

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



JOSÉ CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**Inventário e Gerenciamento das Emissões de Gases de Efeito
Estufa: Estudo de Caso em Companhia de Saneamento**

Maceió
2020

JOSÉ CARLOS DA SILVA JÚNIOR

**Inventário e Gerenciamento das Emissões de Gases de Efeito
Estufa: Estudo de Caso em Companhia de Saneamento**

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.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro
Salomon

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Gomes
Barboza

Maceió
2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586i Silva Júnior, José Carlos da.
Inventário e gerenciamento das emissões de gases de efeito estufa : estudo de caso em Companhia de Saneamento / José Carlos da Silva Júnior. – 2020.
99 f. : il. color.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.

Co-orientador: Marcio Gomes Barboza.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 83-90.

Apêndices: f. 91-99.

1. Gases - Emissões. 2. Mudanças climáticas. 3. Ar - Poluição. 4. Saneamento. I.
Título.

CDU: 628:504.3.054



Folha de Aprovação

JOSÉ CARLOS DA SILVA JÚNIOR

INVENTÁRIO E GERENCIAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA: ESTUDO DE CASO EM COMPANHIA DE
SANEAMENTO

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.

Em: 20/02/2020

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

Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza
(Coorientador- CTEC/UFAL)

Banca examinadora:

Prof.ª Dr.ª Daniele Vital Vich
(Examinadora interna – PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia
(Examinador externo – IFAL)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por sempre estar presente em minha vida me concedendo forças para que consiga obter meus objetivos.

À minha esposa, Jessilane da Silva Salu, por sempre estar acreditando em meus objetivos. Companheira de todas as horas.

Aos meus pais José Carlos da Silva e Josefa de Mendonça Silva, por sempre estarem acreditando em meus objetivos sempre me incentivando.

À minha família, pela confiança, em especial aos meus irmãos, cunhados e sobrinho.

Agradeço aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon e Prof. Dr. Marcio Gomes Barboza pela confiança e pelas contribuições que viabilizaram a construção desta dissertação.

Agradeço à Companhia de Saneamento de Alagoas pela permissão da realização do estudo. Meus agradecimentos a todos que contribuíram com dados e conhecimento.

Aos amigos e colegas, em especial a Fausto Diniz e Luis Paulo.

A todos os professores do PPGRHS/UFAL.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

Os inventários de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são ferramentas estratégicas de gestão ambiental que estimam as emissões por fontes específicas em área geográfica e intervalo de tempo determinado. O desenvolvimento de um inventário é a primeira etapa na criação de programas voltados para melhora da qualidade do ar. Essa pesquisa teve como objetivo elaborar um inventário de emissões de GEE decorrentes das atividades da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) na Unidade Capital em 2018 e propor um gerenciamento de suas emissões. A metodologia empregada envolveu a pesquisa bibliográfica, a elaboração do inventário dos gases de efeito estufa e a proposta de gerenciamento de suas emissões através de medidas de mitigação e compensação das emissões. O método utilizado para estimativa das emissões de GEE foi a indicada pelo Programa Brasileiro GHG *Protocol*, complementada com as orientações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para o caso do tratamento de efluentes. Os resultados do inventário de emissões de GEE indicam que no ano de 2018, a CASAL, unidade Capital emitiu 31.099,33 tCO₂e, sendo 86,77% (26.980,70 tCO₂e) oriundas das emissões diretas (escopo 1), enquanto as indiretas representaram 13,23% (4.118,63 tCO₂e). Dentre as emissões indiretas, verifica-se que o escopo 2 foi responsável por 11,56% do valor total (3.596,91 tCO₂e) enquanto o escopo 3 compreende a 1,67% (521,72 tCO₂e). As principais fontes de emissões da empresa foram as categorias tratamento de esgoto e consumo de energia, respectivamente. No gerenciamento das emissões foram sugeridas medidas mitigadoras e compensatórias. Como medidas mitigadoras para reduzir as emissões da empresa, destaca-se a utilização de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis e a utilização do biogás oriundo das estações de tratamento de esgoto. Já como medida compensatória foi sugerido através do reflorestamento com árvores nativas. A aplicação do gerenciamento dentro da companhia proporcionará redução de no mínimo 10,13% a partir do ano base em 2018.

Palavras-chave: Emissões gasosas, Mudanças climáticas, Poluição atmosférica, Saneamento.

ABSTRACT

Greenhouse Gas (GHG) emission inventories are strategic tools for environmental management that estimate emissions by specific sources in a geographic area and a specific time interval. The development of an inventory is the first step in the creation of programs aimed at improving air quality. This research aimed to prepare an inventory of GHG emissions resulting from the activities of Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) at the Capital Unit in 2018 and propose a management of its emissions. The methodology employed involved bibliographic research, the elaboration of the inventory of greenhouse gas and the proposal to manage their emissions through mitigation and compensation measures. The method used to estimate GHG emissions was that indicated by the Brazilian GHG Protocol Program, complemented with the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the case of wastewater treatment. The results of the GHG emissions inventory indicate that in 2018, CASAL, the Capital unit emitted 31,099.33 tCO_{2e}, of which 86.77% (26,980.70 tCO_{2e}) came from direct emissions (scope 1), while indirect ones represented 13.23% (4,118.63 tCO_{2e}). Among indirect emissions, it appears that scope 2 was responsible for 11.56% of the total value (3,596.91 tCO_{2e}) while scope 3 comprises 1.67% (521.72 tCO_{2e}). The company's main sources of emissions were the sewage treatment and energy consumption categories, respectively. In the management of emissions, mitigating and compensatory measures were suggested. As mitigating measures to reduce the company's emissions, we highlight the use of fuels produced from renewable sources and the use of biogas from sewage treatment plants. As a compensatory measure, it was suggested through reforestation with native trees. The application of management within the company will provide a reduction of at least 10.13% from the base year in 2018.

Keywords: Gaseous emissions, Climate change, Air pollution, Sanitation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito de efeito estufa.....	19
Figura 2 – Emissões atmosféricas mundiais por poluente em 2015.....	20
Figura 3 – Emissões atmosféricas no Brasil por poluente em 2016.....	20
Figura 4 – Etapas GHG <i>Protocol</i> Brasil.....	28
Figura 5 – Evolução dos inventários elaborados no programa GHG <i>Protocol</i> Brasil	30
Figura 6 – Tipologia de empresas com inventários publicados no GHG <i>Protocol</i> e quantidade no ano de 2018.....	31
Figura 7 – Perfil das emissões nos anos de 2008 e 2018 de acordo com o escopo GHG <i>Protocol</i>	32
Figura 8 – Fontes de Emissões de GEE em empresas de saneamento	32
Figura 9 – Localização do Município de Maceió-AL.	39
Figura 10 – Estrutura Organizacional da CASAL em 2018.....	41
Figura 11 – Fluxograma para o gerenciamento das emissões dos gases de efeito estufa.....	42
Figura 12 – Menu da ferramenta GHG <i>Protocol</i>	47
Figura 13 – Fluxograma do sistema de tratamento da ETE Emissário proposto.	56
Figura 14 – Porcentagem das emissões por escopo da UN Capital da CASAL.....	59
Figura 15 – Emissões da CASAL, UN Capital, por tipo de GEE.	59
Figura 16 – Porcentagem de emissões por tipo de tratamento	61
Figura 17 – Emissões per capita em diferentes companhias de saneamento	62
Figura 18 – Proporções do consumo de energia em companhias de saneamento	67
Figura 19 – Comparativo de emissões entre viagens aéreas.	69
Figura 20 – Emissões biogênicas/Emissões totais em diferentes companhias de saneamento.....	71
Figura 21 – Comparativo de emissões das empresas de saneamento.....	72
Figura 22 – Ofício para solicitação do estudo na CASAL	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissões de empresas de saneamento no mundo.....	34
Tabela 2 – Emissões de empresas de saneamento no Brasil	34
Tabela 3 – Fator de correção para o metano de acordo com o tipo de tratamento.....	48
Tabela 4 – Fator de emissão para emissões de N ₂ O da descarga em águas residuais de acordo com o tipo de tratamento	49
Tabela 5 – Fatores de emissão por tipo de combustível.....	50
Tabela 6 – Fatores de emissão por tipo de combustível.....	50
Tabela 7 – Capacidade de gás de acordo com sua capacidade em BTUs	51
Tabela 8 – Fatores de emissão para viagens aéreas.....	53
Tabela 9 – Distância percorrida por tipo de veículo da residência a CASAL UN Capital.	55
Tabela 10 – Variáveis fixas para o cálculo do volume de biogás.....	57
Tabela 11 – Emissões por escopo.....	60
Tabela 12 – Dados das unidades de tratamento da CASAL, UN Capital	60
Tabela 13 – Emissões de GEE das ETEs CASAL	61
Tabela 14 – Emissão em tCO ₂ e em diferentes companhias de saneamento.....	62
Tabela 15 – Emissão decorrente do consumo de combustível referente a veículos locados de 2018.....	63
Tabela 16 – Comparativo entre emissão decorrente do consumo de combustível.....	64
Tabela 17 – Emissões referente a combustão móvel em diferentes companhias de saneamento	64
Tabela 18 – Emissões em tCO ₂ e referente as emissões fugitivas.....	65
Tabela 19 – Comparativo de emissões fugitivas entre companhias de saneamento	66
Tabela 20 – Emissão decorrente do consumo de energia da UN Capital da CASAL.....	66
Tabela 21 – Emissões decorrentes do consumo de energia em companhias de saneamento ...	67
Tabela 22 – Emissões do escopo 3 da CASAL, UN Capital.....	68
Tabela 23 – Emissões resultantes de viagens a negócios aéreas por trajeto em 2018.....	68
Tabela 24 – Emissões resultantes de viagens a negócios aéreas em 2018	69
Tabela 25 – Emissões devido ao deslocamento de funcionários em Maceió no ano de 2018 .	69
Tabela 26 – Emissões decorrentes da distância percorrida em companhias de saneamento....	70
Tabela 27 – Emissões de CO ₂ biogênico das atividades da CASAL, UN Capital no ano de 2018.....	71

Tabela 28 – Comparativo de indicadores em empresas de saneamento.....	73
Tabela 29 – Resultado da estimativa do potencial energético da ETE Emissário – cenário 1.	76
Tabela 30 – Resultado da estimativa do potencial energético da ETE Emissário – cenário 2.	77
Tabela 31 – Porcentagem de redução das emissões na CASAL, UN Capital	80
Tabela 32 – Dados sobre as estações de tratamento de esgoto da CASAL, unidade Capital...	92
Tabela 33 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital.....	95
Tabela 34 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital.....	95
Tabela 35 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital.....	95
Tabela 36 – Dados sobre a relação de ar condicionado da CASAL, unidade Capital.....	96
Tabela 37 – Dados sobre a relação de extintores da CASAL, unidade Capital	96
Tabela 38 – Dados sobre o consumo de energia da CASAL, unidade Capital	97
Tabela 39 – Dados sobre viagens aéreas da CASAL, unidade Capital	98
Tabela 40 – Dados sobre o deslocamento de funcionários da CASAL, unidade Capital.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Status dos estados brasileiros na construção de marcos regulatórios sobre mudanças climáticas (set/2014).....	24
Quadro 2 – Características das metodologias para quantificação de emissões	27
Quadro 3 – Estratégias de mitigação de empresas de saneamento no mundo.....	37
Quadro 4 – Estratégias de mitigação de empresas de saneamento no Brasil	38
Quadro 5 – Fontes de emissões de GEE identificadas	44
Quadro 6 – Processo de coleta de dados na CASAL.....	46
Quadro 7 – Comparativo de emissões das empresas de saneamento.	72
Quadro 8 – Medidas e ações do escopo 1.....	74
Quadro 9 – Medidas e ações do escopo 2.....	74
Quadro 10 – Medidas e ações do escopo 3.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CFC – Clorofluorcarbono

CH₄ – Metano

CO₂ – Gás Carbônico

CO_{2e} – Gás Carbônico Eequivalente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COP – Conferência das Partes

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas gerais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DEFRA – *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (Departamento de Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais)

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EF – *Emission Fator* (Fator de Emissão)

EMBASA – Empresa Baiana de Água e Esgoto

FCM – Fator de Correção de Metano

FGV – Fundação Getulio Vargas

GEE – Gases de Efeito Estufa

GHG – *Greenhouse Gas* (Gases de Efeito Estufa)

HFC – Hidrofluorcarbono

IEA – *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

MCTI – Ministério das Ciências, Tecnologias e Inovação

MMA – Ministério de Meio Ambiente

N₂O – Óxido Nitroso

ONU – Organização das Nações Unidas

PE – Potencia Elétrica

PFC – Perfluorcarbonos

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito estufa

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SIRENI – Sistema de Registro Nacional de emissões

SNIS – Sistema Nacional de Informações

tCO₂e – Tonelada de Gás Carbônico Equivalente

TOW – *Total organics in wastewater* (Carga Orgânica Total do Esgoto)

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)

UN – Unidade

USEPA – *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Aproveitamento Ambiental dos Estados Unidos)

WBSCD – *World Business Council for Sustainable Development* (Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável)

WRI – *World Resources Institute* (Instituto de Recursos Mundiais)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 O Efeito Estufa e o Aquecimento Global.....	19
3.2 Políticas sobre Mudanças Climáticas	21
3.3 Metodologias Utilizadas para Elaboração de Inventários	24
3.3.1 Metodologia GHG <i>Protocol</i> Brasil	28
3.4 Emissões de GEE em Empresas de Saneamento	32
3.5 Gerenciamento de GEE.....	34
3.6 Estratégias de Mitigação e Neutralização de GEE.....	36
4 ESTUDO DE CASO – CASAL UN CAPITAL.....	39
5 METODOLOGIA.....	42
5.1 Pesquisa Bibliográfica	42
5.2 Inventário de Emissões de GEE	42
5.2.1 Coleta e Análise dos Dados	45
5.2.2 Cálculo das Emissões	47
5.2.2.1 Escopo 1	47

5.2.2.1.1 Tratamento de Efluentes	47
5.2.2.1.2 Combustão Móvel	49
5.2.2.1.3 Combustão Estacionária	50
5.2.2.1.4 Emissões Fugitivas	51
5.2.2.2 Escopo 2	52
5.2.2.2.1 Consumo de Energia.....	52
5.2.2.3. Escopo 3	53
5.2.2.3.1 Viagens Aéreas a Negócio.....	53
5.2.2.3.2 Deslocamento de Funcionários da Residência ao Local de Trabalho	53
5.3 Gereciamento das Emissões de GEE	55
5.3.1 Propostas de Mitigação.....	55
5.3.2 Proposta de Compensação	58
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.1 Emissões Diretas - Escopo 1.....	60
6.1.1 Tratamento de Efluentes	60
6.1.2 Combustão Móvel	63
6.1.3 Combustão Estacionária	65
6.1.4 Emissões Fugitivas	65
6.2 Emissões Indiretas - Escopo 2	66
6.2.1 Consumo de Energia.....	66

6.3 Emissões Indiretas - Escopo 3	68
6.3.1 Viagens Aéreas a Negócio.....	68
6.3.2 Deslocamento de Funcionários da Residência ao Local de Trabalho	69
6.4 Emissões Biogênicas	70
6.5 Comparativo de Inventários de Companhias de Saneamento	71
6.6 Gerenciamento de Emissões de GEE.....	73
6.6.1 Cenário 1	76
6.6.2 Cenário 2	76
7 CONCLUSÕES.....	81
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE A – Ofício de solicitação para elaboração do estudo na CASAL.....	91
APÊNDICE B – Informações sobre as estações de tratamento de esgoto	92
APÊNDICE C – Informações sobre as o consumo de combustíveis	95
APÊNDICE D – Informações sobre equipamentos que liberam gases.....	96
APÊNDICE E – Informações sobre o consumo de energia elétrica	97
APÊNDICE F – Informações sobre viagens aéreas.....	98
APÊNDICE G – Informações sobre o deslocamento dos funcionários ao trabalho	99

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com as mudanças climáticas vem sendo discutida de forma mais incisiva nos últimos anos devido ao agravamento das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) oriundos das atividades antrópicas, proporcionando aumento da temperatura média do planeta. Com isso, diversas conferências sobre poluição atmosféricas e questões relacionadas a mudanças climáticas foram e serão criadas com o objetivo de tomar decisões sobre os esforços para controlar as emissões dos GEE. De acordo com as Organizações das Nações Unidas – ONU (2019), mesmo que todos os compromissos atuais sob o Acordo de Paris para o clima sejam implementados, as temperaturas deverão subir 3,2°C em relação aos níveis pré-industriais, no qual em 2019 a temperatura média global estava 1,1°C acima desses níveis.

Nesse sentido, estão sendo executados pelas empresas, municípios e países, inventários de emissões atmosféricas, objetivando quantificá-las, identificá-las e estabelecer mecanismos de mitigação/compensação para as mesmas.

Embora o Brasil não possua meta obrigatória de redução das emissões dos GEE, o país assumiu voluntariamente o compromisso de minimizar entre 36,1 e 38,9% suas emissões até o ano de 2020 através do Plano Nacional de Mudanças Climáticas, Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Já no acordo de Paris (COP 21), firmado em 2015, o país estabeleceu uma meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, até 2025 e reduzir 43% das emissões até 2030.

O inventário de GEE é uma ferramenta utilizada para contabilizar as emissões de todas as fontes identificadas nas atividades diretas e indiretas associadas a uma empresa. Essa ferramenta é essencial para o desenvolvimento de novas soluções que possam prevenir e combater o aquecimento global, bem como outros impactos decorrentes das mudanças climáticas. As metodologias mais utilizadas atualmente para elaboração de inventários é a proposta pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) e *World Resources Institute* (WRI), o protocolo GHG (*Greenhouse Gas Protocol*) e o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

O gerenciamento das emissões dos GEE se inicia com a identificação do escopo que será inventariado e de suas atividades. Com o objetivo de ter um melhor resultado, o gerenciamento deve ser tratado nas empresas como qualquer outro sistema de gestão e precisa ser planejado, executado, avaliado e revisado, buscando sempre o aperfeiçoamento contínuo. Essa atitude a torna mais eficiente, menos intensiva em carbono e mais responsável sócio-ambientalmente.

No Brasil, os inventários das concessionárias de água e esgoto estaduais têm apontado que a maior fonte de emissão de GEE é proveniente de estações de tratamento de esgotos. Com isso, verifica-se a importância das empresas brasileiras que atuam na área elaborarem inventários de GEE e traçarem estratégias para reduzir suas emissões. Para buscar essa redução, as empresas de saneamento procuram utilizar o biogás proveniente de unidades de tratamento para gerar energia elétrica.

Segundo o Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE (2019), o Brasil emitiu em 2015 1.368.151,90 GgCO₂e, sendo que o setor de resíduos foi responsável por 4,6% do valor mencionado. Apesar de pequeno percentual desse setor para o perfil de emissões do país, foi verificado que suas emissões aumentaram 17,8% entre os anos de 2010 e 2015.

Devido à ausência de legislação ambiental no contexto de emissões de gases de efeito estufa, poucas empresas de saneamento atuantes nesse segmento no Brasil incluem as mudanças climáticas como um tema estratégico e de risco ao negócio. Nesse contexto, a aplicação de uma metodologia de elaboração de inventário de GEE em companhia de saneamento constitui-se objeto de pesquisa essencial para estimativa de suas emissões.

A Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) é a concessionária de água e esgoto do estado de Alagoas. Em 2018, operava em 77 municípios dos 102 situados no estado de Alagoas. Dessa forma, a empresa é a maior prestadora desses serviços no estado. Até recentemente, a empresa ainda não havia desenvolvido um inventário de gases de efeito estufa. Sendo assim, este trabalho é fundamental para que a empresa conheça seu nível de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e suas principais fontes, além de contribuir para o combate ao aquecimento global.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar um inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) das emissões decorrentes das atividades da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) na Unidade Capital no ano de 2018 e propor um plano de gerenciamento de suas emissões.

2.2 Objetivos Específicos

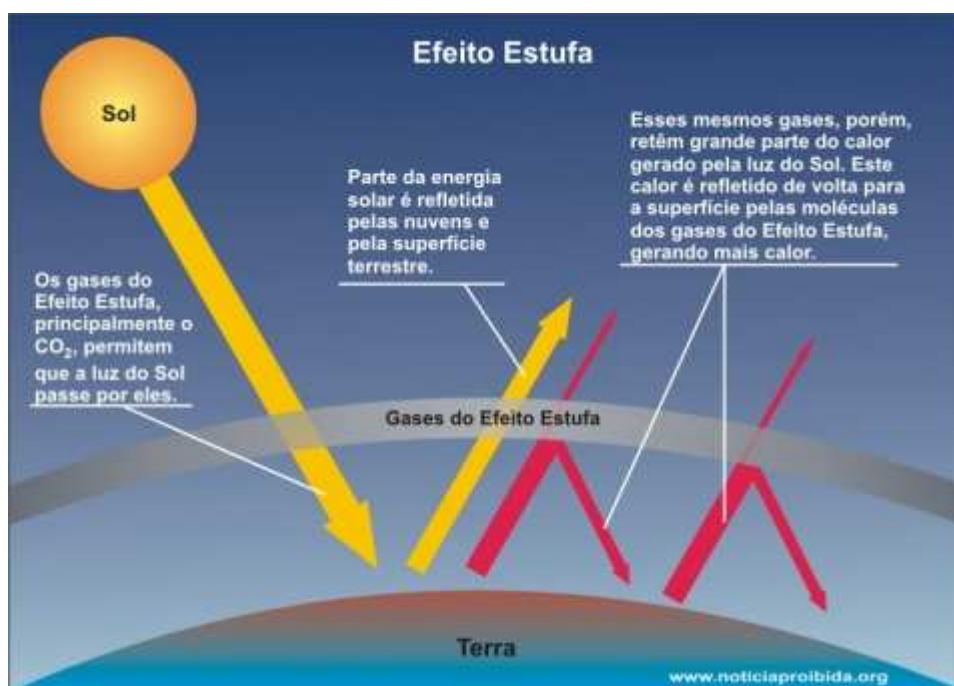
- Estimar as emissões dos gases de efeito estufa – dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e Hidrofluorcarbonos (HFCs) para 2018;
- Identificar as principais fontes de emissões da CASAL em 2018;
- Propor o gerenciamento das emissões da CASAL do ano de 2018 através de medidas de mitigação e compensação de emissões de GEE.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O efeito estufa e o aquecimento global

O efeito estufa é um fenômeno natural de aquecimento térmico da Terra, sendo esse fenômeno imprescindível para manter a temperatura do planeta em condições ideais de sobrevivência e desenvolvimento das espécies. Sem ele, certamente nosso planeta seria muito frio e a sobrevivência dos seres vivos seria afetada. Acontece da seguinte forma: os raios solares, ao serem emitidos à Terra, têm dois destinos: parte é refletida e direcionada ao espaço, como radiação infravermelha, enquanto a outra parte é absorvida e transformada em calor, mantendo o planeta quente. Isso tudo ocorre devido à ação refletora de uma camada de gases do efeito estufa em volta da Terra (SENAI, 2017). Conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Conceito de efeito estufa.



Fonte: CiênciaMão (2018)

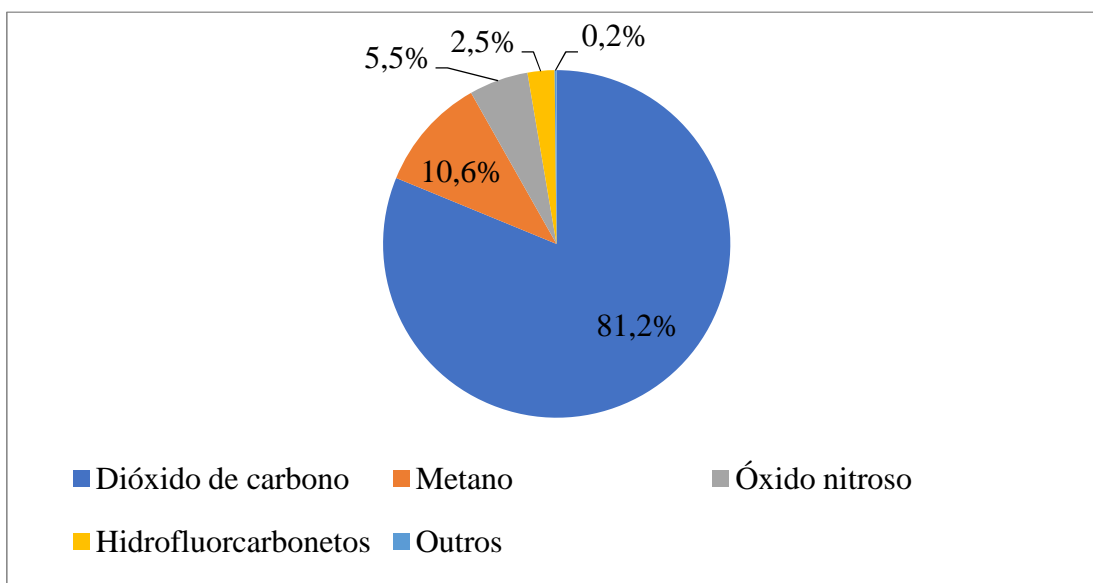
O Aquecimento Global se trata do aumento da temperatura média global, caracterizando-se como um fenômeno climático de larga extensão. Ele pode ser relacionado a fatores internos, que são as atividades realizadas naturalmente naturais, ou seja, vulcanismo, composição atmosférica, ou a fatores externos, que são particularmente antropogênicos, derivando das atividades realizadas pelo homem (SILVA; PAULA, 2009).

O aquecimento global traz consigo vários problemas ambientais, como o aumento do efeito estufa, derretimento das calotas polares, e outras manifestações climáticas como tempestades, secas, chuvas ácidas, etc. Sendo o Efeito Estufa o fenômeno de maior

interferência no aumento do aquecimento global. Onde, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) são os três principais gases causadores do Efeito Estufa no Brasil, satisfazendo 99% de suas emissões (SEEG, 2018).

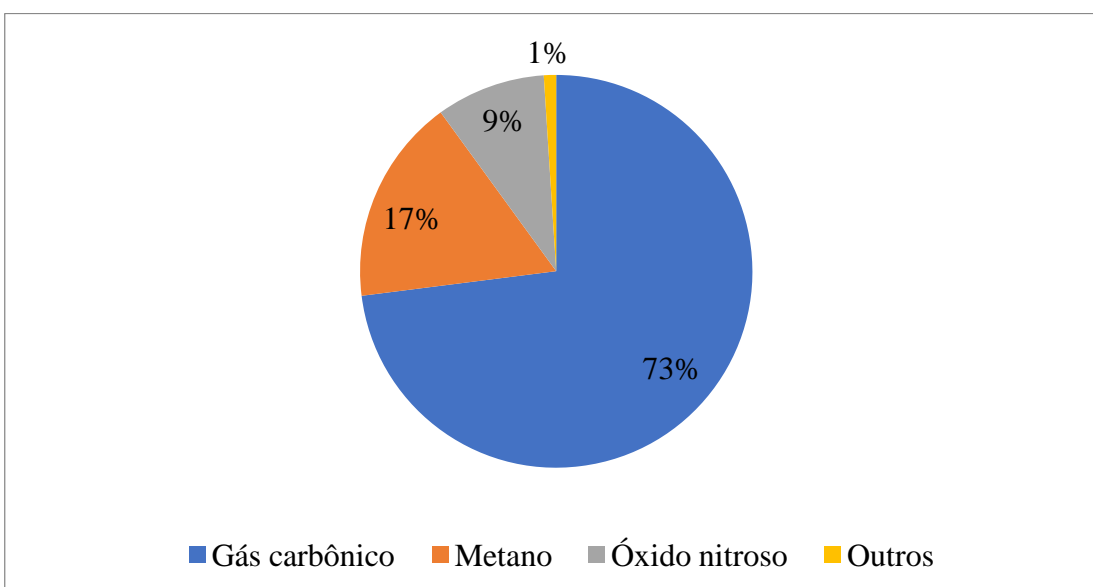
Fazendo referência as emissões mundiais, o dióxido de carbono (CO_2) é o gás de efeito estufa mais emitido, respondendo a 81,2% do total, seguido do metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e outros, satisfazendo 10,6%, 5,5%, 2,5% e 0,2%, respectivamente (CQNUNC, 2018). Conforme Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Emissões atmosféricas mundiais por poluente em 2015.



Fonte: CQNUNC (2018)

Figura 3 – Emissões atmosféricas no Brasil por poluente em 2016.



Fonte: SEEG (2018)

3.2 Políticas sobre mudanças climáticas

Com a intensificação de emissões de poluentes e a pressão sobre os recursos ambientais nas três últimas décadas do século XX, a questão ambiental perde o seu caráter antes restrito e ganham espaços mais significativos com a Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, que foi um marco na reorganização política em busca de tratados na ordem geopolítica ambiental.

Em 1987 foi criado o Protocolo de Montreal, que trata de um acordo global para proteger a camada de ozônio da estratosfera, eliminando gradualmente a produção e o consumo de substâncias destruidoras de ozônio. As emissões de hidroclorofluorcarbono (HCFCs), clorofluorcarbonos (CFCs), tetracloretos de carbono (CTCs) são substâncias que destroem a camada de ozônio (HENRIQUES, 2009).

Em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization) criaram um comitê científico, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), encarregado de elaborar um tratado mundial para atenuar os impactos das Mudanças Climáticas.

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), também conhecida como Cúpula da Terra ou Rio-92, realizada no Rio de Janeiro em 1992, coloca o ser humano no centro das preocupações relacionadas ao desenvolvimento sustentável, considerando o homem participante da diversidade biológica existente no ambiente. A Rio-92 teve como objetivo estabilizar a concentração de gases de efeito estufa, buscando proteger o meio ambiente (CUNHA et al, 2013).

Em 1997, um tratado internacional denominado Protocolo de Kyoto foi assinado inicialmente por 37 países e a União Europeia, sendo ratificado por 189 países (TUFFANI, 2015). Esse tratado consistiu em reduzir suas emissões de GEE em 5,2% em média, no período de 2008 a 2012 em comparação com os níveis de 1990 (Protocolo de Kyoto). Com o intuito de ajudar os países a cumprir seu compromisso com a redução de emissões dos GEE de forma mais econômica, o protocolo propôs três mecanismos: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo; Implementação Conjunta e Comercio de Emissões (LAU et al., 2012).

A Conferência das Partes (COP) é o órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que reúne anualmente os países Parte em conferências mundiais. Suas decisões, coletivas e consensuais, só podem ser tomadas se

forem aceitas unanimemente pelas Partes. Seu objetivo é examinar as obrigações das Partes e tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos que a COP possa adotar (MMAb, 2018). Sendo uma das principais conferências a COP 21, que apresentou uma visão de se esforçar para equilibrar as emissões de gases de efeito estufa induzidas pelo homem.

A COP 21, em Paris, teve como objetivo o compromisso de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de aplicar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (MMAa, 2018).

As COPs 22 e 23, realizada em novembro de 2016, na cidade de Marrakesh (Marrocos) e em novembro de 2017, na cidade de Bonn, Alemanha, respectivamente, tiveram como missão estabelecer como será a implementação das obrigações assumidas em Paris para a redução de gases poluentes e como avançar em suas obrigações (MELO; SINRÔNIO, 2018).

A COP 24 aconteceu em dezembro 2018, apresentou mensagens através de três tópicos: Tecnologia, mostrando soluções modernas, como a eletromobilidade, que permite desenvolvimento urbano sustentável, ar limpo e uma oportunidade para empregos modernos; Humano, enfatizando a necessidade de liderar a mudança em conjunto com as pessoas através da solidariedade e transformação justa das regiões e setores industriais; e Natureza, incluindo o manejo florestal multifuncional e sustentável como parte da neutralidade climática e o papel das florestas como sumidouros de gás de efeito estufa, e apoio a uma visão sinérgica das três principais convenções da ONU: clima, biodiversidade e desertificação (COP24, 2018).

Em agosto de 2019, houve a Semana do Clima da América Latina e Caribe (LACCW), na cidade brasileira de Salvador, Bahia. Nesse evento foi muito cobrado sobre a colaboração mais forte entre todos os níveis do governo, setor privado e sociedade civil para implementar os planos nacionais de clima (NDCs) e alcançar os objetivos do Acordo de Paris (UNFCC, 2019).

A COP 25 aconteceu de 2 a 15 de dezembro de 2019, em Madrid, Espanha. Um dos principais temas da COP25 foi a necessidade de uma postura mais ambiciosa dos países em relação às mudanças climáticas. Mas terminou sem qualquer avanço nos acordos para a redução de emissões de gases que causam mudanças climáticas. A edição teve a mais longa discussão entre os quase 200 países presentes, mas resultou apenas em intenções de ampliação das metas, que serão discutidas somente na próxima edição, que acontece em 2020, em Glasgow, na Escócia (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2019).

No âmbito brasileiro a Lei Federal 12.187, que entrou em vigor em 2009, instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Essa lei apresenta um avanço para legislação ambiental no país. Segundo Brasil (2009), essa lei estabelece como um de seus objetivos a redução das emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades humanas, nas suas diferentes fontes, inclusive referente aos resíduos. Em seu Art. 6º, XIII, os instrumentos são apresentados sob a forma de registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes, elaborados com base em informações e dados fornecidos por entidades públicas e privadas.

Das 27 unidades de Federação do Brasil, 15 estados brasileiros possuem legislação específica sobre mudanças climáticas, no qual desses 15 estados, 12 possuem, além da lei estadual, fóruns de discussão sobre mudanças climáticas (ANDRADE, 2017).

Nos estados brasileiros, apenas São Paulo, Rio de Janeiro e Pernambuco avançaram na elaboração de leis e políticas específicas para adaptação das cidades às mudanças climáticas, tais como: políticas de gestão de recursos hídricos, programas e ações para redução de desastres ambientais e da vulnerabilidade das comunidades em situação de risco, combate aos efeitos da seca e da desertificação, entre outros (ANDRADE, 2017).

O Quadro 1 apresenta o status dos estados na construção de marcos regulatórios sobre mudanças climáticas. Na primeira coluna estão sinalizados os estados que possuem planos específicos para o combate às mudanças climáticas. Na segunda, aqueles que já possuem iniciativas relativas às políticas ou medidas de adaptação, tais como planos, fóruns de discussão ou programas de combate à desertificação e redução de riscos de desastres naturais. A terceira e a quarta coluna indicam os estados que possuem leis estaduais e fóruns para discussão sobre mudanças climáticas. Na quinta coluna são apresentados os estados que estão com projetos de lei em tramitação e, por último, na sexta coluna, estão indicados os estados que, até o final do mapeamento de dados para esta pesquisa, não possuíam nenhuma iniciativa formal para o combate à mudança do clima e as necessárias adaptações das cidades e redução da vulnerabilidade socioambiental.

Quadro 1 – Status dos estados brasileiros na construção de marcos regulatórios sobre mudanças climáticas (set/2014).

Estado	Plano Estadual de MC	Outras Medidas de Adaptação	Lei Estadual de MC	Fórum Estadual de MC	PL em Tramitação	Ausência de Legislação
RJ						
SP						
PE						
AM						
BA						
ES						
PR						
PI						
RS						
SC						
TO						
DF						
GO						
MS						
PB						
MG						
MT						
PA						
CE						
MA						
RO						
AP						
AC						
AL						
RN						
RR						
SE						

Fonte: Andrade (2017)

Legenda:



3.3 Metodologias Utilizadas para elaboração de Inventários

Um estudo da Comissão Europeia em 2010, identifica a existência de mais de 80 métodos e iniciativas relacionados ao registro e publicidade de emissões de GEE no mundo (EUROPEAN COMMISSION, 2010). O estudo apresenta 30 métodos e iniciativas mais relevantes, fazendo uma análise comparativa. No entanto, cerca de metade dos principais métodos referem-se aos princípios do Protocolo de Relatórios do *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)/World Resources Institute (WRI) GHG Protocol*, fornecendo alguma consistência. O método refere-se a uma forma de calcular um valor de emissões de GEE em tCO₂e e deve fornecer orientações sobre limites de relatórios,

escolhendo os fatores de emissão. Já a iniciativa define o formato do relatório de GEE e seus conteúdos.

Os métodos mais utilizados e reconhecidos internacionalmente para quantificação das emissões são: o *GHG Protocol*, a Norma ISO 14064 e o PAS 2050. No Brasil, os dois primeiros são mais recomendáveis. Entretanto, nada impede uma empresa de descrever suas emissões de GEE sob as regras do instrumento PAS (PINHO, 2009).

O *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)* é uma iniciativa que teve desenvolvimento originário nos Estados Unidos em 1998, ocasião em que foram reunidos membros da academia, governos e organizações não governamentais, sob a coordenação do *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* e do *World Resources Institute (WRI)*. Esse guia é utilizado por várias empresas e organizações ambientais fornecendo subsídios para elaboração de seus inventários de emissões de GEE e foi desenvolvida pelo WRI em parceria com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). A metodologia é compatível com as normas ISO e com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Os gases considerados em seu escopo são os constantes no Protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) (FGV, 2017a).

Para quantificação das emissões sua metodologia considera três escopos: escopo 1 - emissões diretas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização; escopo 2 - emissões indiretas decorrentes do consumo de energia; e escopo 3 - emissões indiretas de GEE, considerado de relato opcional, que são decorrentes das atividades da empresa (FGV, 2017b).

A metodologia PAS 2050 foi elaborada pelo *BSI (British Standards Institute)* e patrocinada pelo *CarbonTrust* e *DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs)*. O *DEFRA* também possui uma metodologia para elaboração de inventários apresentando fatores de emissão específicos para o Reino Unido, no que refere ao CO₂, CH₄ e N₂O para diferentes atividades (consumo de combustíveis e eletricidade, transporte de passageiros e de mercadorias e utilização de água, biomassa e biocombustíveis) (DEFRA, 2012).

Outra metodologia que pode ser utilizada como referência na elaboração de inventários é a NBR ISO 14064, que tem por objetivo especificar princípios e requisitos no âmbito da organização para quantificação e para elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE. Essa norma também inclui determinações para o projeto, o

desenvolvimento, o gerenciamento, a elaboração de relatórios e a verificação de um inventário de GEE da organização (NBR ISO, 2007).

Uma das principais diferenças entre as metodologias refere-se à cobertura dos gases. De modo geral, estas abrangem os constantes no protocolo de Quioto (CO_2), (CH_4), (N_2O), (SF_6), (HFCs) e (PFCs). A NBR ISO 14.064 e a PAS 2050 possuem escopo mais abrangente e consideram todos os gases com poder de aquecimento global (SANTOS,2015).

Entre as diversas metodologias existentes para elaboração de inventários de gases de efeito estufa, o *GHG Protocol* vem sendo a ferramenta mais utilizada mundialmente por empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. O Quadro 2 sintetiza as principais características das metodologias para elaboração de inventário de gases de efeito estufa.

Quadro 2 – Características das metodologias para quantificação de emissões.

Metodologia	Abrangência	Criação	Verificação externa	Escopos	Nível de aplicação
WBCSD/WR I GHG Protocol Corporate Standard	Internacional	2004 (edição revisada)	Fornece orientação básica	1; 2 e 3 (opcional)	Organizacional (grandes empresas)
IPCC 2006 GHG Workbook	Internacional	2006	Verificado pelos requisitos do UNFCCC	1; 2 e 3 (dentro da fronteira nacional)	Inventário nacional/ Processos industriais
ISO 14064: 2006 (Parts 1 and 3)	Internacional	2006	Parte 3 especifica requisitos	1; 2 e 3 (não esta claro)	Organizacional (grandes organizações)
WBCSD/WR I GHG Protocol Scope 3 Reporting Standard	Internacional	2009 (rascunho)	Usa o termo "Assurance" e dá detalhada orientação.	3 (detalhado)	Organizacional (Setor privado)
French Bilan Carbone	Nacional (França)	2007 (versão 5.0)	Não prescrito	1; 2 e 3 (cobre vasta gama de atributos)	Organizacional (grandes empresas)
UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Guidelines	Europa - UK (Inglaterra)	2009	Suporta garantia independente mente	1; 2 e 3 (cobertura limitada)	Organizacional (Setor público e privado)
USEPA GHG Rule	América do Norte - EUA	2009	EPA	1	Organizacional (setor público e privado)
USEPA Climate Leaders Inventory Guidance	América do Norte - EUA	2005	Verificação independente recomendada	1; 2 e 3 (opcional)	Organizacional (Setor privado)
US GHG Protocol Public Sector Standard	América do Norte - EUA	2010 (rascunho)	Verificação recomendada	1; 2 ; 3 (opcional)	Organizacional (Setor público)

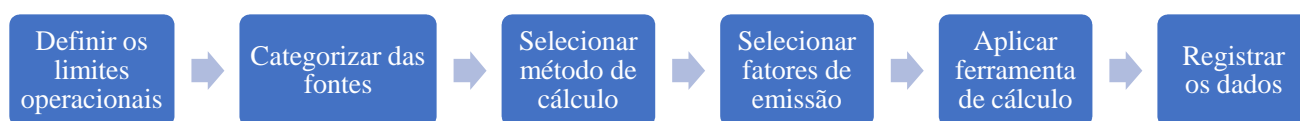
Fonte: Santos (2015)

3.3.1 Metodologia GHG *Protocol* Brasil

O Programa Brasileiro GHG *Protocol* foi lançado oficialmente no dia 12 de maio de 2008, em Brasília. Ele busca promover a cultura corporativa de mensuração, publicação e gestão voluntária das emissões de GEE no Brasil, proporcionando aos participantes acesso a instrumentos e padrões de qualidade internacional para contabilização e elaboração de inventários. A implementação do Programa é uma iniciativa do Centro de Estudos em Sustentabilidade, da Fundação Getúlio Vargas (FGV), e do *World Resources Institute* (WRI), em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (FGV, 2017a).

As principais etapas apresentadas pela metodologia GHG *Protocol* Brasil são: Definição dos limites operacionais; Categorização das fontes de GEE dentro das instalações; Escolha do método de cálculo; Coleta de dados; Escolher fatores de emissão; Aplicar a ferramenta de cálculo; e Registrar os dados (FGV, 2017b). Conforme Figura 4.

Figura 4 – Etapas GHG *Protocol* Brasil.



Fonte: FGV (2017)

A definição dos limites operacionais envolve a identificação das fontes associadas às operações da empresa e a classificação em emissões diretas e indiretas. Assim, o GHG *protocol* estabelece 3 escopos: a) escopo 1: emissões diretas relacionadas ao processo produtivo de uma organização e cujas fontes podem ser controladas por essa. Nesta categoria inclui-se frota própria de veículos e emissões fugitivas devido à utilização de aparelhos de ar condicionado e extintores de incêndio; b) escopo 2: emissões indiretas de GEE devido ao consumo de eletricidade e c) escopo 3: fontes indiretas as quais estão relacionadas à operação da empresa, porém essa não possui controle. A contabilização desse escopo é opcional (FGV, 2017b). A metodologia de cálculo ocorre através do monitoramento direto das emissões ou por meio da aplicação de fatores padronizados para determinada atividade. No geral, quando o monitoramento direto não é possível ou tem custos elevados, números precisos de emissões podem ser calculados a partir de dados de atividades

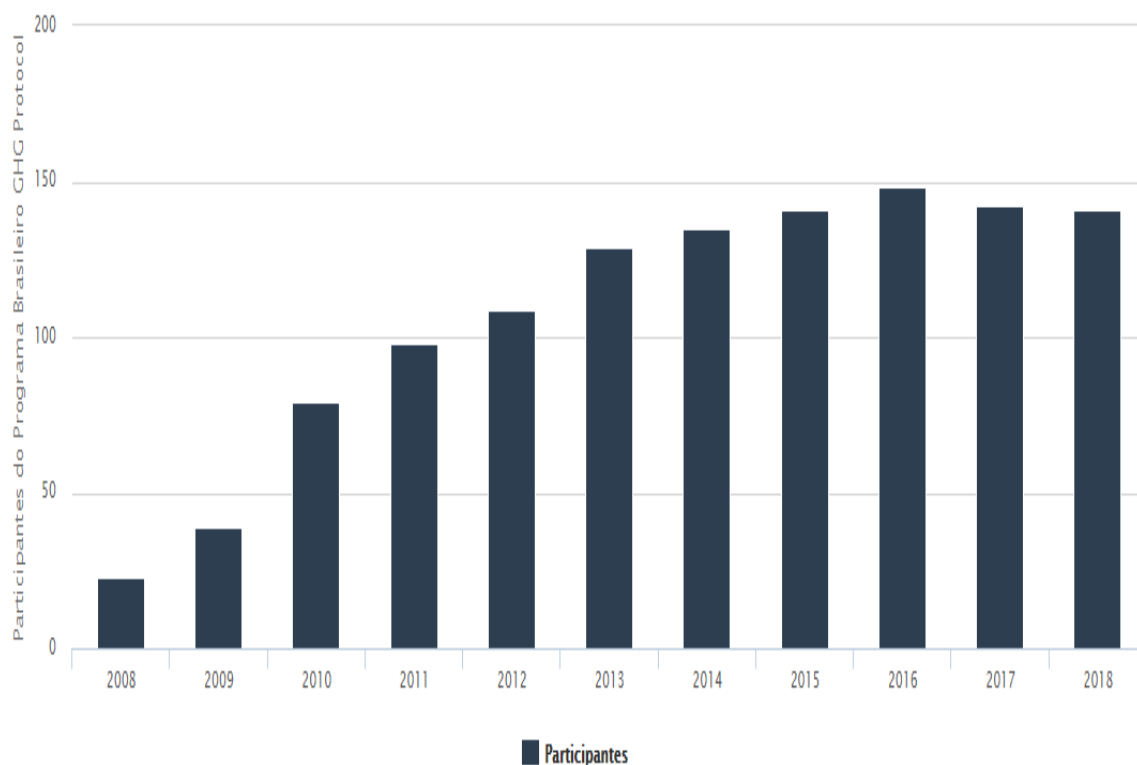
A etapa de coleta de dados de atividade é a que demanda mais tempo e esforço da equipe responsável pela elaboração do inventário de GEE dentro de uma organização, e é também uma etapa fundamental para garantir a qualidade dos resultados finais. A presença de um sistema integrado de gestão de informações, assim como a criação de uma equipe composta de gestores de diversas áreas dentro da organização, representa ganhos consideráveis em tempo de desenvolvimento e qualidade do inventário.

A metodologia *GHG Protocol* disponibiliza uma ferramenta de cálculo que seus fatores de emissão são definidos dentro da mesma. Nessa ferramenta de cálculo, tem-se a alternativa de utilizar métodos próprios ou as propostas pela sua metodologia.

A última etapa engloba a produção do documento. É importante planejar esse processo cuidadosamente, para minimizar o fardo da preparação do inventário, reduzir o risco de erros que podem ocorrer na compilação dos dados, e garantir que todas as unidades empresariais colem as informações consistentemente e segundo a forma previamente aprovada.

Analisando-se o banco de dados do *GHG Protocol* Brasil, verifica-se que foram elaborados desde o ano de 2008 até o ano de 2017, um total de 1.040 inventários. No primeiro ano foram elaborados 23 documentos, número que foi aumentando progressivamente até alcançar a marca de 148 em 2016 e 141 em 2018 conforme, Figura 5 (FGV, 2019a).

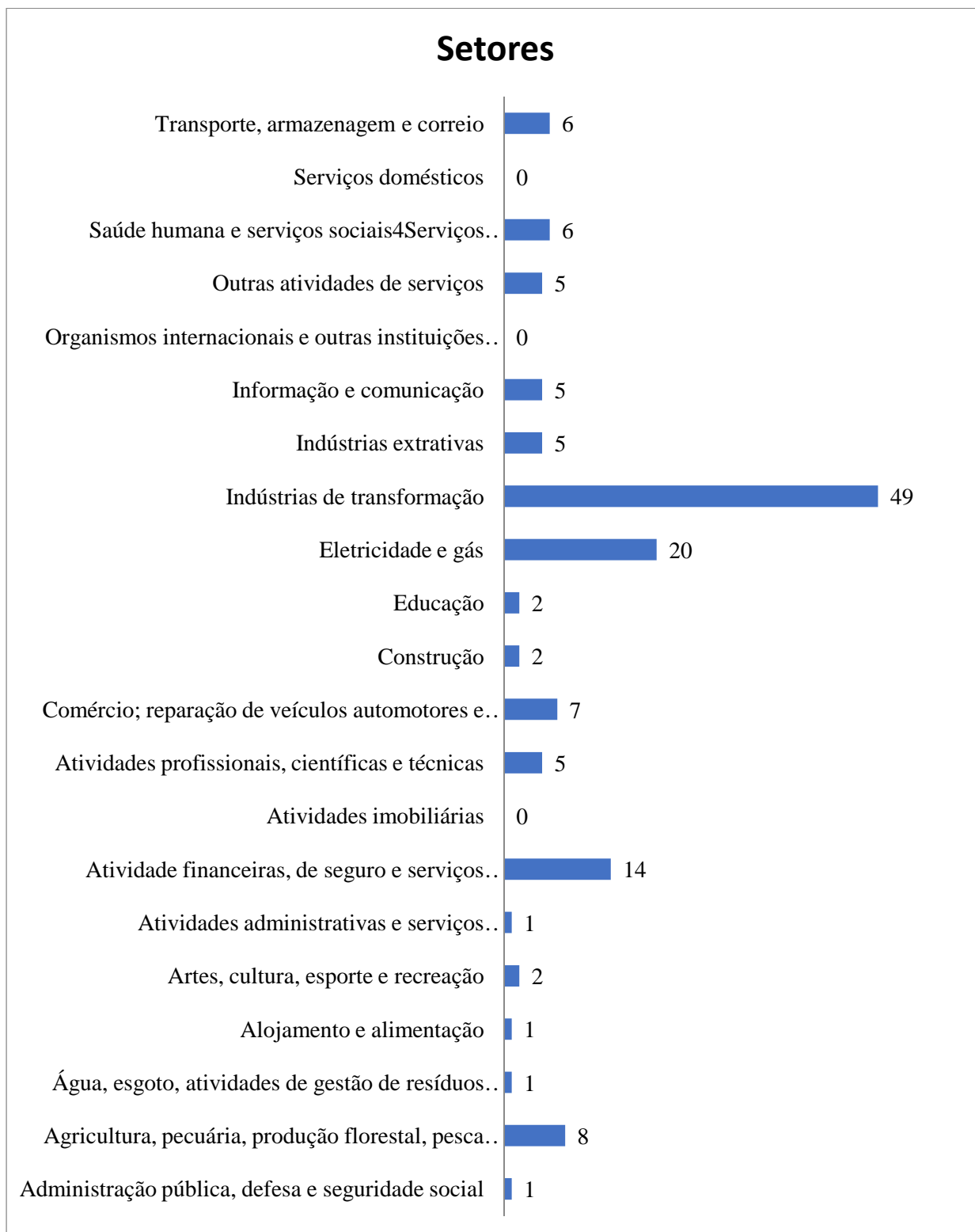
Em relação aos setores das empresas participantes, observa-se que a maior parcela pertence ao grupo de indústrias de transformação. As empresas de água e esgoto estão agrupadas em “Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação”. Verifica-se que no ano de 2018, apenas uma organização estava cadastrada nesse grupo. Cabe ressaltar que a apenas empresa Sanepar-PR possui periodicidade na aferição e publicidade de emissões. Na Figura 6 pode-se observar todos os setores participantes do registro público de emissões do *GHG Protocol* Brasil e o número de empresas integrantes, referente ao ano de 2018 (FGV, 2019b).

Figura 5 – Evolução dos inventários elaborados no programa GHG Protocol Brasil.

Fonte: FGV (2019a)

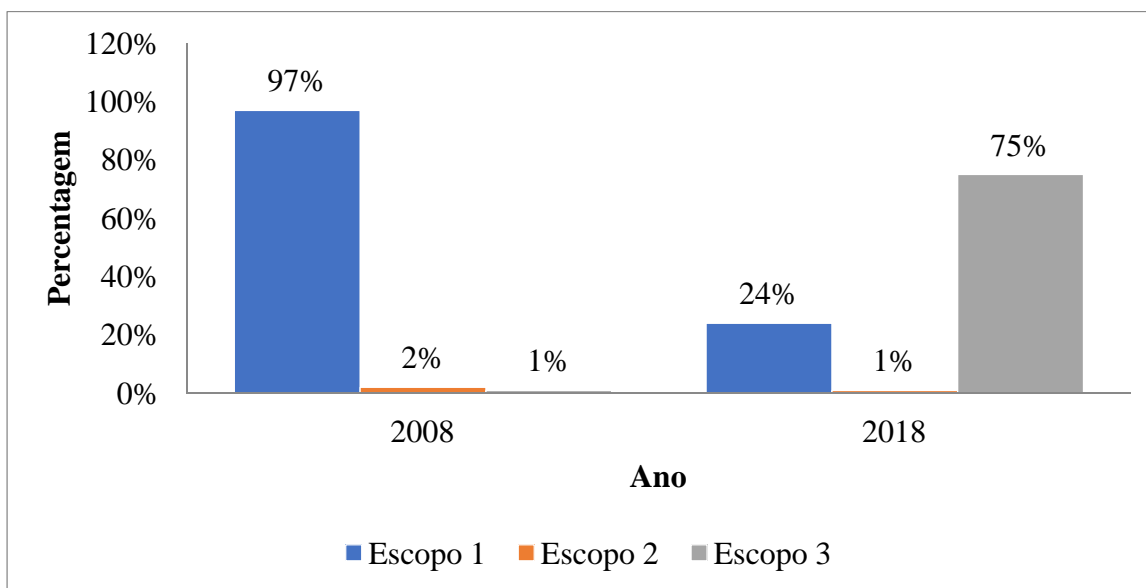
Um aspecto interessante dos documentos analisados refere-se ao perfil das emissões ao longo do período considerando. No primeiro ano de implementação da iniciativa, as emissões diretas (escopo 1) totalizavam 97% do total. Já o ano de 2018 se diferencia pelo aumento no montante das emissões, motivado pelo acréscimo do número de empresas participantes do programa. Além disso, constata-se uma alteração nos percentuais identificados nos anos anteriores. Este fato indica uma maior maturidade das empresas na aplicação da metodologia e a inclusão do escopo 3 em parcela significativa dos documentos. As alterações mencionadas podem ser verificadas na Figura 7.

Figura 6 – Tipologia de empresas com inventários publicados no GHG Protocol e quantidade no ano de 2018.



Fonte: FGV (2019b)

Figura 7 – Perfil das emissões nos anos de 2008 e 2018 de acordo com o escopo GHG Protocol.

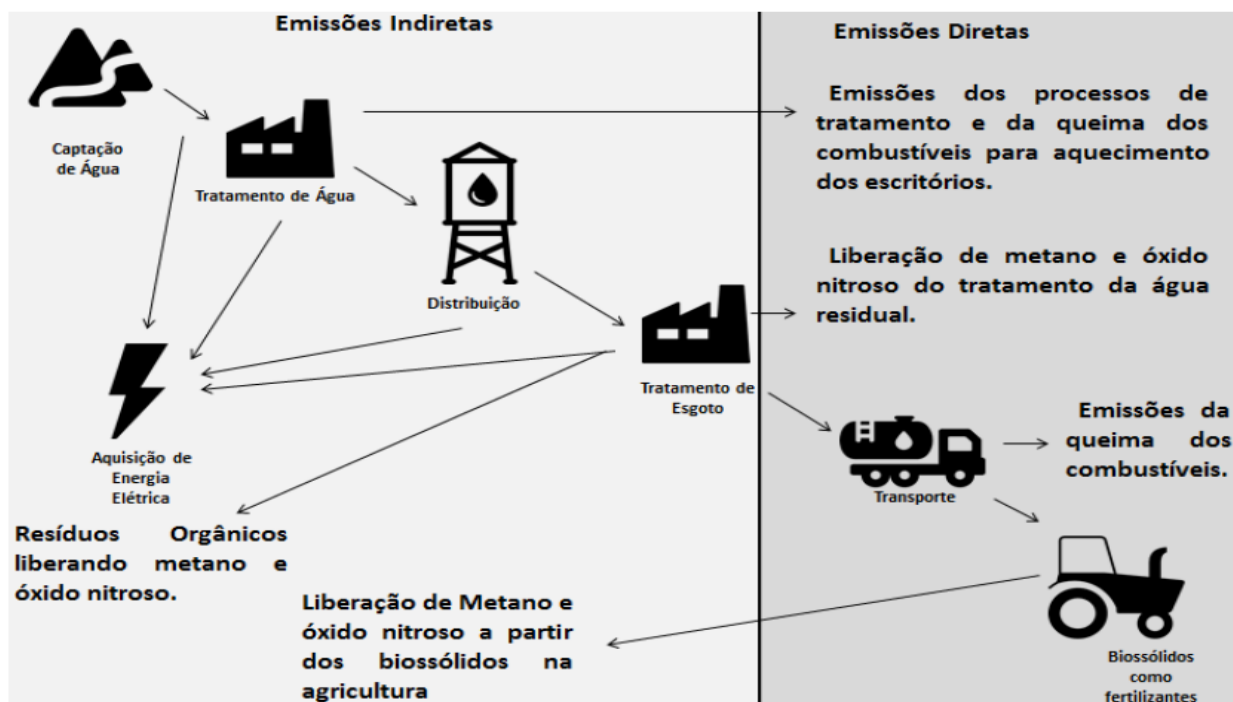


Fonte: FGV (2019c)

3.4 Emissões de GEE em Empresas de Saneamento

Os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário são fontes de emissão de GEE. O tratamento de esgoto gera quantidades significativas de GEE, principalmente metano (CH_4) e óxido nítrico (N_2O). Nesse sentido, diminuir as emissões decorrentes das operações é um dos principais desafios de empresas de saneamento em relação às mudanças climáticas (GUPTA; SINGH, 2012).

Figura 8 – Fontes de emissões de GEE em empresas de saneamento.



Fonte: Santos (2015)

O tratamento desses resíduos, em curto prazo, tende a acelerar as emissões, por envolver processos anaeróbicos que potencializam as descargas de metano. Mas, no longo prazo, a implementação de sistemas de tratamento completo (como aterro sanitário com recuperação e queima do metano) tende a reduzir as emissões. O biogás, gerado em aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes e dejetos animais, é uma mistura de gases que contém principalmente metano e dióxido de carbono, que são causadores do efeito estufa (ICLEI, 2009).

Em geral, os países de alto poder aquisitivo geram mais resíduos, reciclam mais e dispõem de mais recursos para empregar novas tecnologias para tratá-los. Já os países com menor poder econômico, os resíduos produzidos são de origem orgânica, o que exige uma menor reciclagem, ao passo que a eliminação é feita em lixões a céu aberto. (KATHIRAVALE; YUNUS, 2008).

As emissões diretas das atividades relacionadas ao tratamento de esgotos constituem-se em uma das mais representativas nos países em desenvolvimento. Sendo a quinta maior fonte de emissões antropogênicas de CH₄, contribuindo com aproximadamente 9% do total de emissões globais de CH₄ em 2000. E a sexta maior contribuinte para as emissões de N₂O, representando cerca de 3% das emissões de N₂O de todas as fontes (GUPTA; SINGH, 2012).

A média anual de emissões de GEE entre 2006 e 2012 para a operação de empresas de saneamento foi estimada em 41 Mt de CO₂e, dos quais 58% de uso de energia, 40% de tratamento e os restantes 2% de uso de produtos químicos. Investigações posteriores de outras emissões indiretas revelaram que 90% das emissões do Escopo 3 não são capturadas na estimativa de baixo para cima, o que significa que tem havido subestimação significativa das emissões indiretas de GEE relacionadas às empresas de água (ZHANG et. al, 2017)

No Brasil, este setor responde pela menor parcela de emissões (5%) com aproximadamente 91,9 milhões de tCO₂e em 2018, esta cifra representa um crescimento de mais de 600% desde 1970 e de 95% entre 2000 e 2018 (SEEG, 2019).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados resultados das emissões de Gases de Efeito Estufa nas empresas de saneamento no mundo e no Brasil, respectivamente.

Tabela 1 – Emissões de empresas de saneamento no mundo.

Extensão Geográfica	Emissões tCO ₂ e/ano			Fonte
	Diretas	Indiretas	Totais	
Uttar Pradesh, Índia	204,65	2.863	3.027,84	Gupta e Singh, 2012
Daejeon, Korea	179.931	59.008	238.938	Yi et al, 2014
Cidades Chinesas	17.220.000	23.780.000	41.000.000	Bernstad e Jansen, 2012

Fonte: Adaptado de Gupta and Singh (2012), Yi et al (2014), Bernstad e Jansen (2012)

Tabela 2 – Emissões de empresas de saneamento no Brasil.

Extensão Geográfica	Emissões tCO ₂ e/ano			Fonte
	Diretas	Indiretas	Totais	
Embasa, Bahia	870.303	99.193	969.496	Santos, 2015
Sanepar, Paraná	1.093.994	52.020	1.146.014	Sanepar, 2018
Copasa, Minas Gerais	571.163	119.960	691.124	Copasa, 2015

Fonte: Adaptado de Santos (2015), Sanepar (2018), Copasa (2015)

As estimativas de emissões nesse setor estão associadas às políticas públicas de responsabilidade municipal e são prejudicadas pela deficiência nas informações disponíveis sobre sistemas de coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos. Assim, sendo cada vez mais importante a implementação completa do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) para melhor estimar as emissões deste setor e identificar oportunidades de mitigação (SANTOS, 2015).

3.5 Gerenciamento de GEE

A elaboração de inventário de GEE consiste em um passo importante para que uma empresa contribua para o combate à mudança do clima. Ele contabiliza as emissões de todas as fontes identificadas nas atividades diretas e indiretas associadas a uma empresa (SANTOS et al., 2015). É um documento indispensável para a análise das questões relacionadas à intensificação do efeito estufa causado pelas atividades humanas, disponibilizando informações para a proposição de uma Política Municipal de Mudanças Climáticas e de um Plano de Ação que contemple medidas objetivas a serem adotadas para a mitigação das emissões dos GEE nos governos locais (FEAM, 2008).

O inventário é uma das principais etapas para elaboração da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto ou processo. Nesta etapa são identificadas e quantificadas todas as entradas e saídas do sistema relacionadas às categorias de impactos referentes ao estudo. São quantificados os materiais utilizados nos processos, a energia e as emissões geradas para o meio ambiente. Os balanços de massas e de energia são realizados para toda a cadeia produtiva que engloba: extração, processamento de matéria-prima, manufatura, transporte e distribuição, uso/reuso/manutenção, reciclagem e descarte final (ROSSATO, 2009).

Para uma organização ter ações sustentáveis, a mesma deve estar seriamente preocupada em como as suas ações irão impactar o meio ambiente e interferir nas condições de vida para as gerações atuais e as futuras. Muitas empresas deixam a desejar no aspecto gerenciamento ambiental não se preocupando como suas ações podem impactar adversamente o meio ambiente. Para melhorar esse aspecto, a norma NBR ISO 14001 (2015) surge como uma ferramenta para auxiliar empresas a identificar, priorizar e gerenciar seus riscos ambientais como parte de suas práticas usuais. Essa norma faz com que a empresa dê uma maior atenção às questões mais relevantes de seu negócio, exigindo maior comprometimento com a prevenção da poluição e com melhorias contínuas, como parte do ciclo normal de gestão empresarial.

O gerenciamento dos GEE começa a partir do conhecimento de quanto uma empresa emite através dos inventários de emissões GEE, no qual fornecem informações gerenciais para que sejam realizadas estratégias visando à redução de emissões, assim, destacando as empresas como líderes em desempenho climático. As empresas já estão cientes que os custos com o gerenciamento de GEE são compensados pelos benefícios e oportunidades gerados por este novo conceito de gestão, que além de mitigar seus impactos ambientais ainda agregam valor a sua imagem corporativa (HALL e LEE, 2008).

O processo de gerenciamento dos GEE consiste no cumprimento de quatro etapas: Planejamento; Implantação e Operação; Verificação e Ação Corretiva; e Revisão, visando o melhoramento contínuo (PINHO, 2009).

- Planejamento: A empresa ou organização precisa identificar todas as fontes de emissão relacionadas a seu processo produtivo. Em seguida, essas as fontes devem ser enquadradas nos escopos 1, 2 ou 3 e a empresa deve decidir quais fontes tomará ações para reduzir as emissões.
- Implantação e Operação: a coleta dos dados precisa ser estruturada de forma que todas as unidades operacionais do negócio estejam compreendidas no inventário e todos os envolvidos com as informações necessárias ao cálculo das GEE estejam conscientes e

sensibilizados não apenas da questão climática, mas, também, da importância da geração acurada dos dados.

- **Verificação e Ação Corretiva:** nessa etapa as metas devem ser estabelecidas e constantemente verificadas para avaliação da eficácia do gerenciamento de GEE. Dessa forma novas medidas ou estratégias precisarão ser tomadas ou definidas de acordo com o resultado da avaliação.
- **Revisão:** esta etapa é caracterizada como Comunicação. Ou melhor, haverá necessidade de uma divulgação interna e externa das emissões contabilizadas. Neste sentido, a alta administração decide o que fica na alçada interna corporativa e o que será divulgado para seu público. Cabe lembrar que pode haver níveis de disponibilização de informação diferenciados, tratando-se de consumidores e investidores, por exemplo. Assim pode se fazer uso dos dados das emissões para construção de uma reputação corporativa climaticamente amigável.

De acordo com Pinho (2009), as principais vantagens no gerenciamento de GEE em empresas são:

- Fazer negócios de maneira correta;
- Diminuição dos riscos ao negócio;
- Avaliação de oportunidades;
- Competitividade;
- Redução de custos;
- Atendimento a pressão de partes interessadas;
- Ganhos de imagem corporativa.

3.6 Estratégias de Mitigação e Neutralização de GEE

A neutralização é uma medida de ação voluntária que é adotada por empresas e indivíduos com o intuito de favorecer o meio ambiente. Segundo Azevedo e Quintino (2010), a neutralização de CO₂e emitido consiste na retirada do CO₂ da atmosfera e converte-lo em biomassa por meio da reação de fotossíntese, ou seja, fixação de carbono realizado por árvores. Essa reação permite o crescimento das árvores e o acúmulo de biomassa através da absorção CO₂ e liberação de oxigênio (O₂) na atmosfera, fixando o carbono nos troncos, galhos, folhas e raízes.

A compensação de carbono a partir de ações de neutralização de GEE, seja com o reflorestamento ou com atividades de conservação florestal, é uma prática interessante de

atenuação do efeito estufa. No entanto, essa iniciativa não deve ser única, devem ser utilizadas outras ações de redução das emissões de GEE (BRIANEZI et al., 2014).

A neutralização de carbono pode ser considerada como uma fonte de mitigação ambiental, em que empresas, instituições e cidadãos têm como opção de compensar suas emissões de gás carbônico por meio do plantio de árvores que fixam carbono através do processo de fotossíntese durante seu crescimento e desenvolvimento (NETTO et al., 2008).

Como medida para reduzir as emissões de metano para atmosfera, o uso de biogás gerado no processo de decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos traz inúmeros benefícios, principalmente, no que se refere aos benefícios socioambientais. De acordo com o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2001), a utilização do biogás apresenta vantagens, entre elas:

- Geração descentralizada e próxima aos pontos de consumo a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Possibilidade de venda de eletricidade à rede;
- Redução das emissões de metano para a atmosfera, pois seu potencial de poluição global é 21 vezes maior que o de CO₂;
- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo efeito estufa.

Com o avanço dos anos fica mais claro que a política do controle do gás carbônico não trata apenas das mudanças climáticas, mas de um novo modelo de políticas sociais e econômicas. Com isso, as empresas que quantificam, monitoraram e mitigam seus gases de efeito estufa apresentam muitas oportunidades de melhoria, porém vale ressaltar, que a iniciativa demonstra um compromisso ambiental e as colocam a frente de outras empresas que se omitem diante do quadro de mudanças climáticas. (MELO, 2017).

Os Quadros 3 e 4 apresentam as principais medidas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em empresas de saneamento no mundo e no Brasil, respectivamente.

Quadro 3 – Estratégias de mitigação de empresas de saneamento no mundo.

Extensão Geográfica	Medidas Adotadas
Uttar Pradesh, Índia	Utilizar metano para geração de eletricidade ou utilizado como combustível
Daejeon, Korea	Uso eficiente de energia
	Recuperação do biogás para geração de energia
Cidades Chinesas	Utilizar novas alternativas para o tratamento de águas residuais
	Utilizar novas fontes energia

Fonte: Adaptado de Gupta and Singh (2012), Yi et al (2014), Bernstad e Jansen (2012)

Quadro 4 – Estratégias de mitigação de empresas de saneamento no Brasil.

Extensão Geográfica	Medidas Adotadas
Copasa, Minas Gerais	Programa de Eficiência Energética
	Ações de preservação, manutenção e ampliação das áreas verdes de proteção dos mananciais, que contribuem para o sequestro dos GEE
	Aperfeiçoamento da gestão da sua frota de veículos, incorporando práticas que priorizem a redução dos custos operacionais, o sequestro das emissões
	Cogeração de energia elétrica na central termelétrica da ETE
Embasa, Bahia	Piloto para aproveitamento de biogás gerado a partir do tratamento de esgoto
	Ações de preservação, manutenção e ampliação das áreas verdes de proteção dos mananciais
	Redução das distâncias para coleta de amostras para análises de água
Sanepar, Paraná	Melhoria de processos operacionais
	Uso de queimadores abertos com ignição automática
	Antecipação e minimização de riscos regulatórios
	Melhoria da imagem dos produtos e serviços perante stakeholders

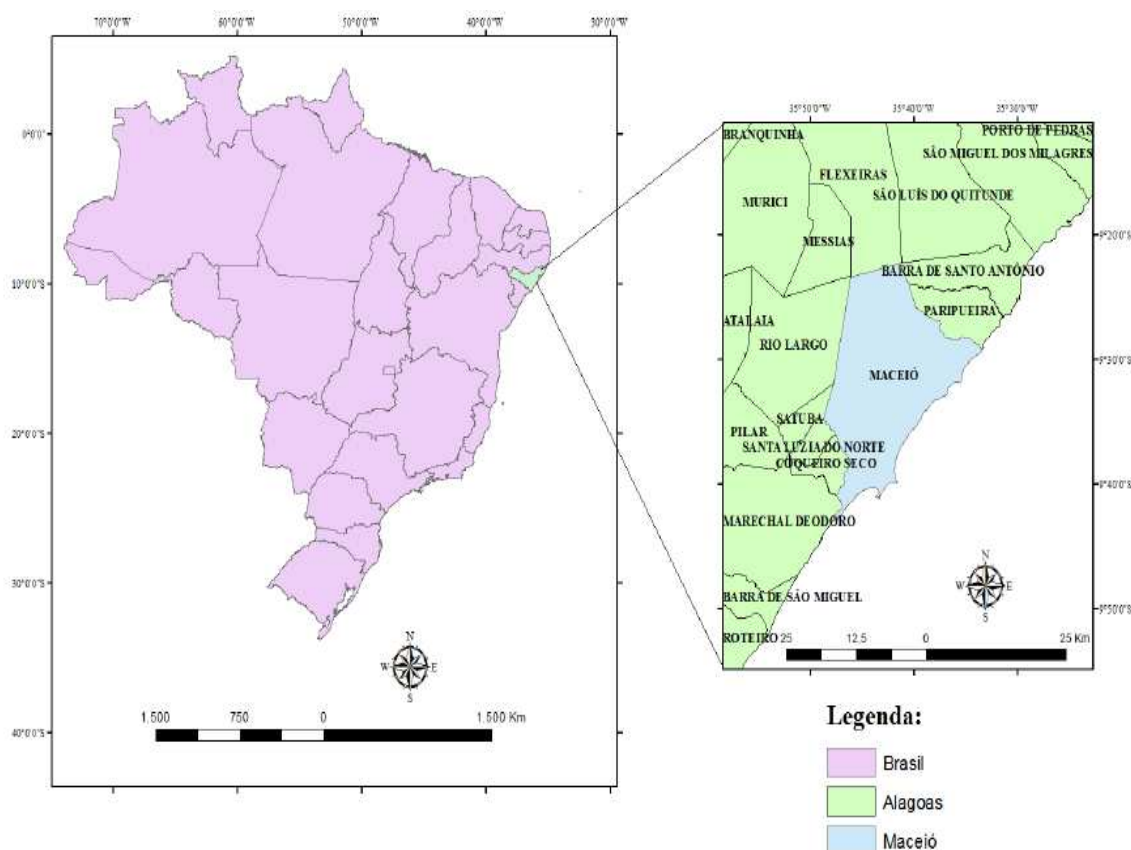
Fonte: Adaptado de Santos (2015), Sanepar (2018), Copasa (2015)

4 ESTUDO DE CASO – CASAL UN CAPITAL

Fundada em dezembro de 1962, oriunda do antigo Departamento de Água e Esgoto da Secretaria de Viação e Obras do Estado de Alagoas, a Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL, é a empresa de abastecimento de água e saneamento básico do estado de Alagoas com sede em Maceió (Figura 9), sendo a responsável pela construção, exploração e manutenção dos sistemas de abastecimento d'água e esgotamento sanitário dos centros populacionais do Estado (CASAL, 2018b).

A empresa tem como principal atividade econômica: captação, tratamento e distribuição de água. No qual, em 2018 a sua governança é sustentada pela Lei Federal 13.303/2016.

Figura 9 – Localização do Município de Maceió-AL



Fonte: SILVA (2017)

De acordo com sua estrutura organizacional, a CASAL é constituída pela presidência e mais três vices presidentes. Sendo dividida em 06 (seis) Unidades de Negócio (UN), UN Capital, UN Agreste, UN Serrana, UN Bacia Leiteira, UN Leste e UN Sertão. Dentro da UN Capital destacam-se três unidades de suporte para desenvolvimento de suas atividades, UN Benedito Bentes, UN Farol e UN Jaraguá. Conforme Figura 10 e Anexo I (CASAL, 2018a).

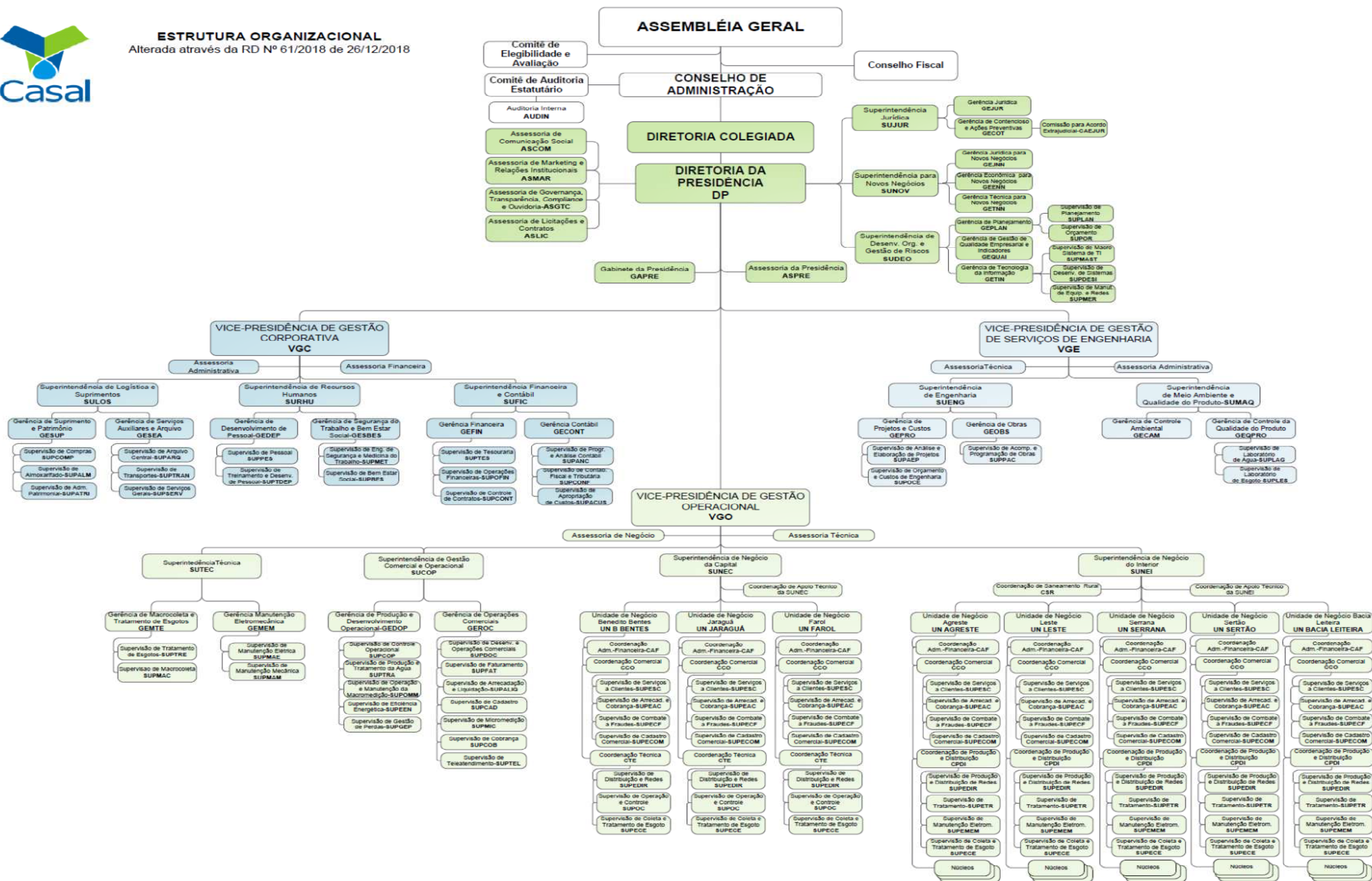
No ano considerado para execução do inventário, 2018, a empresa foi responsável pelo abastecimento de água tratada em 77 municípios, no tocante a esgotamento sanitário, a empresa foi responsável em 7 (sete) cidades. Nesse mesmo ano a empresa possuía um total de 1.519 funcionários, dos quais 926 estavam na UN Capital: 800 ativos e 126 afastados.

A unidade Capital da CASAL, no âmbito de abastecimento de água, possui 3 estações de tratamento de água, 173 poços de captação, 39 estações elevatórias de água, 1.414 quilômetros de rede de água para atender a 150.000 ligações de água e uma população de 942.888 habitantes, possuindo um índice de abastecimento de água de 91,62%. No âmbito do esgoto possui 31 estações de tratamento de esgoto, 21 estações elevatórias de esgoto para atender uma população de 588.805 habitantes (CASAL, 2018b).



ESTRUTURA ORGANIZACIONAL
Alterada através da RD Nº 61/2018 de 26/12/2018

Figura 10 – Estrutura Organizacional da CASAL em 2018



Fonte: CASAL (2018a)

5 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, a metodologia foi composta por três etapas, as quais envolveram a pesquisa bibliográfica, a elaboração do inventário dos gases de efeito estufa e a proposta de gerenciamento de suas emissões através de medidas de mitigação e compensação das emissões.

5.1 Pesquisa Bibliográfica

Nesta etapa foi realizado um levantamento do estado da arte de estudos relacionados a inventários de gases de efeito estufa em empresas, a fim de verificar o que existia de mais atual na área de gestão de GEE. Também foi verificado a legislação nacional e internacional sobre mudanças climáticas e estratégias de mitigação e neutralização de GEE. As fontes consultadas foram: artigos científicos, protocolos, guias e padrões publicados por instituições reconhecidas internacionalmente, leis nacionais e tratados internacionais, inventários realizados por outras instituições, normas, entre outros.

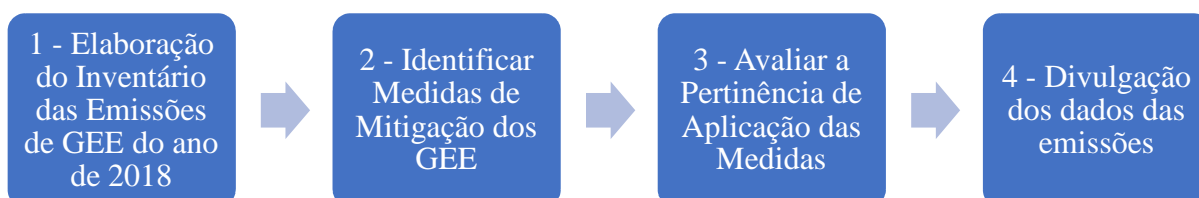
5.2 Inventário de Emissões de GEE

O inventário de emissões de gases de efeito estufa em empresas demanda um estudo que permita identificar e compreender suas fontes emissoras. Os resultados da estimativa variam de acordo com a metodologia e fatores considerados.

O inventário das emissões de GEE e a proposta de gerenciamento dos gases foram realizados considerando a área de abrangência da unidade da Capital da Companhia de Saneamento de Alagoas.

As atividades definidas para elaboração do gerenciamento das emissões de gases de efeito estufa na unidade capital da CASAL são descritas na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma para o gerenciamento das emissões dos gases de efeito estufa.



Para o melhor entendimento do fluxograma apresentado na Figura 11, os passos para confecção do gerenciamento foram:

- 1 - Elaboração do inventário de emissões de GEE do ano de 2018, o qual contabilizou as fontes dentro de cada escopo e armazenamento dos resultados das emissões;
 - 1.1 - Estabelecimento dos limites organizacionais e operacionais;
 - 1.2 - Seleção da metodologia apropriada para o setor de saneamento;
 - 1.2 - Coleta de dados;
 - 1.3 - Seleção do ano-base;
 - 1.4 - Aplicação da metodologia selecionada;
 - 1.5 - Apontamento de melhorias para ao aprimoramento do inventário.
- 2 - Identificação de medidas de mitigação dos GEE, de acordo com as metas estabelecidas pela empresa;
- 3 - Avaliação da pertinência de aplicação das medidas identificadas;
- 4 - E por finalmente a utilização dos dados de emissões para construção de uma reputação corporativa climaticamente amigável.

Posteriormente à análise da estrutura organizacional da CASAL, foi necessário o diagnóstico de suas atividades. Verificou-se que a empresa coordena cinco macroprocessos: Abastecimento de água, esgotamento sanitário, comercialização, manutenção e administração.

Assim, analisando os macroprocessos desenvolvidos pela empresa e seguindo as orientações para identificar potenciais fontes de emissão de GEE em empresas da área de saneamento, foram definidas as categorias para elaboração do inventário. No Quadro 5 são discriminadas as fontes identificadas conforme o escopo. A escolha das categorias analisadas foi devido a obtenção das informações mínimas para estimativa das emissões.

Os escopos foram divididos em três conforme metodologia apresentada pelo GHG *protocol*, com as seguintes definições:

- Escopo 1: emissões diretas relacionadas ao processo produtivo de uma organização e cujas fontes podem ser controladas por essa;
- Escopo 2: emissões indiretas de GEE devido ao consumo de eletricidade;
- Escopo 3: fontes indiretas as quais estão relacionadas à operação da empresa, porém essa não possui controle.

Quadro 5 – Fontes de emissões de GEE identificadas

Escopo	Categoria	Descrição
1	Emissões de GEE no tratamento de efluentes	Inclui a emissão decorrente do tratamento do esgoto e do esgoto não tratado
	Combustão móvel	Refere-se ao consumo de combustível utilizado pelos veículos de terceiros durante o ano. Esta categoria englobou viagens a negócios terrestres e transporte de resíduos operacionais.
	Combustão estacionária	Refere-se ao consumo de combustível utilizado pelos motogeradores
	Emissões fugitivas	Refere-se à quantidade de gás aplicado na manutenção dos aparelhos de ar condicionados e extintores de incêndio
2	Consumo de energia elétrica	Inclui as atividades administrativas e operacionais da empresa
3	Viagens a negócios aéreas	Consideram-se as viagens realizadas por funcionários da empresa em transporte de terceiros (avião)
	Deslocamento de funcionários	Considera a distância percorrida pelo funcionário de sua residência ao trabalho durante o ano

Fonte: O autor

A exclusão de emissões decorrentes do processo de tratamento de água é devido à ausência de uma metodologia destinada a essa quantificação. Todavia, segundo Santos (2015), são pouco significativas.

Para elaboração deste inventário foram contabilizados as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), R-410A e HFC-143a provenientes da unidade capital da CASAL, durante o ano de 2018. O poder de aquecimento global para cada um é de 1, 25, 310, 2.088 e 1.430, respectivamente (FGV, 2018). A contabilização das emissões foi realizada para cada tipo de GEE e convertidos para toneladas de CO₂ equivalente (tCO_{2e}) de acordo com o poder de aquecimento global de cada um deles.

A metodologia utilizada para elaboração do inventário teve como base o Guia de Orientações do IPCC 2019 e *GHG Protocol* adaptado ao contexto e cenário brasileiro, essas serviram para estimar as emissões de GEE oriundas das atividades da unidade Capital da CASAL. Já a NBR ISO 14064 (2007) identificou ações específicas para aperfeiçoar o gerenciamento de GEE, bem como orientou sobre a qualidade do gerenciamento do inventário e as responsabilidades da organização na verificação de atividades. O Guia Qualidata (OLIVEIRA, 2017) serviu como base para orientar sobre a qualidade dos dados.

5.2.1 Coleta dos Dados

Este trabalho iniciou-se com o planejamento prévio com os orientadores e em seguida junto a equipe da Diretoria Técnica da CASAL. Na ocasião, foi apresentada a minuta contendo a proposta de trabalho a ser desenvolvida nessa pesquisa. Em seguida, realizou-se uma reunião, em 26 de fevereiro de 2018, com a presença do assessor da presidência e a gerência do meio ambiente. No encontro foi apresentado o projeto e analisada qual seria a estratégia mais apropriada para a coleta de dados. Assim, foi definido que deveria ser solicitado aos diferentes setores os dados necessários para o cálculo referentes às emissões de GEE da empresa. Para isso, foi necessário elaborar um ofício para o presidente da empresa solicitando que os setores apresentem os dados requeridos para elaboração do estudo.

O processo de coleta de dados foi realizado nos diferentes setores da CASAL de acordo com as categorias identificadas no Quadro 5. A divisão em categorias se fez necessário para que se pudesse identificar a parcela de contribuição de cada escopo nas emissões. No Quadro 6 são apresentados com detalhes os dados coletados, o meio de obtenção e a fonte. Todos os setores citados no Quadro 6 receberam uma cópia do Ofício entregue ao Presidente em exercício da companhia por meio de uma comunicação interna.

A categoria de transporte de resíduos operacionais se encontra enquadrada na categoria de combustão móvel, pois o consumo de combustível apresentando pela supervisão de transporte está incluso o consumo dos veículos que realizam o transporte de materiais retidos nas estações elevatórias e de tratamento.

Quadro 6 – Processo de coleta de dados na CASAL

Escopo	Categoria	Dado Obtido	Fonte
1	Emissões de GEE no tratamento de efluentes	Relação das estações de tratamento de esgoto, bem como o tipo de tratamento, a vazão e a região atendida	Supervisão de Tratamento de Esgoto (Suptre) e Gerência de Projetos (gepro)
	Combustão móvel	Relatório com o consumo dos combustíveis dos veículos alugados pela companhia	Supervisão de Transportes (Sutran), Suptre e Gerência de Serviços Auxiliares (Gesea)
	Combustão estacionária	Relação motogeradores e o consumo anual de diesel	Gerência de Manutenção (Gemem) e Sutran
	Emissões fugitivas	Relação com a quantidade de ar condicionados e extintores de incêndio. Além do contato das empresas de manutenção desses equipamentos	Gesea, Gerência de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (Gesmet), Azulear e Extimaq
2	Consumo de energia elétrica	Relatório do consumo anual de energia elétrica	Supervisão de Eficiência Energética (Supeen)
3	Viagens aéreas a negócios	Relação com a quantidade de viagens aéreas	Secretaria da Presidência
	Deslocamento de funcionários	Relação dos endereços dos colaboradores da CASAL, Unidade Capital	Supervisão de Pessoal (Suppes) e Supervisão de Bem Estar Social (Supbes)
	Transporte de resíduos operacionais	Relatório com o consumo dos combustíveis dos veículos alugados pela companhia	Suptre

Fonte: O autor

5.2.2 Cálculo das Emissões

As emissões de GEE foram calculadas utilizando as diretrizes do IPCC (2019b) e a ferramenta *GHG Protocol* 2019.3, desenvolvida no software Microsoft Excel pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Essa ferramenta permite a categorização e contabilização das emissões de diversas fontes, conforme Figura 12.

Figura 12 – Menu da ferramenta *GHG Protocol*



Fonte: FVG (2018)

Baseado na definição das categorias que foram consideradas no inventário, nesta seção será explicitada detalhadamente a metodologia utilizada e as considerações feitas para estimativa.

5.2.2.1 Escopo 1

5.2.2.1.1 Tratamento de Efluentes

Os efluentes coletados pela CASAL na unidade Capital são encaminhados para diferentes unidades de tratamento. Como as tecnologias utilizadas, que produzem GEE durante o tratamento, são aeróbia e anaeróbia, a estimativa das emissões provocadas por essas unidades foram calculadas para os gases metano e óxido nitroso.

Estimativas de Metano

A estimativa das emissões de metano decorrentes do tratamento de esgoto e do lançamento bruto em corpos d'água foi realizada considerando as diretrizes do IPCC (2019b).

Os passos para calcular as emissões de metano na companhia são os seguintes:

- Passo 1: Estimativa do material degradável no esgoto doméstico realizado conforme equação 1.

$$Tow = P \times DBO \times 0,001 \times I \times 365 \quad (1)$$

Onde:

Tow = carga orgânica total do esgoto no ano do inventário (KgDBO/ano)

P = População no ano do inventário

DBO = DBO per capita no ano do inventário (g/pessoa/dia)

0,001 = Conversão de grama DBO para kg DBO

I = Fator de correção para descarte de DBO comercial na rede coletora

O guia IPCC (2019b) informa que, para o Brasil, a DBO per capita é de 50 g/pessoa/dia e o fator de correção recomenda 1,25 para coletado e 1,00 para não recolhido.

- Passo 2: Fator de emissão utilizado

O fator de emissão para um sistema de tratamento é função do potencial máximo de produção de metano e do fator de correção de metano conforme a equação 2.

$$EF = B_o \times FCM \quad (2)$$

Onde:

EF = Fator de emissão (Kg de CH₄/Kg de DBO)

B_o = Capacidade máxima de produção de CH₄

FCM = Fator de correção para o metano

Como não houveram dados da região de estudo para a capacidade de produção de metano, utilizou-se o valor padrão de 0,6 Kg de CH₄ / Kg de DBO (IPCC,2019b).

- Passo 3: Emissões totais de metano procedentes da unidade de tratamento de esgoto

Para estimativa das emissões totais será utilizada a equação 3.

$$\text{Emissões de CH}_4 = EF \times TOW \quad (3)$$

Onde:

Emissões de CH₄ = Emissões de CH₄ durante o ano do inventário (Kg de CH₄/ano)

TOW = Total de matéria orgânica presente no esgoto no ano do inventário (Kg de DBO/ano)

EF = Fator de emissão (Kg de CH₄/Kg de DBO)

As diversas tecnologias existentes na empresa foram agrupados em categorias e considerados os seguintes fatores de correção de metano (Tabela 3).

Tabela 3 – Fator de correção para o metano de acordo com o tipo de tratamento.

Tipo de tratamento	FCM
Fossa Filtro	0,50
Lodo Ativado	0,03
Lagoa de estabilização	0,80
Reator UASB	0,80
Emissário Submarino	0,10

Fonte: IPCC (2019b)

Estimativa de Óxido Nitroso

A estimativa das emissões de óxido nitroso decorrentes do tratamento de esgoto e do lançamento bruto em corpos d'água foi realizada através da equação 4, adaptada de IPCC (2019b).

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = P \times N_E \times EF \times 44/28 \quad (4)$$

Onde:

Emissões de N₂O = Emissões de N₂O no ano do inventário (Kg N₂O/ano)

P = População no ano do inventário

N_E = Carga unitária de nitrogênio no efluente doméstico (Kg N/habitante/ano)

EF = Fator de emissão para emissões de N₂O da descarga em águas residuais (Kg N₂O-N/Kg N)

44/28 = É a conversão de Kg N₂O-N em Kg N₂O

Segundo Sperling (2014), a carga unitária de nitrogênio para efluente doméstico é 4,68 g/indivíduo/dia. As diversas tecnologias existentes na empresa foram agrupados em categorias e considerados os seguintes valores padrão para os fatores de emissão de óxido nitroso (Tabela 4).

Tabela 4 – Fator de emissão para emissões de N₂O da descarga em águas residuais de acordo com o tipo de tratamento.

Tipo de tratamento	EF
Fossa Filtro	0,0045
Lodo Ativado	0,0160
Lagoa de estabilização	0,0000
Reator <i>UASB</i>	0,0000
Emissário Submarino	0,0050

Fonte: IPCC (2019b)

5.2.2.1.2 Combustão Móvel

No ano de 2018 todos os veículos utilizados pela companhia foram alugados, mas o abastecimento deles foi de sua responsabilidade. Por isso o consumo de combustível para os veículos utilizados pela empresa foi incluído no escopo 1.

Este item é derivado do deslocamento de colaboradores, materiais e resíduos realizados por veículos de prestadores de serviço a CASAL, UN Capital. Nesse caso, foram inclusos as viagens a negócios terrestres, transporte de materiais entre os almoxarifados e transporte de resíduos oriundos das estações elevatórias e de tratamento. As estações que geram resíduos da companhia os destinam para Aterro Sanitário da cidade de Maceió, Alagoas.

Em relação a combustão móvel, a ferramenta de estimativa de emissões de GEE, GHG *Protocol* 2019.3, disponibiliza três opções para o cálculo: pelo tipo e ano de fabricação da frota, pelo consumo de combustível ou pela distância percorrida pelos veículos. Com isso, as estimativas das emissões de GEE provenientes dessa categoria foram baseadas no consumo anual de combustíveis por gerar uma estimativa precisa e da disponibilidade dos dados. As emissões foram obtidas através da equação 5:

$$E_{GEE} = CB \times F_{GGG,c} \quad (5)$$

Onde:

E_{GEE} = Emissão de GEE (tGEE/ano)

CB = Consumo de combustível (m³/ano)

$F_{GGG,c}$ = Fator de emissão do GEE (CH₄, N₂O, CO₂) devido ao consumo do combustível (tGEE/m³) (Tabela 5).

Tabela 5 – Fatores de emissão por tipo de combustível.

Combustível	Kg CO₂/L	Kg CH₄/L	Kg N₂O/L
Gasolina	2,21200	0,00080	0,00026
Diesel	2,60300	0,00010	0,00014
Etanol	1,45700	0,00040	0,00001

Fonte: FGV (2018)

5.2.2.1.3 Combustão Estacionária

O cálculo das emissões desse item foi realizado através da metodologia apresentada pela ferramenta GHG *Protocol* 2019.3, no qual as estimativas das emissões de GEE provenientes da combustão de fontes estacionárias foram baseadas no consumo anual de combustíveis e o fator de emissão do tipo de combustível utilizado. As emissões foram obtidas através da equação 6.

$$E_{GEE} = CB \times F_{GGG,d} \quad (6)$$

Onde:

E_{GEE} = Emissão de GEE (tGEE/ano)

CB = Consumo de combustível (m³/ano)

$F_{GGG,d}$ = Fator de emissão do GEE (CH₄, N₂O, CO₂) devido ao consumo do diesel (tGEE/m³) (Tabela 6).

Tabela 6 – Fatores de emissão por tipo de combustível.

Combustível	Kg CO₂/L	Kg CH₄/L	Kg N₂O/L
Diesel	2,6300	0,00036	0,00002

Fonte: FGV (2018)

5.2.2.1.4 Emissões Fugitivas

O cálculo das emissões desse item foi realizado através da estimativa da recarga anual dos gases liberados na atmosfera referente aos aparelhos de ar condicionado e extintores de incêndio. A ferramenta de cálculo GHG *Protocol 2019.3* apresenta três opções de cálculo, no qual a utilizada foi pelo método de triagem.

De acordo com a empresa que presta serviço de manutenção nos aparelhos de ares condicionados da CASAL, cada aparelho de ar condicionado proporciona 1 (uma) recarga de gás por ano. Sendo a capacidade de gás de cada aparelho de ar condicionado determinada pela empresa que realiza a manutenção dos mesmos, no qual sua capacidade altera de acordo com a potência (Tabela 7).

Percebeu-se que os aparelhos de ares condicionados da empresa se dividem em dois tipos: os que utilizam gás R410-A; e gás HFC-134a. Assim, a estimativa da capacidade de gás das unidades em operação dos aparelhos de ar condicionado foi obtida através das equações 7 e 8. Obedecendo ao tipo de gás de cada aparelho.

$$C_{R-410A} = QTD_{ARC/R-410A} \times CG \quad (7)$$

Onde:

C_{R-410A} = capacidade das unidades que utilizam o gás R-410A (kg/ano)

$QTD_{ARC/R-410A}$ = Quantidade de aparelhos de ar condicionado que utilizam o gás R-410A

CG = Capacidade de gás de cada aparelho (kg) (Tabela 7)

$$C_{HFC-134a} = QTD_{HFC-134a} \times CG \quad (8)$$

Onde:

$C_{HFC-134a}$ = Capacidade das unidades que utilizam o gás HFC-134a (kg/ano)

$QTD_{ARC/HFC-134a}$ = Quantidade de aparelhos de ar condicionado que utilizam o gás HFC-134a

CG = Capacidade de gás de cada aparelho (kg) (Tabela 7)

Tabela 7 – Capacidade de gás de acordo com sua capacidade em BTUs.

Capacidade (BTUs)	Capacidade de gás (kg)
7000	0,6
7500	0,6
9000	0,7
10000	0,7
12000	0,7
18000	1,1
22000	1,5
24000	1,5
30000	1,9

Fonte: O autor

Satisfazendo as orientações da empresa que presta manutenção nos extintores de incêndio da CASAL, apenas os extintores com carga de CO₂ emitem gases de efeito estufa na atmosfera, que neste caso é o próprio CO₂. Durante a recarga desses extintores, é descarregado todo o gás presente nele e inserido um novo gás dentro do equipamento. A CASAL possui extintores de gás carbônico com capacidade de 4Kg e 6Kg.

A estimativa da capacidade total das unidades em operação dos extintores de incêndio é obtida através da equação 9.

$$E_{GEE} = QTD_{EX6} \times 6 + QTD_{EX4} \times 4 \quad (9)$$

Onde:

E_{GEE} = Emissão de GEE (tCO₂/ano)

QTD_{EX6} = Quantidade de aparelhos extintores CO₂ de 6kg

6 = Capacidade do extintor (6kg)

QTD_{EX4} = Quantidade de aparelhos extintores CO₂ de 4kg

4 = Capacidade do extintor (4kg)

Os resultados das equações 7, 8 e 9 em conjunto com a ferramenta de cálculo GHG *Protocol* 2019.3 foi possível obter as emissões fugitivas totais da CASAL.

5.2.2.2 Escopo 2

5.2.2.2.1 Consumo de Energia

O consumo foi obtido por meio da supervisão de eficiência energética da companhia. Realizou-se o somatório do consumo total para empresa, considerando as atividades administrativas e operacionais. Para realização das estimativas, além do consumo da empresa, adotou-se o fator de emissão do sistema interligado nacional, divulgado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI (BRASIL, 2019). Desta forma, a contabilização das emissões dos GEE provenientes do consumo de energia elétrica foi realizada através da equação 10.

$$EE = CE \times FE \quad (10)$$

Onde:

EE: Emissões de GEE (tCO₂/ano)

CE: Consumo de eletricidade (KWh/ano)

FE: Fator de Emissão do SIN (tCO₂/MWh).

5.2.2.3 Escopo 3

5.2.2.3.1 Viagens Aéreas a Negócio

As estimativas das viagens a negócios terrestres foram inclusas no item combustão móvel. Para estimativa das emissões das viagens a negócios realizados por transporte aéreo foi analisado a distância percorrida durante o ano. Para isso, utilizam-se informações sobre a origem e destino do trajeto das viagens com objetivo de determinar a distância percorrida. Esta sendo determinada por meio da ferramenta de GHG *protocol* v2019.3, que quantifica automaticamente as distancia percorridas entre os aeroportos de partida e chegada. O trajeto selecionado foi multiplicado por dois para contabilizar o trajeto de ida e volta. Deste modo, a contabilização das emissões dos GEE provenientes do consumo de combustível foi realizada através da equação 11.

$$E_{\text{GEE-VA}} = D \times 2 \times F_{\text{GGG,k}} \quad (11)$$

Onde:

$E_{\text{GEE-VA}}$ = Emissão de GEE das viagens aéreas (tGEE/ano)

D = Distância correspondente ao somatório dos valores encontrados na ferramenta entre os aeroportos (m/ano)

2 = Corresponde a ida e volta do percurso adotado

$F_{\text{GGG,k}}$ = Fator de emissão do GEE (CH₄, N₂O, CO₂) devido a distância percorrida (tGEE/km) (DEFRA/DECC, 2012) (Tabela 8).

O deslocamento dessa categoria foi dividido em distâncias curtas, médias e longas para se aplicar o fator de emissão correto.

Tabela 8 – Fatores de emissão para viagens aéreas.

Distância aérea	Acréscimo para refletir a rota real	FE de CO ₂	FE de CH ₄	FE de N ₂ O
		(kg CO ₂ /passageiro*km)	(kg CH ₄ /passageiro*km)	(kg N ₂ O/passageiro*km)
Curta-distância (d ≤ 500 km)	8%	0,1446	0,0000044	0,0000046
Média-distância (500 < d ≤ 3.700 km)	8%	0,0787	0,0000004	0,0000025
Longa-distância (d > 3.700 km)	8%	0,1031	0,0000004	0,0000033

Fonte: FGV (2018)

5.2.2.3.2 Deslocamento de Funcionários da Residência ao Local de Trabalho

A CASAL não possui informações referentes a distância percorrida de sua habitação ao local de trabalho. Em seu banco de dados de funcionários, a empresa possui informações

de seus colaboradores referentes ao endereço da residência, a unidade de lotação e se recebem auxílio transporte. A Supervisão de Pessoal (Suppes) da CASAL forneceu os dados dos 800 (oitocentos) funcionários ativos da UN Capital. Como as informações disponibilizadas não foram suficientes para o cálculo da estimativa das emissões dessa categoria, utilizaram-se os seguintes critérios:

- Os funcionários que recebem auxílio transporte, todos utilizam ônibus;
- Os funcionários que não recebem auxílio transporte, 70% utilizam carros e 30% utilizam motos (SANTOS, 2015).
 - Considerou-se que ambos são abastecidos por gasolina, pois o valor de gasolina para o ano de 2018 apresentava-se mais vantajoso e por se tratar do pior cenário de emissão.

Para estimativa da distância percorrida, utilizou-se o aplicativo Google Maps, para determinar a distância percorrida do logradouro do funcionário até o local de trabalho. Nos casos em que o aplicativo disponibilizou mais de uma opção de trajeto, foi utilizado o que apresentou maior quantidade de quilômetros percorridos. Considerou-se que cada funcionário desloca-se de casa trabalho duas vezes por dia, correspondendo ao trajeto de ida e volta, durante 250 dias, que é a quantidade de dias úteis trabalhados no ano, segundo calendário da CASAL do ano de 2018.

A estimativa da emissão para esse tipo de categoria durante o ano foi realizada através da equação 12.

$$E_{GEE-DF} = D \times 2 \times 250 \times F_{GGG,k} \quad (12)$$

Onde:

E_{GEE-DF} = Emissão de GEE devido ao deslocamento dos funcionários (tGEE/ano)

D = Distância correspondente ao somatório dos valores encontrados ao utilizar o aplicativo Google maps (m/ano)

2 = Corresponde a ida e volta do percurso adotado

250 = Correspondente a dias do ano

$F_{GGG,k}$ = Fator de emissão do GEE (CH_4 , N_2O , CO_2) devido a distância percorrida (tGEE/km) (FGV, 2018) .

A Tabela 9 apresenta a distância percorrida pelos colaboradores da CASAL que com e sem o auxílio transporte.

Tabela 9 – Distância percorrida por tipo de veículo da residência a CASAL UN Capital.

Vale transporte	Quantidade de funcionários	Distância percorrida estimada (km/ano)
Com auxílio transporte	287	5.210,40
Sem auxílio transporte	513	13.940,30

Fonte: O autor

Nas estimativas de emissões de GEE que envolvem distância percorrida, foi considerada a maior distância entre os trajetos devido a incerteza do caminho percorrido. Com isso, garante-se uma emissão majorada.

5.3 Gerenciamento de Emissões de GEE

Foram desenvolvidas duas propostas com o intuito de reduzir as emissões dos GEE provenientes das atividades da CASAL, unidade Capital. A primeira a mitigação e a última a compensação.

5.3.1 Propostas de Mitigação

Com o intuito de continuar propondo atividades sustentáveis na rotina operacional da companhia, foi proposto um conjunto de medidas para mitigações das emissões de GEE em suas atividades. Esta atitude a torna mais eficiente, menos intensiva em carbono e mais responsável sócio-ambientalmente. Além, é claro, de diminuir as emissões de GEE e obter ganhos de reputação e financeiros a partir disso.

Uma proposta previamente estabelecida foi analisar dois cenários para avaliar de forma teórica o potencial de produção de gás metano na estação de tratamento do emissário submarino. O objetivo da proposta é avaliar de forma teórica o potencial de produção de gás metano para o aproveitamento energético como fonte alternativa e limpa para aplicação e uso como energia elétrica na própria estação. Além, de impedir que o metano proveniente da decomposição da matéria orgânica seja liberado para a atmosfera. Dessa forma, a energia do biogás é apresentada como uma alternativa que não gera tantos impactos socioambientais quanto o gás natural.

O cenário 1 consiste na situação atual de tratamento da estação, que consiste no tratamento por disposição oceânica, é composto pelas seguintes estrutura: câmara de chegada de esgoto, unidade de gradeamento, estação elevatória de esgotos, calha parshall, caixa de areia e emissário submarino. Já o cenário 2 consiste na implantação de um sistema de

tratamento anaeróbio, por meio de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo (*UASB*) na estrutura atual da estação.

No cenário 2 o processo de tratamento de esgoto da estação deverá ser constituído por: tratamento preliminar (gradeamento, medidor de vazão e caixa de areia); tratamento primário (reator anaeróbico tipo *UASB*); e sistema de coleta de biogás. A Figura 13 apresenta a proposta do fluxograma de composição do sistema de tratamento de esgoto do Emissário.

Figura 13 – Fluxograma do sistema de tratamento da ETE Emissário proposto.



Fonte: O autor

A produção e avaliação do biogás para os cenários 1 e 2, podem ser feitas a partir da estimativa da carga de DQO afluyente ao reator, que é convertida em gás metano, conforme modelado matematicamente nas equações 15, 16, 17 e 18 (CHERNICHARO, 2007).

A estimativa da quantidade de DQO removida pelo reator convertida em CH_4 é calculada pela equação 15.

$$\text{DQO}_{\text{CH}_4} = Q \times (S_0 \times (1 - (1 - E)) - Y_{\text{obs}} \times Q \times S_0) \quad (15)$$

Onde:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO convertido em metano ($\text{kg DQO}_{\text{CH}_4}/\text{d}$)

Q: Vazão de esgoto afluyente (m^3/d)

S_0 : Concentração de DQO afluyente (kgDQO/m^3)

E: Eficiência de remoção do reator (%)

Y_{obs} : Coeficiente de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 $\text{kgDQO}_{\text{lodo}} / \text{kgDQO}_{\text{apl}}$)

A conversão da massa de metano ($\text{kgDQO}_{\text{CH}_4}/\text{d}$) em produção volumétrica ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{d}$) pode ser feita aplicando-se as seguintes equações:

$$Q_{\text{CH}_4} = \text{DQO}_{\text{CH}_4} / f(T) \times C_{\text{CH}_4} \quad (16)$$

Onde:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m^3/d)

$f(T)$: Fator de correção para temperatura operacional do reator (kgDQO/m^3)

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás, usualmente da ordem de 70 a 80%.

$$f(T) = P \times K_{DQO} / (R \times (273 + T)) \quad (17)$$

Onde:

P: Pressão atmosférica (1 atm)

K_{DQO} : DQO correspondente a um mol de CH_4 (64gDQO/mol)

R: Constante dos gases (0,08206 atm L/mol.K)

T: Temperatura operacional do reator ($^{\circ}C$)

Com o resultado da produção teórica de metano, pode-se estimar a produção total de biogás, a partir do teor esperado de metano estabelecido neste. Assim, para os casos do tratamento de esgoto domésticos, os teores de metano estão na ordem de 70 a 80%.

$$Q_{\text{biogás}} = Q_{CH_4} / C_{CH_4} \quad (18)$$

Onde:

$Q_{\text{biogás}}$: Produção volumétrica de biogás (m^3/d)

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m^3/d)

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás, usualmente da ordem de 70 a 80%.

A transformação do biogás em outra forma de energia ocorrerá por meio do poder calorífico inferior. Para determinar a conversão do potencial calorífico inferior do biogás para o potencial elétrico empregou-se a equação 19.

$$PE = Q_{\text{biogás}} \times PCI_{\text{biogás}} \times \eta_{\text{gerador}} \times 4,1868 / 86400 \quad (19)$$

Onde:

PE: Potência elétrica (KW)

$Q_{\text{biogás}}$: Vazão do biogás (m^3/d)

$PCI_{\text{biogás}}$: Poder calorífico do biogás (kcal/ m^3)

η_{gerador} : 30% baseado no valor médio das tecnologias de conversão

4,1868: Fator de conversão de “kcal” para “kj”, onde 1 kj/s corresponde a 1 MW.

A Tabela 10 apresenta as variáveis fixas para o cálculo do volume de biogás.

Tabela 10 – Variáveis fixas para o cálculo do volume de biogás.

Variáveis	S_0^* (kgDBO)	E (%)	Y_{obs}		T ($^{\circ}C$)	%CH ₄ biogás	PCI _{biogás} (Kcal/kg)
			(kgDQO _{lodo} /	f(T)			
			kgDQO _{apl})				
Cenário 1	571,21	23,00	0,17	2,57	25,00	70,00	4831,14
Cenário 2	571,21	70,00	0,17	2,57	25,00	70,00	4831,14

Fonte: Adaptado de Almeida (2016), Chernicharo (2007) e CASAL (2019)

*: Boletim de Controle de Dados Operacional da ETE Emissário da CASAL no ano de 2019.

A conversão do biogás em energia elétrica é realizado por motores adaptados devido a origem do funcionamento dos mesmos serem à gasolina ou diesel. O dimensionamento adequado dos motor-geradores, purificadores de gases, gasômetro, instalações elétricas e físicas implicam no sucesso da unidade geradora de energia. Com o potencial elétrico definido é possível configurar os equipamentos destinados a implementar a geração de energia elétrica.

É importante destacar que não foram consideradas possíveis perdas na estimativa da produção do biogás para os cenários citados. Além de possíveis emissões causadas com a utilização dos motores utilizados na conversão do biogás.

5.3.2 Proposta de Compensação

A compensação das emissões dos gases de efeito estufa provenientes a categoria de tratamento de efluentes através do cálculo da quantidade de mudas de árvores plantadas, cujo carbono seja equivalente à quantidade de CO₂ emitido num determinado período. Sendo muito importante estabelecer condições de plantio, tipo de solo e espécies de árvores para o cálculo da quantidade de mudas necessárias para a neutralização do CO₂.

O cálculo da compensação por reflorestamento de espécies arbóreas nativas foi baseado na metodologia utilizada por Azevedo e Quintino (2010), conforme equação 13.

$$N = [(Et / Ft) \times 1,2] / 0,5 \quad (13)$$

Onde:

N = Número de árvores a serem plantadas;

Et = Emissão total de GEE estimada no cálculo de emissão (tCO₂e);

Ft = fator de fixação de carbono em biomassa no local de plantio do projeto (considera Ft=0,18 tCO₂e/árvore);

1,2 = fator de compensação para possíveis perdas de mudas;

0,5 = fator de imprecisão do fator de fixação.

A área total para o plantio das arvores nativas obedecerão ao espaçamento de 3x2m (6,0m²) entre as plantas (BRIANEZI et al., 2014). Com isso a área total foi calculada utilizando a equação 14.

$$At = N \times 6 \quad (14)$$

Onde:

At = Área total das plantas;

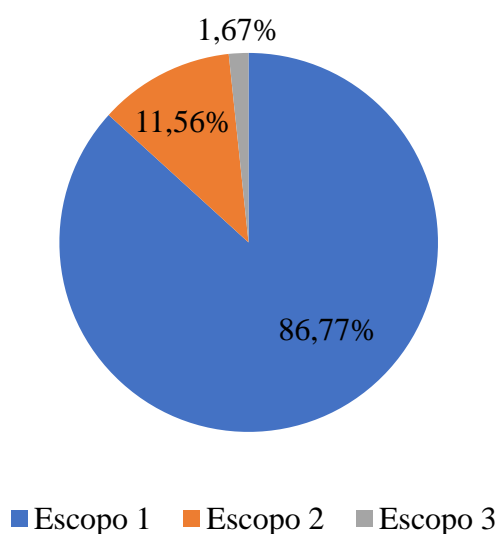
N = Número de árvores a serem plantadas;

6 = Área de cada planta (m²).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total de emissões estimado para UN Capital da CASAL no ano de 2018 foi de 31.099,33 tCO₂e. As emissões diretas da empresa compreenderam 86,77% (26.980,70 tCO₂e), enquanto as indiretas representaram 13,23% (4.118,63 tCO₂e). Dentre as emissões indiretas, verifica-se que o escopo 2 foi responsável por 11,56% do valor to/tal (3.596,91 tCO₂e) enquanto o escopo 3 compreende a 1,67% (521,72 tCO₂e), conforme verificado na Figura 14.

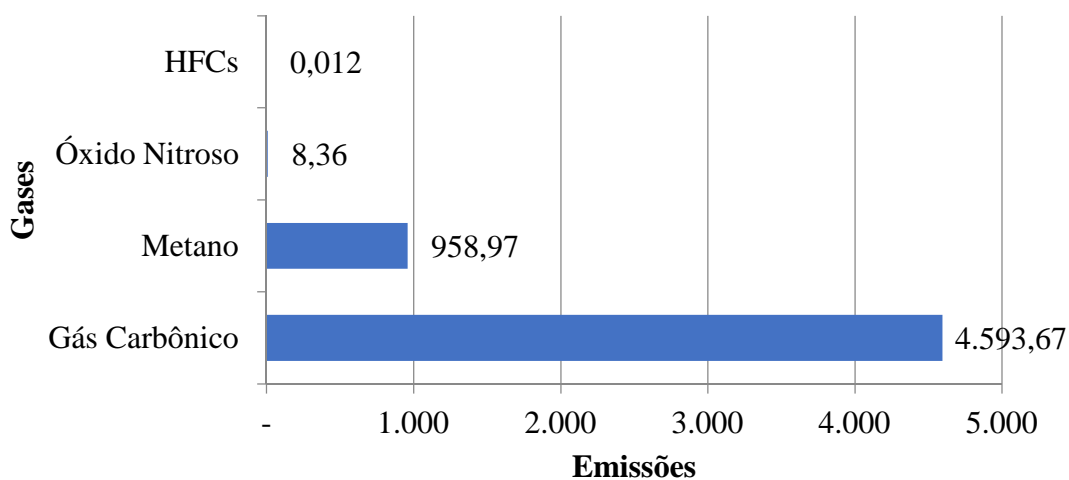
Figura 14 – Porcentagem das emissões por escopo da UN Capital da CASAL.



Fonte: O autor

A Figura 15 apresenta as emissões da CASAL, UN Capital, por tipo de GEE.

Figura 15 – Emissões da CASAL, UN Capital, por tipo de GEE.



Fonte: O autor

Os valores de cada escopo e categoria são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Emissões por escopo.

Escopos	Categorias	Emissões (tCO₂e)	Emissão total (tCO₂e)
Escopo 1	Tratamento de Esgoto	26.445,13	26.980,70
	Combustão Móvel	503,07	
	Combustão Estacionária	8,54	
	Emissões Fugitivas	23,96	
Escopo 2	Consumo de energia	3.596,90	3.596,90
Escopo 3	Viagens a negócio aéreas	22,79	521,72
	Deslocamento de funcionários	498,93	
Total			31.099,33

Fonte: O autor

6.1 Emissões Diretas - Escopo 1

Considerando o escopo 1, constata-se que o tratamento de esgotos corresponde a 98% das emissões diretas. Conforme pode ser verificado, constitui-se também a maior fonte de emissão da empresa. Uma das razões deve-se ao fato do potencial de aquecimento global do metano e do óxido nitroso ser muito superior ao dióxido de carbono, além da grande quantidade de emissões desses gases.

6.1.1 Tratamento de Efluentes

A UN Capital da CASAL atendeu uma população, no ano do inventário, de 588.805 habitantes em relação a coleta e tratamento de esgoto. Para isso, a empresa opera com cinco tecnologias de tratamento de esgoto, sendo elas tratados por fossa-filtro anaeróbio, lodos ativados, lagoa de estabilização, reator *UASB* e Emissário (Tabela 12). As emissões oriundas do gás metano totalizam 958,75 tCH₄/ano e é a fonte de maior representatividade do escopo 1. Já as emissões provenientes do óxido nitroso totalizaram 8,31 tN₂O/ano. A Tabela 13 apresenta os resultados detalhado sobre as emissões de GEE que cada uma dessas estações foram responsáveis no ano de 2018.

Tabela 12 – Dados das unidades de tratamento da CASAL, UN Capital.

Tipo de tratamento	FCM – CH₄	FT – N₂O	População
Fossa Filtro	0,5000	0,0045	57.736
Lodo Ativado	0,0300	0,0160	20.995
Lagoa de estabilização	0,8000	0,0000	8.096
Reator <i>Uasb</i>	0,8000	0,0000	1.978
Emissário Submarino	0,1000	0,0050	500.000
Total			588.805

Fonte: CASAL e IPCC (2019b)

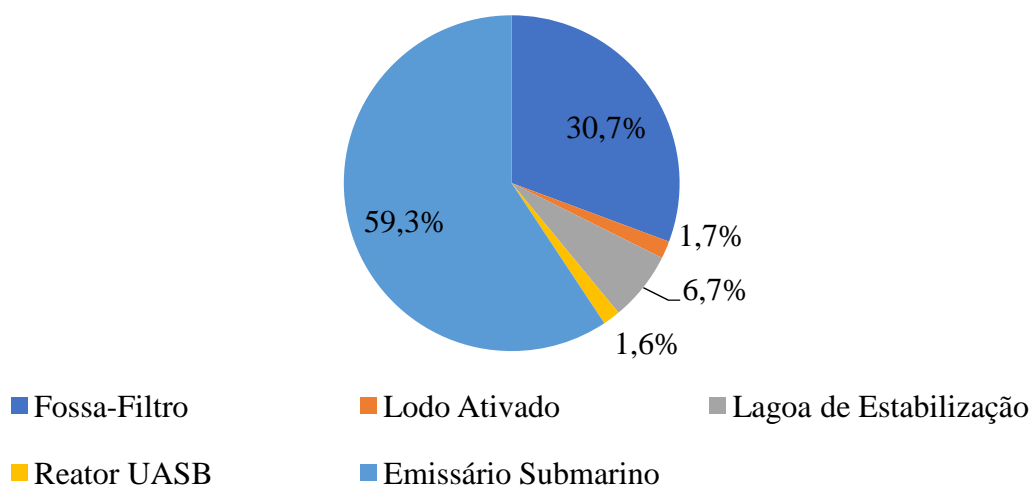
Tabela 13 – Emissões de GEE das ETEs CASAL.

Tipo de Tratamento	Emissões de GEE			Emissão per capita (tCO ₂ e/hab)
	Metano (tCH ₄ /ano)	Óxido Nitroso (tN ₂ O/ano)	Gás Carbônico Equivalente (tCO ₂ e)	
Fossa-Filtro	316,10	0,70	8.110,45	140,47
Lodo Ativado	6,90	0,90	441,13	21,01
Lagoa de Estabilização	70,92	0,00	1.773,02	219,00
Reator UASB	17,33	0,00	433,18	219,00
Emissário Submarino	547,50	6,71	15.687,31	31,37
Total	958,75	8,31	26.445,10	44,91

Fonte: O autor

Analisando somente as emissões, percebe-se que os tipos de tratamento de efluentes realizados por lagoa de estabilização e reator UASB, respectivamente, foram os que proporcionaram maior emissão per capita. Em contrapartida o tratamento por disposição oceânica proporciona a menor emissão per capita. Com isso, compreende-se que o fator de emissão dos sistemas de tratamento está relacionado com suas emissões per capita, no qual, processos de tratamento anaeróbico resultam em maiores emissões de GEE, fator de emissão e, consequentemente, maiores emissões per capita. Assim, o tratamento anaeróbico proporciona maior possibilidade do aproveitamento do metano em estações de tratamento, além de melhorar a eficiência no tratamento. A Figura 16 apresenta porcentagem de emissões por tipo de tratamento.

Figura 16 – Porcentagem de Emissões por tipo de tratamento.



Fonte: O autor

Percebe-se que a estação de tratamento do emissário submarino constitui mais da metade das emissões referente a esse escopo. Segundo Paredes et al (2014), as emissões teóricas calculadas por meio da metodologia do IPCC são superiores aos valores de metano efetivamente emitidos. Com isso, é importante realizar as medições de campo com o objetivo à obtenção de valores mais condizentes com a realidade da CASAL.

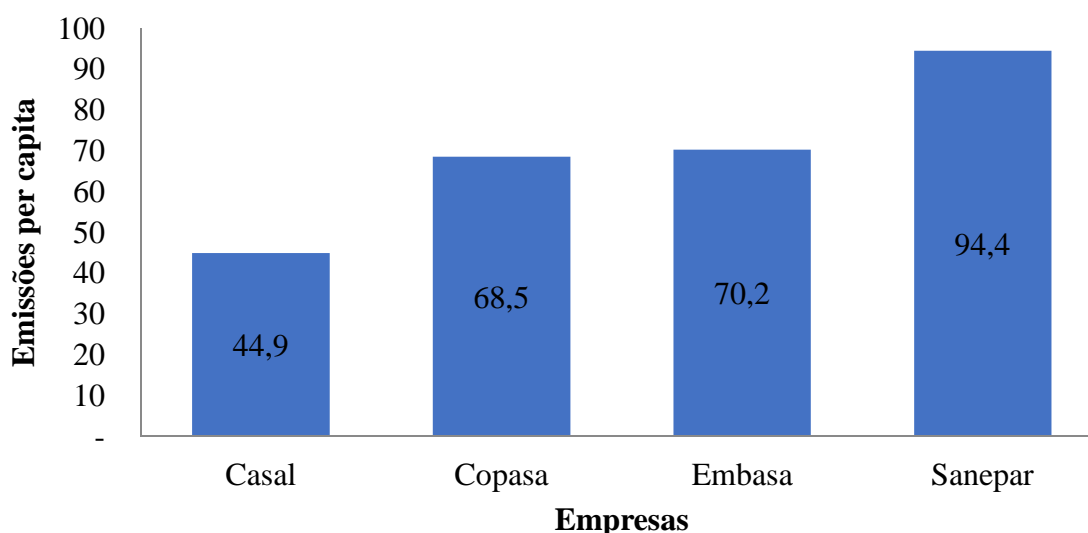
Com os resultados das emissões dos GEE apresentados na Tabela 9, percebe-se um total de gases emitidos na atmosfera baixo em relação a Embasa (SANTOS, 2015), Copasa (COPASA, 2015) e Sanepar (SANEPAR, 2018), que emitiram 865.465 tCO₂e, 554.820 tCO₂e e 1.093.944, 19 tCO₂e, respectivamente (Tabela 14). A Figura 17 apresenta a emissão de CO₂e per capita para as quatro companhias citadas no que tange o tratamento de esgoto.

Tabela 14 – Emissão em tCO₂e em diferentes companhias de saneamento.

Empresa	População atendida (hab)	Emissões em tCO₂e	Fonte
CASAL	588.805	26.445,10	O autor
COPASA	8.103.000	554.820,00	Copasa (2015)
EMBASA	12.328.725	865.465,00	Santos (2015)
SANEPAR	11.586.332	1.093.944,19	Sanepar (2018)

Fonte: O autor

Figura 17 – Emissões per capita em diferentes companhias de saneamento.



Fonte: O autor

As variações das emissões per capita, bem como suas emissões totais, ocorreram devido a diferença em relação ao atendimento da população atendida e a tecnologia de tratamento de esgoto associada, além da eficiência do sistema de tratamento adotado.

6.1.2 Combustão móvel

No ano de 2018, a empresa teve um consumo de 58.785,72 litros de diesel, 214.591,60 litros de gasolina e 36,07 litros de etanol. Isso referente a uma frota de 110 carros pequenos, 9 caminhões e 6 motos, totalizando 125 veículos. Utilizando esses dados de atividade e aplicando-se os correspondentes fatores de emissão obteve-se um total de gases emitidos de 503,07 tCO₂e, representando 1,62% do total. Os resultados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Emissão decorrente do consumo de combustível referente a veículos locados de 2018.

Tipo de Combustível	Consumo anual (L)	Emissões (t)			Emissões totais (tCO ₂ e)
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Gasolina	214.591,60	346,50	0,14	0,04	362,30
Etanol	36,07	-	0,00	0,00	0,00
Óleo Diesel	58.785,72	138,23	0,01	0,01	140,68
Total	273.413,39	484,74	0,15	0,05	503,07

Fonte: O autor

Os resultados apresentados na Tabela 15 são referentes ao consumo de combustível das viagens a negócios terrestres, transporte de materiais entre os almoxarifados e transporte de resíduos oriundos das estações elevatórias e de tratamento de esgoto. Os caminhões foram utilizados para realizar a limpeza das estações elevatórias e de tratamento, bem como, no transporte de materiais entre os almoxarifados. Os carros de pequeno porte foram utilizados para o deslocamento dos funcionários em viagens local, intermunicipais e interestaduais, além de transporte de materiais entre os almoxarifados. As motos foram utilizadas para o transporte documentos entre os prédios ocupados pela empresa em Maceió e no transporte de funcionários para realizar manutenção nas redes de água e esgoto.

Percebe-se que a utilização dos combustíveis representa uma parcela pequena no total de emissões. Com isso, uma maior utilização de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como etanol e o biodiesel, pode reduzir as emissões de GEE dessa categoria, outra alternativa é buscar utilizar os veículos em horários de menos tráfego. Como os carros utilizados nas atividades da empresa são alugados, é importante utilizar veículos novos em toda sua frota.

Considerando que todo o consumo de combustível desta categoria fosse realizado por combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, as emissões reduziriam em 99%, saindo de 503,07 tCO₂e para 3,72 tCO₂e (Tabela 16).

Tabela 16 – Comparativo entre emissão decorrente do consumo de combustível.

Cenário 01 – Atual			Cenário 02 – Combustíveis renováveis		
Tipo de Combustível	Consumo anual (L)	Emissões totais (tCO _{2e})	Tipo de Combustível	Consumo anual (L)	Emissões totais (tCO _{2e})
Gasolina	214.591,60	362,30	Etanol	214.627,67	2,88
Etanol	36,07	0,00			
Óleo Diesel	58.785,72	140,68	Biodiesel	58.785,72	0,84
Total	273.413,39	503,07	Total	273.513,39	3,72

Fonte: O autor

Para aprimoramento da quantificação consumo de combustível é importante que seu consumo seja separado por categoria. Assim, proporciona um melhor gerenciamento dos dados e despesas, além de contribuir na confecção de outros estudos na empresa.

A diferença nas emissões das companhias de saneamento é devido aos variados consumos de combustíveis fósseis, além do método de trabalho que cada companhia adota. Com os resultados das emissões dos GEE apresentados na Tabela 15, percebe-se que esse item apresenta um valor baixo em relação ao total de gases emitidos na empresa. O percentual na Embasa (SANTOS, 2015), Copasa (COPASA, 2015) e Sanepar (SANEPAR, 2018), representam 2,3%, 1,0% e 0,56% do total emitido, respectivamente. A Tabela 17 apresenta o consumo de combustível e suas emissões de CO_{2e} para as companhias citadas.

Tabela 17 – Emissões referente a combustão móvel em diferentes companhias de saneamento.

Empresa	Consumo de Combustível (litros)			Emissões em tCO _{2e}	Emissões / consumo de combustível (CO _{2e} / L)	Fonte
	Gasolina	Etanol	Diesel			
CASAL	214.591,60	36,07	58.785,72	503,07	1,84	O autor
COPASA	3.300.000,00	-	2.700.000	16.343,41	2,72	Copasa (2015)
EMBASA	647.950,00	431.967,00	1.448.433,00	4.970,00	1,96	Santos (2015)
SANEPAR*	2.149.950,23	1.125.456,59	1.012.614,16	6.109,75	1,42	Sanepar (2018)

Fonte: O autor

* Além dos combustíveis citados a Sanepar também consumiu 101,48m³ de GNV e 14.318,1m³ de GLP.

6.1.3 Combustão Estacionária

No ano de 2018, a empresa teve um consumo de 3.583,69 litros de diesel para abastecer 21 motogeradores, atuando apenas quando ocorreu interrupção de energia elétrica. Utilizando esses dados de atividade e aplicando-se os correspondentes fatores de emissão obteve-se um total de 8,54 tCO₂e, representando 0,027% total. A redução das emissões dessa categoria é possível através de compromissos firmados com a companhia energética do estado para diminuir cada vez mais as interrupções de energia elétrica ou por meio da utilização de fontes energéticas mais renováveis.

Comparando com outra empresa de saneamento que computou essa categoria, o percentual da CASAL apresentou resultados semelhante ao da Sanepar. Que em 2018 emitiu 239,8 tCO₂e, que representou 0,022% de seu total de emissões (SANEPAR, 2018).

6.1.4 Emissões Fugitivas

Em 2018, UN Capital da CASAL, operava com 227 aparelhos de ar condicionado do tipo split com capacidade variando de 7.000 BTUS a 60.000BTUS, sendo 121 próprios e 106 alugados. Para a confecção do cálculo das emissões referente aos ar condicionados foram utilizados apenas os que são próprios da empresa, assim atendendo as exigências do escopo 1. Com relação aos aparelhos de combate a incêndio a empresa possui 122 extintores, sendo 38 do tipo CO₂, 78 do tipo pó químico e 6 de água. Utilizando o método de triagem do GHG, essa categoria foi responsável, em 2018, pela emissão de 23,96 tCO₂e (Tabela 18), correspondendo a 0,077% das emissões do escopo 1.

Tabela 18 – Emissões em tCO₂e referente as emissões fugitivas.

Tipo de aparelho	Emissões em tCO₂e
Ares condicionados	23,93
Extintores de incêndio	0,03
Total	23,96

Fonte: O autor

Considerando um total de equipamentos no cálculo das emissões desta categoria, é possível concluir que a emissão per capita dos aparelhos de ar condicionado e dos extintores de incêndio foram de 0,19 tCO₂e/ar condicionado e 0,79 kgCO₂e/extintor, respectivamente.

A Tabela 19 apresenta uma comparação entre companhias de saneamento quanto às emissões fugitivas.

Tabela 19 – Comparativo de emissões fugitivas entre companhias de saneamento.

Empresa	Emissões em tCO₂e	Porcentagem em relação ao total	Fonte
CASAL	23,96	0,084%	O autor
SANEPAR	22.192,94	2,020%	Sanepar (2018)

Fonte: O autor

As empresas citadas na Tabela 19 apresentaram emissões consideradas baixas em relação ao percentual total, mas apresentam emissões muito distintas. A diferença ocorreu devido ao total de equipamentos que cada empresa possui na quantificação das emissões desta categoria.

6.2 Emissões Indiretas - Escopo 2

6.2.1 Consumo de Energia

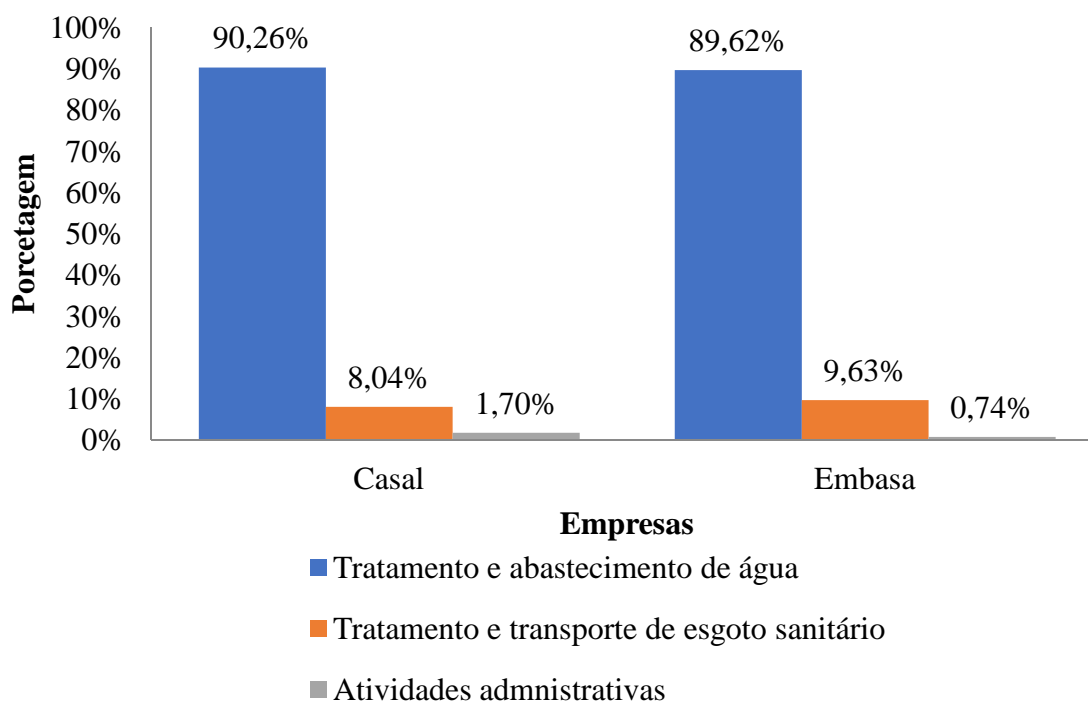
A emissão total devido ao consumo de energia elétrica foi de 3.596,9 tCO₂e/ano. Na Tabela 20 são apresentados o consumo e fator anual e emissão correspondentes.

Tabela 20 – Emissão decorrente do consumo de energia da UN Capital da CASAL.

Ano	Fator de Emissão (tCO₂/Mwh)	Consumo (MWh)	Emissões (CO₂e)
2018	0,0740	48.617,81	3.596,9

Fonte: O autor

Do total de emissões relacionado ao consumo de energia na UN Capital da CASAL no ano de 2018, 90,26% refere-se ao tratamento e abastecimento de água, 8,04% aos sistemas de tratamento e transporte de esgoto sanitário e 1,70% relativas às atividades administrativas. O resultado apresenta proporções parecidas com o consumo da Embasa em 2012, onde a parcela correspondente ao abastecimento de água foi de 89,62%, sistemas de esgotamento sanitário 9,63% e escritórios apenas 0,74% (SANTOS, 2015). A Figura 18 apresenta a proporção em relação ao consumo de energia em companhias de saneamento.

Figura 18 – Proporções do consumo de energia em companhias de saneamento.

Fonte: O autor

As emissões mais elevadas relacionadas ao tratamento e abastecimento de água devem-se aos recalques existentes para suprir os sistemas integrados de Maceió. Nesse sentido, verifica-se que a empresa deve adotar medidas de eficiência energética para reduzir o consumo associado a essas atividades e conseqüentemente as emissões indiretas de escopo 2.

O consumo de energia das outras companhias, Embasa (SANTOS, 2015), Copasa (COPASA, 2015) e Sanepar (SANEPAR, 2018) foram 90.402,78, 119.830,81 e 52.020,41 tCO₂e respectivamente. Esses valores são elevados em relação a UN Capital da CASAL devido a diversos fatores, dentre eles pode-se destacar a diferença de população atendida, maiores recalque de água, quantidade de unidades de atendimento, entre outras. Mas em relação às parcelas dos serviços apresentaram resultados semelhantes. A Tabela 21 apresenta o consumo de energia e suas respectivas emissões.

Tabela 21 – Emissões decorrentes do consumo de energia em companhias de saneamento.

Empresa	Consumo (MWh)	Emissões em tCO ₂ e	Relação Consumo/Emissões (MWh/tCO ₂)
CASAL	46.617,81	3.596,90	0,08
EMBASA	1.329.626,00	90.402,78	0,07
COPASA	980.000,00	119.830,81	0,12
SANEPAR	705.672,92	52.020,41	0,07

Fonte: O autor, Santos (2015), Copasa (2015) e Sanepar (2018)

Para melhorar o consumo de energia na CASAL, é essencial buscar oportunidades de rever seus processos buscando uma otimização energética e reduzir suas emissões de GEE por meio do aproveitamento do biogás gerado nas estações de tratamento de esgoto.

6.3 Emissões Indiretas - Escopo 3

Considerando o escopo 3, constata-se que suas emissões corresponde a 1,67% (521,72tCO₂e) do total emitido pela empresa no ano de 2018, sendo o deslocamento de funcionários casa-trabalho seu maior percentual correspondendo a 95,63% das emissões deste escopo. Os valores de cada categoria e o percentual constam na Tabela 22.

Tabela 22 – Emissões do escopo 3 da CASAL, UN Capital.

Categorias	Emissões (tCO₂e)	Percentual em relação ao total do escopo 3 (%)
Viagens aéreas a negócio	22,79	4,37
Deslocamento de funcionários	498,93	95,63
TOTAL	521,72	100

Fonte: O autor

6.3.1 Viagens Aéreas a Negócio

No ano de 2018, foram realizadas 168 viagens para diferentes destinos, considerando trajeto de ida e volta. As emissões para viagens aéreas foi de 22,79 tCO₂e considerando a distância total percorrida pelos funcionários da CASAL, UN Capital, no ano de 2018. As emissões por viagens aéreas representam uma parcela infinitesimal do total da empresa, conforme resultados detalhados nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23 – Emissões resultantes de viagens a negócios aéreas por trajeto em 2018.

Trajeto	Distância do trajeto (km)	Quantidade de trajetos realizados	Distância total (km)	Emissão (tCO₂e)
Maceió – Brasília	1.492	98	146.193	12,55
Maceió – São Paulo	1.947	40	77.874	6,68
Maceió – Fortaleza	705	8	5.643	0,48
Maceió – Florianópolis	2.420	4	9.679	0,83
Maceió – Rio de Janeiro	1.677	6	10.062	0,86
Maceió – Salvador	468	8	3.747	0,59
Maceió – Porto Alegre	2.779	2	5.558	0,48
Maceió – Vitória	1.291	2	2.581	0,22
Total	12.779	168	261.337	22,79

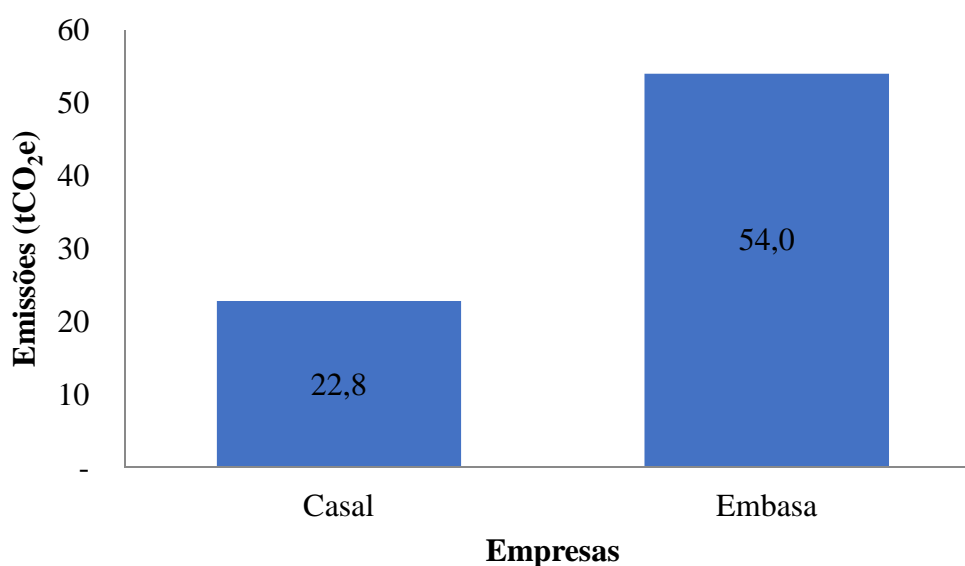
Fonte: O autor

Tabela 24 – Emissões resultantes de viagens a negócios aéreas em 2018.

Distância	Curta	Média	Longa	Total (tCO₂e)
Total	0,59	22,20	0,00	22,79

Fonte: O autor

Cabe fazer referência a Embasa (SANTOS, 2015), que nessa categoria emitiu 54 tCO₂e. Sendo a distância média a de maior parcela de suas emissões. Assim, percebe-se uma equivalência entre companhias.

Figura 19 – Comparativo de emissões entre viagens aéreas.

Fonte: O autor

6.3.2 Deslocamento de Funcionários da Residência ao Local de Trabalho

O total de emissão decorrente do deslocamento de funcionários da CASAL, UN Capital, foi de 498,93 tCO₂e. A Tabela 25 apresenta os resultados das emissões de acordo com o modelo de transporte utilizado.

Tabela 25 – Emissões devido ao deslocamento de funcionários em Maceió no ano de 2018.

Veículo	Combustível	Kg CO₂	Kg CH₄	Kg N₂O	tCO₂e
Carro	Gasolina	322,89	0,030	0,050	337,56
Moto	Gasolina	45,400	0,030	0,002	46,80
Ônibus	Diesel	112,70	0,008	0,006	114,71
Total	-	480,93	0,068	0,0580	498,93

Fonte: O autor

Pela Tabela 25 percebe-se que o total de emissões referente ao deslocamento casa-trabalho por carro e moto corresponderam a 67,64% e 9,38%, respectivamente, desta categoria. Com isso, é fundamental buscar uma alternativa menos poluente. Para isso, é importante utilizar combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como etanol, e

incentivar caronas solidárias entre os colaboradores da empresa que estejam lotados no mesmo setor.

Em 2018, UN Capital, possuía 800 funcionários ativos, destes 287 recebem auxílio transporte por meio do cartão bem legal. Mas neste trabalho foram registrados apenas 180 colaboradores que utilizam o transporte coletivo devido a incompatibilidade de endereço entre a supervisão de pessoal e a supervisão de bem estar social. Para esses colaboradores suas emissões representam 22,98% dessa categoria.

Para aprimorar o cálculo das distâncias percorridas é necessário realizar a atualização dos endereços de todos os colaboradores da empresa, bem como, seus locais de lotações. Quando ocorrer a atualização cadastral do funcionário pode-se levantar o meio de transporte utilizado para o deslocamento até a empresa.

Também fazendo referência a Embasa (SANTOS, 2015), nessa categoria foi determinado 5.657 tCO₂e, correspondendo a uma distância total percorrida pelos colaboradores de 22.489.660 km, divididos entre região metropolitana e interior.

A Tabela 26 apresenta o comparativo entre as emissões decorrentes da distância percorrida entre companhias de saneamento. Com isso, pode-se concluir que os funcionários da Embasa emitem mais GEE que os da CASAL, quando se comparado nessa categoria. Tal fato, provavelmente, deve-se a maior área territorial da capital baiana.

Tabela 26 – Emissões decorrentes da distância percorrida em companhias de saneamento.

Empresa	Distância percorrida (km)	Emissões em tCO₂e	Emissões / Distância percorrida (CO₂/Km)
CASAL	4.787.675,00	498,93	0,10
EMBASA	22.489.660	5.657	0,25

Fonte: O autor e Santos (2015)

6.4 Emissões Biogênicas

Algumas atividades antrópicas emitem CO₂ por conta da transformação de estoques biológicos de carbono (vegetais, animais, algas, entre outros). O carbono presente em tais estoques biológicos foi removido da atmosfera através da fotossíntese, logo estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. Por esse motivo, as emissões de CO₂ biogênico devem ser contabilizadas de maneira separada em relação às outras emissões de GEE, pois estas não possuem impacto adicional nas concentrações de GEE na atmosfera.

Nas atividades da CASAL, há emissão de CO₂ biogênico por conta das categorias combustão móvel (escopo 1), combustão estacionária (escopo 1), e deslocamento casa-

trabalho (escopo 3). A contabilização dessas emissões foi na ordem de 197,104tCO₂ biogênico. A Tabela 27 apresenta as emissões detalhadas por escopo e categoria.

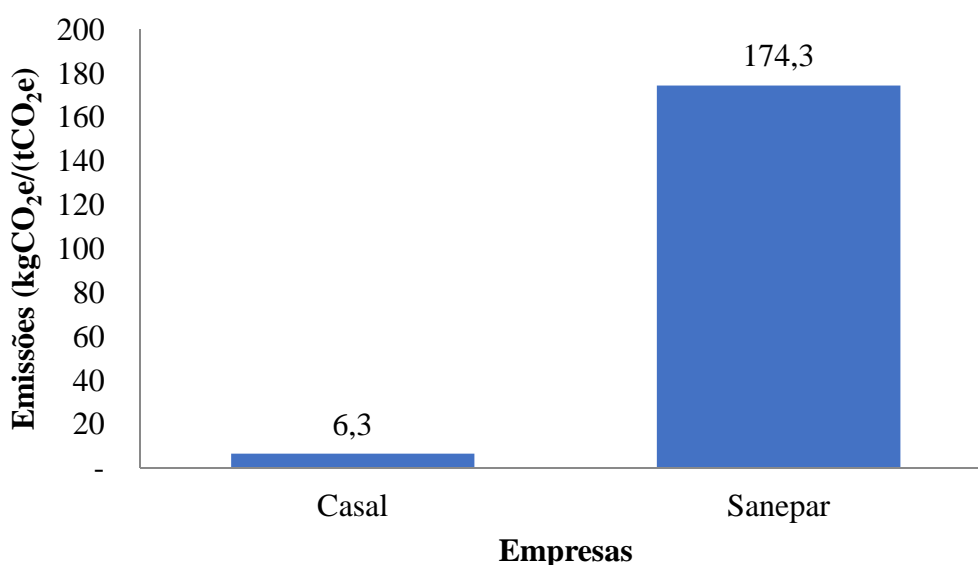
Tabela 27 – Emissões de CO₂ biogênico das atividades da CASAL, UN Capital no ano de 2018.

Escopo	Categoria	Emissão tCO ₂ biogênico
Escopo 1	Combustão móvel	102,283
	Combustão estacionária	0,851
Escopo 3	Deslocamento casa-trabalho	93,972
Total		197,104

Fonte: O autor

As emissões biogênicas da Sanepar correspondem à queima de biocombustíveis e ao metano evitado pelos queimadores e lançado em forma de CO₂ (SANEPAR, 2018). Em 2018 foram emitidas 190.654,75tCO₂e. Assim, percebe-se uma diferença considerável em relação as emissões da CASAL. A Figura 20 apresenta a relação das emissões biogênicas por emissões totais em diferentes empresas de saneamento.

Figura 20 – Emissões biogênicas/Emissões totais em diferentes companhias de saneamento (kg CO₂ / t CO₂e).



Fonte: O autor

6.5 Comparativos de Inventários de Companhias de Saneamento

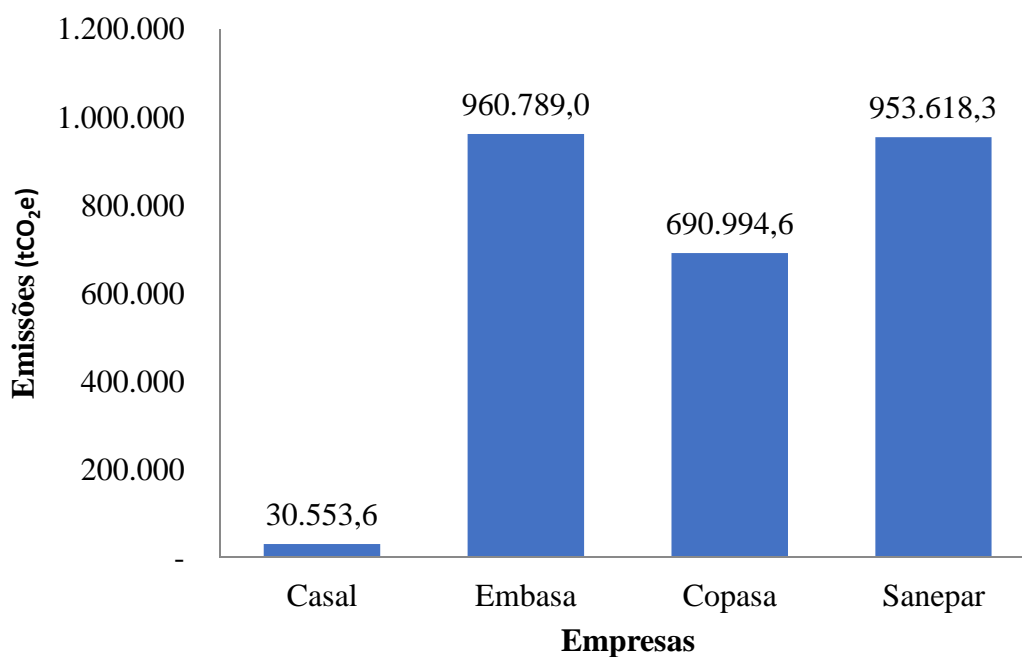
O Quadro 7 e a Figura 21 são apresentados resultados de inventários das empresas considerando os escopos 1 e 2. Devido as empresas adotarem categorias diferenciada e a não obrigatoriedade do escopo 3 nos inventários, os dados de escopo 3 não foram apresentados.

Quadro 7 – Comparativo de emissões das empresas de saneamento.

Empresa	Ano	Escopo 1		Escopo 2	Total (tCO ₂ e)
		Tratamento de efluentes (tCO ₂ e)	Combustão móvel e estacionária (tCO ₂ e)	Consumo de energia (tCO ₂ e)	
CASAL, UN Capital	2018	26.445,10	511,61	3.596,9	30.553,61
EMBASA	2012	865.426,00	4.970	90.402	960.798,00
COPASA	2014	554.820,33	16.343,41	119.830,81	690.994,55
SANEPAR	2018	895.488,11	6.109,748	52.020,41	953.618,27

Fonte: O autor, Santos (2015), Copasa (2015) e Sanepar (2018)

Ainda com base nos dados das empresas Embasa, Copasa e Sanepar, foram calculados indicadores para fins de efeito comparativo entre essas empresas. Com o objetivo de esclarecer a escala de grandeza de cada companhia de saneamento. Os resultados são apresentados na Tabela 28.

Figura 21 – Comparativo de emissões das empresas de saneamento.

Fonte: O autor

Tabela 28 – Comparativo de indicadores em empresas de saneamento.

Indicadores	CASAL, UN Capital	EMBASA	COPASA	SANEPAR
Empregados	926	5.107	11.551	7.022
Terceirizados	107	5.512	-	-
Ligação de água (unidade)	150.000	3.006.000	4.279.000	3.923.428
Ligação de esgoto (unidade)	-	-	2.863.000	2.896.583
Extensão de rede de água (km)	1.414	31.233	53.448	54.103
Extensão de rede de esgoto (km)	-	6.546	26.586	35.982
População atendida com água (hab)	942.888	11.030.000	11.373.000	15.693.712
População atendida com esgoto (hab)	588.805	3.845.000	8.103.000	11.586.332
Índice de atendimento com água (%)	91,62	89,5	99,7	100
Número de ETEs	31	241	-	246
Número de ETAs	3	436	-	168
Emissão total (tCO ₂ e)	31.099,33	969.496,0	691.124,6	1.145.964,6
Emissão por funcionário (tCO ₂ e/funcionário)	30,11	91,29	59,83	155,78
Emissão por ligação de água (tCO ₂ e/lig)	0,21	0,32	0,16	0,27
Emissão por ligação de esgoto (tCO ₂ e/lig)	-	-	0,24	0,37
Emissão por extensão de rede água (tCO ₂ e/km)	22,00	31,04	12,93	20,21
Emissão por extensão de rede de esgoto (tCO ₂ e/km)	-	148,11	25,99	30,40

Fonte: Baseado em Santos (2015), Copasa (2019) e Sanepar (2019)

6.6 Gerenciamento de Emissões de GEE

A realização do inventário de GEE foi à ação inicial na contribuição com a questão das Mudanças Climáticas da CASAL. As informações geradas no inventário proporcionaram dados para gerenciamento das emissões de GEE. Com isso, será possível definir ações para diminuir ou compensar suas emissões.

Em termos de planejamento, observa-se que a empresa não adota medidas que visem a redução dos GEE. Assim, existe a necessidade que a diretoria defina mudanças climáticas como um risco ao negócio e adote uma postura atuante e comprometida.

Para implementação do gerenciamento das emissões de GEE na empresa, recomenda-se a adoção de indicadores e medidas e ações anuais de redução, além da sua inserção no

planejamento estratégico. Nesse sentido, considerando a situação atual da empresa, constata-se a viabilidade de implementação das medidas e ações por categoria, pois as categorias elencadas nesse inventário são geridas por diferentes gerencias/superintendências da empresa. Com isso, a gestão de GEE em sua primeira edição buscará uma redução absoluta em 10%, por ano, de suas emissões em relação ao ano base de 2018.

O valor considerado na redução de 10% foi baseado no relatório da United Environment Programme – UNEP. Este apresentou que para limitar o aquecimento global em 1,5°C será preciso cortar as emissões globais de gás carbônico em 7,6% todos os anos daqui até 2030 (UNEP, 2019).

Os Quadros 8, 9 e 10 apresentam as medidas e ações propostas para cada categoria com o intuito de reduzir e compensar as emissões atmosféricas na CASAL.

Quadro 8 – Medidas e ações do escopo 1

Escopo	Categoria	Medidas e Ações
1	Emissões de GEE no tratamento de efluentes	Utilizar o biogás gerado em ETEs; Reflorestamento.
	Combustão móvel	Utilizar somente etanol nos veículos flex; utilizar somente biodiesel nos veículos a diesel; otimização de transporte e distribuição do produto.
	Combustão estacionária	Utilizar somente biodiesel nos motogeradores; Buscar novas fontes de energia conforme as condições financeiras da empresa.
	Emissões fugitivas	Uso consciente dos aparelhos de ar condicionado Aquisição ou substituição por aparelhos de ar condicionado com consumo mais econômicos.

Fonte: O autor

Quadro 9 – Medidas e ações do escopo 2

Escopo	Categoria	Medidas e Ações
2	Consumo de energia elétrica	Otimizar o uso de energia elétrica; Buscar novas fontes de energia conforme as condições financeiras da empresa.

Fonte: O autor

Quadro 10 – Medidas e ações do escopo 3

Escopo	Categoria	Medidas e Ações
3	Viagens aéreas a negócios	Adotar reuniões via web;
	Deslocamento de funcionários	Incentivar caronas solidaria; Realizar uma logística para que o funcionário trabalhe o mais perto possível de sua residência; Incentivar a utilização de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis.

Fonte: O autor

Além das medidas e ações descritas nos Quadros 08, 09 e 10, é importante destacar a redução dos resíduos sólidos dos setores administrativos produzidos na empresa. Portanto, é fundamental a redução da utilização de papeis e plásticos, para isso, é preciso:

- Conscientizar seus funcionários;
- Implementar uma gestão eletrônica de documentos;
- Reaproveitamento de folhas para reduzir o consumo de papel;
- Revise e monitore o número de impressões;
- Evitar ao máximo o uso de descartáveis;
- Criar um ponto de coleta de materiais recicláveis, para destinação correta.

Foi previamente estabelecido avaliar de forma teórica o potencial de produção de gás metano para o seu aproveitamento energético e consequentemente a redução de emissão de metano na ETE Emissário. Essa ETE é a principal unidade de tratamento de águas residuárias no município de Maceió, em 2018. Apresentou consumo energético mensal médio de 71.444,08 kW/mês.

Este estudo apresenta como resultados a estimativa de produção de biogás e consequentemente do metano a fim avaliar sua viabilidade para o aproveitamento deste último como fonte de energia elétrica na ETE Emissário. Os dados de entradas usados para desenvolvimento dos cálculos foram valores médios e parâmetros com valores pré-determinado pela empresa.

A estimativa de produção de biogás, metano e potencial elétrico foram realizadas através da aplicação das equações (15), (16), (17), (18) e (19) respectivamente, associada a variáveis fixas contidas na Tabela 8.

6.6.1 Cenário 1

Considerando a situação da ETE Emissário no ano de referência de 2018, o volume médio de metano é 550,01 m³/d. Já o potencial elétrico médio estimado resultou em 38,63 KW.

O tempo anual de operação é um fator determinante para o cálculo da estimativa da energia anual a ser produzida pela ETE. Segundo a CETESB (2006), o tempo de operação por dia é de 20h. Assim sendo, a quantidade anual de energia produzida através do aproveitamento do gás metano para o aproveitamento energético é de 282,00 MW por ano (Tabela 29), considerando um ano contendo 365 dias. É importante destacar que o resultado apresentado é uma estimativa do potencial energético da ETE considerando sua situação atual de tratamento na mesma, além de não ter considerado as perdas nessa estimativa.

Tabela 29 – Resultado da estimativa do potencial energético da ETE Emissário – cenário 1.

Ano-Base 2018		
Volume Tratado	60.000,00	m ³ /d
DQO _{CH4}	2.056,37	KgDQO _{CH4} /d
Q _{CH4}	550,01	m ³ /d
Q _{biogás}	785,72	m ³ /d
PE	38,63	KW
Tempo de operação	20,00	h/d
Energia diária produzida	772,57	KW
Energia anual produzida	282,00	MW

Fonte: O autor

6.6.2 Cenário 2

Considerando a inserção de uma nova unidade de tratamento (reator anaeróbio). O volume médio de metano é 4.858,38 m³/d. Já o potencial elétrico médio estimado resultou em 341,22 KW.

A quantidade anual de energia produzida através do aproveitamento do gás metano para o aproveitamento energético, considerando o mesmo tempo de trabalho diário de 20h, é de 2.490,88 MW por ano (Tabela 30). É importante destacar que o resultado apresentado é uma estimativa do potencial energético da ETE considerando um novo modelo de tratamento na mesma, além de não ter considerado as perdas nessa estimativa.

Tabela 30 – Resultado da estimativa do potencial energético da ETE Emissário – cenário 2.

Ano-Base 2018		
Volume Tratado	60.000,00	m ³ /d
DQO _{CH4}	18.164,58	KgDQO _{CH4} /d
Q _{CH4}	4.858,38	m ³ /d
Q _{biogás}	6.940,54	m ³ /d
PE	341,22	KW
Tempo de operação	20,00	h/d
Energia diária produzida	6.824,34	KW
Energia anual produzida	2.490,88	MW

Fonte: O autor

A mitigação das emissões dos GEE com o uso do biogás para gerar energia apresenta resultados distintos quando comparado os cenários, os cenários 1 e 2 reduzem as emissões referentes a categoria tratamento de esgoto em 51,76% (13.687,5tCO₂e) e 89,56% (109.500tCO₂e), respectivamente. Para este caso infere-se que quanto maior a produção de biogás, maior a mitigação das emissões.

Percebe-se que a implementação de um reator anaeróbio no processo de tratamento da ETE Emissário resulta em um aumento de 883% na produção de energia, além de melhorar a eficiência do tratamento.

Com relação ao consumo de energia elétrica os cenários 1 e 2 resultariam numa redução de 0,58% e 5,12%, respectivamente, do consumo total na unidade, considerando a situação atual de consumo de energia na empresa.

Com os resultados prévios apresentados nos cenários 1 e 2, respectivamente, é interessante realizar uma análise financeira para implantação de uma usina para o aproveitamento energético na ETE. Para isso deve realizar uma avaliação dos custos dos componentes mais necessários para poder ter uma visão sobre o investimento a fazer.

O tratamento de efluentes é uma atividade fundamental em uma companhia de saneamento e suas emissões de GEE não podem ser evitadas, com isso, suas emissões podem ser reduzidas e/ou compensadas. A redução das emissões desta categoria poderá ser realizada com o aproveitamento do metano para geração de energia. Já a compensação será executada através do reflorestamento, sendo esta medida a mais indicada considerando as condições atuais da empresa.

Assim, a compensação das emissões da categoria tratamento de efluentes da CASAL será possível com o plantio de 35.261 árvores, implicando uma redução de 10% das emissões da categoria. Para o plantio das árvores deverá ser reservado uma área de 21,2ha (hectares).

A redução das emissões decorrente do consumo de combustíveis do escopo 1, combustão móvel e estacionária, será possível com a utilização de combustíveis renováveis, o etanol nos veículos flex e o biodiesel nos veículos diesel. A substituição desses combustíveis resultará em uma redução de 99,2% das emissões dessas categorias.

Para a categoria das emissões fugitivas, suas emissões serão reduzidas com o monitoramento do uso e conservação dos aparelhos de ares condicionados, pois seu uso consciente proporciona redução de manutenção e recarga, além de contribuir para diminuição do consumo de energia.

Para o escopo 2, a redução das emissões será possível com a redução do consumo de energia. Com isso, são sugeridas ações para possíveis alternativas para diminuir o consumo de energia e conseqüentemente redução de suas emissões.

- Redução de perdas de água, assim, exigindo menor consumo de energia no bombeamento;
- Substituição dos motores e bombas por bombas mais eficientes e com menor consumo de energia elétrica;
- Otimização no bombeamento de água. Este consiste em bombear água ou esgoto para manter o sistema em funcionamento adequado, com o menor custo, bombeando água nos horários de menor custo na compra de energia, e fazer as bombas trabalharem em seu ponto máximo de eficiência;
- Adotar uma rotina de manutenções preventivas nos equipamentos. Com isso, reduzirá a incidência de falhas que prejudiquem o desempenho dos equipamentos;
- Utilizar novas fontes de energia, como por exemplo: energia solar fotovoltaica, aproveitamento do biogás nas ETEs, energia eólica, entre outras;
- Conscientização dos colaboradores da empresa.

A redução das emissões do escopo 3 será possível com a redução das viagens a negócios, sejam elas aéreas ou terrestres, para isso, deverá adotar sempre que possível reuniões ou eventos online para diminuir o deslocamento. Outras formas de redução das emissões desse escopo são:

- Realizar um estudo que condicione ao funcionário um deslocamento reduzido de sua residência ao trabalho;
- Incentivar o uso de veículos sustentáveis no deslocamento ao trabalho;

- Incentivo da empresa por caronas solidaria no deslocamento de funcionários de sua residência ao ambiente de trabalho;
- Incentivar a utilização de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis.

A estimativa mais aproximada da redução das emissões será possível com a execução do próximo inventário e das medidas e ações propostas neste. Com base nas medidas e ações descritas no referido e colocando-as em prática com a execução dessas ações, é possível reduzir aproximadamente 3.573,28 tCO₂e, o que corresponde a 10,13% do total emitido. Essa porcentagem de redução é referente ao escopo 1 nas categorias emissões de GEE no tratamento de efluentes (reflorestamento), combustão móvel e estacionária (substituição da gasolina e diesel por etanol e biodiesel, respectivamente).

A Tabela 31 apresenta a estimativa das emissões atuais e as emissões com as medidas mitigadoras aplicadas, bem como a porcentagem de redução considerando as medidas propostas neste trabalho.

Com a proposta de gerenciamento das emissões de GEE apresentada, conclui-se que a CASAL possui elementos mínimos necessários para a gestão de suas emissões, faltando uma determinação da diretoria e de seus colaboradores que este se trata de aspecto estratégico para organização.

Tabela 31 – Porcentagem de redução das emissões na CASAL, UN Capital.

Escopo	Categoria	Emissões atuais (tCO₂e)	Emissões com a aplicação das medidas mitigadoras (tCO₂e)	Porcentagem de redução das emissões (%)
1	Emissões de GEE no tratamento de efluentes**	26.445,13	23.800,59	10,0%
	Combustão móvel	503,07	3,74	99,2%
	Combustão estacionária	8,54	0,05	99,4%
	Emissões fugitivas	23,96	23,96	*
2	Consumo de energia elétrica	3.596,9	3.596,9	*
3	Viagens a negócios aéreas	22,79	22,79	*
	Deslocamento de funcionários	498,93	498,93	*
Total		31.099,33	27.946,96	10,13

Fonte: O autor

* Categorias não estimadas, devido a imprecisão de redução.

** Não foi considerado a redução das emissões com o uso do biogás, visto que para ser mitigada passará por uma análise financeira.

7 CONCLUSÕES

A estimativa mostra que as emissões na companhia em 2018 chegaram a 31.099,33 tCO₂e. As emissões diretas da empresa compreenderam 26.980,70 tCO₂e, enquanto as indiretas representaram 4.118,63 tCO₂e.

O inventário de emissões de GEE indicou que a principal fonte de emissão da CASAL foi o processo de tratamento de esgoto, que contribuiu com 26.445,13 tCO₂e, 85,03% do total de emissões devido às gerações de metano e óxido nitroso, considerando o volume de esgoto tratado de 25.789.659m³. A segunda maior fonte de emissão de GEE na companhia foi referente ao consumo de energia elétrica, que resultou em 3.596,9 tCO₂e, 11,56% do total, para um consumo anual de 48.617,806MW. Já a terceira maior fonte de emissão foi a categoria combustão móvel, que resultou em 503,07 tCO₂e, 1,62% do total

A elaboração desse trabalho na CASAL permitiu um estudo inédito de informações sobre as emissões de GEE referente a suas atividades. Nessa perspectiva, essa pesquisa forneceu um panorama geral, assim como também detalhou o gerenciamento e as emissões de GEE. Dessa forma, a CASAL entra para o grupo de empresas de saneamento que quantificaram suas emissões de GEE, proporcionando um instrumento importante para elaboração de políticas públicas de combate às causas do aquecimento global.

Esse estudo apresenta que as medidas de mitigação e compensação propostas resultam na redução de suas emissões em no mínimo 10,13% do total. Podendo aumentar com a execução das outras ações mitigadoras propostas.

Um dos motivos para o valor mais elevado das emissões decorrentes no tratamento de esgoto na CASAL é ausência de tecnologia para o aproveitamento do metano nas estações de tratamento. O potencial de produção de gás metano para o aproveitamento energético na ETE do Emissário proporciona uma redução de 51,76% das emissões GEE na categoria, considerando seu cenário atual de tratamento, podendo chegar a reduzir 89,56% com a inclusão de reator anaeróbico na ETE, quando considerado o aproveitamento do biogás.

Portanto, a elaboração de um inventário de GEE e seu respectivo gerenciamento constitui-se um grande desafio para uma empresa, sendo fundamental para que se conheçam seus níveis de emissões, suas principais fontes e as oportunidades para mitigar ou compensar essas emissões. Além de contribuir no combate ao aquecimento global.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos foram alcançados, pois foram quantificados as principais fontes de GEE da CASAL, unidade Capital, além elaborar a proposta de gerenciamento desses gases. Para a quantificação dos gases a escolha do método de cálculo e a elaboração de inventários permitiram identificar as fontes e o perfil das emissões de GEE.

Foi feita uma análise da literatura referente às metodologias utilizadas para contabilização de GEE com foco organizacional. Os métodos selecionados foram o protocolo GHG voltado para aplicação em empresas brasileiras e os métodos do IPCC, para quantificação das emissões decorrentes do tratamento de esgoto.

Percebeu-se que os métodos utilizados apresentaram limitações quanto ao uso em companhias de saneamento, sendo necessária a utilização de mais um método para concluir satisfatoriamente as estimativas das emissões de GEE. Uma das limitações da metodologia proposta pelo GHG *Protocol* constitui-se na ausência de ferramentas de cálculo para todos os setores de atividade, situação da categoria tratamento de efluentes. Em relação ao IPCC, não pode ser aplicado para o tratamento de águas de abastecimento.

O inventário da CASAL, unidade Capital, foi similar ao de outras companhias de saneamento no Brasil, apresentando como maior fonte de emissão de GEE o tratamento de esgoto e a segunda maior fonte relevante as emissões devido ao consumo de energia.

Para melhoria do atual inventário torna-se necessário obter dados com maior grau de precisão possível. Nesse sentido, recomenda-se a criação de uma supervisão de gerenciamento das emissões de GEE na CASAL, para gestão das informações a qual subsidiarão o inventário, buscando cobrar e contribuir dos setores responsáveis pela alimentação dos dados das atividades que estão relacionados e execução das medidas mitigadoras propostas nos inventários.

Aos pesquisadores que demonstrem interesse e desejarem colaborar para essa área de estudo seguem algumas recomendações para futuras pesquisas:

- Replicar esse trabalho nas demais unidades da CASAL;
- Calcular as emissões devido ao tratamento e disposição de resíduos sólidos;
- Realizar uma análise financeira da implantação de uma usina para o aproveitamento do biogás na ETE Emissário;
- Avaliar outras estratégias de mitigação e neutralização não contempladas nesse estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lêdo Ivo José de. **Matéria orgânica oriundo de tratamento de esgotamento sanitário na ETE Norte – Palmas-TO**. 113f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Tocantins, Tocantis, 2016.

ANDRADE, Helenice Vieira. Mapeamento das Políticas Estaduas de Adaptação das Cidades às Mudanças Climáticas no Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**. v. 11, n.2, p. 24-29, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rios de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14064: Gases de Efeito Estufa – Parte 1**. Rios de Janeiro: ABNT, 2007.

AZEVEDO, M. F. C.; QUINTINO, I. Manual Técnico: Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas. **Ambiental Company**, Rio de Janeiro, 2010. 17 p.

BERNSTAD, A.; JANSEN, J.C.. Review of comparative LCAs of food waste management systems: current status and potential improvements. **Waste Management**. v. 32, p. 2439–2455. ago, 2012.

BRASIL – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Fator de Emissão da Energia**. Brasília, MCTI, 2019. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html. Acesso em 20 jun. 2019.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Veículos Terrestres**. Brasília, MMA, 2011. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf. Acesso em 20 jun. 2019.

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

BRIANEZI, Daniel.; JACOVINE, Laércio Antônio Gonçalves; SOARES, Carlos Pedro Boechat; GONÇALVES, Wantuelfer; ROCHA, Samuel José Silva Soares. Balanço de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**. v. 21, n.2, p. 182-191, 2014.

CASAL, Companhia de Saneamento de Alagoas. **Estrutura Organizacional**. 2018a. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/OrganogramaCompleto.pdf>. Acesso em 13 fev. 2019.

CASAL, Companhia de Saneamento de Alagoas. **Casal**. 2018b. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/>. Acesso em 12 fev. 2019.

CENBIO. **Nota Técnica VII - Geração de Energia a Partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais**. São Paulo, 2001.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. v. 1, 2ª ed. São Paulo. 2006.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 379p. 2007.

CIÊNCIAMÃO. **Recursos de Mídia: Vídeos Sobre a Questão do Efeito Estufa e Suas Consequências no Planeta Terra**. 2018. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=lc&cod=_recursosdemidiafilmesobr. Acesso em: 19 fev. 2019.

COP 24: Conferência das Partes 24. Key Messages. 2018. Disponível em: <https://cop24.gov.pl/key-messages/>. Acesso em: 20 fev. 2019

COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito estufa**. 2015. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/wcm/connect/29ef890d-dc2f-42da-884f-6b39dd4bc94e/Relatorio+e+anexos.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=29ef890d-dc2f-42da-884f-6b39dd4bc94e>. Acesso em: 26 ago. 2019.

COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Número e Indicadores**. 2019. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/a-copasa/numeros-e-indicadores>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CQNUNC, Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Alterações Climáticas. **Emissões de gases de efeito estufa por país e setor. Parlamento Europeu**. 2018.

Disponível em:

<http://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>. Acesso em: 26 ago. 2019.

CUNHA, F. G.; PINTO, C. R. C.; MARTINS, R. S.; CARTILHOS JR, B. A. Princípio da Precaução no Brasil após a Rio-92: Impacto Ambiental e Saúde Humana. **Ambiente & Sociedade**, v. XVI, n. 3, p. 65-82, jul-set 2013.

DEFRA/DECC, Department of the Environment, Food and Rural Affairs and Department of Energy and Climate Change. **Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting, version 1.1**. AEA, Defra, DECC, UK, 2012. Disponível em:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69554/pb13773-ghg-conversion-factors-2012.pdf. Acesso em: 07 mar. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Company GHG Emissions Reporting: a Study on Methods and Initiatives**. Environmental Resources Management, 2010.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas**. Centro Clima, Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2008.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol - Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**, segunda edição. 2017b. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf . Acesso em 12. Fev. 2019.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **Emissões históricas do Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2019c. Disponível em: <http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/emissoes-historicas>. Acesso em 26 ago. 2019.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **Ferramenta Intersetorial GHG Protocol v2019.3 xlsx**. 2018. Disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>. Acesso em 17. Ago. 2019.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **Inventários por setor de atividade**. 2019b. Disponível em:

<http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/inventarios-por-setor>. Acesso em 26 ago. 2019.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **Membros do Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2019a. Disponível em:

<http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/membros-do-programa>. Acesso em 26. Ago. 2019.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **O Programa Brasileiro GHG Protocol**, 2017a. Disponível em: <https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>. Acesso em 26 ago. 2019.

GUPTA, Diksha; SINGH, Santosh Kumar. Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A Case study in Noida. **Journal of Water Sustainability**, v. 2, n.2. p. 131–139, jun, 2012.

HALL, Gill; LEE, Joanna. Making Advances in Carbon Management: best practice from the Carbon Information Leaders. **A Joint CDP and IBM study**, 2008

HENRIQUES, Silva Darly. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. **Revista Brasileira de Políticas Internacionais**, v. 52, n. 2, p. 155-172, dez, 2009.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás: aterros sanitários**. Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, v. 1. 2009.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, 2019a, v 1. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol1.html>. Acesso em: 28 dez. 2019.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, 2019b, v 5. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>. Acessado em: 28 dez. 2019.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**. A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories

Programme, EGGLESTON H. S.; BUENDIA L.; MIWA K.; NGARA T.; TANABE K. (eds). IGES. Japan, 2006.

KATHIRAVALE, S.; YUNUS, M. N. M.. Waste to Wealth. **Asia Europe Journal**. v. 6, 2^a ed., p. 359-371, 2008.

LAU, Lee Chung; LEE, Keat Teong; MOHAMED, Abdul Rahman. 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.

MELO, Vanessa Silva. **A importância dos inventários do programa GHG Protocol para a gestão das emissões ambientais em empresas no estado do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, 2017.

MELO, Vanessa Silva; SINFRÔNIO, Francisco Sávio Mendes. A importância dos inventários do programa GHG Protocol para a gestão das emissões ambientais: estudo de caso do Maranhão. **Natural Resources**, v.8, n.2, p.38-51, 2018.

MMAa, Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 19 fev. 2019.

MMAb, Ministério do Meio Ambiente. **Conferência das Partes**. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes.html>. Acesso em: 19 fev. 2019.

NETTO, Sylvio Péllico; KAUANO, Érico Emed; CARAIOLA, Márcio; WEBER, Saulo Henrique; ERDELYI, Sergius. Estimativa do potencial de neutralização de dióxido de carbono no programa VIVAT Neutracarbono 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.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Conturbada até o fim, COP25 falha em aumentar ambição**. 2019. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/conturbada-ate-o-fim-cop25-falha-em-aumentar-ambicao/>. Acesso em: 28 dez. 2019.

OLIVEIRA, Thiago Rodrigues, *et al.* **Guia Qualidata**: Requisitos de qualidade de conjuntos de dados para o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida. Instituto

Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- Ibict, Brasília: 2017. 58 p. ISBN: 978-85-7013-119-5

ONU, Organização das Nações Unidas. **High-level synthesis report of latest climate science information convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019**. 2019. 28 p. Disponível em:

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30023/climsci.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 26 fev. 2020.

PAREDES, M.; GUERECA, L.; MOLINA, P; NOYOLA, A. Emisiones de metano por el sector del tratamiento de aguas residuales municipales: proceso de lodos ativados con digestión anaerobia. *In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Monterrey, México, 2014.

PINHO, I. P. R. **Inventário e gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa na indústria de bebidas**: um estudo de caso no Brasil. 141f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ROSSATO, Ivete de Fátima. Inventário do Ciclo de Vida do Processo de Fabricação Cerâmico. *In: III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí*. 13 p., 2009.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa**: Programa Brasileiro GHG Protocol. 2018. Disponível em: <http://registropublicodeemissoes.com.br/participantes/1183>. Acesso em: 26 ago. 2019.

SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná. **Sanepar em Números**. 2019. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>. Acesso em 22 nov. 2019.

SANTOS, J. O.; ANDRADE, J. C. S.; MARINHO, M. M. O; NOYOLA, A.; GUERECA, L. P. Greenhouse gas inventory of a state water and wastewater utility in Northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-9, 2015.

SANTOS, Jamile Oliveira. **Inventário das emissões de gases de Efeito Estufa (GEE) na Embrasa**: oportunidades para o aprimoramento da gestão das emissões. 2015. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, 2015.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil**. Observatório do Clima, 2019.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e as contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. Observatório do Clima, 2018.

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. **Cartilha inventário de emissões de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro. 2017. 64 p.

SILVA Robson Willians Costa; PAULA Beatris Lima. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didactica**, v. 5, p. 42-49, 2009.

SILVA, Keke Rosberg Guimarães. **Inventário de gases de efeito estufa para o município de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2017.

SIRENE, Sistema de Registro Nacional de Emissões. **Emissões em dióxido de carbono equivalente por setor. 2019**. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/paineis/2018/08/24/Emissoes_em_dioxido_de_carbono_equivalente_por_setor.html. Acesso em 28 ago. 2019.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472p.

TUFFANI, Maurício. Dez anos depois, Protocolo de Kyoto falhou em reduzir emissões mundiais. **Folha de São 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: 20 nov. 2019.

UNEP, United Environment Programme. **Emissions Gap Report 2019**. UNEP, Nairobi. 2019. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>. Acesso em 28 dez. 2019.


UNFCCC, United Nations Climate Change. **Climate Week**, Salvador, Brasil, 2019. Disponível em: <https://unfccc.int/news/latin-american-caribbean-climate-week-calls-for-urgent-ambitious-action>. Acesso em 29 out. 2019.

YI, Sora; YANG, Heewon; LEE, Seung Hoon; AN Kyoung-Jin . Quantifying and managing regional greenhouse gas emissions: Waste sector of Daejeon, Korea. **Journal of Environmental Sciences**. 2014, p. 1249–1259. DOI: 10.1016/S1001-0742(13)60596-3.

ZHANG, Qian; NAKATANI, Jun; WANG, Tao; CHAI, Chunyan; MORIGUCHI, Yuichi. Hidden greenhouse gas emissions for water utilities in China's cities, **Journal of Cleaner Production**. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.042.

APÊNDICE A – Ofício de solicitação para elaboração do estudo na CASAL


Figura 22 – Ofício para solicitação do estudo na CASAL

PROTOCOLO
Nº 4769 / 2019
ASS. 

OFÍCIO Nº 01/2019

Maceió, 02 de Abril de 2019. ▸

À
Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal)
Excelentíssimo Sr. Wilde Clécio Falcão de Alencar
Diretor Presidente da Companhia de Saneamento de Alagoas
Maceió - AL



José Carlos da Silva Júnior, Brasileiro, Casado, Engenheiro Civil e Assistente Operacional da Casal (Lotado na Gemte), inscrito no CPF sob o nº 085.172.254-73 e no RG nº 3248103-9, residente e domiciliado à Rua Clístenes de Miranda Pinto, Edifício Mato Grosso 2, CEP 57020-510, nesta cidade de Maceió – AL, vem respeitosamente à presença de Vossa Senhoria solicitar autorização para confecção de um Inventário e Gerenciamento das emissões Gases de Efeito Estufa da Casal Unidade Capital, sob orientação dos Professores Dr. Márcio Gomes Barboza e Dra. Karina Ribeiro Salomon. Este trabalho será realizado a título de dissertação do Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas.

Para isto precisarei da colaboração dos setores listados abaixo:

- SUPTRE;
- GEPRO;
- GEMEM;
- GSEA;
- SUPEN;
- SUTRAN;
- SUPBES;
- SUPES;
- GEMTE;
- GESUP.

Este trabalho apresenta como principais contribuições:

- Gerenciar as emissões e identificar medidas de mitigação para minimizar as emissões dos GEE;
- Controlar o aquecimento global;
- Construção de uma reputação corporativa climaticamente amigável.

José Carlos da Silva Júnior

RECEBIDO

Em. 02 MAR 2019

AS _____ P
Protocolo Gerat/CASAL

Fonte: O autor

APÊNDICE B – Informações sobre as estações de tratamento de esgoto**Tabela 32 – Dados sobre as estações de tratamento de esgoto da CASAL, unidade Capital**

ESCOPO 1: TRATAMENTO DE EFLUENTES				
Nome da estação	Tipo de tratamento	Vazão de tratamento (m³/d)	População atendida (habitantes)	Região atendida
ETE Residencial Cidade Sorriso 1	9 Fossas Filtro e 18 Filtros anaeróbios	710,40	5.920	Residencial Cidade Sorriso 1 - Benedito Bentes
ETE Residencial Cidade Sorriso 2	6 Fossas Filtro e 12 Filtros anaeróbios	480,00	4.000	Residencial Cidade Sorriso 2 - Benedito Bentes
ETE Paulo Bandeira	11 Fossas e 22 Filtros	374,40	3.120	Paulo Bandeira - Benedito Bentes
ETE Recanto das Orquídeas	Lodo Ativado	250,80	2.090	Recanto das Orquídeas - Benedito Bentes
ETE Recanto dos Sonhos	Lodo Ativado	288,00	2.400	Recanto dos Sonhos - Benedito Bentes
ETE Recanto dos Pássaros	Lodo Ativado	292,80	2.440	Recanto dos Pássaros - Benedito Bentes
ETE Recanto das Estrelas	Lodo Ativado	292,80	2.440	Recanto das Estrelas - Benedito Bentes
ETE Recanto das Cores	Lodo Ativado	285,60	2.380	Recando das Cores - Benedito Bentes
ETE Recanto dos Contos	Lodo Ativado	274,20	2.285	Recanto dos Contos - Bnedito Bentes
ETE Vilage das Artes	Lodo Ativado	288,00	2.400	Vilage das Artes - Benedito Bentes
ETE Vilage das Flores	Lodo Ativado	288,00	2.400	Vilage das Flores - Benedito Bentes
ETE Vilage da Alvorada	Lodo Ativado	259,20	2.160	Vilage da Alvorada - Benedito Bentes
ETE Bosque das Palmeiras	Lagoa de Estabilização	147,36	1.228	Bosque das Palmeiras - Benedito Bentes

Nome da estação	Tipo de tratamento	Vazão de tratamento (m³/d)	População atendida (habitantes)	Região atendida
ETE Bosque das Flamboiães	Lagoa de Estabilização	192,00	1.600	Bosque das Flamboiães - Benedito Bentes
ETE Bosque das Acácias	Lagoa de Estabilização	168,96	1.408	Bosque das Acácias - Benedito Bentes
ETE Bosque das Cauarinas	Lagoa de Estabilização	172,80	1.440	Bosque das Casuarinas - Benedito Bentes
ETE Bosque das Ubaias	Lagoa de Estabilização	194,40	1.620	Bosque das Ubaias - Benedito Bentes
ETE Bosque dos Ipês	Lagoa de Estabilização	96,00	800	Bosque dos Ipês - Benedito Bentes
ETE Parque dos Caetés 1, 2, 3	25 Tanques Sépticos e 50 Filtros	1.785,60	14.880	Parque dos Caetés - Benedito Bentes
ETE Residencial Morada do Planalto - 1, 2 e 3	Fossa e Filtro Anaeróbio com 3 Lagoa Facultativa	720,00	6.000	Residencial Morada do Planalto - 1, 2 e 3
ETE Aprígio Vilela	10 Reatores UASB + 20 Filtros + Tanque de Contato	237,36	1.978	Aprígio Vilela - Benedito Bentes
ETE Residencial Jorge Quintela	4 Fossas e 4 Filtros Anaeróbios	391,68	3.264	Residencial Jorge Quintela 1 - Benedito Bentes
ETE Residencial Jardim Royal 1	Fossa e Filtro Anaeróbio	274,80	2.290	Residencial Jardim Royal 1 - Tabuleiro dos Martins
ETE Residencial Jardim Royal 2	Fossa e Filtro Anaeróbio	1.000,80	8.340	Residencial Jardim Royal 2 - Tabuleiro dos Martins
ETE Residencial Jardim Royal 3	Fossa e Filtro Anaeróbio	160,92	1.341	Residencial Jardim Royal 3 - Tabuleiro dos Martins

Nome da estação	Tipo de tratamento	Vazão de tratamento (m³/d)	População atendida (habitantes)	Região atendida
ETE Residencial Jardim Royal 4	Fossa e Filtro Anaeróbio	160,92	1.341	Residencial Jardim Royal 4 - Tabuleiro dos Martins
ETE Residencial Ouro Preto	Fossa e Filtro Anaeróbio	144,00	1.200	Residencial Ouro Preto - Ouro Preto
ETE Parque Petrópolis 1	Fossa e Filtro Anaeróbio	364,80	3.040	Parque Petrópolis 1 - Petrópolis
ETE Vale do São Francisco	Fossa e Filtro Anaeróbio	180,00	1.500	Vale do São Francisco - Rio Novo
ETE Vale do Tocantins	Fossa e Filtro Anaeróbio	180,00	1.500	Vale do Tocantins - Rio Novo
Emissário Submarino	Disposição Oceânica (Gradeamento e Caixa de Areia)	60.000,00	500.000	Jacarecica, Cruz das Almas, Mangabeiras, Jatúca, Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Jaraguá, Centro, Farol, Bom Parto, Levada, Ponta Grossa, Prado, Vergel do Largo e Trapiche da Barra

Fonte: O autor

APÊNDICE C – Informações sobre as o consumo de combustíveis

Tabela 33 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 1: COMBUSTÃO MÓVEL	
Tipo de combustível	Consumo de combustível (litros)
Gasolina	214.591,60
Etanol	36,07
Diesel	58.785,72
Total	273.413,39

Fonte: O autor

Tabela 34 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 1: COMBUSTÃO MÓVEL	
Tipo de veículo	Quantidade
Carros pequenos	110
Caminhões	9
Motos	6
Total	125

Fonte: O autor

Tabela 35 – Dados sobre o consumo de combustível da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 1: COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA			
Lotação Motogeradores	Potência (KVA)	Quantidade	Consumo de combustível (Litros)
Emissário	500	2	
Levada	150	1	
Joaquim Leão	55	1	
Vegetal	40	1	
Virgem dos Pobres	40	1	
Trapiche	180	1	
Salgadinho	443	1	
13 de Maio	265	1	
Lyons	180	1	3.583,69
Parque Jatiúca	5	1	
Pássaros	50	1	
Estrelas	50	1	
Artes	50	1	
Sonhos	50	1	
Flores	50	1	
Orquídeas	50	1	
Fontes	28	1	
Cores	50	1	
Contos	140	1	
Alvorada	50	1	

APÊNDICE D – Informações sobre equipamentos que liberam gases

Tabela 36 – Dados sobre a relação de ar condicionado da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 1: EMISSÕES FUGITIVAS - AR CONDICIONADO					
Capacidade	Quantidade R-410A	Quantidade HFC-134a	Capacidade de gás (kg)	Total de gás R-410A (kg)	Total de gás HFC-134a (kg)
7000	1	1	0,6	0,57	0,57
7500	12	0	0,6	6,84	0
9000	33	3	0,7	22,275	2,025
10000	2	0	0,7	1,34	0
12000	6	3	0,7	4,02	2,01
18000	20	7	1,1	22	7,7
22000	2	1	1,5	3	1,5
24000	18	0	1,5	27	0
30000	5	7	1,9	9,25	12,95
Total	99	22	-	96,30	26,76

Fonte: O autor

Tabela 37 – Dados sobre a relação de extintores da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 1: EMISSÕES FUGITIVAS - EXTINTOR		
Tipo de Extintor	Capacidade do Extintor	Quantidade
CO ₂	4Kg	9
CO ₂	6Kg	29
Pó químico BC	4Kg	15
Pó químico BC	6Kg	43
Pó químico ABC	6Kg	20
Água	10L	6
Total		122

Fonte: O autor

APÊNDICE E – Informações sobre o consumo de energia elétrica**Tabela 38 – Dados sobre o consumo de energia da CASAL, unidade Capital**

ESCOPO 2: ENERGIA ELÉTRICA	
Atividade Consumidora	Consumo (KWH)
Tratamento e abastecimento de água	43.883.477
Tratamento e transporte de esgoto	3.908.382
Escritório	825.947
Total	48.617.806

Fonte: O autor

APÊNDICE F – Informações sobre viagens aéreas

Tabela 39 – Dados sobre viagens aéreas da CASAL, unidade Capital

Escopo 3: VIAGENS A NEGÓCIO AÉREAS		
Origem da viagem	Destino da viagem	Quantidade de viagens
Maceió	Brasília	49
Maceió	São Paulo	20
Maceió	Fortaleza	4
Maceió	Florianópolis	2
Maceió	Rio de Janeiro	3
Maceió	Salvador	4
Maceió	Porto Alegre	1
Maceió	Vitória	1
Total		84

Fonte: O autor

APÊNDICE G – Informações sobre o deslocamento dos funcionários ao trabalho

Tabela 40 – Dados sobre o deslocamento de funcionários da CASAL, unidade Capital

ESCOPO 3: DESLOCAMENTO DO FUNIONÁRIOS AO LOCAL DE TRABALHO	
Tipo de transporte	Quilometragem diária percorrida
Ônibus	5.210,40
Carro	9.758,21
Moto	4.182,09
Total	19.150,7

Fonte: O autor