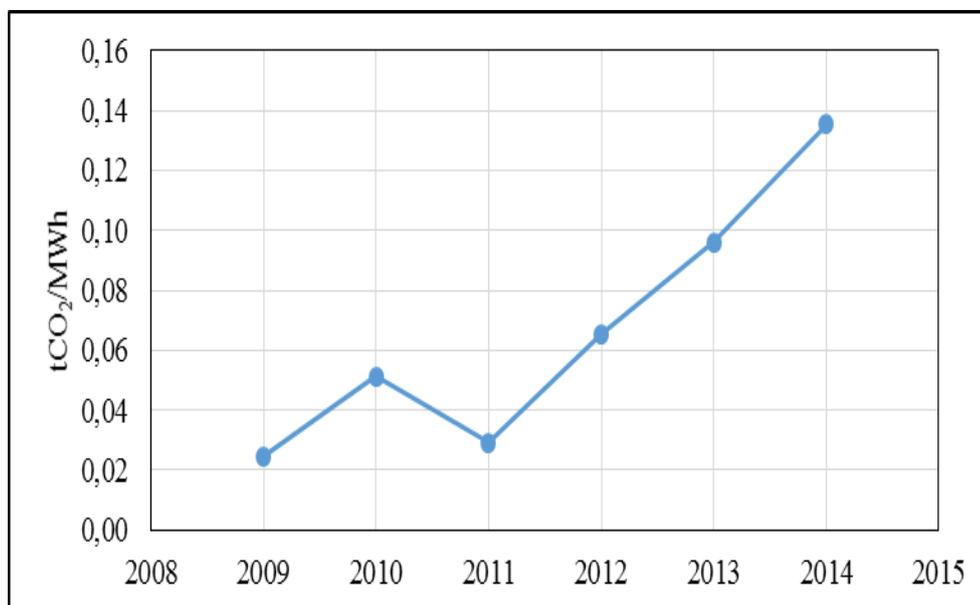
**Figura 6 – Emissões de CO<sub>2</sub>e do setor de energia**



Fonte: Autor (2017)

As emissões no período avaliado das fontes de combustão estacionária, móvel e eletricidade, aumentaram respectivamente, 46%, 48% e 634%. Alguns fatores podem explicar o crescimento expressivo das emissões no setor de energia. No caso das fontes móveis, o crescimento da população junto com o aumento da frota de veículo e a falta de políticas públicas que incentivem a utilização de combustíveis alternativos como o etanol, ou menos poluentes como o GNV, explicam esse crescimento. Para combustão estacionária, o crescimento da atividade industrial, em virtude do crescimento da economia no período, assim como a não utilização de combustíveis alternativos, foram determinantes para esse aumento. No caso da energia elétrica, o aumento se deve a alta do consumo, acompanhada do aumento do fator de emissão devido à utilização de usinas termelétricas nos períodos de seca. A Figura 7 mostra a evolução desse fator, o qual teve um aumento em torno de 600%.

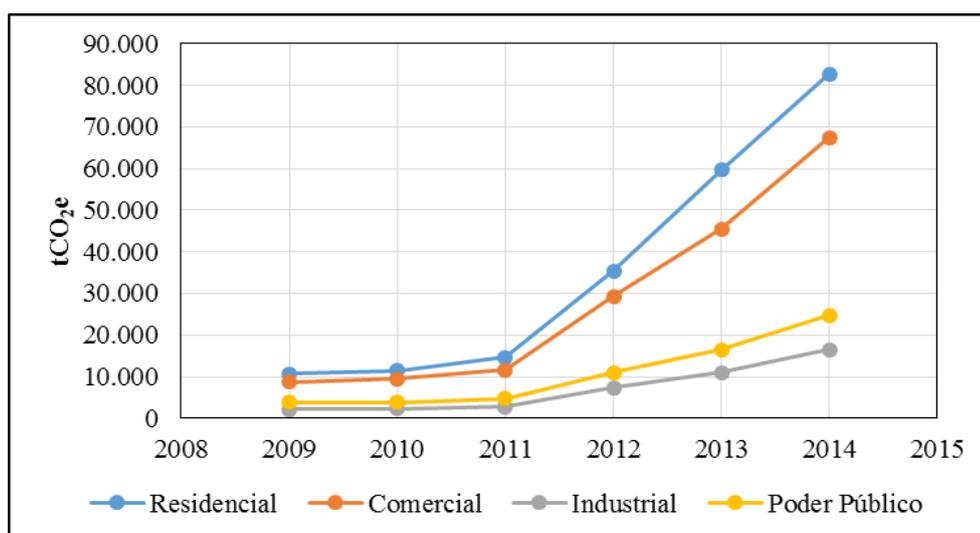
**Figura 7 – Evolução do fator de emissão de CO<sub>2</sub> para eletricidade**



Fonte: Autor (2017)

As informações levantadas sobre a parcela de emissões de GEE de cada setor consumidor de energia elétrica revelaram que o setor residencial foi, durante todo período inventariado, o principal emissor desses gases, seguido do setor comercial. A Figura 8 mostra a evolução das emissões de cada setor.

**Figura 8 – Participação dos setores nas emissões de CO<sub>2</sub>e por consumo de eletricidade**



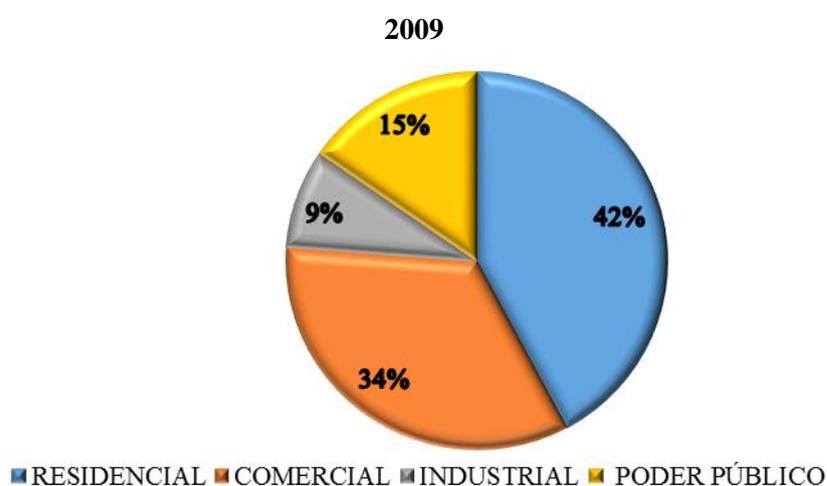
Fonte: Autor (2017)

A partir da análise das informações apresentadas na Figura 8, pode-se verificar que o setor industrial tem a menor parcela de emissões relacionadas ao consumo de eletricidade,

inclusive, menor até mesmo que o setor público em todos os anos inventariados. Isso está relacionado à matriz energética utilizada pela indústria local, que se utiliza predominantemente de gás natural como fonte de energia principal.

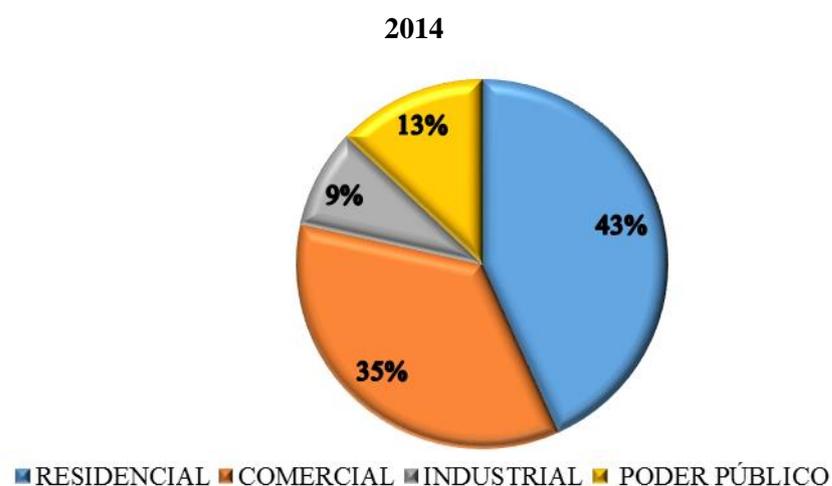
As Figuras 9 e 10 mostram que as proporções das emissões por setor se mantiveram praticamente estáveis, sendo os setores residencial e comercial juntos os responsáveis por mais de 75% das emissões.

**Figura 8 – Percentual de participação dos setores nas emissões por consumo de eletricidade em**



Fonte: Autor (2017)

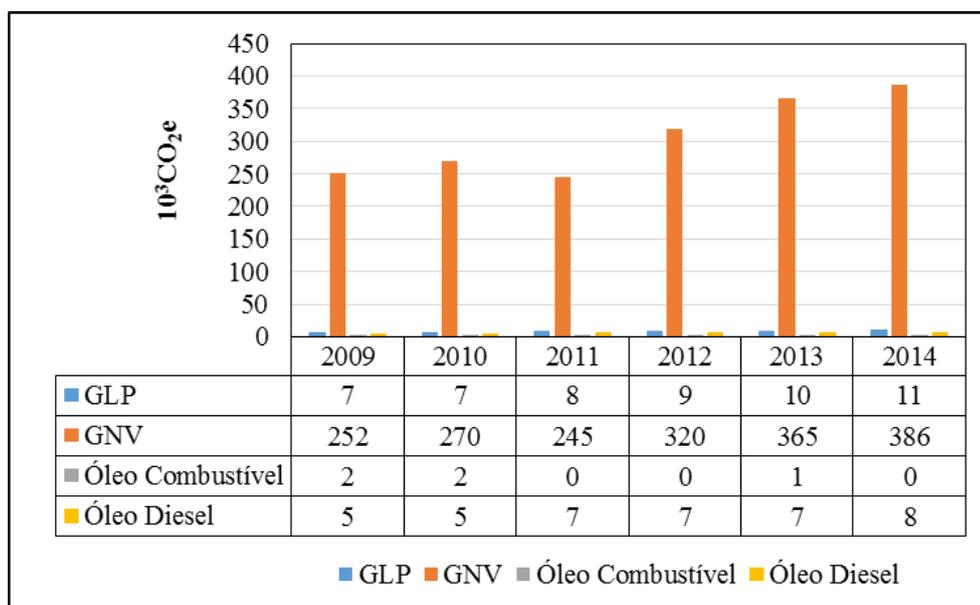
**Figura 9 – Percentual de participação dos setores nas emissões por consumo de eletricidade em**



Fonte: Autor (2017)

Outra questão relevante a ser avaliada na interpretação dos resultados do inventário é a relação dos combustíveis empregados nas fontes de combustão. No caso de fontes de combustão estacionária, a Figura 11 mostra que o gás natural é o principal responsável pelas emissões de GEE desse seguimento, no município, uma vez que o GN é o principal combustível utilizado, sobretudo pelo setor industrial, em fontes de combustão estacionária.

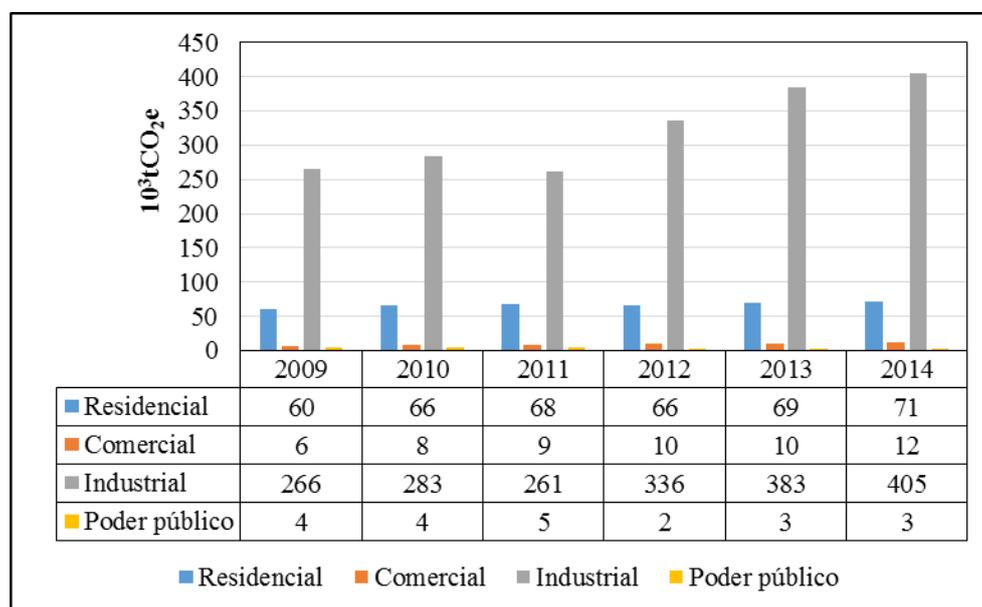
**Figura 10 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão estacionária**



Fonte: Autor (2017)

No entanto, esse combustível é considerado menos poluente em comparação com outros que foram utilizados, em menor quantidade, no período inventariado. Portanto, em relação às fontes estacionárias, o município vem inserindo em sua matriz energética um combustível menos poluente, considerando-se que a região dispõe de reservas expressivas de gás natural.

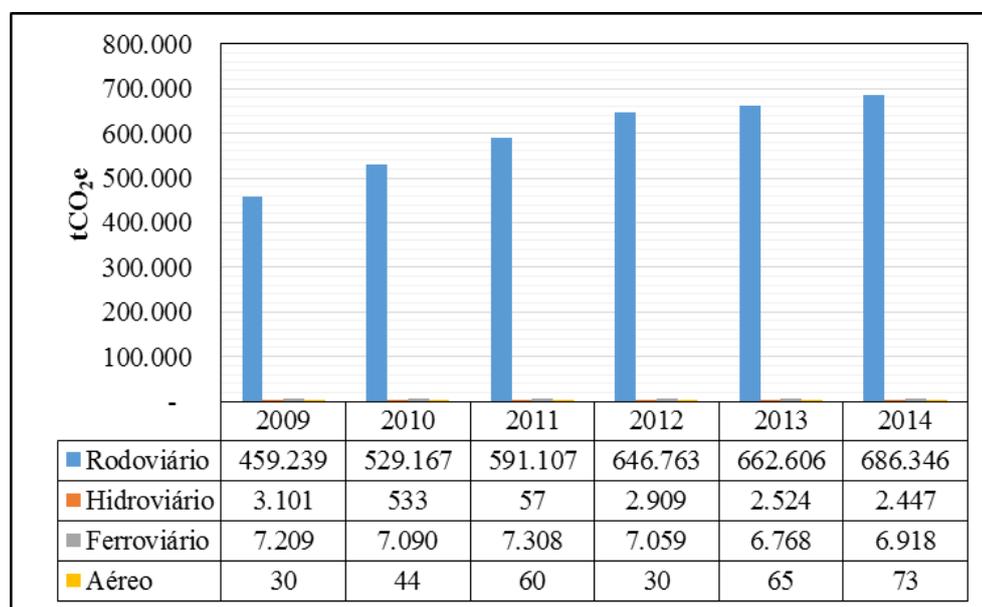
Para uma análise mais detalhada das emissões de GEE por fontes de combustão estacionária avaliou-se também os setores consumidores dos combustíveis. A Figura 12 mostra a contribuição de cada setor nas emissões de GEE no período inventariado.

**Figura 11 - - Participação dos setores nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão estacionária**

Fonte: Autor (2017)

O setor industrial foi considerado o maior poluidor, fato que já era esperado. Suas emissões, nesse período, aumentaram em torno de 52%. No mesmo patamar, o comércio teve um aumento de 50%, enquanto o setor residencial, apesar de ocupar a segunda posição em emissões de GEE, teve um aumento menor que os dois últimos, em torno de 18%. O setor público oscilou nesse período, porém em 2014 registrou uma emissão menor que em 2009.

As emissões por fontes de combustão móvel são caracterizadas pelo setor de transporte e sofre forte influência do tipo de transporte e do combustível utilizado. Sendo assim, a análise do tipo de transporte, bem como dos combustíveis empregados é imprescindível para uma boa compreensão do processo de emissão de GEE desse tipo de fonte. A Figura 13 apresenta as contribuições de cada tipo de transporte nas emissões de CO<sub>2</sub>e.

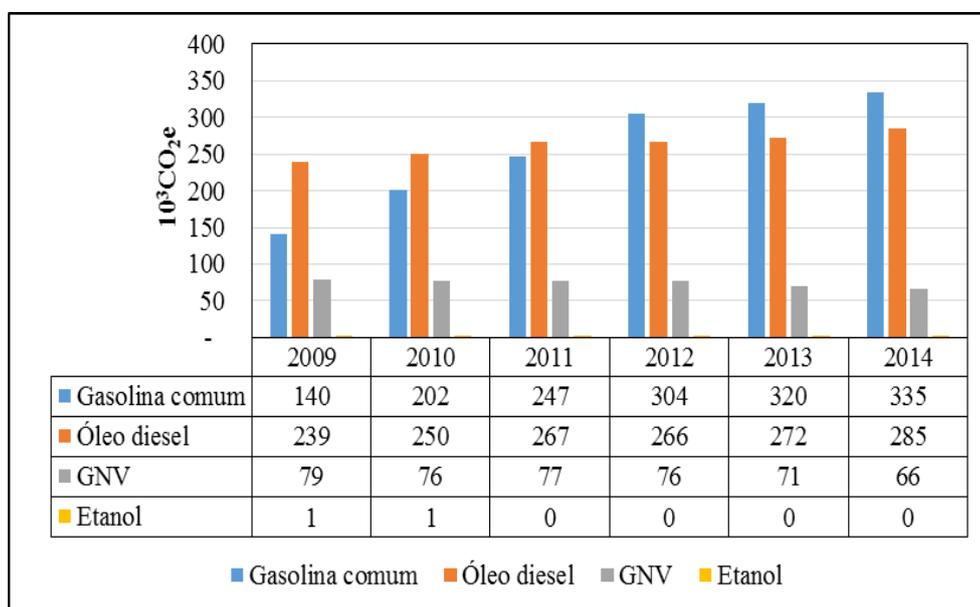
**Figura 12– Contribuição de cada tipo de transporte nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão móvel**

Fonte: Autor (2017)

Por meio da análise da Figura 13 constatou-se que o transporte rodoviário contribui com a maior parcela de emissões de GEE e que o crescimento de suas emissões no período inventariado chegou a 49,5%. Os outros tipos de transporte tiveram uma participação pouco expressiva e suas emissões se mantiveram praticamente estáveis, com exceção do transporte aéreo, que teve um aumento de 140%. Cabe lembrar que no caso do transporte ferroviário a cidade dispõe de uma linha de veículo leve sobre trilhos (VLT), movido a óleo diesel e que esse sistema transporta, segundo a Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) transporta, em média, 11 mil pessoas por dia (CBTU, 2016). Esse tipo de transporte emitiu aproximadamente 1% das emissões anuais de GEE do setor de transporte. Por outro lado, o transporte hidroviário contribuiu com menos de 0,5% das emissões de GEE. Esses resultados demonstram que o município faz uso excessivo de transporte rodoviário, sobretudo de veículos particulares, o que demonstra a necessidade de se investir em transporte coletivo, sobretudo ferroviário.

A fim de se ter uma melhor compreensão dos fatores que levaram a um aumento expressivo das emissões móveis, principalmente por conta da utilização do transporte rodoviário, a Figura 14 apresenta a participação dos combustíveis nas emissões de GEE por combustão de fontes móveis.

**Figura 13 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão móvel**

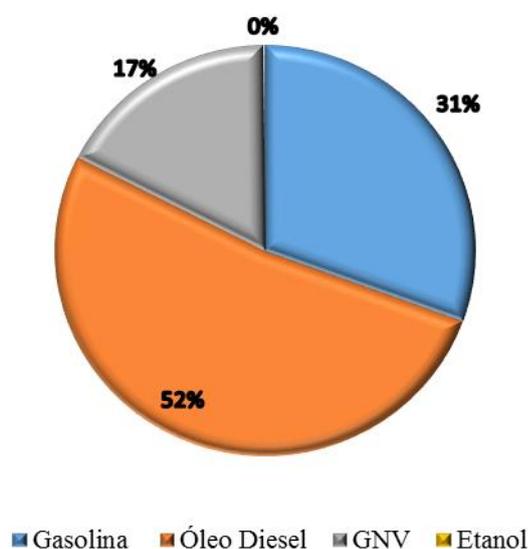


Fonte: Autor (2017)

As emissões de GEE derivadas desses dois combustíveis: gasolina e óleo diesel, que são mais poluidores cresceram 139% e 19% respectivamente, enquanto que as emissões provenientes da utilização do GNV tiveram queda de 16% e as de etanol tiveram emissões pouco expressivas.

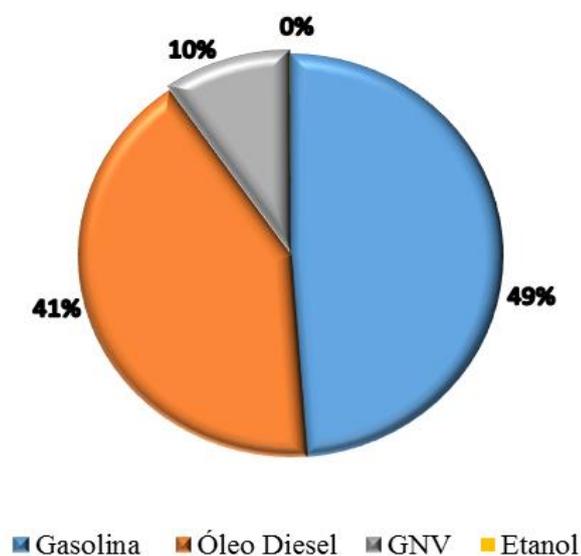
As Figuras 15 e 16 mostram a participação percentual dos combustíveis nas emissões de GEE nos anos de 2009 e 2014.

**Figura 14 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão móvel em 2009**



Fonte: Autor (2017)

**Figura 15 – Participação dos combustíveis nas emissões de CO<sub>2</sub>e por combustão móvel em 2014**

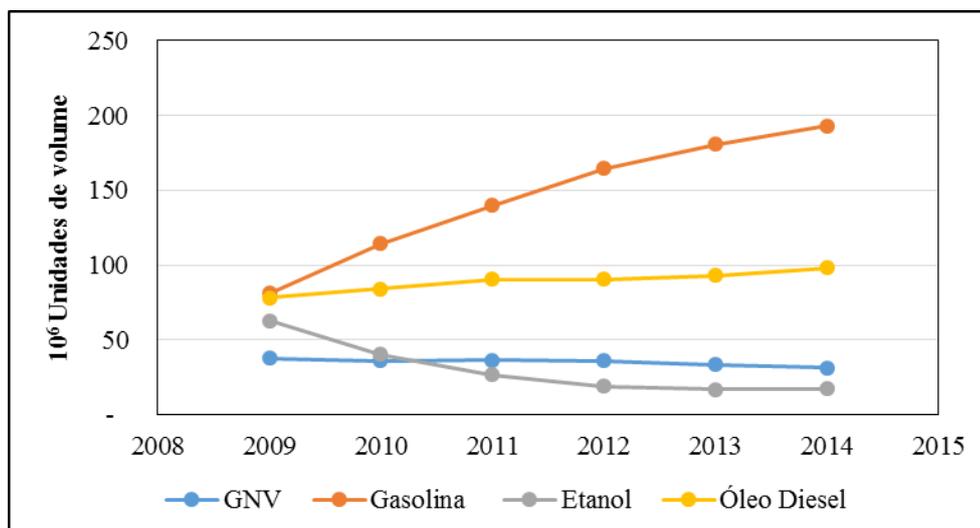


Fonte: Autor (2017)

Verifica-se que a gasolina ultrapassou o óleo diesel em emissões de GEE no período inventariado e os dois juntos respondem por cerca de 90% das emissões por combustão de fontes móveis.

Esses resultados são consequência da redução da utilização de combustíveis alternativos como o etanol, e menos poluentes como o GNV, e aumento do consumo de combustíveis mais poluentes, como a gasolina automotiva e o óleo diesel, conforme ilustrado na Figura 17.

**Figura 16 – Evolução do consumo de combustíveis no setor rodoviário**

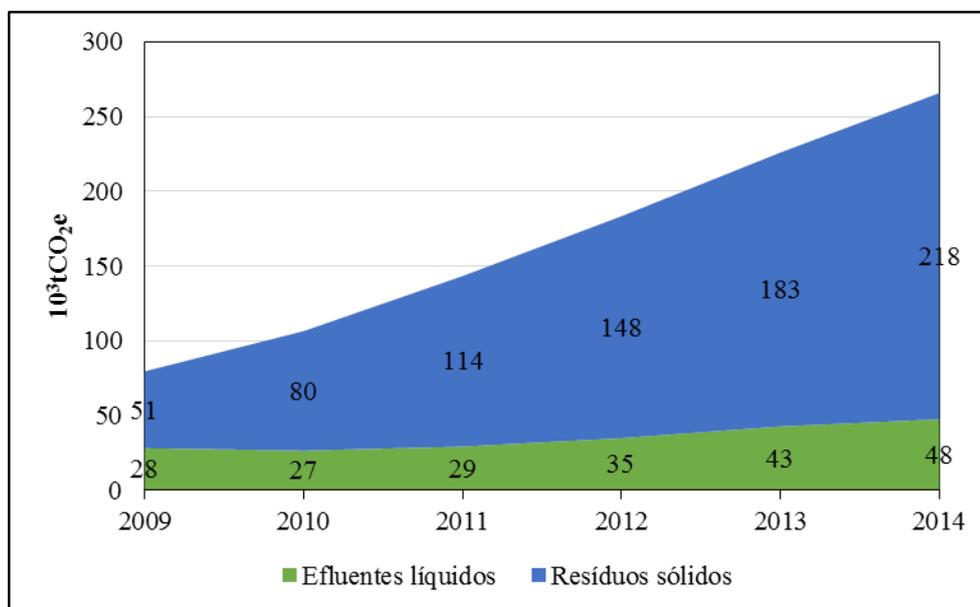


Fonte: Autor (2017)

As informações analisadas na figura 17 evidenciam um aumento expressivo do consumo de gasolina em substituição ao etanol e ao GNV, que tiveram reduções expressivas no período. O consumo de gasolina, por exemplo, aumentou 138% enquanto que etanol e GNV tiveram uma redução de 72% e 19% respectivamente. Isso está relacionado a baixa competitividade desses produtos no mercado, além da falta de incentivo do governo local. O município de Maceió possui uma grande rede de postos de combustíveis que ofertam esses produtos, mas a falta de incentivo e estímulo ao consumidor acaba tornando esses combustíveis pouco competitivos.

Num horizonte de tempo de seis anos as emissões de CO<sub>2</sub>e provenientes do setor de resíduos aumentaram substancialmente, em torno de 325%. Entretanto esse crescimento não acompanha o da massa de resíduos sólidos coletados no período (64%). Isso se justifica pelo fato de que nos cálculos foi incluso o passivo de emissões de GEE de anos anteriores, ou seja, boa parte das emissões são oriundas da disposição desses resíduos em anos anteriores. A Figura 18 mostra a evolução das emissões de CO<sub>2</sub>e oriundas da disposição de resíduos sólidos e tratamento de efluentes.

**Figura 17 – Emissões de CO<sub>2</sub>e do setor de resíduos**



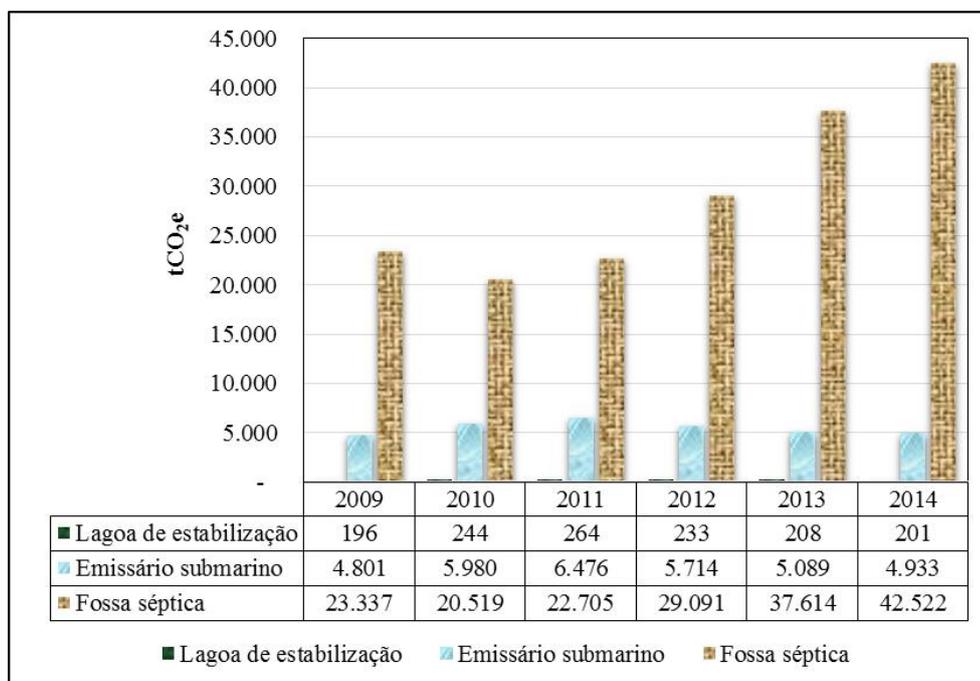
Fonte: Autor (2017)

A análise visual desse gráfico mostra que as contribuições dos resíduos sólidos para emissões de GEE são maiores que as dos efluentes líquidos. Essa contribuição elevada dos RSU também pode ser explicada pelo fato das emissões de metano provenientes do aterro sanitário

do município não serem utilizados para aproveitamento energético, bem como pelo fato de não se ter informações sobre o percentual de queima desse gás, medida essa que reduziria substancialmente as emissões. Por outro lado, o município deu um passo importante ao desativar o antigo lixão de Maceió e iniciar as operações no aterro sanitário em 2010, mas é necessário que se dê uma destinação útil ao biogás gerado no aterro como, por exemplo, a geração de energia e que se implementem políticas públicas a fim que incentivem a reciclagem de resíduos e a redução do desperdício de alimentos. Isso tudo contribuiria para uma redução significativa para redução das emissões de GEE provenientes de RSU.

As emissões de CO<sub>2</sub>e resultantes dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos, da sua disposição no solo ou lançamento em corpos hídricos, variam de acordo com as técnicas empregadas. Diante disso, é indispensável a análise das emissões de CO<sub>2</sub>e decorrentes de cada sistema de tratamento. A maior parte dos gases emitidos pelo sistema de esgotamento sanitário do município provém de sistemas de tratamento individuais, as fossas sépticas. A figura 19 ilustra bem essa situação, que decorre principalmente da falta de rede coletora de esgoto na cidade.

**Figura 18 – Contribuição de cada tipo de tratamento de efluente nas emissões de CO<sub>2</sub>e**

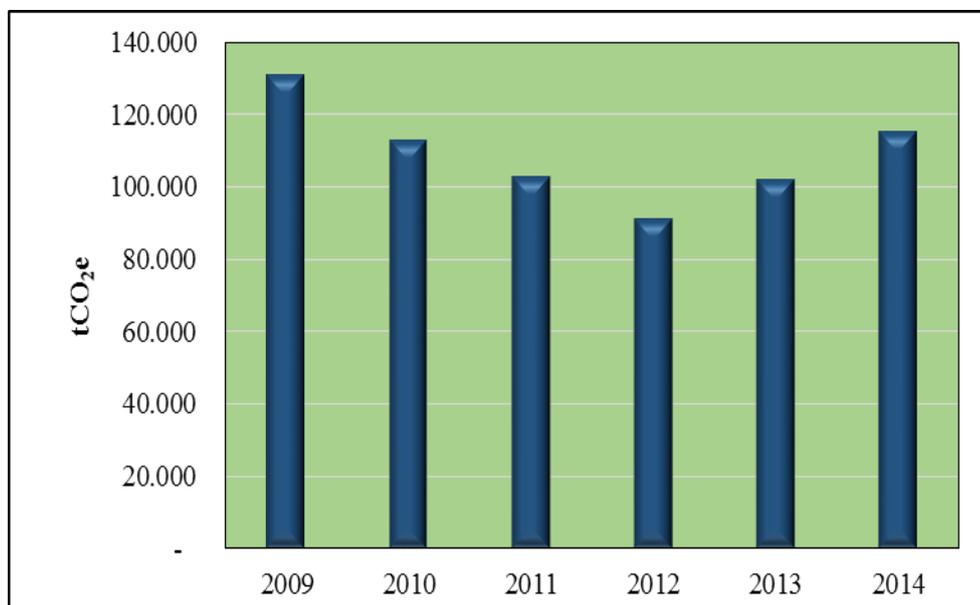


Fonte: Autor (2017)

A Figura 19 também mostra que as emissões de GEE oriundas de outros sistemas de tratamento utilizados se mantiveram estáveis no período inventariado com uma leve oscilação em 2011. A maior parte do esgoto, que é coletado no município é encaminhada para o emissário submarino e tem como destinação final o mar, que através do processo de autodepuração trata boa parte do efluente líquido de Maceió. Uma pequena parte desse efluente, em torno de 2%, é tratado em lagoas de estabilização e a destinação final é o lançamento em corpo hídrico. Esses sistemas de tratamento são menos poluentes do ponto de vista das emissões de GEE, pois tem um fator de correção de metano menor. Por outro lado, de acordo com Agência Alagoas (2016) estão sendo investidos mais de R\$ 385 milhões na ampliação da rede coletora de esgoto de Maceió, que deve dobrar sua capacidade e chegar a 70% de cobertura populacional em 2018. Isso permitirá uma redução das emissões de GEE significativa.

As emissões de CO<sub>2</sub> de origem biogênica foram contabilizadas de forma separada, tendo em vista que as mesmas são oriundas da queima de combustíveis provenientes de biomassa renovável. A figura 20 mostra a evolução dessas emissões ao longo do período inventariado.

**Figura 19 – Evolução das emissões de CO<sub>2</sub>e de origem biogênica**



Fonte: Autor (2017)

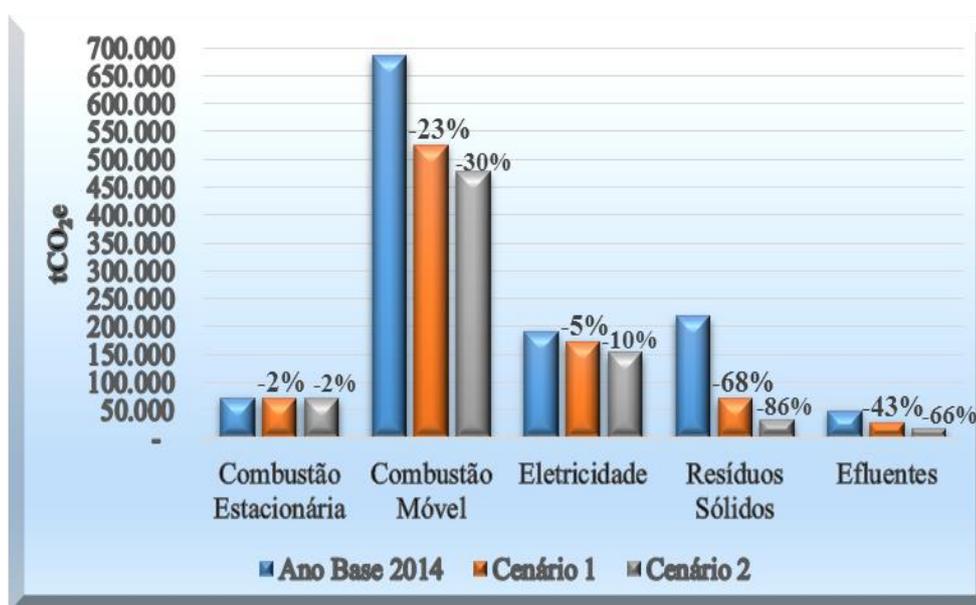
Percebe-se, a partir da análise da figura 20, que houve uma pequena redução nas emissões de CO<sub>2</sub> de origem biogênica. Esse fato está ligado a uma grande redução no consumo do etanol, que é a principal fonte de emissões de CO<sub>2</sub>. O aumento da concentração de biodiesel no diesel que passou de 3,5%, em 2009, para 5,7%, em 2014, evitou que a redução

fosse maior, pois esse combustível também é responsável por emissões biogênicas de CO<sub>2</sub>. Cabe salientar que as emissões de CO<sub>2</sub> biogênico são consideradas neutras, pois não contribuem para o agravamento do efeito estufa, já que o carbono presente nesses combustíveis teve origem na biosfera.

#### 4.2 Neutralização de carbono e medidas de mitigação

Após inventariar todas as emissões de GEE foram simulados dois cenários a partir de propostas de mitigação e neutralização de gases. A figura 21 apresenta os resultados das emissões por setor após a simulação dos cenários.

**Figura 20 - Emissões de GEE e reduções percentuais por setor após a simulação de cenários**



Fonte: Autor (2017)

Analisando as informações apresentadas na figura 21 é possível constatar que os setores de resíduos sólidos e efluentes obtiveram as maiores reduções percentuais em suas emissões de GEE, entretanto as emissões por combustão de fontes móveis apresentaram as maiores reduções absolutas. As reduções expressivas nos setores de resíduos e efluentes, são consequência do controle das emissões de metano, resultante da decomposição da matéria orgânica e dependem, especialmente, da tecnologia empregada nesse processo. Por outro lado, embora os setores de eletricidade e combustão estacionária tenham apresentado reduções menores que os outros citados anteriormente, eles são fundamentais para o controle das emissões e alcance das metas

de redução de GEE, nesse caso, para haver uma redução mais expressiva é necessária uma mudança de hábito dos consumidores, a fim de economizar energia.

A Tabela 3 apresenta os cenários de neutralização de CO<sub>2</sub> a partir do reflorestamento de áreas degradadas com espécies nativas da Mata Atlântica, bioma predominante no município.

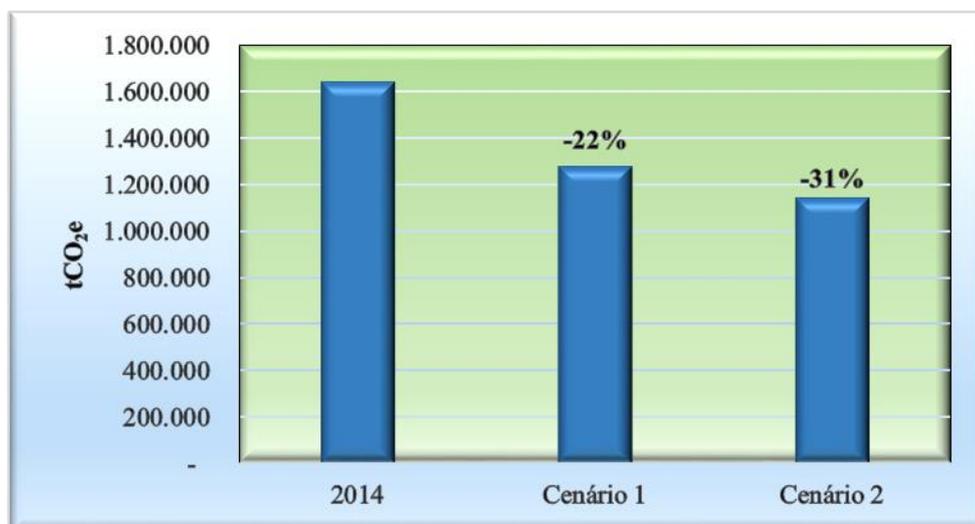
**Quadro 3 – Redução de emissões de CO<sub>2</sub> a partir do reflorestamento de áreas degradadas**

Neutralização através do reflorestamento				
Cenário	Área reflorestada (ha)	Nº de árvores	Neutralização tCO <sub>2</sub> e	% Neutralizado
1	2.550	4.250.850	27.275,00	1,66%
2	5.100	8.501.700	54.550,00	3,32%

Fonte: Autor (2017)

A partir dos resultados da Tabela 3 verifica-se que é possível neutralizar uma quantidade significativa de CO<sub>2</sub>, através do reflorestamento, sendo necessário para isso uma área equivalente a 31 e 62 parques municipais, cenários 1 e 2, respectivamente. Cabe lembrar que o Parque Municipal de Maceió, possui uma área de 82 ha e está localizado em uma reserva de mata atlântica. Ao comparar esses resultados (Tabela 3) com os de outras medidas de mitigação (Figura 21) propostas nesse estudo percebe-se que a melhor forma de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera é evitando sua emissão, através do investimento em energia limpa e uma gestão adequada de resíduos sólidos e efluentes líquidos que priorize tecnologias menos poluentes.

A figura 22 mostra o resultado global das intervenções propostas para redução das emissões.

**Figura 21 - Emissões de GEE e reduções percentuais por setor após a simulação de cenários**

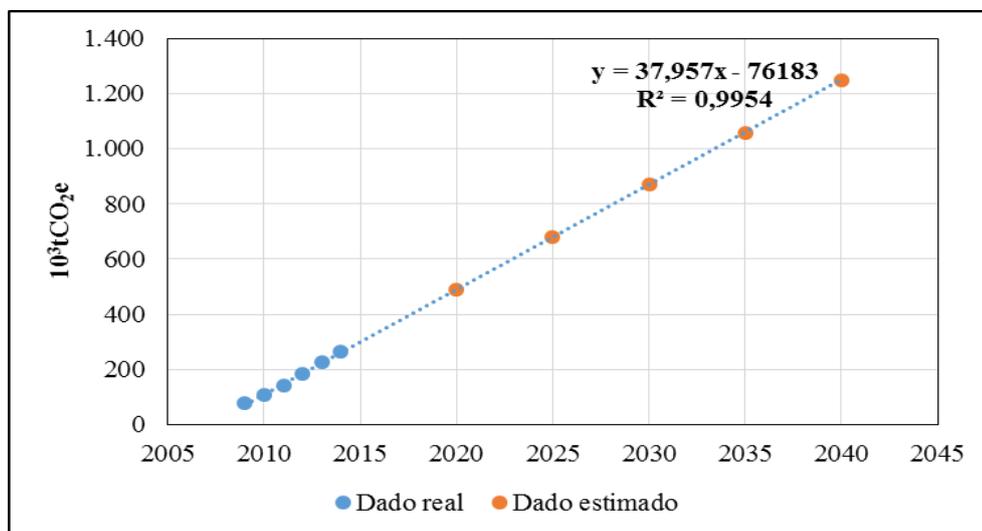
Fonte: Autor (2017)

Os resultados apresentados na figura 22 ilustra dois cenários propostos, onde percebe-se que é possível se ter uma redução significativa de 22% das emissões para o cenário 1 e de 31% para o cenário 2 adotando-se as medidas propostas por esse estudo. Entretanto, para alcançar a meta de redução de 37% das emissões de GEE relativo ao ano de 2014, seria necessário a implementação de outras medidas que incentivassem a população a reduzir suas emissões, como por exemplo: incentivar a utilização de transporte coletivo, bicicletas, reduzir o desperdício de forma geral, apoiar a reciclagem, plantar árvores, entre outras. Não foi possível quantificar o impacto que essas medidas teriam na redução das emissões, porém acredita-se que podem contribuir de forma significativa para o alcance da meta. Dessa forma, para que isso se concretize as medidas devem ser implementadas de forma integral, além disso é necessário o comprometimento de todos.

### 4.3 Cenários tendenciais de emissões futuras

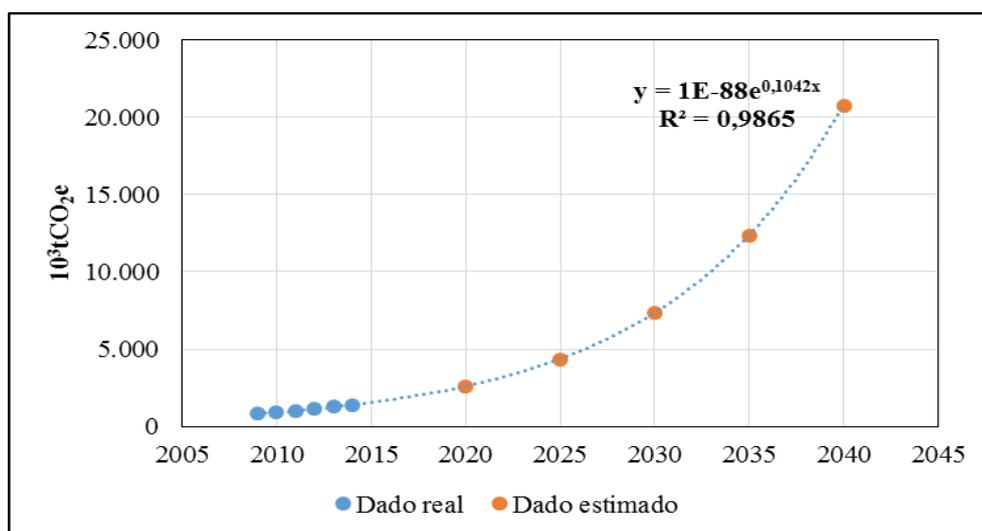
Foram analisados cenários tendenciais de projeções de emissões futuras de CO<sub>2</sub>e dos setores de resíduos e energia, e as emissões totais do município. Os resultados dessa análise estão ilustrados nas Figuras 23, 24 e 25.

**Figura 22 - Projeção das emissões do setor de resíduos**



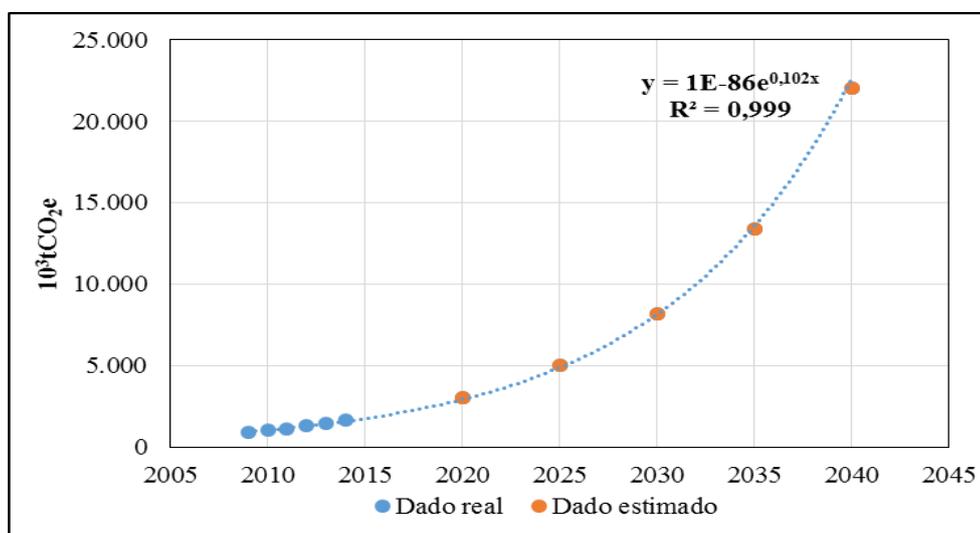
Fonte: Autor (2017)

**Figura 23 - Projeção das emissões do setor de energia**



Fonte: Autor (2017)

**Figura 24 - Projeção das emissões totais**



Fonte: Autor (2017)

A partir da análise tendencial das emissões do setor de resíduos verificou-se que o crescimento de suas emissões está ocorrendo de forma linear e que se não forem implantadas medidas de mitigação para frear esse aumento as emissões devem atingir 490.140 tCO<sub>2</sub>e em 2020, 869.710 tCO<sub>2</sub>e em 2030 e 1249.280 tCO<sub>2</sub>e em 2040. Sendo assim é indispensável o investimento nesse setor a fim de impedir que esses patamares de emissões sejam atingidos.

As projeções dos cenários de emissões para o setor de energia são preocupantes, tendo em vista que as emissões estão crescendo de forma exponencial. Diante disso, é imprescindível a implementação de políticas públicas que incentivem a utilização de energia limpa, além da conscientização da população para o uso racional da energia disponível. Nesse contexto, caso não se consiga promover ações capazes de reduzir, ou pelo menos, limitar o crescimento dessas emissões, estima-se que serão emitidos pelo setor de energia 2.582.2496 tCO<sub>2</sub>e em 2020, 7.321.070 tCO<sub>2</sub>e em 2030 e 20.754.363 tCO<sub>2</sub>e.

As projeções das emissões totais do município de Maceió, conforme foi ilustrada na Figura 24, apresentam uma tendência de crescimento exponencial ao longo do tempo e é resultado da superposição dos resultados das projeções dos setores de resíduos e energia. Sendo assim, a previsão é que as emissões totais cheguem a 3.072.636 tCO<sub>2</sub>e em 2020, 8.190.780 tCO<sub>2</sub>e em 2030 e 22.003.644 tCO<sub>2</sub>e em 2040.

#### 4.4 Comparação do resultado com outros inventários

A maior parte das capitais brasileiras ainda não elaboraram inventário de emissões de GEE. Os municípios relacionados na Tabela 3 já dispõem dessa ferramenta, sendo possível, dessa forma, comparar suas emissões.

**Quadro 4 – Comparação das emissões de outros municípios**

<b>Cidade</b>	<b>Emissões de GEE (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>População</b>	<b>PIB (R\$ Mil)</b>	<b>Emissões per capita (tCO<sub>2</sub>e/hab)</b>	<b>Emissões por PIB (kgCO<sub>2</sub>e/R\$)</b>	<b>Ano base</b>
Maceió	1.644.000	1.005.319	18.302.279	1,64	0,09	2014
Fortaleza	3.827.521	2.500.194	45.775.429	1,53	0,08	2012
Recife	3.120.426	1.537.704	42.890.606	2,03	0,07	2012
Rio de Janeiro	11.351.700	5.974.578	123.338.521	1,90	0,09	2005
Belo Horizonte	3.754.273	2.375.444	59.203.074	1,58	0,06	2010
São Paulo	15.115.000	11.000.000	389.816.220	1,37	0,04	2009

Fonte: Autor (2017)

Analisando as informações da Tabela 4 verifica-se que as emissões per capita do município de Maceió é a terceira maior dentre os seis inventários analisados, apesar de o município ter o menor PIB comparado aos outros municípios. Essa constatação também é confirmada quando se avalia as emissões de GEE por PIB, em que o município detém a maiores emissões empatando com a cidade do Rio de Janeiro. Cabe lembrar que os inventários das cidades mencionadas na Tabela 4 foram realizados em anos diferentes e utilizando metodologias diferentes. Sendo assim, não é possível fazer uma análise conclusiva a respeito da relação entre população, PIB e emissões de GEE, para o caso relatado.

Os inventários das cidades de Fortaleza (2014), ano base 2012 e do Recife (2013), ano base 2012, também fazem projeções acerca de cenários tendenciais de emissões. A Tabela 5 apresenta uma comparação dos cenários de projeções de emissões dos municípios do Recife e de Fortaleza com os resultados de Maceió.

**Quadro 5 – Projeção das emissões de GEE**

<b>Emissões de GEE (tCO<sub>2</sub>e)</b>			
<b>Cidade</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Maceió	2.582.496	4.348.176	8.190.780
Fortaleza	5.100.000	6.300.000	7.500.000
Recife	3.120.426	4.662.930	8.375.333

Fonte: Autor (2017)

Comparando-se as previsões para as três cidades verifica-se que o crescimento das emissões do município de Maceió ocorre num ritmo muito mais rápida que nas outras. Isso pode estar relacionado ao fato dessas projeções terem sido calculadas com métodos diferentes. Nesses trabalhos as emissões foram estimadas a partir de variáveis como a taxa de crescimento da população, do PIB e da frota de veículos (RECIFE, 2013; FORTALEZA, 2014), enquanto que as emissões futuras de Maceió foram estimadas a partir da linha de tendência do gráfico das emissões totais (período de 2009 a 2014). Apesar disso, ambos os resultados conservam a mesma ordem de grandeza e podem ser utilizados no planejamento de ações voltadas a redução das emissões de GEE.

## 6 CONCLUSÕES

As estimativas mostraram que as emissões de GEE de Maceió cresceram 80% num período que vai de 2009 a 2014 alcançando, no último ano de inventário, 1.644.346 tCO<sub>2</sub>e, fato preocupante, pois demonstra que o município não está alinhado com a política sobre mudanças climáticas do país, a qual vem conseguindo reduzir suas emissões nos últimos anos.

Ficou claro que o setor de transporte, em especial o transporte rodoviário, contribuiu com a maior parcela de emissões ao longo dos anos inventariados, em consequência do aumento da utilização de combustíveis fósseis, mais especificamente o óleo diesel e a gasolina, reflexo do aumento da frota de veículos particulares. Outrossim, o setor industrial vem na sequência com números elevados de emissões por conta da utilização de fontes de combustão estacionária, sendo o gás natural o principal combustível responsável pelas emissões, embora seja considerado menos poluente que o óleo combustível e possa ser substituído por outras fontes alternativas, como a biomassa. Por outro lado, os consumidores residenciais de energia elétrica lideraram a maior parte das emissões nesse setor, seguidos dos comerciais o que demonstra a necessidade de criar mecanismos que incentivem a economia de energia elétrica. As emissões do setor de resíduos também tiveram aumento expressivo ao longo dos anos. Esse setor pode ser considerado estratégico para redução de emissões, tendo em vista que, embora suas emissões estejam diretamente ligadas à quantidade de resíduos gerados, as tecnologias empregadas no gerenciamento dos resíduos podem evitar a emissão de quantidades expressivas de GEE, além de contribuir para geração de energia. Sendo assim, faz-se necessário uma política eficiente de gestão de resíduos focada na redução das emissões desses gases.

O conjunto de medidas propostas nesse estudo mostraram que é possível reduzir a princípio entre 22% e 31% as emissões de GEE, conforme simulações dos cenários 1 e 2, entretanto existem outras medidas que podem ser implementadas e, conseqüentemente, produzir resultados ainda mais expressivos.

As projeções futuras mostraram que, caso nada seja feito, as emissões de GEE totais do município de Maceió tendem a alcançar 3.072.636 tCO<sub>2</sub>e em 2020, 8.190.780 tCO<sub>2</sub>e em 2030 e 22.003.644 tCO<sub>2</sub>e em 2040.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A elaboração dessa série de inventários de GEE para a cidade de Maceió permitiu um levantamento inédito de informações sobre o consumo de energia e a disposição dos resíduos municipais, visto que esses dados eram indispensáveis ao desenvolvimento de estimativas de emissões consistentes com a realidade. Nessa perspectiva, essa pesquisa forneceu um panorama geral, assim como também detalhou as emissões de gases de efeito estufa da cidade. Dessa forma, o município de Maceió entra para o rol de cidades que conseguiram contabilizar suas emissões de GEE, dispondo de um instrumento importante para elaboração de políticas públicas de combate as causas do aquecimento global.

Cabe se salientar que os resultados obtidos conseguiram identificar as principais fontes e os principais responsáveis pelas emissões dentro da fronteira geopolítica do município, fundamental para elaboração de algumas propostas de mitigação e neutralização de GEE direcionadas a combater tais emissões.

Diante disso, esse estudo corrobora para a ampliação das informações sobre as emissões de GEE do município de Maceió e poderá ser utilizado em análises futuras para o planejamento de ações a nível local que visem combater as causas do aquecimento global e, conseqüentemente, as mudanças climáticas.

Essa pesquisa não esgota todo conteúdo acerca do tema, embora as informações aqui contidas contemplem as minhas expectativas diante do que propus a realizar. Aos pesquisadores que demonstrem maior interesse e desejarem colaborar para esse campo de estudo seguem algumas recomendações para futuras pesquisas:

- ✓ Elaborar inventários de emissões de outros setores: Agricultura; Floresta e outros usos da terra; Processos industriais e uso do produto;
- ✓ Analisar a incerteza das estimativas das emissões de GEE;
- ✓ Avaliar outras estratégias de mitigação e neutralização não contempladas nesse inventário a fim de complementar o estudo;
- ✓ Avaliar as os impactos do aquecimento global a nível local;
- ✓ Desenvolver plano de gestão de gases de efeito estufa para o município de Maceió.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ISO 14064 – Gases do Efeito Estufa – Parte 1. Rio de Janeiro, 2007.

ABILUX. **Abilux aponta medidas para reduzir o consumo de energia.** (2015). Disponível em <[http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque\\_2015-02-12.pdf](http://www.abilux.com.br/portal/pdf/destaques/destaque_2015-02-12.pdf)> Acesso em 15 dez. 2016.

Obras devem aumentar esgotamento sanitário para 70% em Maceió, **Agência Alagoas.** 23 nov. 2016. Disponível em: < <http://www.agenciaalagoas.al.gov.br/noticia/item/11470-obras-devem-aumentar-esgotamento-sanitario-para-70-em-maceio>>. Acesso em: 02 jan 2017.

ALMEIDA, R. D. **Diretrizes para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa em municípios de pequeno e médio porte.** 2011. 196 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Positivo, Curitiba – PR, 2011.

ALMER, C.; WINKLER, R. Analyzing the effectiveness of international environmental policies: The case of the Kyoto Protocol. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 82, p. 125-151, 2017.

AMARAL, A. C. Brasil chega ao término de conferência do clima com papel de destaque. 2016. **Folha de S. Paulo.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2016/11/1833591-brasil-e-china-chegam-ao-fim-da-cop-em-desacordo.shtml>> acesso em 19 jan. 2017.

AWUOR, C.; ORINDI, V. A.; OCHIENG ADWERA, A. Climate change and coastal cities: the case of Mombasa, Kenya. **Environment and Urbanization**, v. 20, n. 1, p. 231-242, 2008.

BARBOSA, R. R. N. et al. Produção e sequestro de carbono na atmosfera. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1783. (2013).

BAUR, A. H. et al. Estimating greenhouse gas emissions of European cities—modeling emissions with only one spatial and one socioeconomic variable. **Science of the Total Environment**, v. 520, p. 49-58, 2015.

BAYER, C. et al. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 86-94, 2016.

BEHEYDT, D. et al. N<sub>2</sub>O emission from conventional and minimum-tilled soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 6, p. 863-873, 2008.

BRASIL, C. I. M. C. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima–PNMC.** Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasília - DF. 2008. 129p.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima-PNMC e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2009. 29p.

Brasil. Resolução CONAMA nº. 003, de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial da União**. 1990.

BRYSSSE, Keynyn et al. (2013) **Climate change prediction: Erring on the side of least drama?** *Global Environmental Change*, v. 23, n. 1, p. 327-337.

CARLONI, F. B. B. A. **Gestão do inventário e do monitoramento de emissões de gases de efeito estufa em cidades: o caso do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado em Planejamento energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces). **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol – Uso do GHG Protocol Agricultural Guidance e contabilização de emissões resultantes das práticas agrícolas e de mudanças no uso do solo – versão 1.0**. 2016. Disponível em: < [http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol\\_nota-tecnica\\_agro\\_-v1.pdf](http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_agro_-v1.pdf)>. Acesso em 12 dez. 2016.

CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos. Sistemas. **CBTU**, 2016. Disponível em: <<http://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/sistemas-cbtu/maceio>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

CHEN, Y. C. Potential for energy recovery and greenhouse gas mitigation from municipal solid waste using a waste-to-material approach. **Waste management**, v. 58, p. 408-414, 2016.

COSENZA, A. et al. Biological nutrient removal and fouling phenomena in a University of Cape Town membrane bioreactor treating high nitrogen loads. **Journal of Environmental Engineering**, v. 139, n. 6, p. 773-780, 2012.

DA COSTA SILVA, R. W.; DE PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terrae Didatica**, v. 5, p. 42-49, 2009.

D'AVIGNON, A. et al. Emission inventory: An urban public policy instrument and benchmark. **Energy Policy**, v. 38, n. 9, p. 4838-4847, 2010.

DEFRIES, R. et al. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. **Environmental Science & Policy**, v. 10, n. 4, p. 385-394, 2007.

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

DUBEUX, C. B. S. **Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Municípios Brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento**. Tese (Doutorado em Planejamento energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

DULAL, H.; AKBAR, S. Greenhouse gas emission reduction options for cities: finding the “coincidence of agendas” between local priorities and climate change mitigation objectives. **Habitat International**, v. 38, p. 100-105, 2013.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. 2015. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. 2015. Disponível em < [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)> acesso 28 jan 2016.

FEARNSIDE, P. M. et al. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian “arc of deforestation”: the states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1968-1978, 2009.

FGV - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas. **Guia para elaboração de relatórios corporativos de emissões de gases de efeito estufa (GEE)**. Programa Brasileiro de GHG Protocol. 24p. 2009.

FLIZIKOWSKI, L. C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais**. Dissertação (Mestrado em Manejo florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FONG, W. K. et al. Global protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories. **World Resources Institute, C40 Cities Climate Leadership Group, ICLEI–Local Governments for Sustainability**, New York, 2014. Disponível em: <[http://ghgprotocol.org/files/ghgp/GHGP\\_GPC.pdf](http://ghgprotocol.org/files/ghgp/GHGP_GPC.pdf)>. Acesso em 25 April 2016.

GASPER, R.; BLOHM, A.; RUTH, M. Social and economic impacts of climate change on the urban environment. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 150-157, 2011.

GONZAGA, E. A. R. **Neutralização de carbono por meio de inventário das emissões de gases de efeito estufa a partir do planejamento institucional da UFU**. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2016.

HENRIQUES DA SILVA, D. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. **Rev. Bras. Polít. Int**, v. 52, n. 2, p. 155-172, 2009.

HRISTOV, A. N. et al. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 34, p. 10663-10668, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografias e Estatísticas. **População estimada da cidade de Maceió**. 2016. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/al/maceio/panorama> >. Acesso em: 07 abr. 2016.

ICLEI-Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás: aterros sanitários**. São Paulo, v. 1.2009.

IEA - International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**. 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. acesso em 01 fev 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006, v 1. Disponível em: < [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0\\_Overview/V0\\_1\\_Overview.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf)>. Acesso em: 04 jan. 2016.

JAHANGIR, M. M. et al. Quantification of in situ denitrification rates in groundwater below an arable and a grassland system. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 224, n. 9, p. 1693, 2013.

JIANG, X.; MIRA, D.; CLUFF, D. L. The combustion mitigation of methane as a non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas. **Progress in Energy and Combustion Science**, 2016.

KAMPSCHREUR, M. J. et al. Nitrous oxide emission during wastewater treatment. **Water research**, v. 43, n. 17, p. 4093-4103, 2009.

KENNEDY, C. et al. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. **Energy policy**, v. 38, n. 9, p. 4828-4837, 2010.

KENNEDY, C.; DEMOULLIN, S.; MOHAREB, E. Cities reducing their greenhouse gas emissions. **Energy policy**, v. 49, p. 774-777, 2012.

LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2016.

LAU, L. C.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Global warming mitigation and renewable energy policy development from the Kyoto Protocol to the Copenhagen Accord - A comment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 5280-5284, 2012.

LAW, Y. et al. N<sub>2</sub>O production rate of an enriched ammonia-oxidising bacteria culture exponentially correlates to its ammonia oxidation rate. **Water research**, v. 46, n. 10, p. 3409-3419, 2012.

LOZANO-GARCÍA, B.; MUÑOZ-ROJAS, M.; PARRAS-ALCÁNTARA, L. Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1249-1259, 2017.

LUGATO, E. et al. A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. **Global change biology**, v. 20, n. 1, p. 313-326, 2014.

MANNINA, G. et al. Greenhouse gases from sequential batch membrane bioreactors: A pilot plant case study. **Biochemical Engineering Journal**, v. 112, p. 114-122, 2016.

MARTINS, F.; SPERANZA, J. O desafio da Harmonização das Políticas Públicas de Mudanças Climáticas. **Fórum Clima - Ação Empresarial sobre Mudanças climáticas**. São Paulo, 2012.

MENDES, H. M. **Inventário de emissões de gases de efeitos estufa: noções básicas e contextualidade no Brasil.** Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Faculdade Impacta de Tecnologia – FIT, São Paulo, 2011.

MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2008.

MURRAY, J.; DEY, C. Carbon neutral-sense and sensibility. **Centre for Integrated Sustainability Analysis**, Sydney, Australia, 2007.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris.** (2017). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>> acesso em: 15 jan. 2017.

MORIARTY, P.; HONNERY, D. Future cities in a warming world. **Futures**, v. 66, p. 45-53, 2015.

NETTO, S. P. et al. Estimativa do potencial de neutralização de dióxido de carbono no programa VIVAT Neutracarbo em Tijucas do Sul, Agudos do Sul e São José dos Pinhais, PR. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.6, n.2, p.293-306, 2008.

NOBRE, C. A., REID, J., VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas.** [Transcrição de palestra proferida por Carlos A. Nobre em novembro de 2010 em Brasília – DF]. São José dos Campos -SP, Rede Clima/INPE. 2012.44p. Disponível em: <[http://www.inct.provisorio.ws/files/media/originals/fundamentos\\_cientificos\\_mc\\_web.pdf](http://www.inct.provisorio.ws/files/media/originals/fundamentos_cientificos_mc_web.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2016.

NOBRE, C.; YOUNG, A. **Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro.** [Relatório]. CCST/INPE /NEPO/UNICAMP.2011. Disponível em:< <http://www.poli.ufrj.br/noticias/arquivos/completo.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

ONUBR. **Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.** Nações Unidas no Brasil. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/cop21/>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ONUBR. **Em declaração final da COP22, países prometem avançar na implementação do Acordo de Paris.** Nações Unidas no Brasil. 2016. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/em-declaracao-final-da-cop22-paises-prometem-avancar-na-implementacao-do-acordo-de-paris/>> acesso 18/01/2017

PRATIBHA, G. et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity of conventional and conservation agriculture system in rainfed semi arid tropics of India. **Atmospheric Environment**, v. 145, p. 239-250, 2016.

PREFEITURA DO RECIFE. **1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa para a Cidade do Recife**. Urban LEDS, GECLIMA/COMCLIMA. 2013. Disponível em: <[http://www2.recife.pe.gov.br/sites/default/files/4.\\_primeiro\\_inventario\\_de\\_emissao\\_de\\_gases\\_de\\_efeito\\_estufa\\_da\\_cidade\\_do\\_recife.pdf](http://www2.recife.pe.gov.br/sites/default/files/4._primeiro_inventario_de_emissao_de_gases_de_efeito_estufa_da_cidade_do_recife.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

RENDELUCCI, F. Efeito Estufa e gás Carbônico CO2 contribui para o aquecimento global. **UOL Educação**, 20 set. 2005. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/efeito-estufa-e-gas-carbonico-co2-contribui-para-o-aquecimento-global.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

SARNEY, J.; MARCONDES, J. A. **Avaliação Preliminar da COP22. Ministério do Meio ambiente**. 2016. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/noticias\\_arquivos/pdf/cop22final.pdf](http://www.mma.gov.br/images/noticias_arquivos/pdf/cop22final.pdf)> 2016. Acesso 03 jan. 2017

SATHRE, R. Comparing the heat of combustion of fossil fuels to the heat accumulated by their lifecycle greenhouse gases. **Fuel**, v. 115, p. 674-677, 2014.

SEPLAG/AL. **Alagoas em Dados e Informações. Mesorregiões** (2017). Disponível em: <[http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/f9f4657f-e0da-47ae-8f02-5a5fff55109e?inner\\_span=True](http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/f9f4657f-e0da-47ae-8f02-5a5fff55109e?inner_span=True)>. Acesso em: 09 fev. 2017.

STONE, B.; VARGO, J.; HABEEB, D. Managing climate change in cities: will climate action plans work?. **Landscape and Urban Planning**, v. 107, n. 3, p. 263-271, 2012.

TUFFANI, M. Dez anos depois, Protocolo de Kyoto falhou em reduzir emissões mundiais. **Folha de S. Paulo**. Publicado em 16/02/2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2015/02/1590476-dez-anos-depois-protocolo-de-kyoto-falhou-em-reduzir-emissoes-mundiais.shtml>>. Acesso em: 18 jan. 2017

VERDÉLIO, A. (2015). Proposta do Brasil para COP21 poderia ser melhor, diz Observatório do Clima. **Agência Brasil (EBC)**. 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2015-11/proposta-do-brasil-para-cop21-pode-ser-melhor-diz-observatorio-do>> acesso 18/01/2017.>. Acesso em: 2017 jan. 02.

WAGENA, M. B. et al. Development of a nitrous oxide routine for the SWAT model to assess greenhouse gas emissions from agroecosystems. **Environmental Modelling & Software**, v. 89, p. 131-143, 2017.

## APÊNDICE A – Informações sobre combustíveis utilizados em fontes de combustão estacionária

**Quadro 1 - Informações básicas sobre combustíveis fósseis utilizados em fontes estacionárias**

Combustível	Unidades	Poder calorífico inferior	Densidade	Fonte
		(GJ/t)	(kg/unidade)	
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Toneladas	46,47	1.000,00	BEN 2015
Gás Natural Seco	m <sup>3</sup>	49,79	0,74	BEN 2015
Gasolina Automotiva (pura)	Litros	43,54	0,74	BEN 2015
Óleo Combustível	Litros	40,15	1,00	BEN 2015
Óleo Diesel (puro)	Litros	42,29	0,84	BEN 2015

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 2 - Fatores de emissão de GEE de combustíveis utilizados em fontes estacionárias**

Combustível	Fatores de Emissão		Fatores de Emissão (unidades originais) - IPCC (2006)						
	CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	Fonte	CH <sub>4</sub> (kg/TJ) por setor de atividade				N <sub>2</sub> O (kg/TJ) por setor de atividade		
			Energia	Manufatura ou Construção	Comercial ou Institucional	Residencial, Agricultura, Florestal ou Pesca	Energia	Manufatura ou Construção	Comercial ou Institucional
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	63.100	MCT 2010	1	1	5	5	0,1	0,1	0,1
Gás Natural Seco	56.100	MCT 2010	1	1	5	5	0,1	0,1	0,1
Gasolina Automotiva (pura)	69.300	MCT 2010	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6
Óleo Combustível	77.400	MCT 2010	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6
Óleo Diesel (puro)	74.100	MCT 2010	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 3 - Informações básicas sobre biocombustíveis utilizados em fontes estacionárias**

Combustível	Unidades	Poder calorífico inferior	Densidade	Fonte
		(GJ/t)	(kg/unidade)	
Etanol Anidro	Litros	28,3	0,791	BEN 2015
Etanol Hidratado	Litros	26,4	0,809	BEN 2015
Biodiesel (B100)	Litros	37,7	0,880	BEN 2015
Biogás	Toneladas	50,4	1.000	IPCC 2006

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 4 - Fatores de emissão de GEE de biocombustíveis utilizados em fontes estacionárias**

Combustível	Fatores de Emissão		Fatores de Emissão (unidades originais) - IPCC (2006)						
	CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	Fonte	CH <sub>4</sub> (kg/TJ) por setor de atividade				N <sub>2</sub> O (kg/TJ) por setor de atividade		
			Energia	Manufatura ou Construção	Comercial ou Institucional	Residencial, Agricultura, Florestal ou Pesca	Energia	Manufatura ou Construção	Comercial ou Institucional
Etanol Anidro	68.933	MCT 2010	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6
Etanol Hidratado	68.933	MCT 2010	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6
Biodiesel (B100)	70.800	IPCC 2006	3	3	10	10	0,6	0,6	0,6
Biogás	54.600	IPCC 2006	1	1	5	5	0,1	0,1	0,1

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**APÊNDICE B – Informações sobre combustíveis utilizado em fontes de combustão móvel**

**Quadro 5 – Informações sobre combustíveis fósseis utilizados em fontes de combustão móvel**

Combustível	Unidade	Poder Calorífico Inferior	Densidade	Fonte	Fatores de Emissão (kg GEE/un.)		
		(kcal/kg)	(kg/unidade)		CO2	CH4	N2O
Gasolina Automotiva (pura)	Litros	10.400	0,742	BEN 2015	2,212	0,0008	0,00026
Óleo Diesel (puro)	Litros	10.100	0,840	BEN 2015	2,603	0,0001	0,00014
Gás Natural Veicular (GNV)	m <sup>3</sup>	8.800	-	BEN 2015	1,999	0,0034	0,00011
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Kg	11.100	-	BEN 2015	2,932 5	0,0029	0,00001
Querosene de Aviação	Litros	10.400	0,799	BEN 2015	2,52	0,0000 2	0,00007
Gasolina de Aviação	Litros	10.600	0,726	BEN 2015	2,25	0,0000 2	0,00006
Lubrificantes	Litros	10.120	0,875	BEN 2015	2,717 5	0,0001	0,00014
Óleo Combustível	Litros	9.590	1,000	BEN 2015	3,1	0,0004	0,00002

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 6 – Percentual médio anual de biodiesel no diesel**

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
% biodiesel no diesel	3,5%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,7%

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 7 – Percentual médio anual de etanol na gasolina automotiva**

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
% de etanol na gasolina	25,0%	23,8%	23,8%	20,0%	23,3%	25,0%

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

## APÊNDICE C – Vendas de combustíveis em Maceió

**Quadro 8 - Vendas Totais Gás Natural (1000 m3 / dia) na cidade de Maceió**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Residencial	5,02	5,09	5,63	6,00	6,81	7,60
Comercial	6,12	6,45	6,74	7,09	8,09	9,78
Industrial	333,30	357,29	325,07	423,51	483,50	510,96
Mercado Secundário	-	-	1,37	-		
GNV (Transporte)	102,80	98,85	99,55	98,85	91,48	85,73
<b>TOTAL MERCADO NÃO TÉRMICO</b>	<b>452,60</b>	<b>474,00</b>	<b>444,37</b>	<b>540,33</b>	<b>594,84</b>	<b>624,59</b>
Geração Elétrica	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>452,60</b>	<b>474,00</b>	<b>444,37</b>	<b>540,33</b>	<b>594,84</b>	<b>614,79</b>

Fonte: Autor (2017) adaptado de Algás (2016)

**Quadro 9 - Vendas Totais de combustíveis na cidade de Maceió**

		Vendas Totais Anuais					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Etanol	Litro	62.970.669	40.354.974	26.439.849	18.949.210	16.681.081	17.382.000
Gasolina c	Litro	80.954.702	114.452.932	139.870.316	164.553.835	180.613.358	193.165.612
Gasolia de aviação	Litro	13.382	19.505	26.279	13.170	28.828	32.134
GLP	Kg	23.300.122	26.017.090	27.353.288	26.072.800	27.735.004	28.542.235
Óleo combustível	Kg	916.090	873.090	81.410	69.570	503.230	167.110
Óleo diesel	Litro	99.254.608	106.965.764	114.256.620	114.086.909	116.524.892	123.557.084
Querosene de aviação	Litro	-	-	-	-	-	-
Querosene iluminante	Litro	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2017) adaptado de ANP (2016)

## APÊNDICE D – Informações sobre o consumo de energia elétrica

**Quadro 10 – Fator de emissão de GEE para energia elétrica do sistema integrado nacional**

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
FE do SIN (tCO <sub>2</sub> /MWh)	0,0246	0,051275	0,0292	0,0653417	0,0960333	0,1354833

Fonte: Autor (2017) adaptado de *GHG Protocol* (2016)

**Quadro 11 – Consumo anual de eletricidade da cidade de Maceió**

Consumo de Eletricidade (MWh)						
ANOS	RESID.	INDUS.	COMERC.	RURAL	SETOR PÚBLICO	TOTAL
2009	430.383	87.908	353.740	8.234	159.796	1.040.061
2010	462.870	94.417	383.558	6.110	159.731	1.106.686
2011	498.117	97.663	400.636	5.477	161.727	1.163.620
2012	534.216	112.930	448.443	7.629	169.117	1.272.335
2013	614.915	114.648	473.718	6.044	172.039	1.381.364
2014	607.545	121.858	497.943	3.370	182.540	1.413.256

Fonte: Autor (2017) adaptado de Eletrobrás distribuição Alagoas (2016)

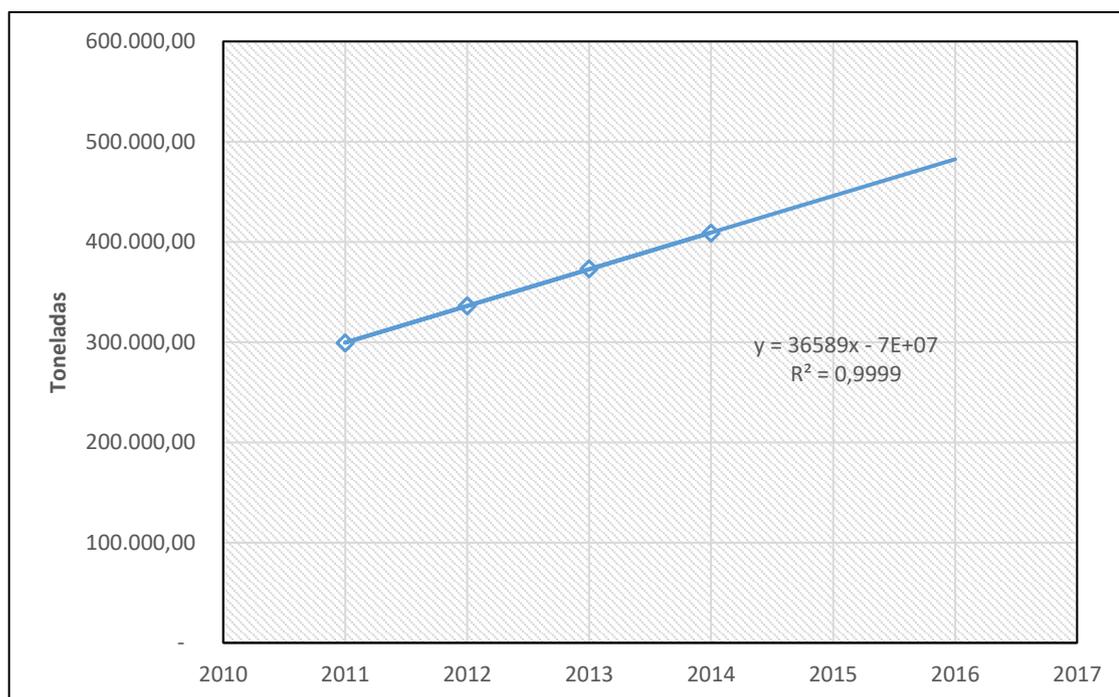
## APÊNDICE E – Informações sobre geração de resíduos sólidos urbanos

**Quadro 12 – Massa de resíduos sólidos anual real e estimada gerados na cidade Maceió**

Ano	Massa de RSU Real (toneladas)	Massa de RSU Estimada (toneladas)
2007	-	153.172,49
2008	-	189.761,90
2009	-	226.351,31
2010	-	262.940,72
2011	299.314,81	299.530,13
2012	336.163,93	336.119,54
2013	373.266,14	372.708,95
2014	408.912,11	409.298,36

Fonte: Autor (2017) adaptado de SLUM (2016)

**Figura 1 – Evolução da geração de resíduos sólidos no período de 2011 a 2014 e equação de referência para estimativa do período de 2010 a 2007 na cidade de Maceió**



Fonte: Autor (2017) adaptado de SLUM (2016)

**Quadro 13 – composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió**

Composição do resíduo	Unidade	Média Anual
A - Papéis/papelão	%	8,90%
B - Resíduos têxteis	%	2,50%
C - Resíduos alimentares	%	56,60%
D – Madeira	%	0,50%
E - Resíduos de jardim e parque	%	Sem Informação
F – Fraldas	%	Sem Informação
G - Borracha e couro	%	1,00%
Outros materiais inertes	%	30,50%

Fonte: Autor (2017) adaptado de SLUM (2016)

## APÊNDICE F – Informações sobre geração e tratamento de efluentes líquidos

**Quadro 13 – Informações sobre geração e tratamento dos efluentes líquidos do município de Maceió**

Ano	Índice de coleta de esgoto (%)	DBO (Kg/m3)	Volume de Efluente coletado (m3)	Vol. de Efluente Não Coletado - Fossa Séptica (m3)	Volume de Efluente Total (m3)	Volume de Efluente Tratado Emissário Sub. (m3)	Volume de Efluente Tratado Lagoa de Estabilização (m3)	Índice de coleta de esgoto (%) recalculado*
2009	51,21%	0,30	10.886.400,00	10.371.947,98	21.258.347,98	10.668.672,00	217.728,00	-
2010	59,79%	0,30	13.560.000,00	9.119.377,82	22.679.377,82	13.288.800,00	271.200,00	-
2011	59,27%	0,30	14.684.800,00	10.091.309,33	24.776.109,33	14.391.104,00	293.696,00	-
2012*	98,60%	0,30	25.524.290,00	12.929.114,24	25.886.703,85	12.698.437,82	259.151,79	50,06%
2013	40,84%	0,30	11.540.500,00	16.717.335,46	28.257.835,46	11.309.690,00	230.810,00	-
2014	37,18%	0,30	11.185.200,00	18.898.716,08	30.083.916,08	10.961.496,00	223.704,00	-

Fonte: Autor (2017) adaptado de Ministério das Cidades (2016)