



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) EM UMA COMPANHIA DE SANEAMENTO

\*José Carlos da Silva Júnior<sup>1</sup>  
Fausto Diniz de Souza<sup>1</sup>  
Marcio Gomes Barboza<sup>1</sup>  
Daniele Vital Vich<sup>1</sup>  
Karina Ribeiro Salomon<sup>1</sup>

## INVENTORY OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AT A SANITATION COMPANY

Recibido el 22 de abril de 2020. Aceptado el 13 de abril de 2021

### Abstract

Greenhouse Gas emissions inventories are strategic environmental management tools that estimate emissions by specific sources in a given geographical area and timeframe. Developing an inventory is the first step in creating programs to improve air quality. This research aimed to prepare a GHG inventory and propose a management of its emissions from the activities of the Sanitation Company of Alagoas (Casal) in the Capital Unit in 2018. The methodology employed involved literature analysis to identify the most appropriate method for inventory preparation, data collection in various units of the company, interviews with managers and GHG accounting. The methodology used for the estimation was that indicated by the Brazilian GHG Protocol Program, complemented by the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the case of sewage treatment. The results of the GHG emissions inventory indicate that in 2018, Casal, Capital unit emitted 31,099.33 tCO<sub>2e</sub>, of which 86.7% (26,980.70 tCO<sub>2e</sub>) came from direct emissions, while indirect ones represented 13.3% (4,118.63 tCO<sub>2e</sub>). The company's main sources of emissions were the sewage treatment and energy consumption categories, respectively. The results form the basis for the incorporation of GHG reduction measures in the company's strategic planning.

**Keywords:** CO<sub>2e</sub> emissions, inventory of gaseous emissions, climate change, sanitation.

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia, Federal de Alagoas, Brasil.

\*Autor Correspondente: Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió-AL. Email: [josecarlossjr@outlook.com](mailto:josecarlossjr@outlook.com)

## 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 determinados. O desenvolvimento de um inventário é a primeira etapa na criação de programas voltados à melhoria da qualidade do ar. Essa pesquisa teve como objetivo elaborar um inventário de GEE decorrentes das atividades da Unidade Capital da Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal), situada na cidade de Maceió, Brasil em 2018. A metodologia utilizada para estimativa 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 tCO<sub>2</sub>e, sendo 86.7% (26,980.70 tCO<sub>2</sub>e) oriundas das emissões diretas, enquanto as indiretas representaram 13.3% (4,118.63 tCO<sub>2</sub>e). As principais fontes de emissões da empresa foram as categorias tratamento de esgoto e consumo de energia, respectivamente. Os resultados formam base para a incorporação de medidas de redução de GEE no planejamento estratégico da empresa.

**Palavras chave:** emissões de CO<sub>2</sub>e, inventário de emissões gasosas, mudanças climáticas.

## Introdução

A principal razão para o aumento acentuado do aquecimento global nas últimas décadas é a emissão de gases de efeito estufa proveniente das atividades humanas (Mengel *et al.*, 2018). Com isso, diversas conferências sobre poluição atmosférica e questões relacionadas a mudanças climáticas foram criadas com o objetivo de tomar decisões sobre os esforços para controlar as emissões dos GEE (Silva, 2017).

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; em 2019, a temperatura média global estava 1.1°C acima desses níveis.

A temática das mudanças climáticas vem mobilizando o governo brasileiro a implementar ações para minimizar suas emissões de GEE. Nesse sentido, no acordo de Paris, firmado em 2015, o Brasil estabeleceu uma meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, que era de 2.335 MtCO<sub>2</sub>e (SEEG, 2019), até 2025 e reduzir 43% das emissões até 2030 (MMA, 2018). Já no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, instituído por meio da Lei 12187 de 29 de dezembro de 2009, o Brasil assumiu voluntariamente o compromisso de minimizar entre 36.1 e 38.9% suas emissões até o ano de 2020 (Brasil, 2009). Segundo Observatório do Clima (OC) (2019), na melhor das hipóteses o Brasil terminaria 2020 com emissões de carbono 2.3% maiores do que o compromisso menos ambicioso da política nacional, e 7% superiores ao compromisso mais ambicioso.

Segundo Carvalho (2017), para solucionar a elevação da temperatura do planeta é importante conhecer e quantificar os gases de efeito estufa e suas respectivas fontes. Para isso, as organizações estão executando inventários dessas emissões, objetivando identificá-las e estabelecer mecanismos de mitigação. Um inventário de emissões de GEE quantifica os diferentes gases de efeito de estufa de todas as fontes identificadas nas atividades diretas e indiretas associadas a um produto, indivíduo ou organização (Galli *et al.*, 2012; Estrela, 2011). Segundo Santos (2015), as metodologias mais utilizadas atualmente para elaboração de inventários são as propostas 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).

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. A Sanepar (Empresa de água e esgoto do Estado de Paraná) foi a única empresa brasileira de saneamento que publicou inventário no Registro de Emissões Públicas em 2018 (FGV, 2019).

Os inventários das concessionárias brasileiras de água e esgoto estaduais têm apontado que a maior fonte de emissão de GEE é proveniente de estações de tratamento de esgotos (Santos, 2015; Copasa, 2015; Sanepar, 2018). Com isso, verifica-se a importância das empresas brasileiras que atuam na área elaborarem inventários de GEE e traçarem estratégias para reduzir suas emissões (Gupta y Singh, 2012).

Para melhorar a qualidade dos inventários de GEE é essencial utilizar um sistema de informação robusto que permita uma abordagem integrada de produção-consumo e mais engajamento das partes interessadas (Baltar *et al.*, 2019).

Segundo Timperley (2018), o Brasil é um dos dez maiores emissores de GEE do mundo. Em 2018, o Brasil emitiu 1.939 bilhão de gás carbônico equivalente (CO<sub>2</sub>e) na atmosfera, sendo o setor de resíduos responsável por 5% desse total. Apesar do pequeno percentual de emissões desse setor, houve aumento de 17.8% entre os anos de 2010 e 2015 e 1.3% entre os anos de 2017 e 2018. O tratamento de efluentes é um dos principais responsáveis por suas emissões. Assim, é cada vez mais importante a elaboração de inventários de GEE para traçar estratégias de reduzir as emissões (SEEG, 2019).

Este artigo tem como objetivo elaborar um inventário de GEE das emissões decorrentes das atividades da Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal) na Unidade Capital no ano de 2018, bem como identificar suas principais fontes emissões, além de contribuir com dados para poucas experiências na preparação de inventários de GEE e relatórios públicos em companhias de saneamento no Brasil.

## Metodologia

Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, a metodologia foi composta por duas etapas, as quais envolveram a caracterização da área de estudo e elaboração do inventário dos gases de efeito estufa.

### Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado considerado a área de atuação da Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal), unidade Capital. A empresa responsável pelo abastecimento de água e saneamento básico do estado de Alagoas sediada em Maceió, tem sua estrutura organizacional constituída pela presidência e mais três vices presidências, que são os principais responsáveis pelas 06 (seis) Unidades de Negócio (UN) existentes no estado de Alagoas, UN Capital, UN Agreste, UN Serrana, UN Bacia Leiteira, UN Leste e UN Sertão (Casal, 2018a).

Em 2018, ano considerado para execução do inventário, a empresa foi responsável pelo abastecimento de água tratada em 77 (setenta e sete) municípios. No tocante a esgotamento sanitário, a empresa foi responsável por 7 (sete) cidades. Neste mesmo ano, a empresa possuía um total de 1519 funcionários, sendo que na UN Capital estavam lotados 926 trabalhadores, 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).

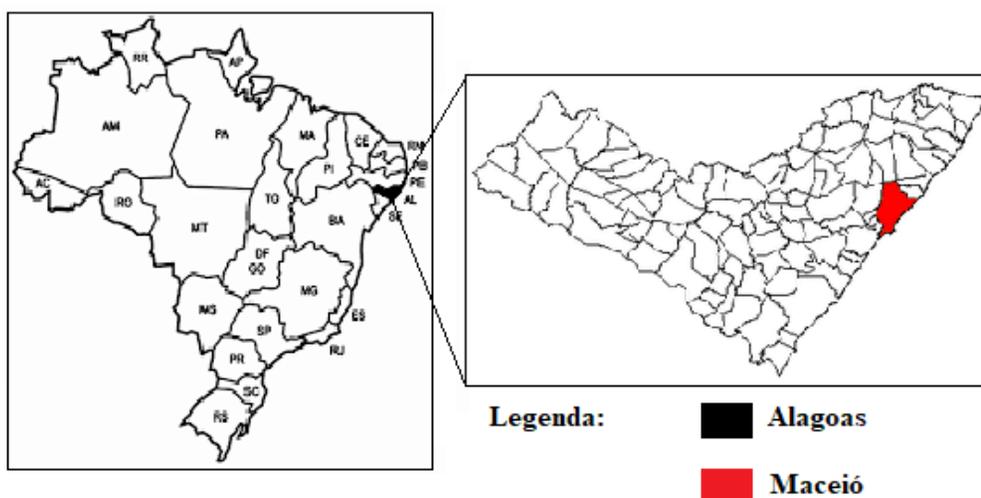


Figura 1. Localização do Município de Maceió

### Inventário de Emissões de GEE

A metodologia utilizada para elaboração do inventário teve como base o Guia de Orientações do IPCC (2019a e 2019b) e o GHG Protocol adaptado ao contexto e cenário brasileiro (FGV, 2018). Estas metodologias serviram para estimar as emissões de GEE oriundas das atividades da unidade Capital da Casal.

Foram descritos três escopos, conforme metodologia apresentada pelo GHG protocol, com as seguintes definições:

- a) escopo 1: emissões diretas relacionadas ao processo produtivo de uma organização e cujas fontes podem ser controladas pela mesma;
- b) Escopo 2: emissões indiretas de GEE devido ao consumo de eletricidade; e
- c) Escopo 3: fontes indiretas relacionadas à operação da empresa, mas que não possuem controle.

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.

O processo de coleta de dados foi concedido pelos diferentes setores da Casal de acordo com as categorias identificadas no Quadro 01. A divisão em categorias foi necessária para possibilitar a identificação da parcela de contribuição de cada escopo nas emissões. Para coleta dos dados foram realizadas visitas às diferentes gerências e superintendências da empresa durante o ano de 2019.

**Quadro 1.** 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. Nesta categoria foram englobadas 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 condicionado 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 por meio de transporte aéreo
	Deslocamento de funcionários	Considera-se a distância percorrida pelo funcionário de sua residência ao trabalho durante 1 (um) ano

A exclusão de emissões decorrentes do processo de tratamento de água ocorreu por ausência de uma metodologia destinada a essa quantificação. Segundo Santos (2015), tais emissões são pouco significativas.

Para a elaboração deste inventário foram contabilizadas as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), R-410A e HFC-143<sup>a</sup>, provenientes da unidade capital da Casal durante o ano de 2018. O poder de aquecimento global para cada um dos referidos gases é 1, 25, 310, 2088 e 1430, respectivamente (FGV, 2018). A contabilização das emissões foi realizada para cada tipo de GEE e convertida para toneladas de gás carbônico equivalente (tCO<sub>2</sub>e).

### Escopo 1 - Emissões diretas

#### **Tratamento de efluentes**

Os efluentes coletados pela Casal na unidade Capital são encaminhados para diferentes unidades de tratamento. Como as tecnologias utilizadas, que produzam GEE durante o tratamento, a estimativa das emissões provocadas por essas unidades foi obtida para os gases metano e óxido nitroso.

A Figura 1 apresenta o fluxograma de composição dos sistemas de tratamento de fluentes utilizados pela Casal.

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 são:

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

$$Tow = P \times DBO \times 0.001 \times I \times 365$$

**Equação (1)**

Onde:

Tow = carga orgânica total do esgoto no ano do inventário (KgDBO.ano<sup>-1</sup>)

P = População no ano do inventário

DBO = DBO per capita no ano do inventário (g.pessoa<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)

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<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> 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.

$$EF = Bo \times FCM$$

**Equação (2)**

Onde:

EF = Fator de emissão [Kg de CH<sub>4</sub>. (Kg de DBO)<sup>-1</sup>]

Bo = Capacidade máxima de produção de CH<sub>4</sub>

FCM = Fator de correção para o metano (tabela 1)

Se não houver dados da região de estudo para a capacidade de produção de metano, utiliza-se o valor padrão de 0.6 Kg de CH<sub>4</sub> (Kg de DBO)<sup>-1</sup> (IPCC, 2019b).

- *Passo 3:* Emissões totais de metano procedentes da unidade de tratamento de esgoto da Casal. Para estimativa das emissões totais foi utilizada a equação 3.

$$\text{Emissões de CH}_4 = EF \times TOW$$

**Equação (3)**

Onde:

Emissões de CH<sub>4</sub> = Emissões de CH<sub>4</sub> durante o ano do inventário (Kg de CH<sub>4</sub>.ano<sup>-1</sup>)

TOW = Total de matéria orgânica presente no esgoto no ano do inventário (Kg de DBO.ano<sup>-1</sup>)

FE = Fator de emissão [Kg de CH<sub>4</sub>.(Kg de DBO)<sup>-1</sup>]

**Tabela 1.** 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)

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).

$$\text{Emissões de N}_2\text{O} = P \times N_E \times FE \times 44/28$$

**Equação (4)**

Onde:

Emissões de N<sub>2</sub>O = Emissões de N<sub>2</sub>O no ano do inventário (Kg N<sub>2</sub>O.ano<sup>-1</sup>)

P = População no ano do inventário

N<sub>E</sub> = Carga unitária de nitrogênio no efluente doméstico (Kg N.habitante<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)

FE = Fator de emissão para emissões de N<sub>2</sub>O da descarga em águas residuais [Kg N<sub>2</sub>O-N. (Kg N)<sup>-1</sup>] (tabela 2)

44/28 = É a conversão de Kg N<sub>2</sub>O-N em Kg N<sub>2</sub>O

A carga unitária de nitrogênio adotada para efluente doméstico foi de 4.68 g.indivíduo<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> (Sperling, 2014).

**Tabela 2.** Fator de emissão para emissões de N<sub>2</sub>O da descarga em águas residuais de acordo com o tipo de tratamento.

Tipo de tratamento	FE
Fossa Filtro	0.0045
Lodo Ativado	0.0160
Lagoa de estabilização	0.0000
Reator UASB	0.0000
Emissário Submarino	0.0050

Fonte: IPCC (2019b)

### Combustão móvel

Em relação à combustão móvel, suas emissões foram estimadas através da metodologia apresentada pela ferramenta GHG Protocol 2019.3 (FGV, 2018). As estimativas dessa categoria foram baseadas no consumo anual de combustíveis e o fator de emissão do tipo de combustível utilizado, com isso, proporcionando uma estimativa precisa. As emissões foram obtidas através da equação 5:

$$E_{GEE} = CB \times F_{GGG,c}$$

**Equação (5)**

Onde:

$E_{GEE}$  = Emissão de GEE (tGEE.ano<sup>-1</sup>)

CB = Consumo de combustível (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>)

$F_{GGG,c}$  = Fator de emissão do GEE (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) devido ao consumo do combustível [tGEE.m<sup>3(-1)</sup>] (FGV, 2018).

### Combustão estacionária

O cálculo das emissões referente à combustão estacionária foi realizado através da metodologia apresentada pela ferramenta GHG Protocol 2019.3 (FGV, 2018), no qual as estimativas dessa categoria foram baseadas no consumo anual de combustíveis e o fator de emissão devido ao consumo de diesel dos motogeradores da empresa. As emissões foram obtidas através da equação 6.

$$E_{GEE} = CB \times F_{GGG,d}$$

**Equação (6)**

Onde:

$E_{GEE}$  = Emissão de GEE (tGEE.ano<sup>-1</sup>)

CB = Consumo de combustível (m<sup>3</sup>/ano)

$F_{GGG,d}$  = Fator de emissão do GEE (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) devido ao consumo do diesel [tGEE/m<sup>3(-1)</sup>] (FGV, 2018).

### 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 ares condicionados 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. A capacidade de gás de cada aparelho de ar condicionado determinado pela empresa que realiza a manutenção dos mesmos, no qual sua capacidade altera de acordo com a potência.

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.

$$C_{R-410A} = QTD_{ARC/R-410A} \times CG$$

**Equação (7)**

Onde:

$C_{R-410A}$  = capacidade das unidades que utilizam o gás R-410A ( $\text{kg.ano}^{-1}$ )

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

CG = Capacidade de gás de cada aparelho (kg)

$$C_{R22} = QTD_{ARC/R22} \times CG$$

**Equação (8)**

Onde:

$C_{R22}$  = capacidade das unidades que utilizam o gás R22 ( $\text{kg.ano}^{-1}$ )

$QTD_{ARC/R22}$  = Quantidade de aparelhos de ar condicionado que utilizam o gás R22

CG = Capacidade de gás de cada aparelho (kg)

Satisfazendo as orientações da empresa que presta manutenção nos extintores de incêndio da Casal, apenas os extintores com carga de  $\text{CO}_2$  emitem gases de efeito estufa na atmosfera, que neste caso é o próprio  $\text{CO}_2$ . 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.

$$E_{GEE} = QTD_{EX6} \times 6 + QTD_{EX4} \times 4$$

**Equação (9)**

Onde:

$E_{GEE}$  = Emissão de GEE ( $\text{tCO}_2.\text{ano}^{-1}$ )

$QTD_{EX6}$  = Quantidade de aparelhos extintores  $\text{CO}_2$  de 6kg

6 = Capacidade do extintor (6kg)

$QTD_{EX4}$  = Quantidade de aparelhos extintores  $CO_2$  de 4kg

4 = Capacidade do extintor (4kg)

### Escopo 2 - Emissões indiretas

#### **Energia elétrica**

A contabilização das emissões dos GEE provenientes do consumo de energia elétrica foi realizada através da equação 10. 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).

$$EE = CE \times FE$$

**Equação (10)**

Onde:

EE: Emissões de GEE ( $tCO_2 \cdot ano^{-1}$ )

CE: Consumo de eletricidade ( $KWh \cdot ano^{-1}$ )

FE: Fator de Emissão do SIN ( $tCO_2 \cdot MWh^{-1}$ ).

### Escopo 3 - Emissões indiretas

#### **Viagens a negócios aéreos**

A estimativa das emissões das viagens a negócios realizados por transporte aéreo foi realizada através da 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. A ferramenta de cálculo GHG protocol v2019.3 (FGV, 2018) quantifica automaticamente as distâncias percorridas entre os aeroportos de partida e chegada. Para contabilizar o trajeto de ida e volta da viagem foi adotado um coeficiente de valor 2 (dois) no momento da estimativa. Deste modo, a contabilização das emissões dessa categoria foi realizada através da equação 11.

$$E_{GEE-VA} = D \times 2 \times F_{GGG,k}$$

**Equação (11)**

Onde:

$E_{GEE-VA}$  = Emissão de GEE das viagens aéreas ( $tGEE \cdot ano^{-1}$ )

D = Distância correspondente ao somatório dos valores encontrados na ferramenta entre os aeroportos ( $m \cdot ano^{-1}$ )

2 = Corresponde a ida e volta do percurso adotado

$F_{GGG,k}$  = Fator de emissão do GEE ( $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $CO_2$ ) devido a distância percorrida ( $tGEE \cdot km^{-1}$ ) (Defra/DECC, 2012).

As estimativas das viagens a negócios terrestres foram inclusas no item combustão móvel. Esse fato ocorreu devido à organização na empresa quanto ao consumo de combustível.

### Deslocamento de Funcionários da Residência ao Local de Trabalho

A estimativa das emissões dessa categoria foi realizada através da distância percorrida pelos funcionários da Casal no seu deslocamento ao trabalho durante o ano de 2018. Para isso, a supervisão de pessoal forneceu o endereço e seu posto de trabalho dos 800 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 economicamente 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 ao 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 (Casal, 2018b).

Com isso, a estimativa de emissão dos GEE da categoria deslocamento de funcionários da residência ao local de trabalho do escopo 3 foi realizada através da equação 12. A tabela 3 apresenta os funcionários que recebem auxílio transporte.

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

**Equação (12)**

Onde:

$E_{GEE-DF}$  = Emissão de GEE devido ao deslocamento dos funcionários ( $tGEE.ano^{-1}$ )

D = Distância correspondente ao somatório dos valores encontrados ao utilizar o aplicativo Google maps ( $m.ano^{-1}$ )

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 à distância percorrida ( $tGEE.km^{-1}$ ) (FGV, 2018).

**Tabela 3.** Relação de funcionários que recebem vale transporte.

Vale transporte	Quantidade de funcionários	Distância percorrida estimada (km/ano)
Recebem	287	5,210.40
Não recebem	513	13,940.30

Os fatores de emissão utilizados para o transporte de passageiros e consumo de combustível foram baseados no inventário nacional de veículos terrestres preparados pelo Ministério do Meio Ambiente no Brasil, sendo apresentados na ferramenta de cálculo do GHG Protocol (FGV, 2018).

## Resultados

O total de emissões estimado para UN Capital da Casal no ano de 2018 foi de 31,099.33 tCO<sub>2</sub>e. As emissões diretas da empresa compreenderam 86.7% (26,980.70 tCO<sub>2</sub>e), enquanto as indiretas representaram 13.3% (4,118.63 tCO<sub>2</sub>e). Dentre as emissões indiretas, verifica-se que o escopo 2 foi responsável por 11.6% do valor total (3,596.91 tCO<sub>2</sub>e) enquanto o escopo 3 compreende a 1.7% (521.72 tCO<sub>2</sub>e), conforme verificado na tabela 4.

Com os resultados obtidos não foi possível realizar a calibração dos fatores de emissões utilizados para estimativa das emissões.

**Tabela 4.** Emissões por escopo.

Escopos	Categorias	Emissões (tCO <sub>2</sub> e)	Emissão total (tCO <sub>2</sub> e)
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	3,596.9	3,596.91
Escopo 3	Viagens a negócio aéreas	22.79	521.72
	Deslocamento de funcionários	498.93	
Total			31,099.33

### Escopo 1 - Emissões diretas

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 serem muito superiores ao dióxido de carbono.

A UN Capital da Casal atende 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 eles tratados por fossa-filtro, lodo ativado, lagoa de estabilização, reator UASB e Emissário.

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 (tabela 5). 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 anaeróbio resultam em maiores emissões de GEE, fator de emissão e, conseqüentemente, maiores emissões per capita.

**Tabela 5.** Emissões de GEE das estações de tratamento de esgotos da Casal

Tipo de Tratamento	Emissões de GEE			População (hab)	Emissão per capita (tCO <sub>2</sub> e/hab)
	Metano (tCH <sub>4</sub> /ano)	Óxido Nitroso (tN <sub>2</sub> O/ano)	Gás Carbônico Equivalente (tCO <sub>2</sub> e)		
Fossa-Filtro	316.10	0.70	8,110.45	57,736	140.47
Lodo Ativado	6.90	0.90	441.13	20,995	21.01
Lagoa de Estabilização	70.92	0.00	1,773.02	8,096	219.00
Reator UASB	17.33	0.00	433.18	1,978	219.00
Emissário Submarino	547.50	6.71	15,687.31	500,000	31.37
Total	958.75	8.31	26,445.10	588,805	44.91

A redução das emissões da categoria de tratamento de efluentes ocorrerá com o aproveitamento do metano gerado nas estações de tratamento de esgoto para o aproveitamento energético e, conseqüentemente, reduzirá o consumo de energia da empresa.

Percebe-se que as emissões da Casal, UN Capital foram baixas em relação à Embasa (Santos, 2015), Copasa (Copasa, 2015) e Sanepar (Sanepar, 2018), que emitiram 865,465 tCO<sub>2</sub>e, 554,820 tCO<sub>2</sub>e e 1,093,944.19 tCO<sub>2</sub>e, respectivamente. As variações das suas emissões totais ocorreram devido à diferença em relação à população atendida e a tecnologia de tratamento de esgoto associada, além da eficiência do sistema de tratamento adotado.

Na categoria de combustão móvel, a empresa teve um consumo de 58,785.72 litros de diesel, 214,785.72 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 503.07 tCO<sub>2</sub>e, representando 1.62% do total. Esse percentual apresentou-se semelhante em relação a outras empresas de saneamento, no qual a Embasa (Santos, 2015), Copasa (Copasa, 2015) e Sanepar (Sanepar, 2018), representam 2.3%, 1.0% e 0.56% do total emitido, respectivamente.

Na categoria de combustão estacionária, 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 8.57 tCO<sub>2</sub>e, representando 0.027% total. 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 tCO<sub>2</sub>e, que representou 0.022% de seu total de emissões (Sanepar, 2018).

Percebe-se que a utilização dos combustíveis representa uma parcela pequena no total de emissões na Casal, UN Capital. 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, além de buscar utilizar esses veículos em horários de menos tráfego. Como os carros utilizados nas atividades da empresa são locados é importante utilizar veículos novos em toda sua frota.

As Emissões Fugitivas foram responsáveis, em 2018, pela emissão de 23.96 tCO<sub>2</sub>e (tabela 16), correspondendo a 0.077% das emissões do escopo 1. Considerando um total de equipamentos (121 ares condicionados e 122 extintores de incêndio) 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 tCO<sub>2</sub>e/ar condicionado e 0.79kgCO<sub>2</sub>e/extintor, respectivamente.

### Escopo 2 - Emissões indiretas

O total de emissões resultantes do consumo de energia elétrica foi de 3,596.9 tCO<sub>2</sub>e em 2018 para um consumo de 46,617.81 MWh e um fator de emissão (tCO<sub>2</sub>/MWh) de 0.074.

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. Assim, a empresa deve adotar medidas de eficiência energética para reduzir o consumo associado a essas atividades e, conseqüentemente, as emissões indiretas no escopo.

O resultado da Casal 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)

### Escopo 3 - Emissões indiretas

Considerando o escopo 3, constata-se que sua emissão corresponde a 1.67% (521.72 tCO<sub>2</sub>e) 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.

O deslocamento de viagens aéreas foi dividido em distâncias curtas, médias e longas para se aplicar o fator de emissão correto. No ano de 2018, foram realizadas 168 viagens para diferentes destinos, considerando trajeto de ida e volta. Suas emissões representam 22.79 tCO<sub>2</sub>e, uma parcela infinitesimal do total da empresa. Para reduzir as emissões dessa categoria será necessário diminuir as viagens a negócios, sejam elas aéreas ou terrestres, para isso, deverá adotar sempre que possíveis reuniões ou eventos online para diminuir o deslocamento.

As emissões decorrentes do deslocamento de funcionários da residência ao local de trabalho da Casal, UN Capital, foram de 490.07 tCO<sub>2</sub>e correspondendo a uma distância percorrida de 4,787,675 km. Sendo o total de emissões geradas pelos carros, motos e ônibus correspondem a 337.56 tCO<sub>2</sub>e (67.64%), 46.80 tCO<sub>2</sub>e (9.38%) e 114.71tCO<sub>2</sub>e (22.98%), respectivamente, desta categoria. Com isso, é importante utilizar combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis e incentivar caronas solidárias entre os colaboradores da empresa que estejam lotados no mesmo setor.

Fazendo referência a Santos (2015), nessa categoria a Embasa emitiu 5.657 tCO<sub>2</sub>e, correspondendo a uma distância total percorrida pelos colaboradores de 22.489.660 km, divididos entre região metropolitana e interior. Comparando os resultados entre as empresas, percebe-se que a relação emissões por distância percorrida (CO<sub>2</sub>/km), as empresas Casal e Embasa têm o percentual de 0.10 e 0.25.

### Emissões biogênicas

As emissões de CO<sub>2</sub> 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, UN Capital, há emissão de CO<sub>2</sub> biogênico por conta das categorias combustão móvel e estacionária (escopo 1), referente ao consumo de combustível, e deslocamento casa-trabalho (escopo 3). A contabilização dessas emissões foi na ordem de 197.10 tCO<sub>2</sub> biogênico.

### **Conclusões**

A estimativa mostra que as emissões na companhia em 2018 chegaram a 31,099.33 tCO<sub>2</sub>e. As emissões diretas da empresa compreenderam 26,980.70 tCO<sub>2</sub>e, enquanto as indiretas representaram 4,118.63 tCO<sub>2</sub>e.

O inventário de emissões de GEE indicou que a principal fonte de emissão no sistema da Casal foi o processo de tratamento de esgoto, que contribuiu com 26,445.13tCO<sub>2</sub>e, 85.03% do total de emissões devido às gerações de metano e óxido nitroso. A segunda maior fonte de emissão de GEE na companhia foi referente ao consumo de energia elétrica, que resultou em 3,596.9 tCO<sub>2</sub>e, 11.56% do total, para um consumo anual de 48,617.806MW.

A principal dificuldade na elaboração do trabalho foi a coleta de dados devido à extensa área de cobertura e ausência de um sistema central de informações contendo os dados necessários para quantificar as emissões de GEE.

Com base nos resultados desse estudo, a redução das emissões de GEE na Casal será possível com a captura do biogás nas estações de tratamento de esgoto e o uso de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis nos veículos.

A elaboração de um inventário de GEE constitui-se um grande desafio para uma empresa, sendo fundamental na determinação dos níveis de emissões, suas principais fontes e as oportunidades para mitigar ou compensar essas emissões.

### Agradecimentos

*Agradeço à Casal pela licença para realização desse trabalho.*

### Referências Bibliográficas

- Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2019) Fator de Emissão da Energia. Brasília, MCTI. Acesso em 20 de junho de 2019, disponível em: [https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_despacho.html](https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html)
- Brasil (2009) *Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009*. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMS e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2009. 29 pp.
- Carvalho, J.P.A.F., Pereira, A.G.H.V.E., Romanel, C. (2017) Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Campus Gávea da PUC-Rio. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22**(3), 591-595. <https://doi.org/0.1590/S1413-41522017155865>
- CASAL, Companhia de Saneamento de Alagoas (2018a) *Estrutura Organizacional*. Acesso em 13 de fevereiro de 2019, disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/OrganogramaCompleto.pdf>
- CASAL, Companhia de Saneamento de Alagoas (2018b) *Casal*. Acesso em 12 de janeiro de 2019, disponível em: <https://www.casal.al.gov.br>
- COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais (2015) *Inventário de Emissões de Gases de Efeito estufa*. Belo Horizonte, MG. Acesso em 26 de agosto de 2019, 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>

- SANEPAR, Companhia de Saneamento do Paraná (2018) *Inventário de emissões de gases de efeito estufa: Programa Brasileiro GHG Protocol*. Acesso em 26 de agosto de 2019, disponível em: <http://registropublicodeemissoes.com.br/participantes/1183>
- DEFRA/DECC, Department of the Environment, Food and Rural Affairs and Department of Energy and Climate Change (2012) *Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting, version 1.1*. AEA, Defra, DECC, UK. Acesso em 07 de março de 2018, disponível em: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69554/pb13773-ghg-conversion-factors-2012.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69554/pb13773-ghg-conversion-factors-2012.pdf)
- Estrela, D.A. (2011) *Quantificação da Pegada de Carbono da Empresa Vestas Portugal*, Tese de mestrado, Mestrado em Engenharia do Ambiente – Ramo de Gestão, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 99 pp.
- FGV, Fundação Getúlio Vargas (2018) *Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta Intersectorial GHG Protocol v2019.3 xlsx*, Acesso em 17 de agosto de 2019, disponível em: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>
- FGV, Fundação Getúlio Vargas (2019) *Programa Brasileiro GHG Protocol. Membros do Programa Brasileiro GHG Protocol*, Acesso em 26 de agosto de 2019, disponível em: <http://registropublicodeemissoes.com.br/estatisticas/membros-do-programa>
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. (2012) Integrating Ecological, Carbon and Water Footprint into a “Footprint Family” of Indicators: Definition and Role in Tracking Human Pressure on the Planet, *Ecological Indicators*, **16**(4), 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>
- Gupta, D., Singh, S.K. (2012) Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A Case study in Noida, *Journal of Water Sustainability*, **2**(2), 131–139. <https://doi.org/10.1155/2016/3796352>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019a) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1, Acesso em 28 de dezembro de 2019, disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol1.html>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2019b) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 5, Acesso em 28 de dezembro de 2019, disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>
- Leão, E.B.S., Nascimento, L.F.M., Andrade, J.C.S., Oliveira, J.A.P. (2020) Carbon accounting approaches and reporting gaps in urban emissions: An analysis of the Greenhouse Gas inventories and climate action plans in Brazilian cities. *Journal of Cleaner Production*, **245**. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118930>.
- Mengel, M., Nauels, A., Rogelj, J., Schleussner, C.F. (2018) Committed sea-level rise under the Paris Agreement and the legacy of delayed mitigation action, *Nature Communications*, **9** (601) <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02985-8>
- MMA, Ministério do Meio Ambiente (2018) *Acordo de Paris*, Acesso em 19 de fevereiro de 2019, disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>
- OC, Observatório do Clima (2019) *Is Brazil on the way to meet its climate targets? Explainer note by the climate observatory*, Acesso em 31 de março 2020, disponível em: [http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/09/Is-Brazil-on-the-way-to-meet-its-climate-targets\\_-1.pdf](http://www.observatoriodoclima.eco.br/wp-content/uploads/2019/09/Is-Brazil-on-the-way-to-meet-its-climate-targets_-1.pdf)
- ONU, Organização das Nações Unidas (2019) *High-level synthesis report of latest climate science information convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019*, 28 pp. Acesso em 26 fevereiro 2020, disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30023/climsci.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos, J.O. (2015a) *Inventário das emissões de gases de Efeito Estufa (GEE) na Embasa: oportunidades para o aprimoramento da gestão das emissões*, Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 162 pp.

- Santos, J.O., Andrade, J.C.S., Marinho, M.M.O, Noyola, A., Güereca, L.P. (2015b) Greenhouse gas inventory of a state water and wastewater utility in Northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, **104**, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.085>
- SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2019) *Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil*. Observatório do Clima.
- Silva, K.R.G. (2017) *Inventário de gases de efeito estufa para o município de Maceió*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 82 pp.
- Timperley, J. (2018) *The carbon brief profile: Brazil*. Acesso em 31 de janeiro de 2021, disponível em: <https://www.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-brazil>
- Von Sperling, M. (2014) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 4ª ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, 472 pp.