

## ANÁLISE DE CICLO DE VIDA EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ESTUDO DE CASO - ETA CUBATÃO (PALHOÇA)

**Bruna Borges da Silva** – [brunaborg.bs@gmail.com](mailto:brunaborg.bs@gmail.com)

Instituto Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (PPGCA)  
Av. Mauro Ramos, Centro – 950  
88020-300 - Florianópolis – SC

**Cássio Aurélio Suski**

Instituto Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (PPGCA)

**Resumo:** O estudo tem como objetivo quantificar as emissões inerentes aos Gases de Efeito Estufa (GEE) associados ao tratamento de água da Estação de Tratamento de Água (ETA) Cubatão, localizada em Palhoça (SC), com base na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da fase operacional da unidade de Cubatão. Foram utilizados dados primários coletados in loco na ETA, e dados secundários cedidos pela concessionária. A metodologia consiste na caracterização do sistema de abastecimento de água e no levantamento e organização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) da ETA. A quantificação das emissões operacionais contemplou o consumo de energia elétrica dos equipamentos, o uso de insumos químicos, por meio do cálculo das emissões associadas à produção e ao consumo de reagentes (Policloreto de Alumínio (PAC), cloro e geocálcio) e a logística de transporte de insumos e resíduos por meio das distâncias percorridas, modelo dos veículos e combustíveis utilizados. Os resultados apresentaram emissões totais de 9.073,31 tCO<sub>2</sub>e para o ano de 2024. Os insumos químicos representam a principal fonte emissora e corresponde a 84,66% das emissões totais, seguidos pelo consumo de energia elétrica (10,56%), transporte (3,33%) e disposição de lodo (1,46%).

**Palavras-chave:** Estação de tratamento de água; Gases de efeito estufa; Mudanças climáticas; Avaliação do Ciclo de Vida; Mitigação ambiental.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto:abes-rs@abes-rs.org.br)



[www.abes-rs.org.br](http://www.abes-rs.org.br)

## ***LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A WATER TREATMENT PLANT: CASE STUDY – CUBATÃO (PALHOÇA)***

**Abstract:** This study aims to quantify greenhouse gas (GHG) emissions associated with water treatment at the Cubatão Water Treatment Plant (WTP) in Palhoça (SC), based on a Life Cycle Assessment (LCA) methodology covering the facility's operational phase. Primary data collected on-site at the WTP and secondary data provided by the utility company were used. The methodology involved characterizing the water supply system and compiling the Life Cycle Inventory (LCI) for the WTP. The quantification of operational emissions accounted for equipment electricity consumption; chemical input usage (calculating emissions associated with the production and consumption of reagents such as Polyaluminum Chloride (PAC), chlorine, and geocalcium); and the logistics of transporting inputs and waste, based on distances traveled, vehicle models, and fuel types. The results showed total emissions of 9,073.31 tCO<sub>2</sub>e for the year 2024. Chemical inputs were the primary source of emissions, accounting for 84.66% of the total, followed by electricity consumption (10.56%), transportation (3.33%), and sludge disposal (1.46%).

**Keywords:** Water treatment plant; Greenhouse gases; Climate change; Life Cycle Assessment; Environmental mitigation.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os fenômenos socioambientais hodiernos configuram-se como desdobramento histórico da Revolução Industrial (1760–1850). Esse período resultou em expressivos avanços tecnológicos, entretanto, acarretou para a intensificação da emissão de gases poluentes e de compostos potencialmente nocivos à atmosfera. No contexto atual, torna-se imprescindível adotar medidas de mitigação que reduzam a magnitude desses impactos, promovendo a transição para um modelo de desenvolvimento ambientalmente sustentável (ALVALÁ *et al.*, 2017).

A adaptação às mudanças climáticas e a identificação dos processos intensificadores das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), tornaram-se temas centrais em discussões contemporâneas, além de tornar-se temática recorrente. O assunto perpassa políticas públicas, abrangendo as interações cotidianas e engloba múltiplos setores e atividades. No início do século XIX, o físico francês Joseph Fourier desenvolveu a teoria de que os gases da atmosfera terrestre possuem a capacidade de reter calor. Na década de 1990, o engenheiro Guy Callendar analisou dados históricos de temperatura e medições de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), onde constatou um aumento de 0,3 graus Celsius (°C) na temperatura da superfície entre 1880 e 1935, desta forma identificou-se o crescimento da concentração atmosférica de Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub>e) (GOMSTYN, 2024).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Diante desse contexto, torna-se fundamental adotar ferramentas capazes de quantificar os impactos ambientais. Destaca-se a Análise do Ciclo de Vida (ACV), uma metodologia utilizada para avaliar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de seu ciclo de vida (ROY *et al.*, 2009). A ACV considera todas as etapas de um processo produtivo, atua como instrumento de apoio ao desenvolvimento de sistemas produtivos de menor impacto ambiental, e oferece aos tomadores de decisão informações técnicas fundamentais, referente à avaliação dos efeitos ambientais decorrentes de práticas de produção (CELLURA *et al.*, 2011).

Segundo o relatório *World Population Prospects 2024: Summary of Results*, a população global está estimada em cerca de 10,2 bilhões de pessoas para o ano de 2100 (UNITED NATIONS, 2024). O aumento populacional intensifica a demanda por recursos hídricos potáveis, impondo maior pressão sobre as Estações de Tratamento de Água (ETAs) e evidencia a relevância de sua avaliação sob a perspectiva de mitigação de impactos e planejamento ambiental resiliente e regenerativo.

Ressalta-se a necessidade de realizar uma avaliação integrada sob os impactos ambientais associados ao tratamento da água. Sob esse enfoque, as ETAs desempenham papel essencial ao garantir que a água bruta esteja em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação, para assegurar a proteção à saúde pública (MELO *et al.*, 2017).

A bacia hidrográfica do Rio Cubatão, localizada na Grande Florianópolis, apresenta grande relevância estratégica para a região, decorrente da presença dos sub mananciais Rios Vargem do Braço e Cubatão, que constituem os principais pontos de captação de água potável para abastecimento dos municípios da região. Atualmente, a captação efetiva da ETA corresponde a 550 L/s, embora a infraestrutura existente permita a expansão operacional para até 3.000 L/s. A Estação de Tratamento de Água Cubatão é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 700 mil habitantes, pertencentes a Região Metropolitana de Florianópolis, assim como componente estratégico para a segurança hídrica regional (CASAN, 2002).

A região metropolitana que engloba a capital catarinense e municípios adjacentes, é composta por um conjunto de municípios que formam uma área integrada do ponto de vista urbano e socioeconômico (CURCIO, 2025). A delimitação desses municípios permite a caracterização de uma macroárea com fortes interdependências em termos de mobilidade, uso dos recursos hídricos, serviços públicos e dinâmica ambiental. A ausência de estudos locais específicos, gera lacunas quanto à identificação das etapas de maior emissão de GEE na área de abastecimento hídrico.

O presente estudo concentra-se na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Cubatão e delimita a análise às etapas de captação, adução e tratamento, com ênfase na quantificação das emissões CO<sub>2</sub>e. A economia circular configura-se de forma estratégica e fundamental no enfrentamento da crise climática, ao promover a redução dos impactos ambientais por meio da otimização do uso de recursos nos ciclos produtivos e minimização da geração de resíduos, contribuindo diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (BERTULINO *et al.*, 2025).

O estudo tem como objetivo quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas às etapas de captação, adução e tratamento da ETA Cubatão por meio da Análise do Ciclo de Vida. A contribuição da pesquisa está associada à imprescindibilidade de compreensão dos impactos ambientais relacionados ao setor de abastecimento público de água, especialmente frente às mudanças climáticas e à crescente demanda hídrica regional. A aplicação da ACV permite caracterizar os fluxos de energia e matéria associados ao processo, identificar etapas críticas. A delimitação espacial do estudo oferece subsídios para a formulação de estratégias mais sustentáveis na gestão do abastecimento de água.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

## 2. METODOLOGIA

A metodologia do estudo consiste em apresentar os procedimentos adotados para Caracterização do sistema de abastecimento de água e levantamento e organização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) da ETA. Com aplicação de fórmulas, com o objetivo de determinar as emissões atmosféricas expressas em CO<sub>2</sub>e. para o ano de 2024, referente ao processo de captação e tratamento de água.

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende Palhoça município integrante da Região Metropolitana da Grande Florianópolis, correspondente ao trecho inicial do sistema de distribuição (início de rede), sendo atualmente a cidade de Biguaçu o trecho terminal do sistema (final de rede).

A Estação de Tratamento José Pedro Horstmann, popularmente conhecida como ETA Cubatão ou ETA do Morro dos Quadros, é uma estação de tratamento de água construída pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) no início da década de 1990, para atender a população da Grande Florianópolis. A Estação de tratamento, objeto do presente estudo, está localizada nas coordenadas 27°40' S e 48°37' O, demonstrado na Figura 1.

Figura 1 Mapa de Localização ETA Cubatão - Palhoça (SC) – Brasil.



Fonte: Próprios Autores.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

A Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão está localizada na porção continental do estado de Santa Catarina, a oeste do município de Florianópolis. Sua área de drenagem totaliza aproximadamente 738 km<sup>2</sup>, abrange os municípios de Águas Mornas, Santo Amaro da Imperatriz, São Pedro de Alcântara e Palhoça, os quais são diretamente influenciados pela dinâmica hidrológica e pelo regime de vazões do sistema fluvial (CASAN, 2003).

A bacia tem como principal curso d'água o Rio Cubatão do Sul, formado pela confluência dos rios Cedro e Bugres no município de São Bonifácio, apresenta extensão aproximada de 65 km. O Rio Cubatão do Sul, em conjunto com o Rio Vargem do Braço, constitui o principal sistema de captação de água superficial para o abastecimento público da Grande Florianópolis. Esses corpos hídricos desempenham papel estratégico no fornecimento de recursos hídricos e na manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais ao desenvolvimento socioeconômico local (LOCH & BRENTANO, 2020).

## 2.2. Caracterização dos sistemas de abastecimento de água

O levantamento de dados operacionais, inclui a caracterização detalhada de equipamentos da ETA realizada em visita técnica *in loco*, a fim de obter informações referente a potência dos equipamentos e respectivas horas diárias de operação; além das atividades inerentes à operação da unidade, considerou-se o local de deposição do resíduo, incluindo rotas utilizadas, distâncias percorridas e frequência dos deslocamentos, com consequente implementação da ACV.

## 2.3. Levantamento e organização do Inventário Do Ciclo De Vida (ICV) da ETA Cubatão

A Avaliação do Ciclo de Vida foi conduzida segundo as diretrizes metodológicas de Zhang *et al.*, (2024) e da metodologia do *GHG Protocol* (Escopo 1). As emissões de GEE foram quantificadas com base em fatores de emissão específicos para matriz energética brasileira, fabricação de produtos químicos, deposição de lodos e transporte de insumos e rejeitos, relacionado ao consumo de combustíveis fósseis.

A segunda etapa consiste na categorização e quantificação dos impactos ambientais relacionados ao consumo de recursos naturais e à emissão de GEE. A metodologia para obtenção de dados foi subdividida em duas etapas, considerando os dados primários e dados secundários. Os dados utilizados neste estudo são predominantemente primários.

### Equipamentos

Durante a visita, foi possível observar detalhadamente cada etapa do processo de tratamento, com o registro individual dos equipamentos operacionais, suas características e respectivas potências para utilização da Equação (1) para obtenção das emissões indiretas provenientes do consumo de energia elétrica. O fator de emissão adotado foi obtido a partir do Sistema de Registro Nacional de Emissões – SIRENE, disponibilizado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2026).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

$$EE = E \times EFE \quad (1)$$

Onde:

EE = Emissões de Gases de efeito estufa, provenientes da eletricidade (tCO<sub>2</sub>e);

E = Consumo de eletricidade, durante o período estabelecido (kWh);

EFE = Fator de Emissão de carbono para matriz elétrica brasileira (0,0000385 tCO<sub>2</sub>/kWh).

## Insumos Químicos

Os dados secundários referentes aos insumos empregados no processo de tratamento de água, foram incorporados à Equação (2). Esses dados subsidiaram a quantificação das emissões decorrentes do uso de materiais e recursos durante as etapas do tratamento de água, permitindo o cálculo das emissões associadas conforme os parâmetros estabelecidos na Equação (2).

$$E_c = \sum_{i=1}^n (C_i \times EF_i) \quad (2)$$

Onde:

E<sub>c</sub> = Emissão de produtos químicos (tCO<sub>2</sub>e);

C<sub>i</sub> = Insumos químicos consumidos durante período estabelecido - Tonelada;

EF<sub>i</sub> = Fator de emissão de carbono para produtos químicos (tCO<sub>2</sub>e/t);

i = Tipo de produto químico.

## Disposição de Lodo

A etapa subsequente, consiste, nas emissões de GEE proveniente da disposição de lodo em aterro sanitário. Os gases atmosféricos provenientes do tratamento de lodos em aterros são calculados de acordo com o modelo constante da seção de resíduos do inventário nacional revisto de GEE de 2019 do PIAC, e as suas emissões de GEE são principalmente CH<sub>4</sub>, geradas pela fermentação anaeróbia da matéria orgânica decorrente da disposição em aterros e quantificadas por meio da Equação (3).

$$ES_{CH_4} = M_{SS} \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot MCF \cdot F \cdot (1-OX) \times \frac{16}{12} \times 28 \quad (3)$$

Onde:

ES<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Emissão de CH<sub>4</sub>, proveniente do aterro sanitário (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>);

M<sub>SS</sub> = Peso seco do lodo enviado para tratamento (kg/ lodo seco);

DOC = Teor de carbono orgânico degradável no lodo (kg C/kg de lodo);

DOC<sub>F</sub> = Proporção de DOC decomposto, sendo 50% o valor ideal para aterros sanitários;

F = Fator de correção CH<sub>4</sub> (IPCC sugere um (1));

OX = Oxidação de CH<sub>4</sub> antes da liberação, no presente estudo considerou-se zero (0);

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

O Valor de  $\frac{16}{12}$ , é a razão de massa molar (MM) de CH<sub>4</sub> para carbono (C), e 28 é uma constante sobre o potencial de aquecimento global do CH<sub>4</sub>, (kg CO<sub>2</sub>e/kg CH<sub>4</sub>).

### *Transporte de insumos e resíduos*

Durante a fase operacional da ETA de Cubatão, há o deslocamento de insumos, assim como de subprodutos e resíduos gerados internamente. As emissões de GEE associadas a essas atividades logísticas foram consideradas na análise, sendo adotada a metodologia do *GHG Protocol* (Escopo 1). O Escopo 1 inclui as emissões diretas de GEE pertencentes ou controladas pela organização para a contabilização das emissões, conforme Equação (4), estabelecida pelo programa.

$$\text{Emissão} = (\text{QL}) \times (\text{Ef}_{\text{GHG}}) \quad (4)$$

Onde:

QL = Consumo de combustível (t/ano);

Ef<sub>GHG</sub> = Fator de Emissão do combustível (t CO<sub>2</sub>e / t DS).

As informações referentes ao tipo de veículo, especificações dos automóveis, características dos combustíveis empregados e trajetos adotados foram fornecidas diretamente pela concessionária e pelas empresas responsáveis pelo transporte.

## 3. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados encontrados a partir da aplicação dos procedimentos metodológicos descritos no capítulo 2.

A aplicação da metodologia proposta permitiu a sistematização e a quantificação dos principais componentes responsáveis pelas emissões atmosféricas, associadas à operacionalização da ETA Cubatão. Os resultados obtidos abrangem a caracterização da unidade, elaboração do Inventário do Ciclo de Vida e o cálculo das emissões provenientes do consumo de energia elétrica para matriz brasileira, uso de insumos químicos, atividades de transporte e manejo de resíduos.

### 3.1. Caracterização do sistema de abastecimento de água

O abastecimento da ETA Cubatão ocorre por meio de captação superficial no Rio Vargem do Braço por gravidade, e no Rio Cubatão do Sul por sistema de recalque com bombeamento. A adução é realizada por adutoras com diâmetros nominais (DN) de 600 milímetros (mm) e 800 mm para o sistema Pilões, e de 900 mm e 1.200 mm para o sistema Cubatão. O reservatório de água bruta possui geometria do tipo pirâmide invertida, conforme pode-se observar em visita técnica. A ETA Cubatão (Figura 2), possui 15 reservatórios para armazenamento de água após tratamento, com capacidade de 3.000 l/s.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700

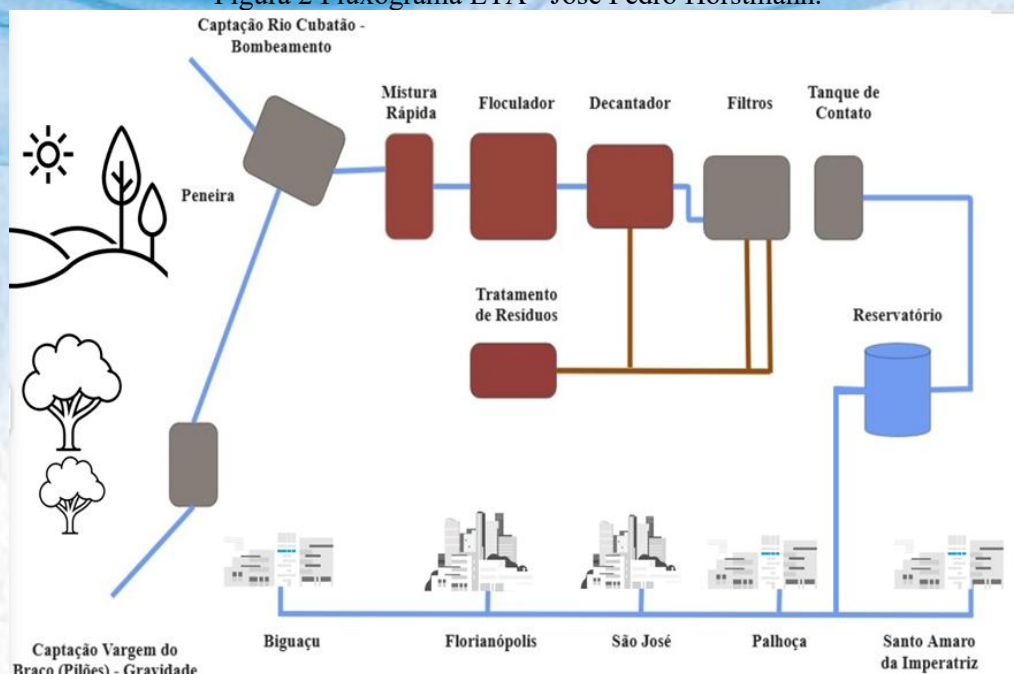


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 2 Fluxograma ETA - José Pedro Horstmann.



Fonte: Próprios Autores, adaptado Casan, 2025.

Para caracterização do sistema foram levantados todos os equipamentos utilizados na ETA Cubatão, assim como suas quantidades e potências unitárias. (Tabela 1). Além disso, foram levantados os insumos e quantidades consumidas (Tabela 2), os resíduos (Tabela 3) e os tipos de transportes (Tabela 4).

### 3.2. Levantamento e organização do inventário do ciclo de vida (ICV) da ETA Cubatão

#### Equipamentos

Inicialmente, com base nos dados primários coletados *in loco* e, da Equação 1, foi possível identificar e quantificar todos os equipamentos que compõem as etapas do processo de tratamento, determinando seu consumo energético anual e consequentemente, as emissões indiretas (Tabela 1). O fator de emissão adotado foi obtido a partir do SIRENE, disponibilizado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2024).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Tabela 1 Emissões de Gases de efeito estufa provenientes do consumo energético.

| Equipamento                                  | Quant. | P unitária (kW) | Tempo ligado anual (h) | Consumo de energia (kWh) | Consumo de energia Total - E - (kWh) | EFE <sup>a</sup> (tCO <sub>2</sub> e/kWh) | EE (tCO <sub>2</sub> e/ano) |
|----------------------------------------------|--------|-----------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|
| Bomba (Grande)                               | 2      | 5,52            | 8.760                  | 48.355,20                | 96.710,40                            | 0,0000385                                 | 3,72                        |
| Bomba (Pequena)                              | 1      | 2,72            | 8.760                  | 23.827,20                | 23.827,20                            | 0,0000385                                 | 0,92                        |
| Bomba de PAC                                 | 2      | 1,1             | 8.760                  | 9.636,00                 | 19.272,00                            | 0,0000385                                 | 0,74                        |
| Bomba Filtro                                 | 1      | 1,1             | 8.760                  | 9.636,00                 | 9.636,00                             | 0,0000385                                 | 0,37                        |
| Bomba Filtro                                 | 2      | 2,21            | 8.760                  | 19.359,60                | 38.719,20                            | 0,0000385                                 | 1,49                        |
| Bomba Lavagem                                | 2      | 14,71           | 8.760                  | 128.859,60               | 257.719,20                           | 0,0000385                                 | 9,92                        |
| Bomba Lavagem                                | 2      | 40,45           | 183                    | 7.382,13                 | 14.764,25                            | 0,0000385                                 | 0,57                        |
| Bombas de recalque                           | 3      | 809             | 8.760                  | 7.086.840,00             | 21.260.520,00                        | 0,0000385                                 | 818,53                      |
| Bombas de recalque                           | 1      | 809             | 1.529                  | 1.237.244,15             | 1.237.244,15                         | 0,0000385                                 | 47,63                       |
| Bombas de recalque                           | 2      | 2,2             | 8.760                  | 19.272,00                | 38.544,00                            | 0,0000385                                 | 1,48                        |
| Bombas de recalque                           | 2      | 14,71           | 8.760                  | 128.859,60               | 257.719,20                           | 0,0000385                                 | 9,92                        |
| Cálcio                                       | 1      | 5,52            | 8.760                  | 48.355,20                | 48.355,20                            | 0,0000385                                 | 1,86                        |
| Filtro Decantador 1                          | 6      | 0,05            | 8.760                  | 402,96                   | 2.417,76                             | 0,0000385                                 | 0,09                        |
| Filtro Decantador 1                          | 2      | 1,62            | 8.760                  | 14.191,20                | 28.382,40                            | 0,0000385                                 | 1,09                        |
| Filtro Decantador 2                          | 6      | 0,08            | 8.760                  | 700,80                   | 4.204,80                             | 0,0000385                                 | 0,16                        |
| Filtro Decantador 2                          | 1      | 3,68            | 8.760                  | 32.236,80                | 32.236,80                            | 0,0000385                                 | 1,24                        |
| Floculadores                                 | 24     | 2,2             | 8.760                  | 19.272,00                | 462.528,00                           | 0,0000385                                 | 17,81                       |
| Floculadores                                 | 1      | 2,21            | 8.760                  | 19.359,60                | 19.359,60                            | 0,0000385                                 | 0,75                        |
| Geocálcio                                    | 1      | 1,1             | 8.760                  | 9.636,00                 | 9.636,00                             | 0,0000385                                 | 0,37                        |
| Misturadores                                 | 3      | 18,5            | 8.760                  | 162.060,00               | 486.180,00                           | 0,0000385                                 | 18,72                       |
| Misturadores                                 | 2      | 2,2             | 8.760                  | 19.272,00                | 38.544,00                            | 0,0000385                                 | 1,48                        |
| Peneira (1 e 2)                              | 1      | 1,5             | 8.760                  | 13.140,00                | 13.140,00                            | 0,0000385                                 | 0,51                        |
| Peneira (1 e 2)                              | 1      | 7,36            | 52                     | 382,72                   | 382,72                               | 0,0000385                                 | 0,01                        |
| Soprador                                     | 1      | 5,52            | 8.760                  | 48.355,20                | 48.355,20                            | 0,0000385                                 | 1,86                        |
| Válvula de Filtro                            | 60     | 0,78            | 8.760                  | 6.832,80                 | 409.968,00                           | 0,0000385                                 | 15,78                       |
| Válvula de Filtro                            | 3      | 0,74            | 8.760                  | 6.482,40                 | 19.447,20                            | 0,0000385                                 | 0,75                        |
| Total 2024 Emissão (t CO <sub>2</sub> e/ano) |        |                 |                        |                          |                                      |                                           | 957,8                       |

Fonte: Próprios Autores (2025). <sup>a</sup> Fonte: Brasil, 2024.

## Insumos químicos

A incorporação dos dados secundários referentes aos insumos químicos utilizados (geocálcio, cloro, fluoreto, PAC, hipoclorito de sódio e polímero catiônico), possibilitou, mediante a aplicação da Equação 2, estimar as emissões associadas ao uso de reagentes. Os resultados evidenciam a contribuição relativa de cada insumo para a pegada de carbono operacional, conforme demonstrado na Tabela 2.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores

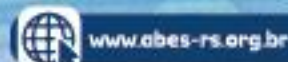
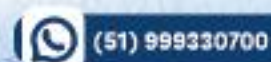


Tabela 2 Fator de Emissão por Insumo

| Produtos                                        | Quantidade (t/ano) | Efi (t CO <sub>2</sub> / t de produto) | Ec (t CO <sub>2</sub> e/ano) |
|-------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Geocálcio - 20                                  | 276,00             | 1,10 <sup>b</sup>                      | 303,60                       |
| Geocálcio - 30                                  | 2.070,00           | 1,10 <sup>b</sup>                      | 2.277,00                     |
| Cloro                                           | 388,80             | 0,90 <sup>c</sup>                      | 349,92                       |
| Flúor                                           | 504,09             | 1,25 <sup>d</sup>                      | 630,11                       |
| PAC                                             | 6.682,98           | 0,60 <sup>e</sup>                      | 3.989,74                     |
| Hipoclorito de Sódio                            | 36,08              | 3,56 <sup>f</sup>                      | 128,43                       |
| Polímero Catiônico                              | 0,30               | 7,00 <sup>g</sup>                      | 2,10                         |
| Total de Emissão 2024 (t CO <sub>2</sub> e/ano) |                    |                                        | 7.680,90                     |

Fonte: Próprios Autores (2025). <sup>b</sup>Fonte: Brasil (2011). <sup>c</sup>Fonte: Scherpbier & Eerens (2011). <sup>d</sup>Fonte: Climatiq (2024). <sup>e</sup>Fonte: INCOPA (2014). <sup>f</sup>Fonte: Nair *et al.*, (2023). <sup>g</sup>Fonte: Ayoub & Lucia (2025).

## Disposição de lodo

A estimativa das emissões decorrentes da disposição final em aterro sanitário, no que se refere ao manejo de resíduos, especialmente o lodo gerado na ETA, foi obtida por meio da aplicação da Equação 3 e está demonstrada na Tabela 3. Os resíduos inorgânicos possuem fator de emissão zero, pois a decomposição deste material quando destinado para aterros sanitários é nula, não há produção de gases (metano e dióxido de carbono), que surgem da decomposição da matéria orgânica, no contexto de emissões de tCO<sub>2</sub>e/t DS, assim não contribuem para a geração desses gases, o que justifica o valor zero adotado na Tabela 3.

Tabela 3 Disposição Aterro Sanitário

| Resíduo                                       | Processo                | Quantidade (t/ano) | Fator de emissão (tCO <sub>2</sub> e/t DS) | Emissão (t CO <sub>2</sub> e/ano) |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| Lodo                                          | Aterro sanitário        | 123,97             | 1,07 <sup>h</sup>                          | 132,60                            |
| Resíduos inorgânicos e substâncias perigosas  | Tratamento de Efluentes | 2,17               | 0,00 <sup>i</sup>                          | 0,00                              |
| Total 2024 Emissão (t CO <sub>2</sub> eq/ano) |                         |                    |                                            | 132,60                            |

Fonte: Próprios Autores (2025). <sup>h</sup>Fonte: Instituto 17 (2022). <sup>i</sup>Fonte: IPCC (2019).

## Transporte de insumos e resíduos

As emissões relacionadas ao transporte de insumos, subprodutos e resíduos, com base em informações fornecidas pela concessionária e pelas empresas responsáveis pelas rotas logísticas foram obtidas por meio da Equação 4 e estão demonstradas na Tabela 4.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Tabela 4 Transporte de Insumos, Subprodutos e Resíduos.

| Tabela 1 - Transporte de Insumos, Subprodutos e Resíduos. |                                                     |                                       |                               |                             |                                |             |                |                     |                                                      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------|----------------|---------------------|------------------------------------------------------|
| Transporte                                                | Produtos                                            | Veículo                               | Distância de ida e volta (km) | Motor (cv)                  | Quantidade de entregas em 2024 | Combustível | Consumo (km/l) | Quantidade (litros) | Emissão (tCO <sub>2</sub> e/ano) <i>GHG Protocol</i> |
|                                                           | Geocálcio SP                                        | Mercedes-Benz Axor                    | 1474                          | 400                         | 68                             | Diesel S10  | 3              | 33.410,67           | 86,97                                                |
|                                                           | Cloro Gás                                           | Volkswagen Constellation 24.280       | 1388                          | 280                         | 54                             | Diesel S10  | 3,5            | 21.414,86           | 55,74                                                |
|                                                           | Hipoclorito de Sódio                                | Iveco Tector 240E                     | 1.388                         | 300                         | 20                             | Diesel S10  | 3              | 9.253,33            | 24,09                                                |
|                                                           | Flúor                                               | Modelo - M.BENZ/ ATEGO 3030 CE (2022) | 882                           | 286                         | 39                             | Diesel S10  | 4              | 8.599,50            | 22,38                                                |
|                                                           | PAC                                                 | Volvo FH                              | 422                           | Volvo D13 (de 420 a 540 CV) | 206                            | Diesel S10  | 2,5            | 34.772,80           | 90,51                                                |
|                                                           | Lodo                                                | Volvo VM 290                          | 374                           | 290                         | 29                             | Diesel S10  | 3,5            | 3.098,86            | 8,07                                                 |
|                                                           | Polímero Catiônico                                  | Mercedes-Benz Axor 2536               | 1.482                         | 360                         | 10                             | Diesel S10  | 3              | 4.940,00            | 12,86                                                |
|                                                           | Resíduos inorgânicos contendo substâncias perigosas | Volvo VM 290                          | 374                           | 290                         | 5                              | Diesel S10  | 3,5            | 534,29              | 1,39                                                 |
|                                                           | Total (litros)                                      |                                       |                               |                             |                                |             |                |                     | 116.024,30                                           |
| Total 2024 Emissão (t CO <sub>2</sub> e/ano)              |                                                     |                                       |                               |                             |                                |             |                |                     | 302,01                                               |

Fonte: Próprios Autores (2025).

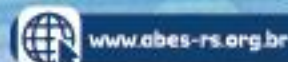
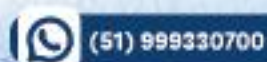
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



## Emissões Totais

A Tabela 5 demonstra as emissões totais referentes ao ano de 2024 provenientes do Tratamento de água da ETA Cubatão; correspondentes a 9.073,31 (t CO<sub>2</sub>e/ano). Os insumos químicos constituem a principal fonte de emissões, representa 84,66% das emissões totais, seguidos pelo consumo energético, (10,56%), Transporte de Insumos, Subprodutos e Resíduos (3,33%) e Disposição de Lodo (1,46%). Os insumos químicos constituem a principal fonte de emissões neste estudo.

Tabela 5 Total 2024 Emissão (t CO<sub>2</sub>e/ano)

| Etapa                                          | Total 2024 Emissão (t CO <sub>2</sub> e/ano) |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Consumo energético                             | 957,8                                        |
| Insumos Químicos                               | 7.680,90                                     |
| Disposição do Lodo                             | 132,6                                        |
| Transporte de Insumos, Subprodutos e Resíduos. | 302,01                                       |
| Total                                          | 9.073,31                                     |

Fonte: Próprios Autores (2025).

## 4. CONCLUSÃO

A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida permitiu quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas à operação da ETA Cubatão, consolidando um inventário de emissões para o ano de 2024 e identificando os principais processos responsáveis pela pegada de carbono da unidade. Os resultados evidenciaram que os insumos químicos representam a maior parcela das emissões, seguidos pelo consumo de energia elétrica, transporte e disposição de lodo, indicando oportunidades prioritárias para ações de mitigação. O estudo demonstra que a ACV constitui uma ferramenta eficaz para subsidiar o planejamento ambiental e a gestão sustentável de sistemas de abastecimento de água. Ademais, os resultados fornecem suporte técnico para a adoção de insumos de menor impacto ambiental, otimização operacional e definição de estratégias de descarbonização. A metodologia empregada pode ser replicada em outras estações de tratamento de água, contribuindo para o desenvolvimento de inventários de emissões no setor de saneamento e para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina (FAPESC), ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (PPGCA) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo apoio nas análises e à Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) pelo apoio técnico.

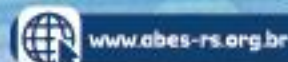
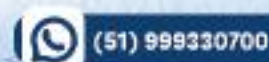
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



## REFERÊNCIAS

ALVALÁ, P.; S. N., T. G.; AGUIAR, A. P.; OMETTO, J.. Emissão de gases de efeito estufa. In: NOBRE, Carlos A.; MARENGO, José A. (Orgs.). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar — contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas**. São José dos Campos: INCT; Canal6 Editora, 2017. p. [231-246].

AYOUB, A.; LUCIA, L. A. (2025). *Sustainable cationic polyelectrolytes from agri-forestry biomass: Conventional chemistry to AI-optimized reactive extrusion*. *Sustainability*, 17(22), 10060. <https://doi.org/10.3390/su172210060>

BERTULINO, T.; OLIVEIRA, M. C. B. N. ; SANTOS, M. D.; MELO NETO, A. A.. Avaliação do ciclo de vida de LC<sup>3</sup> com lodo de estação de tratamento de água. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (euroELECS), 6., 2025. Anais [...]. [S. l.], 2025. p. 1–11. DOI: 10.46421/euroelecs.v6.7927. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/7927>. Acesso em: 27 maio. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). 2011. **Relatório de gestão agregado do Ministério de Minas e Energia – Exercício 2011. Parte 3**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/parte-3.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). 2024. **Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/indicadores/fatores-de-emissao-de-co2>. Acesso em: 9 mar. 2026.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO – CASAN. **Expedição ao Rio Cubatão**. Florianópolis, SC: CASAN, [2002]. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/expedicao-ao-rio-cubatao#0>. Acesso em: 12 nov. 2025.

CELLURA, Maurizio; LONGO, Sonia; MISTRETTA, Marina. *Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: the case study of an italian tile*. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 4697-4705, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.082>.

CLIMATIQ (2024). **Fator de emissão: produção de fluoreto de sódio (Sodium fluoride production)**. Base de dados: ecoinvent – Cut-off Cumulative LCIA v3.11. Disponível em: <https://www.climatiq.io/data/emission-factor/2bac97dd-194f-4b8e-aa3d-d2126234e1cb>. Acesso em: 9 mar. 2026.

CURCIO J. (Brasil) (org.). **Grande Florianópolis. 2025**. Disponível em: <https://www.cosemssc.org.br/macrorregioes/grande-florianopolis/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

GOMSTYN, A. **A história das mudanças climáticas**. IBM Think, 8 fev. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/climate-change-history>. Acesso em: 18 ago. 2025.

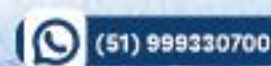
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



INCOPA – *International Council of Producers and Distributors of Aluminum Sulfate and Poly Aluminum Chloride. Life Cycle Analysis of Leading Coagulants: Executive Summary*. Karlsruhe: Karlsruhe Institute of Technology, 2014. Disponível em: [https://www.incopa.org/wp-content/uploads/2019/02/INCOPA\\_LCA\\_Executive\\_Summary\\_web.pdf](https://www.incopa.org/wp-content/uploads/2019/02/INCOPA_LCA_Executive_Summary_web.pdf). Acesso em: 9 mar. 2026.

INSTITUTO 17 (i17). (2022). *RT-07/2022 – Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos no Brasil: potencial de descarbonização por arranjo tecnológico*. São Paulo: Instituto 17. Disponível em: <https://i17.eco.br/wp-content/uploads/2022/11/RT07-2022.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2026.

IPCC. (2019). *Wastewater treatment and discharge*. In: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste, Chapter 6. Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>. Accessed: 9 Mar 2026.

LOCH, J.; BRENTANO, D. M.. **Influência da precipitação na turbidez das águas dos rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço/SC: uma análise para gestão de estação de tratamento de água**. *Geosul*, [S.L.], v. 35, n. 76, p. 277-297, 03 dez 2025. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p277>.

MELO, L. D. V.; SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; COSTA, E. P.; OLIVEIRA, J. C.; CARVALHO, D. M.; BARROSO, G. R.; SOUZA, G.A.; OLIVEIRA, S.M.C. Adequabilidade do tratamento convencional de água considerando a turbidez e a cor das águas naturais em ETAs de pequeno porte utilizando Análise de Cluster (AC). In: Congresso Internacional RESAG, 3, 2017, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: RESAG, 2017.

NAIR, S. S.; MARASINI, R.; BUCK, L.; DHODAPKAR, R.; MARUGAN, J.; LAKSHMI, K. V.; MCGUIGAN, K. G. (2023). *Life cycle assessment comparison of point-of-use water treatment technologies: Solar water disinfection (SODIS), boiling water, and chlorination*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 110015. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110015>

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADAME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, v.90, p.1-10, 2009.

SCHERPBIER, E.L.J., & EERENS, H.C. (2021). **Decarbonisation Options for the Dutch Chlor-Alkali Industry**. Disponível em: publications.tno.nl

UNITED NATIONS. *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. New York: *United Nations Department of Economic and Social Affairs*, Population Division, 2024. Disponível em: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2024\\_Summary-of-Results.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf). Acesso em: 12 nov. 2025.

ZHANG, P.; MA, B.; ZHENG, G.; LI, F.; ZHANG, W.; GU, J.; LIU, Z.; LI, K.; WANG, H.. *Unveiling the greenhouse gas emissions of drinking water treatment plant throughout the construction and operation stages based on life cycle assessment*. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [S.L.], v. 272, p. 116043, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116043>.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional

