

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

MORILLO FERNANDO PAGANINI CENTOFANTI CREMASCO

ECOEFIÊNCIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE SANEANTES-
MÉTODO ECOWATER

Uberlândia – MG

2021

MORILLO FERNANDO PAGANINI CENTOFANTI CREMASCO

**ECOEFIÊNCIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE SANEANTES-
MÉTODO ECOWATER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como requisito
para o recebimento do Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Lyda Bolanos Rojas

Uberlândia- MG

2021

MORILLO FERNANDO PAGANINI CENTOFANTI CREMASCO

ECOEFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE
SANEANTES- MÉTODO ECOWATER

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como requisito
para o recebimento do Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Maria Lyda Bolanos
Rojas:

Uberlândia, 15 de junho de 2021

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Maria Lyda Bolanos Rojas
Orientadora
(FECIV/UFU)

Prof.^a Dr.^a Bruna Fernanda Faria Oliveira
(ICIAG/UFU)

Prof.^a Dr.^a Nágela Aparecida de Melo
(FECIV/UFU)

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos, pelo estímulo, carinho, amor verdadeiro e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família, especialmente ao meu pai, Morillo, minha mãe, à Maria Cristina e à “véi”, Maria Carolina, por permitirem que minha vida seja simples, sem preocupações. Vocês sempre me ofereçam um ambiente incrível, me ensinaram a ser uma pessoa, um estudante e um profissional melhor. Eu não vejo minha vida sem vocês, todo momento passado com vocês: é único.

Agradeço ao meu tio Marco Aurélio, por me inserir no mundo das engenharias e por me apoiar nos estudos.

Agradeço aos meus professores, técnicos, auxiliares, ao ICIAG, aos meus colegas de Engenharia Ambiental e Sanitária, demais familiares e a equipe Sustenta, por estarem comigo nessa fase única de faculdade.

Agradeço aos profissionais da empresa ISMP, por terem gentilmente fornecido dados essenciais a esse estudo.

E, claro, agradeço com muito louvor, a professora Dr^a Maria Lyda, por me incentivar a fazer o meu melhor.

“Deixe que tudo aconteça com você:
beleza e terror.
Apenas continue.
Nenhum sentimento é final.”
(RILKE, 1905, I-59)

RESUMO

A temática de práticas sustentáveis na indústria nunca esteve tão alta, seja sobre uso de recursos naturais, emissão de poluentes atmosféricos, líquidos ou ainda resíduos sólidos. Dentro dos diversos setores industriais, destacam-se os pertencentes à fabricação de produtos de domissanitários, os quais devido ao produto gerado, podem emitir efluentes com características danosas ao meio ambiente. Como prática de gestão ambiental, usualmente se utiliza ferramentas e indicadores de qualidade tais como a ecoeficiência, a fim de apontar aos gestores como uma certa atividade está se desempenhando. Dessa forma, este trabalho visa principalmente apresentar e analisar a ecoeficiência da Estação de Tratamento de Efluentes de Indústria de Saneantes de Médio Porte da cidade de Uberlândia-MG. Utilizando o método europeu EcoWater, foi feito o mapeamento dos sistemas de água, foi calculada a ecoeficiência a partir de padrões de lançamentos de efluente em rede pública de esgoto e a indicação de oportunidades de melhoria ao valor final da ecoeficiência. Com valores entre 17.000 e 3.000.000, a ecoeficiência da indústria utilizada como base apresentou, de maneira geral, uma qualidade no tratamento do efluente em sua cadeia produtiva maior que demais setores industriais comparados neste trabalho. Por fim, para averiguar a realidade desses resultados, recomendam-se estudos mais aprofundados acerca dos parâmetros do efluente, bem como a utilização de outras metodologias e análise de ecoeficiência

Palavras-chave: ecoeficiência, indústria de saneantes, metodologia EcoWater, água residuária, efluente industrial.

ABSTRACT

The theme sustainable industrial practices have never been such as “hot topic” as it is nowadays, including use of natural resources, atmospheric or liquid pollution emission and even solid waste. Among several industrial sectors, the household cleaning products ones stands out due to their main products characteristics, which can generate a very environmental damaging wastewater. As an environmental manage technic, usually they can use tools and quality indicator such as eco-efficiency, in order to show managers how certain activities are developing. Like so, this papers goal is to show and analyze the eco-efficiency of Uberlândia’s Indústria de Saneantes de Médio Porte’s wastewater treatment plant. Using the European EcoWater method, it was mapped the water system, but also calculated the eco-efficiency from the public sewage network wastewater emission parameter and indicated opportunities of increasing the eco-efficiency final value. Variating 17,000 and 3,000,000, the base industry of this study’s eco-efficiency showed, in general, a better wastewater treatment quality in it’s productivity chain than other industrial sectors. At last, in order to prove the truthfulness of this paper results, its recommended more profound studies about wastewater parameter, as well as the use of other eco-efficiency analysis methodology.

Keywords: Eco-efficiency, Household cleaning products industry, EcoWater method, Wastewater, Industrial wastewater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vazão média de retirada de água no Brasil em 2018.....	18
Figura 2:Vazão média de consumo de água, por setor, no Brasil em 2018.....	19
Figura 3: Fluxograma de funcionamento da ETE matriz da ISMP.	33
Figura 4:Fluxograma de funcionamento da ETE filial da ISMP.....	34
Figura 5: Sistema de fluxo de água da ETE da ISMP ao Rio Uberabinha.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros e limites para lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora de esgotos por ramo de atividade.....	22
Tabela 2: Unidade de equivalência para quilograma de 1,4-diclorobenzeno de acordo com a categoria de impacto.....	27
Tabela 3: Unidade de equivalência para quilograma de PO ₄ ²⁻ e de danos à qualidade do ecossistema por categoria de impacto.	28
Tabela 4: Equivalência de 1,4 diclorobenzeno de acordo com a emissão mensal de substâncias em efluente industrial.....	42
Tabela 5: Equivalência de PO ₄ ²⁻ e Ecotoxicidade de acordo com a emissão mensal de substâncias em efluente industrial.	42
Tabela 6: Resultados da Equação 1 e suas variáveis por categoria de impacto.....	43
Tabela 7: Resultados da Equação 3 e suas variáveis por categoria de impacto.....	44
Tabela 8: Resultados da Equação 4 e suas variáveis por categoria de impacto.....	44
Tabela 9: Resultado da ecoeficiência por categoria de impacto.....	46
Tabela 10: Comparação de indicadores de ecoeficiência com os estudos de caso do Projeto EcoWater.....	47
Tabela 11: Cálculo de Impacto ambiental e indicador ambiental para a categoria Ecotoxicidade em água doce com base nos valores parametrizados da Resolução CONAMA 430/2011.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normas pertinentes na gestão e qualidade ambiental em sistemas de efluentes industriais.....	23
Quadro 2: Descrição dos principais métodos de avaliação de ecoeficiência.....	24
Quadro 3: Avaliações da segunda etapa do método EcoWater e melhoria de ecoeficiência.....	29
Quadro 4: Indicadores ambientais e econômicos para cálculo da ecoeficiência.....	36
Quadro 5: Influenciadores do sistema de água para aspectos ambientais de acordo com os limites do Premend, exceto para Cal, PAC 18%, Polímero Aniônico 0,2%, lodo e produção de esgoto bruto.....	39
Quadro 6: Influenciadores do sistema de água residuária nos aspectos econômicos.....	40
Quadro 7: Resultados da Equação 5 e suas variáveis por categoria de impacto.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLA – Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes;

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnica;

ACV – Análise de Ciclo de Vida;

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico;

$C_6H_4Cl_2$ - 1,4-diclorobenzeno;

CA - Custos Adicionais;

CFTaa - Custo Financeiro do abastecimento de água;

CFTta - Custo Financeiro Total de tratamento de água residuária;

CO_2 – Dióxido de Carbono;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental;

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto;

DQO – Demanda Química de Oxigênio;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto;

fcec - fator caracterizante de itens emitidos por categoria;

frcr - fator caracterizante de recursos utilizados por categoria;

fe - fator de emissão;

fr - fator de recurso;

g – grama;

H_2O – água;

H_2O_2 – peróxido de oxigênio;

ISMP – Indústria de Saneantes de Médio Porte;

Kg – quilograma;

Km – quilômetro;

L -litros;

LCA – Life Cycle Analysis;

LCI - Life Cycle Inventory;

m – metro;

mg – miligrama;

NBR – Norma Brasileira;

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development;

PAC - Policloreto de Alumínio;

PE – Potencial de Eutrofização;

Peco – Potencial de Ecotoxicidade;

pH – potencial hidrogenônico;

PO²⁻ - íon fosfato;

Premend – Programa de Recebimento e Monitoramento de Efluentes não Domésticos;

R\$ -real;

RH - Recurso Hídrico;

s – segundo;

Uf - Unidade funcional;

UVC – Ultravioleta C;

VET - Valor Econômico Total;

VGsb - Valor econômico gerado por subprodutos;

VTA – Valor Total Agregado;

WBCSD – World Business Council for Sustainable e Development

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 USOS DA ÁGUA	17
3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE MEIO AMBIENTE E EFLUENTES.....	20
3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA	23
3.3.1 Projeto EcoWater	25
3.3.1.1 Mapeamento do sistema de água.....	25
3.3.1.2 Análise da ecoeficiência.....	26
3.3.1.3 Identificação de oportunidades de melhoria na cadeia de valor.....	31
3.3.1.4 Análises das tecnologias de cenários.....	32
4. METODOLOGIA	32
4.1 Apresentação da indústria base	32
4.2 Análise da ecoeficiência.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 Sistema de água.....	37
5.2 Análise da ecoeficiência.....	41
5.3 Identificação de oportunidades de melhoria.....	48
6. CONCLUSÃO	49
7. REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE I- MEMORIAL DE BASE DE CÁLCULO.....	58

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida, por conseguinte o seu uso deve ser feito racionalmente e de forma sustentável, não só voltado para haver disponibilidade para futuras gerações, mas também para conciliar com os diversos usos atualmente empregados. Dentro dessa gama de aplicações, aponta-se o uso industrial, o qual é responsável por um dos maiores consumos de água pelo ser humano. Para se ter dimensão do volume utilizado de água pela indústria, observa-se o relatório das Nações Unidas sobre o uso da água doce no planeta, em que é apresentado que cerca de 20% desse bem comum é destinado apenas para o setor industrial (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2012).

A água nesse setor tem inúmeras funções dependendo das especificações produtivas da indústria, podendo ser aplicada em refrigeração, limpeza, geração de energia, incorporação no produto final, higienização, transporte de substâncias entre outros. Ademais, ao longo do caminho produtivo, esse composto inorgânico pode ser “perdido” quando comparado ao volume captado para uso, no sentido de que parte da água pode ter evaporado, ter vazado do sistema ou ainda fazer parte do produto que será comercializado. Dessa forma, na saída do caminho produtivo, a água restante se torna um efluente, ou seja, uma água residuária (GIORDANO, 2004).

A água residuária, como a gerada pelo setor industrial, por mais que geralmente tenha em sua composição majoritária H_2O no estado líquido, possui características que a incompatibilizam para diversos outros usos, principalmente para o consumo humano. Ainda que haja diversas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e Estações de Tratamento de Água (ETAs) em centros urbanos, empregando diversas tecnologias, pode ser que essas não estejam equipadas devidamente ou sequer tenham capacidade de receber efluentes com as características que saem do caminho produtivo nas indústrias. Devido a esse fato, alguns estados, regiões e municípios brasileiros tem em sua legislação a exigência de que indústrias não podem se integrar ao sistema de água e esgoto municipal, ou ainda, emitir seus efluentes para um corpo hídrico a menos que tenham uma ETE específica para seu efluente (COPAM/2008, DISTRITO FEDERAL/1997, ABNT/97, IBIPORÃ/2017, UBERLÂNDIA/2008 e ARSAE/2019).

Ademais, a presença de ETE em indústrias é muito importante ambientalmente, pois o efluente, como dito anteriormente, possui aspectos físico-químicos nocivos à saúde do meio ambiente, por exemplo, elevadas concentrações de metais pesados, alta Demanda Química e

Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO), alteração de condições comuns de turbidez, de temperatura e da coloração, presença de micropoluentes típicos na geração dos efluentes industriais. Esses indicadores podem representar uma água residuária com potencial de causar danos à saúde. Segundo o texto do Ministério da Saúde “Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano”, de 2006, essas alterações da qualidade da água por águas residuárias industriais não tratadas trazem riscos à saúde, degradam o meio ambiente, são causadores de muitas doenças e podem promover a ação de agentes biológicos infecciosos.

Além do próprio volume consumido, uma questão acerca do uso da água são os custos atribuídos a ela, seja: na taxa pública presente em outorgas, licenciamentos ambientais; na adesão ao sistema público de abastecimento e saneamento; e no investimento necessário para se ter uma ETA e/ou uma ETE funcional e adequada às necessidades.

Essas preocupações econômicas e ambientais podem ser inseridas no conceito de “ecoefficiência”, a qual seria um objetivo alcançável através da entrega de bens e serviços, a preços competitivos, com padrões de qualidade aceitáveis, de forma a reduzir os impactos ambientais e o consumo de recursos (WBCSD, 1992 e EHRENFELD, 2008).

As indústrias de saneantes se inserem nesse contexto de empresas que necessitam de uma ETE e têm gastos com o uso da água, pois muitos de seus produtos têm como matéria prima esse líquido e sua água residuária tem características incompatíveis com a legislação para lançamento sem tratamento. Mesmo com um possível impacto ambiental causado por esse tipo de atividade, deve-se considerar que as indústrias de saneantes movimentam a economia.

Segundo o 15º Anuário da Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes de Uso Doméstico e de Uso Profissional (ABIPLA), esse setor fabril compreende cerca de 2.611 empresas, que venderam 26 bilhões de reais em mercadorias *homecare* em 2019 e, observando os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020 (estimado) o crescimento é de mais de 3% ao ano em termos de produção. Visto esse crescimento constante e notável desse setor, é importante que o desenvolvimento das indústrias de saneantes seja ecoeficiente, conciliando valores ambientais e econômicos para amenizar, ou ainda, evitar impactos e danos ao meio ambiente (ABIPLA,2020).

Desse modo, resume-se a importância da temática aqui apresentada: o valor econômico da água e a questão ambiental, em que uma ação voltada para a ecoeficiência pode solucionar conflitos entre esses aspectos, atuando sobre o tratamento dos efluentes industriais.

Neste contexto, é apresentado um estudo da ecoeficiência em relação ao tratamento de efluente de uma indústria química de saneantes de médio porte da cidade mineira de

Uberlândia. Com essa análise, partindo do objetivo da ecoeficiência e de dados da legislação municipal para emissão de efluentes industriais em rede pública de esgoto, será possível observar quantitativamente se a indústria estudada possui condições ambientalmente corretas na sua ETE, bem como não deixa de perder qualidade em seu produto e gestão.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar e analisar a ecoeficiência da Estação de Tratamento de Efluentes de Indústria de Saneantes de Médio Porte – ISMP, no município de Uberlândia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o efluente a partir de análises físico-químicas;
- Comparar a ecoeficiência calculada com a de outras indústrias de setores diferentes;
- Conhecer e propor otimizações no tratamento de efluentes e qualidade pretendida na água residuária, a partir da ótica da ecoeficiência;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 USOS DA ÁGUA

A água é um bem essencial à vida como conhecemos, uma vez que a água faz parte de inúmeros processos biológicos, seja como gradiente de concentração, solvente, meio de transporte, como líquido de manutenção de calor entre diversas outras funções. No ser humano, essa importância é evidenciada pela proporção de água no corpo, que é em média de 75% e não se sobrevive por mais de 3 dias sem bebê-la (YAMAGUCHI *et al.*, 2013).

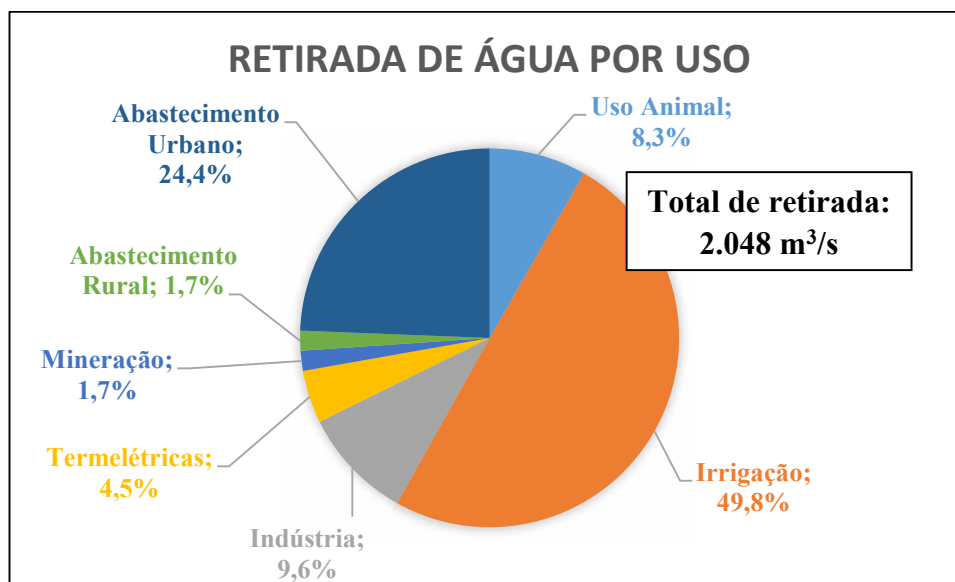
No nosso organismo, destacam-se duas principais funções da água, sendo elas sua ação como solvente e de meio para ocorrência de reações químicas. Considerada como “solvente universal”, a água tem a capacidade de dissolver inúmeras substâncias, tornando-as acessíveis às células, para transporte pelo corpo e para atuar na degradação de alimentos e antígenos quando combinada a outros fatores. Além disso, o favorecimento de reações químicas em meio aquoso permite o bom funcionamento do organismo, atuando na digestão,

circulação, excreção e absorção de partículas dissolvidas na água (SILVA JUNIOR; SASSON; CALDINI JUNIOR, 2011).

Além da atividade essencial de beber água, essa substância inorgânica teve o uso antrópico diversificado ao longo do tempo, acompanhando o crescimento das populações e desenvolvimento da tecnologia. Essa diversidade e necessidade de utilizar água pode ser vista no volume de água captado, que segundo a ANA, em 2018, foram retirados cerca de 2.048 m³/s de água no Brasil, para usos na agricultura, indústria, geração de energia, abastecimento urbano, entre outros (ANA, 2019)

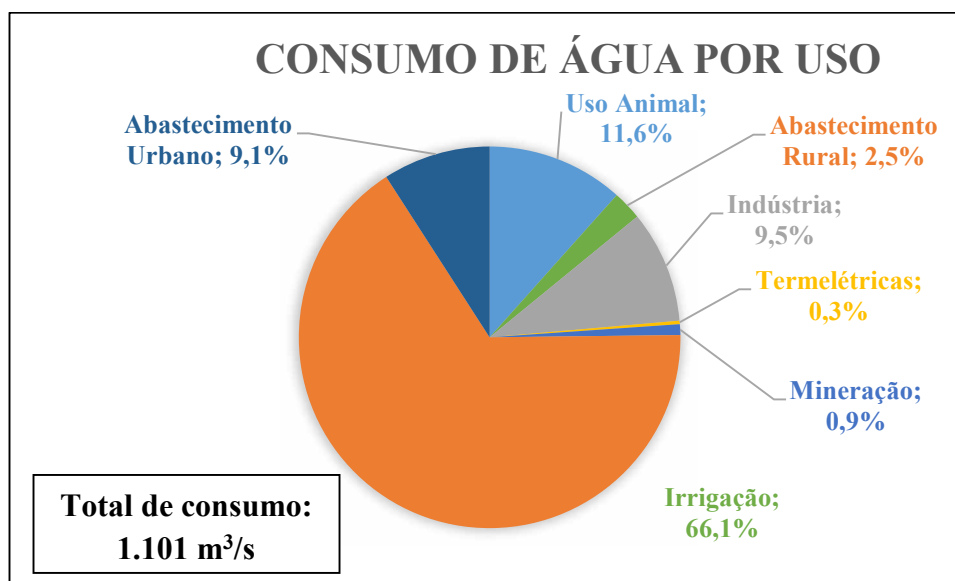
Especificando sobre o uso industrial da água, as indústrias de transformação retiram 196,6 m³/s de água (Figura 1), retornando para corpos hídricos 92,0 m³/s e, por conseguinte, consumindo 104,6 m³/s (Figura 2) da vazão original. Tais valores colocam esse setor produtivo como o terceiro que mais consome água no Brasil, atrás da irrigação e da dessedentação de animais e a frente do abastecimento urbano, segundo média anual do ano de 2018 (ANA,2019).

Figura 1: Vazão média de retirada de água no Brasil em 2018.



Fonte: Agência Nacional de Águas- ANA (2019)

Figura 2: Vazão média de consumo de água, por setor, no Brasil em 2018.



Fonte: Agência Nacional de Águas- ANA (2019)

Como apresentado anteriormente, o uso industrial é vasto, com inúmeras variações de setor a setor, alguns consumindo mais água que outros. Dentre desses abastecimentos industriais diversos, alguns são comuns em todos os setores, mas claro, com variações entre si, destacando-se: os usos que farão parte do produto, ou seja, a água faz parte da constituição física e material do produto, como exemplo na fabricação de bebidas e de alimentos; usos que tem contato físico direto com o produto, mas não serão incorporados, tais como aplicações de jatos pressurizados de água para corte de metais; e por fim usos que não entram em contato com o produto, mas são utilizados no processo industrial, como limpeza da fábrica, refrigeração de maquinário e em caldeiras. (VON SPERLING, 2014).

Nesse sentido, as indústrias de saneantes também se enquadram como usuários de água e podem, ao longo de seu processo produtivo, modificá-la de alguma forma, visto as características de seus produtos. Segundo a Resolução RDC nº 184 de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, produtos de limpeza (também chamados de saneantes ou domissanitários) são: substâncias ou preparações destinadas à higienização, desinfecção, desinfestação, desodorização, odorização, de ambientes domiciliares, coletivos e/ou públicos, para utilização por qualquer pessoa, para fins domésticos, para aplicação ou manipulação por pessoas, ou entidades especializadas, para fins profissionais”.

Para o funcionamento e produção desses produtos químicos sabe-se que é necessário o consumo de água, não só para a produção, uma vez que ela é o ingrediente principal dessa

mistura química, mas também para outras atividades. Além da incorporação ao produto, a água também pode ser utilizada para a limpeza das dependências da indústria, em usos sanitários, para consumo humano e ainda na irrigação dos jardins.

3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE MEIO AMBIENTE E EFLUENTES

Conforme as civilizações foram evoluindo, as regras que regem o comportamento se desenvolveram também, alinhando com as necessidades, ou ainda, as vontades da sociedade ou do grupo dominante (AGUIAR, 2014). Restringindo-se ao conceito de regra como norma jurídica, a lei possui aspectos que definem um comportamento de cidadãos, de empresas, de órgãos e de outros entes da sociedade e, ademais, expressa consequências para um desvio de conduta, geralmente punições (SKINNER, 1953).

Nesse sentido a questão ambiental não se diferencia, uma vez que conforme o pensamento de proteção ambiental foi evoluindo e se concretizando, principalmente na segunda metade do século XX, muitos países, inclusive o Brasil, criaram políticas e leis que visavam a preservação do meio ambiente. Grandes discussões internacionais e nacionais sobre sustentabilidade e meio ambiente, como a realização da Conferência de Estocolmo, na década de 70, a criação da Política Nacional do Meio Ambiente, em 1981, e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, também conhecida como Rio 92 são alguns exemplos que marcaram esse período (AGUIAR, 2015).

A relevância da questão ambiental e o comportamento do Estado e da população, é inclusive explicitada no artigo 225, da Constituição Federal de 1988, em que se é dito:

Art. 225º - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988)

Sendo assim, com base constitucional estabelecida, bem como pressão internacional em prol do desenvolvimento sustentável, mais e mais normas, órgãos públicos e leis foram criadas visando a questão ambiental. Não só estabelecendo padrões de poluição e usos de

recursos naturais, mas essas novas regras determinaram também comportamentos de gestão pública e privada (PEIXOTO, 2018).

Além da criação de instrumentos jurídicos e públicos para lidar com a questão ambiental, também foi observado que parte da população demonstrava interesse na questão ambiental, ao ponto de surgir uma nova tendência de mercado, o chamado marketing verde. Essa nova linha mercadológica pode ser compreendida como o cenário em que consumidores exigem que certos produtos ofertados tenham o menor impacto possível no meio ambiente, obrigando empresas a modificarem diversas ações que praticam caso queiram “vencer” nesse mercado. Ações como uso de matéria prima, processo produtivo, embalagem, descarte final após uso, propaganda, relacionamento interno e com stakeholders são alguns exemplos de medidas que o marketing verde demanda de adaptação e postura das empresas perante a sociedade (GROENING; SARKIS; ZHU, 2018).

Não só pela demanda de mercado, mas também é observado que a busca pelo desenvolvimento sustentável permite que as empresas tenham melhorias internas, barateando custos de certas atividades. Somando o fator legal que deve ser seguido, com a necessidade mercadológica, com as melhorias internas e ideologias ecológicas de administração, o valor agregado ao comportamento ambientalmente correto e sustentável é benéfico e multifacetado.

Outro aspecto legal relevante é a necessidade de cumprir requisitos e padrões de qualidade. Nesse sentido, são aplicadas: a Norma Brasileira (NBR) 9800/1987; a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CEHR-MG nº 1 de 2008; e o Decreto Municipal de Uberlândia 13.481, também conhecido como Lei do Premend de 2007.

Primeiramente, a NBR 9800 de 1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) determina alguns critérios sobre o lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público do esgoto sanitário. Nessa NBR, além do objetivo e das definições, há o esclarecimento das Condições Gerais e das Condições Específicas para a emissão de água residuária por indústrias.

Segundamente, a DN COPAM número 1, regulamenta em seu 39º artigo que, caso haja lançamento direto ou indireto de efluente em corpos hídricos, o emissor enquadrado deve emitir um relatório de cargas poluidoras, com frequências variáveis de acordo com o enquadramento de classe do empreendimento. Esse relatório, com origem na Resolução CONAMA 430/2011, tem função de fiscalização, uma vez que essa resolução do estado de Minas Gerais determina que as emissões devem respeitar certos parâmetros de qualidade,

variando com a classe do corpo hídrico que receberá a água residuária (CONAMA,2011-COPAM,2008).

Aproveitando-se das orientações da NBR 9800, em Uberlândia, desde 2007, existe o Programa de Recebimento e Monitoramento de Efluentes Não Domésticos (Premend), um projeto do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) que facilita o tratamento de efluente da cidade. Esse programa determina que usuários do sistema municipal de recebimento de coleta e tratamento de esgoto que geram efluentes e lançam efluentes de características não domésticas devem reajustar sua água residuária para atender o padrão doméstico (UBERLÂNDIA, 2012).

O DMAE, autarquia da prefeitura de Uberlândia foi criado em 1967 e é responsável pela captação, tratamento e distribuição de água para consumo, bem como na coleta, tratamento e disposição final de efluentes da cidade. Além dessa função, também cabe ao departamento municipal a coleta regular e seletiva de resíduos sólidos, a drenagem pluvial, a fiscalização, operação, manutenção e conservação desses serviços de saneamento básico. (UBERLÂNDIA, 2021)

Para a ISMP especificadamente, por se tratar de uma indústria química, essa possui uma parametrização de seu efluente específica, conforme a Tabela 1 obtida a partir do Anexo II do quadro de parâmetros e limites permitidos de lançamento de efluentes na rede pública de esgoto por grupo de empresas do Premend.

Tabela 1: Parâmetros e limites para lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora de esgotos por ramo de atividade.

GRUPOS DE EMPRESAS	PARÂMETRO	LIMITE PERMITIDO (mg/l)	PARÂMETRO	LIMITE PERMITIDO (mg/l)	PARÂMETRO	LIMITE PERMITIDO (mg/l)
GRUPO II: Indústrias químicas, de processamento e atividades afins	Arsênio	1,5	Estanho	4,0	Sólidos suspensos totais	450
	Boro	5,0	Índice de fenóis	5,0	Sólidos totais	1200
	Cádmio	1,5	Ferro total	15,0	Sulfato	1000
	Chumbo	1,5	Fluoreto	10,0	Sulfeto	1,0
	Cianeto	0,2	Mercúrio	0,5	Surfactantes (MBAS)	5,0
	Cobalto	1,0	Nitrogênio Amoniacal	100	Temperatura	40
	Cobre	1,5	Óleos e graxas	100	Zinco total	5,0
	Cromo total	5,0	pH	6 – 10		
	Cromo hexavalent	0,5	Prata total	1,5		
	DBO	350	Sólidos Dissolvidos	750		
DQO	600					

Fonte: Decreto Municipal 13.481/2012, Uberlândia.

Além disso, ressaltam-se outras normas relevantes consideradas na emissão e tratamento de efluentes industriais, apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Normas pertinentes na gestão e qualidade ambiental em sistemas de efluentes industriais.

Nome	Número	Objetivo	Ano
Sistema de Gestão Ambiental	ISO 14.001	Melhorar o desempenho das empresas por meio da utilização eficiente dos recursos e da redução da quantidade de resíduos (ABNT, 2021)	2015
Análise do Ciclo de Vida	ISO 14.040	Descrever os princípios e a estrutura de uma avaliação de ciclo de vida (ABNT,2021).	2006

Fonte: <http://www.abnt.org.br/>

3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA

Na perspectiva do desenvolvimento sustentável, é importante verificar se a gestão e o manejo das atividades exercidas estão de acordo com esse princípio ecológico. Para tanto, é possível avaliar o desempenho conjunto das interferências ambientais e econômicas dos empreendimentos por meio da análise da ecoeficiência. Essa afirmação consiste na própria definição original do termo “ecoefficiência”, expressa pela WBCSD em 1992, apoiado na consolidação e valorização da questão ambiental das empresas, sem perder de vista o viés econômico (STEPHAN SCHMIDHEINY, 1993).

Uma das primeiras organizações a dar uma definição para esse termo, após a declaração da WBCSD, foi a Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), em 1998, a qual disse que ecoeficiência é “a eficiência com que os recursos ambientais são utilizados para atender as necessidades dos homens”. Na metade da década seguinte, Huppés e Ishikawa (2005) afirmaram que ecoeficiência é “um instrumento para análise de sustentabilidade, indicando uma relação empírica de atividades econômicas entre custo ou valor ambiental e impacto ambiental”. Cinco anos depois, pesquisas também contribuíram para a compreensão desse termo, propondo que ecoeficiência é “a otimização ecológica de sistemas globais sem desprezar os fatores econômicos” (VERCALSTEREN, 2010).

Dentro dessa avaliação, existem diferentes metodologias para a qualificação e quantificação do desempenho das empresas, cada uma com uma abordagem diferente perante

as atividades, variando de acordo com a especificidade, modelo matemático utilizado, indicadores base utilizados e modo de aplicação dos mesmos (FERRAZ, 2015).

Entretanto, as diversas avaliações de ecoeficiência possuem um ponto em comum, já que elas se baseiam principalmente em uma única norma da Organização Internacional de Normatização (ISO) lançada em maio de 2012. A ISO 14045 visa a determinação de regras e diretrizes para a esquematização básica na avaliação de sistemas produtivos (ISO, 2012).

Tais métodos estão descritos brevemente no Quadro 2, bem como o foco e o ano de origem da proposta de avaliação de ecoeficiência.

Quadro 2: Descrição dos principais métodos de avaliação de ecoeficiência

Sigla	Extenso	Princípio	Foco	Ano
Método BASF	-	Avaliação comparativa entre produtos de mesma função. Estudo do ciclo de vida e avaliação: do custo total do sistema; do produto; dos impactos na água, no ar, no solo; do consumo de energia e de recursos; do uso do solo; e dos potenciais tóxicos e de risco	Produtos e seu ciclo de vida	2010
EcoWater	-	Indicadores de ecoeficiência para avaliar tecnologias em setores de uso da água.	Uso da água	2011
GRI	Global Reporting Initiative	Valoração das questões ambientais, econômicas e sociais para a avaliação dos indicadores de sustentabilidade de empresas	Gestão, sistema produtivo e produtos	2006
RCR	Razão de Retorno de Custo	Visa maior adaptação às realidades das empresas, avaliando apenas nas operações produtivas exercitadas diretamente por elas. Observa-se o custo de oportunidade, "retorno do uso alternativo de um recurso investido", comparando com usos de referência	Uso dos recursos (financeiros e ambientais)	2010
DEA	Data envelopment analysis	Agrupamento de indicadores ambientais obtidos na pesquisa, utilizando de lógicas matemáticas na aplicação e no tratamento de dados. Objetiva a capacidade de produzir bens e causar o mínimo de impactos ambientais negativos	Equipamentos e processos que influenciam na produção	2005
MIPS	Material Input per Service Unit	Método comparativo entre o resultado de um produto com outro de função semelhante, observando os custos ambientais e financeiros para sua produção e o número de usos dos produtos/serviços	Produto	1999
NRTEE	National Round Table on the Environment and the Economy	Base nos indicadores da WBCSD, comparando com outras empresas os indicadores de ecoeficiência para o uso de energia, despejo de resíduos e uso da água	Sistema produtivo, comportamentos industriais e produtos	2001
UNESCAP	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific	Mensuração da eficiência de recursos e o impacto de atividades econômicas no meio ambiente	Atividades econômicas que geram impactos no meio ambiente	2009
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development	A ecoeficiência pode ser atingida: reduzindo o uso de materiais, o consumo energético e a dispersão de substâncias tóxicas; aumentando a taxa de "reciclabilidade, o uso de recursos renováveis, o tempo de vida útil do produto e a intensidade do serviço.	Gestão, sistema produtivo e produtos	2000

Fonte: Ferraz, 2015 e Munck, 2012 (adaptados pelo Autor).

3.3.1 Projeto EcoWater

O projeto de pesquisa colaborativa EcoWater se diferencia das demais propostas de avaliação e melhoria da ecoeficiência de sistemas, pois tem como eixo central os usos da água. Esse projeto surgiu em novembro de 2011 com o objetivo de desenvolver indicadores de ecoeficiência na “meso escala” para avaliação de tecnologias. Além disso, foi apoiado pelo sétimo “Programa para pesquisa, desenvolvimento tecnológico e demonstração” da União Europeia e foi finalizado em outubro de 2014 (ECOWATER, 2020).

A “meso escala” abordada no projeto se refere à abrangência territorial influenciada pelo uso da água por indústrias, casas, ETEs, ETAs e outros entes que utilizam esse recurso natural. Nesse sentido, as bases de funcionamento do EcoWater podem ser aplicadas nas relações entre indústrias, entre indústria e população, ou ainda órgãos públicos e empresas, ou seja, naquelas em que há uma interferência entre as partes pelos seus respectivos usos da água (ECOWATER, 2020).

No site do programa, são expostos diversos estudos de casos que descrevem como o método foi aplicado e desenvolvido em sistemas de água na agricultura, em centros urbanos e em indústrias. A metodologia do projeto de pesquisa EcoWater para melhoria da ecoeficiência foi aplicada de forma semelhante em todos os 8 casos de estudo, efetuando alguns ajustes para cada realidade e assim, conferindo maior aderência ao método de acordo com a necessidade sustentável do desenvolvimento (ECOWATER, 2020).

A metodologia EcoWater consiste em quatro principais etapas (NTUA, 2015):

- 1) Mapeamento do sistema de água;
- 2) Análise da ecoeficiência segundo os padrões de normativas ISO;
- 3) Identificação de oportunidades de melhoria na cadeia de valor;
- 4) Análises das tecnologias de cenários.

3.3.1.1 Mapeamento do sistema de água

A primeira etapa é subdividida em novos passos, de modo a obter maior clareza e transparência acerca do sistema de água avaliado. Essas etapas observam: a) a relação entre duas cadeias: de fornecimento e produção de água; b) o mapeamento e descrição das cadeias de suprimento e produção de água, coletando os processos, tecnologias e fases nelas presentes; c) mapeamento dos aspectos financeiros envolvidos nesses usos, caracterizando também os

envolvidos diretos e indiretos nessa questão; e, por fim, d) avaliação da dinâmica socioeconômica e das estruturas de tomada de decisão (NTUA,2015).

3.3.1.2 *Análise da ecoeficiência*

Assim como a primeira, a segunda etapa é subdividida em novas fases e segue a padronização da normativa ISO 14045 de 2012. As novas fases abrangem: a) quantificação e avaliação dos impactos ambientais, sendo analisado o ambiente em que o estudo está inserido através das óticas do Ciclo de Vida do produto ou serviço em estudo; b) a avaliação econômica, que também emprega a análise do ciclo de vida, porém utilizando expressões e valores monetários; e c) cálculo da ecoeficiência, utilizando os parâmetros coletados nas demais fases dessa segunda fase.

Para a interpretação e escolha dos indicadores ambientais e econômicos, como dito anteriormente, é utilizada a Análise do Ciclo de Vida (ACV), ou em inglês, “*Life Cycle Assessment*” (LCA). Esse termo é à familiar a ISO 14001 de Gestão Ambiental, a qual tem como objetivo a criação de uma cadeia de sequencias, ou ainda, um fluxograma que aponta os produtos e serviços que fazem parte da cadeia produtiva, sejam como insumos, bens finais ou de meio. Dessa forma, cria-se um inventário de itens e a partir dele observam-se os seus possíveis impactos ambientais. (ABNT, 2015)

Os impactos ambientais analisados devem atender uma categorização de área impactada, sendo que a metodologia EcoWater permite aplicar até 11 categorias diferentes, tais como mudanças climáticas, intoxicação por substâncias, doenças respiratórias, eutrofização e uso de recursos minerais. Essa categorização também permite a padronização de unidades de medidas, facilitando assim sua padronização e futuros cálculos.

Nesse sentido de padronização e unificação de medidas e dados, é importante que a referência dos estudos e análises da ecoeficiência siga um padrão conceituado, na medida de terem uma orientação semelhante, aplicável e tecnicamente correta. Em outras palavras, ter uma base de dados confiável.

Calculadoras para CO₂ equivalente e água “virtual” consumida são comuns e inclusive são facilmente encontradas na Internet, uma vez que são aspectos ambientais “famosos” perante o grupo acadêmico científico quanto a população em geral. Em contrapartida, em relação a outras substâncias e materiais não há tanto conhecimento envolvido em unidades equivalentes, tanta facilidade, confiança e acessibilidade em seus cálculos quando comparadas a esse gás de efeito estufa e a esse líquido essencial a vida.

Na tentativa de circundar esse problema de padronização, uma equipe da universidade holandesa de Leiden, do Instituto de Ciências Ambientais copilou e facilitou o cálculo de equivalência de centenas de substâncias através do banco de dados CML-IA. A partir dele, é possível separar essas substâncias de acordo com seu grupo químico, estágio de emissão, código base que por sua vez se baseia em outros manuais de uso e estudos da Análise do Ciclo de Vida.

As Tabelas 2 e 3 apontam alguns dos inúmeros indicadores e valores de referência para o cálculo da ecoeficiência, especificamente unidades de medidas equivalentes para 1,4 diclorobenzeno ($C_6H_4Cl_2$), íons fosfato e danos ao ecossistema. A Tabela 2 divide as substâncias em grupos químicos, fontes iniciais de emissão, unidade base de medida para equivalência e as unidades equivalentes de $C_6H_4Cl_2$ segundo a categoria de impacto, nesse caso, toxicidade para humanos, Ecotoxicidade em águas doces e em solos segundo estudos (Huijbregts, 1999 e 2000) e (OERS, 2015).

Tabela 2: Unidade de equivalência para quilograma de 1,4-diclorobenzeno de acordo com a categoria de impacto.

Substância	Grupo	Emissão Inicial	Unidade base de medida	Unidade Equivalente		
				kg 1,4-diclorobenzeno eq.		
				Toxicidade a humanos	Ecotoxicidade em água doce	Ecotoxicidade no solo
Íon Arsênico V	Metal	Água doce	kg	950,6168	206,7462	1,0385E-17
Íon Cromo VI	Metal	Água doce	kg	3,4204	27,6556	2,2720E-19
Íon Cobre II	Metal	Água doce	kg	1,3393	1157,3069	4,0632E-21
Íon Chumbo II	Metal	Água doce	kg	12,2595	9,6157	4,7742E-22
Íon Mercúrio II	Metal	Água doce	kg	1425,9594	1717,1443	930,3283
Fenol	Inorgânico	Água doce	kg	0,0492	237,0077	2,4878E-06

Fonte: Oers (2015) e Huijbregts (2000) adaptado.

Já a Tabela 3, por mais que também faça as divisões de substâncias de acordo com seu grupo, fonte de emissão e unidade base de medida, apresenta desta vez as unidades equivalentes do íon fosfato para a categoria de impacto de efeito eutrofizante.

Tabela 3: Unidade de equivalência para quilograma de PO₄⁻ e de danos à qualidade do ecossistema por categoria de impacto.

Substância	Grupo	Emissão Inicial	Unidade base de medida	Unidade Equivalente
				kg PO ₄ ⁻ eq.
Íon Arsênico (V)	Metal	Água doce	kg	-
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	-	Água doce	kg	0,022
Íon Cromo VI	Metal	Água doce	kg	-
Íon Cobre II	Metal	Água doce	kg	-
Íon Chumbo II	Metal	Água doce	kg	-
Íon Mercúrio II	Metal	Água doce	kg	-
Nitrato	Inorgânico	Água doce	kg	0,10
Ácido Nítrico	Inorgânico	Água doce	kg	0,10
Nitrito	Inorgânico	Água doce	kg	0,10
Nitrogênio	Inorgânico	Água doce	kg	0,420

Fonte: Oers (2015) adaptado.

O Quadro 3 apresentado a seguir, aponta brevemente as avaliações, ou ainda, as performances ambientais e econômicas.

Quadro 3: Avaliações da segunda etapa do método EcoWater e melhoria de ecoeficiência.

Avaliação	Item avaliado	Descrição
Performance Ambiental	Inventário do ciclo de vida	Envolve a compilação e quantificação de dados das fases da cadeia produtiva (ISO 14040/1998).
	Unidades funcionais	Unidade produzida ou de serviços entregues pelo sistema e unidade de água utilizada.
	Impactos ao longo do ciclo de vida	Estimativas ambientais para os impactos médios realizados ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço.
Performance Econômica	Valor total agregado (VTA)	Considera os custos e investimentos realizados para se ter, produzir, armazenar, utilizar ou ainda oferecer água na cadeia produtiva e de abastecimento.
Quantificação da ecoeficiência	Métricas de ecoeficiência	Indicadores que medem o melhor custo-benefício para se ter o menor impacto ambiental, dado a Equação 1.

Fonte: NTUA (2015).

Finalizando, na segunda etapa da ecoeficiência segundo a metodologia, são feitos os cálculos referentes aos impactos.

Primeiramente, sobre os cálculos dos impactos ambientais, esses seguem a lógica de quantificação dos itens pertencentes à Análise do Ciclo de Vida segundo suas categorias de área afetada, sendo somadas caso pertençam à mesma categoria conforme a Equação 1. Com essa equação, é obtido o Valor de Impacto Ambiental (VI), sendo calculado por categoria de impacto e é válido para aqueles itens diretamente relacionados ao ciclo de vida

$$VI_{dir} = \sum_r (f_{rc} \times f_r) + \sum_e (f_{ec} \times f_e) \quad (1)$$

Sendo:

- f_{rc} é o fator caracterizante de recursos utilizados por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria;
- f_{ec} é o fator caracterizante de itens emitidos por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria.;
- f_r é o fator de recurso, em que se aponta a frequência de uso do recurso durante o ciclo de vida do produto ou serviço;
- f_e é o fator de emissão, em que se aponta a frequência de emissão durante o ciclo de vida do produto ou serviço.

A seguir, são considerados os bens que se relacionam de forma indireta ao ciclo de vida, como a produção de insumos para sua fabricação ou outros produtos que são gerados a partir desse bem. A Equação 2, aponta seu cálculo e quantificação, sendo f_{rc} o fator de impacto ambiental do recurso por categoria.

$$VI_{ind} = \sum_r f_{rc} \times f_r \quad (2)$$

Dessa forma, somando as equações 1 e 2, obtém-se o impacto ambiental total do sistema VI_{total} por categoria de impacto.

$$VI_{total} = VI_{dir} + VI_{ind} \quad (3)$$

A seguir, são apresentados os indicadores ambientais de impacto (IA), os quais indicam a alteração ambiental causada dividida por unidade produzida ou ainda por quantidade de água utilizada. Os IAs podem ser obtidos pela Equação 4, em que VI_{total} é o impacto ambiental total do sistema por categoria e U_f é a unidade funcional (por unidade produzida ou ainda por quantidade de água utilizada no processo)

$$IA_c = \frac{VI_{total}}{U_f} \quad (4)$$

Sobre a perspectiva da performance econômica da água nesse processo, calcula-se através da Equação 5 o Valor Total Agregado (VTA), indicando os custos de abastecimento,

tratamento, rejeito e outros usos da água na mesoescala analisada. Todas as unidades de medidas são dadas em unidades financeiras.

$$VTA = VET + VG_{sb} - CFT_{aa} - CFT_{ta} - CA \quad (5)$$

Sendo:

- VET é o Valor Econômico Total gerado pelo produto ou serviço que requer obrigatoriamente o consumo/uso da água;
- VG_{sb} é o Valor econômico gerado por subprodutos do sistema;
- CFT_{aa} é o Custo Financeiro do abastecimento de água, ou seja, o valor necessário para ter a água na quantidade, qualidade e localização requisitadas para a fabricação de produto ou serviço;
- CFT_{ta} é o Custo Financeiro Total de tratamento de água residuária, onde se é considerado o valor do tratamento e disposição de efluentes;
- CA são os Custos Adicionais ou futuros de implantação de novas tecnologias ou ampliação do sistema.

Obtidos os parâmetros econômicos e ambientais é possível finalmente obter o Indicador de Ecoeficiência por categoria de impacto. A Equação 6 indica a igualdade da ecoeficiência ($ECO_{\text{água}}$) com a razão entre o Valor Total Agregado gerado pela atividade ($VTAc$) e pelo impacto ambiental total (IAC), sendo que a unidade medida final depende da categoria do impacto, porém sempre terá uma moeda base.

$$ECO_{\text{água}} = \frac{\text{Valor Total Agregado do produto ou serviço}}{\text{Impacto Ambiental Total}} = \frac{VTAc}{IAC} \quad (6)$$

3.3.1.3 Identificação de oportunidades de melhoria na cadeia de valor

A seguir, na terceira etapa, o foco é na melhoria do processo e do produto em relação aos seus impactos ambientais e custos financeiros. Aqui ocorrem as pesquisas e proposições de novas tecnologias para serem aplicadas ao sistema produtivo, com o foco na sua ecoeficiência e nas vulnerabilidades ambientais e econômicas presentes no produto/serviço.

3.3.1.4 *Análises das tecnologias de cenários*

Por fim, na quarta e última etapa, analisam-se se as proposições de novas tecnologias de fato têm um impacto positivo para os agentes envolvidos. Os aspectos observados nessa fase são a eficiência no uso de recursos naturais, a prevenção de poluição e as possibilidades de reuso e reciclagem de produtos que possam causar algum dano.

Na literatura da área, o método ainda não foi aplicado para o ramo de indústria de saneantes, nesse sentido este trabalho apresenta cálculos e correções iniciais referentes À ISMP. Por conseguinte, eventuais comparações serão feitas com outros setores industriais, não havendo ainda sim o conhecimento da real eficiência da aplicação do método EcoWater.

4. METODOLOGIA

4.1 **Apresentação da indústria base**

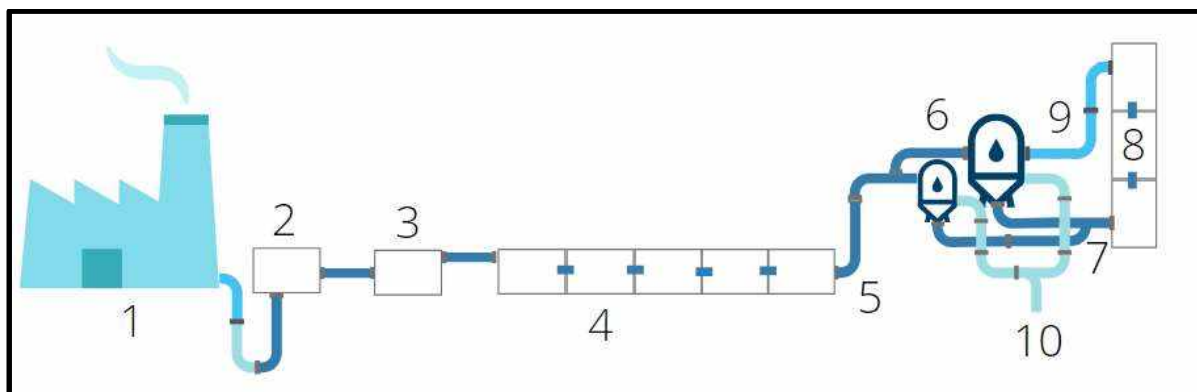
Empresa situada em Uberlândia que tem fabricação especializada em produtos de limpeza, servirá como base de análise empírica neste estudo. A mesma é dividida em dois setores: matriz, responsável pela produção de itens de limpeza leve e doméstica, e filial, que fabrica produtos de limpeza pesada (clorados, soda cáustica) e produtos automotivos, além disso conta com mais de 300 funcionários e vende mais de 170 produtos.

Na empresa, são consumidos cerca de 3.000.000 de litros de água por mês, obtendo-a majoritariamente de captação própria, em poço artesiano, e o restante da rede pública de abastecimento. Desse volume captado, a maior parte será incorporado nos produtos e cerca de 3% do produzido terá como fim as ETEs, de modo que a vazão principal virá dessa porcentagem. Essa destinação não é considerada desperdício ou perda de material, mas sim um método de otimização produtiva, coletando os possíveis rejeitos da sessão de enfrasco bem como da limpeza de tubulações e tanques de produção. Além de residual produtivo, a vazão do efluente vem da limpeza das áreas comuns, atividades de origem doméstica e da manutenção de equipamentos.

O tratamento realizado na empresa para os efluentes tem o mesmo princípio de funcionamento tanto para a ETE da filial, quanto para a matriz. Em ambas, realiza-se um tratamento físico-químico com reatores em batelada, sendo tratados aproximadamente 6 m³

por dia. Na matriz são utilizados dois reatores de 4 m³ e 2 m³. Na filial há um tanque único de 6 m³. As Figuras 3 e 4 representam o fluxograma de funcionamento da ETE_{matriz} e da ETE_{filial} respectivamente.

Figura 3: Fluxograma de funcionamento da ETE matriz da ISMP.

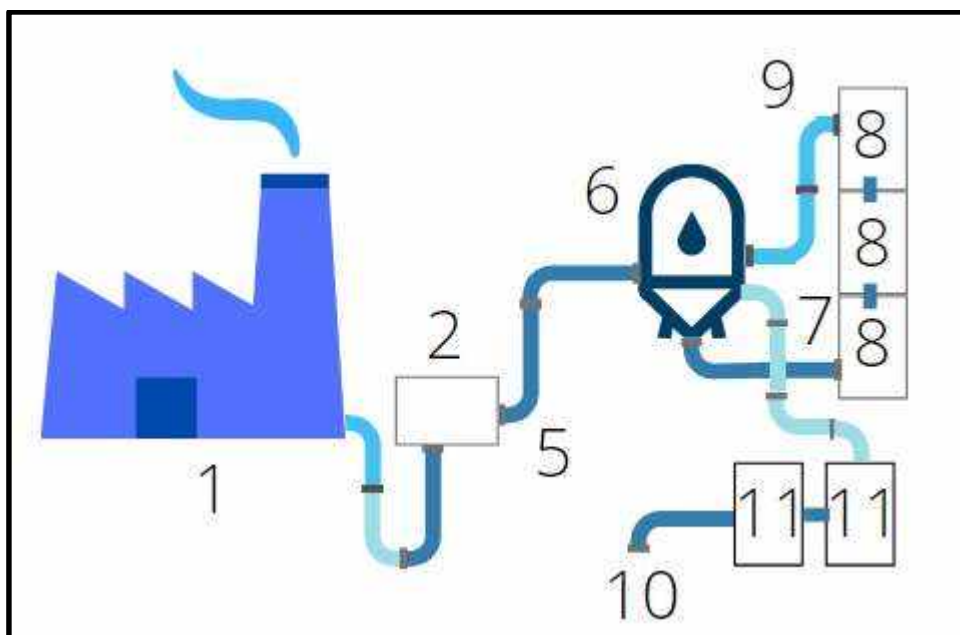


Fonte: Autor (2021)

O esquema representado na Figura 3 se dá na seguinte forma: a indústria gera o efluente (1); a seguir esse efluente bruto chega a uma etapa de gradeamento e filtração, onde há a barragem de resíduos sólidos grossos, formando assim um pré-tratamento (2); o efluente pré-tratado chega ao tanque de recepção e será armazenado até a próxima batelada sendo controlado através de um sistema de válvulas (3); separação de gordura e sólidos finos não dissolvidos no efluente (4); bombeamento do efluente pré-tratado para uma ou ambas as caixas de tratamento (5); realização de tratamento físico-químico simples, através da adição do agente regulador de pH alcalinizante Cal, além do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC 18%) e do agente flocculante polímero aniônico 0,2% (6); condução do material decantado no fundo do tanque para o leito filtrante (7); decantação no leito filtrante, formação do lodo, além de adição de um clarificante e secagem do lodo a temperatura ambiente (8); o material que foi filtrado e devidamente clarificado irá retornar ao tanque e passar novamente pelo processo descrito na Etapa 6 (9); por fim, o efluente é lançado para a rede de esgoto pública do DMAE, sendo feito um controle por sistema de válvulas para medir a quantidade de efluente tratado (10).

A Figura 4, ilustra o funcionamento da ETE_{filial}.

Figura 4: Fluxograma de funcionamento da ETE filial da ISMP.



Fonte: Autor (2021)

Já a Figura 4 apresenta um funcionamento similar ao da ETE matriz, abrangendo as etapas 1 a 10, porém existe a etapa 11, na qual foram instalados dois tanques de aeração para tratamento terciário. Entretanto, ainda não é utilizado, uma vez que é considerado inviável para a atual tecnologia empregada pela ISMP e estão desativados temporariamente.

Os dados mostrados neste trabalho tiveram como base a ISMP, a qual disponibilizou seus valores de vazão efluentes e os custos operacionais dos usos de água na indústria. Por outro lado, os parâmetros e padrões analisados foram definidos de acordo com o Decreto Municipal 13.481/2012 da cidade de Uberlândia, que instituiu o Premend (Tabela 1), ou seja, foram adotados, não necessariamente representando as reais características do efluente. Foi suposto também que a ISMP está conforme a legislação ambiental da cidade, dando assim maior coerência para a adoção dos valores do Premend para os parâmetros.

Os padrões em específico, foram adotados aqueles que continham equivalência às categorias de impactos ambientais presentes na tabela de Oers (2015), sendo assim, esses deverão ter ao menos um valor equivalente para as categorias de impacto.

4.2 Análise da ecoeficiência

Para este trabalho, foi adotado o modelo EcoWater de forma adaptada, seguindo os quatro passos propostos por esse método na escala da ETE da ISMP até a disposição final da água residuária. A seguir estão os conteúdos da metodologia empregada em cada uma das etapas nesse trabalho.

1) Mapeamento do sistema de água

- Análise do processamento do efluente na ETE da ISMP caracterizando e descrevendo a sua forma de tratamento;
- Identificação da conexão do sistema de lançamento de efluente da ETE industrial na rede pública de esgoto;
- Localização da ETE pública que recebe a água residuária industrial tratada;
- Indicação da legislação correspondente que estabelece a relação entre a ISMP e o DMAE;
- Identificação dos aspectos envolvidos, como os custos de manutenção, operação da ETE pela indústria e a taxaço pelo serviço de coleta de esgoto.

2) Análise da ecoeficiência segundo os padrões da ISO 14045

Nessa etapa, serão utilizados indicadores para os impactos e pressões ambientais, bem como para os custos financeiros presentes nesse cenário. A decisão desses indicadores se baseia nas escolhas feitas nos casos de estudo 5, 6, 7 e 8 do projeto EcoWater, realizados em indústrias, os quais por sua vez, se baseiam na análise do ciclo de vida (AGENCY FOR SCIENCE INNOVATION AND TECHNOLOGY, 2012; ECOWATER, 2020). Esses indicadores foram escolhidos nesse sentido, contemplando os setores que possam causar algum impacto negativo ao meio ambiente, para aqueles do tipo ambiental, e setores que geram algum custo ou necessitam de investimento financeiro.

O Quadro 4 aponta os indicadores para análise de ecoeficiência no cenário do tratamento de efluentes da ISMP.

Quadro 4: Indicadores ambientais e econômicos para cálculo da ecoeficiência.

Tipo de indicador	Indicador	Descrição
Ambiental	Qualidade da água residuária	De acordo com a Lei do Premend
	Quantidade de água residuária	Volume de água residuária emitida pela ISMP. Dado em: m³/mês.
	Uso de recursos (produtos químicos)	Recursos utilizados na ETE da ISMP. Dado em: g/mês.
	Quantidade de lodo	Pesagem do lodo gerado pela ETE da ISMP. Dado em: Kg/mês.
Econômico	Custo de coleta e tratamento de esgoto pelo DMAE	Taxa de coleta de esgoto realizado pelo DMAE. Dado em: R\$/mês.
	Custo dos produtos químicos	Custo mensal dos recursos utilizados no tratamento de efluentes na ISMP. Dado em: R\$/mês.
	Custo da análise de esgoto	Custo das análises biológicas, químicas e físicas dos esgotos bruto e tratado, para qualificação perante órgãos ambientais e controle interno Dado em: R\$/mês.
	Custo da disposição do Lodo	Custo mensal da disposição do lodo gerado pelo tratamento de efluentes na ISMP. Dado em: R\$/mês.

Fonte: Autor (2021)

Para equivalência dos números segundo a base de dados CML-IA, serão reutilizados as Tabelas 2 e 3.

Além disso, nessa etapa serão calculados os valores de ecoeficiência utilizando as equações 1 a 6 nas categorias de impacto: Potencial ou Efeito de eutrofização (PE, dado em Kg PO₄²⁻eq) e Potencial de ecotoxicidade no solo e na água - P_{eco}, dado em Kg 1,4-

diclorobenzeno. Ou seja, serão obtidos dois resultados de ecoeficiência, sendo cada um dos indicadores e cálculos referentes a uma dessas categorias.

3) Identificação de oportunidades de melhoria na cadeia de valor

A partir da análise da literatura atual, identificam-se os melhores métodos de tratamento de efluentes para indústrias de saneantes, legislações e padrões de qualidade que propiciem uma maior ecoeficiência baseado nos indicadores propostos na etapa 2. Os mecanismos adotados para essa procura de melhorias são estudos já realizados na ISMP, bem como em outras indústrias de produtos domissanitários.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Sistema de água

O sistema de água que relaciona a ISMP com o sistema de esgotamento sanitário, sob responsabilidade da concessionária de Uberlândia, o DMAE, é sequente aos processos descritos nas Figuras 3 e 4, em que o esgoto tratado é levado por gravidade até a Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha por cerca de 5 Km. Nesse caminho, a água residuária dessa indústria se une a outras fontes de esgoto com características diversas, finalmente chegando à ETE pública, onde é tratado e disposto no Rio Uberabinha.

As características e volumes da água residuária que chega à ETE da ISMP e a que chega à ETE Uberabinha são drasticamente modificadas. Na Figura 5, são destacadas as ações que alteram as características da água residuária ao longo desse sistema, seguindo a metodologia EcoWater, bem como fontes de gastos e investimento nesse fluxograma.

1. Entrada dos insumos para tratamento Cal, PAC 18% e Polímero aniônico 0,2%, bem como o próprio volume de água residuária do processo produtivo da ISMP. Os custos dessa etapa são relacionados à operação e manutenção da ETE;
2. Saída do lodo para a destinação correta por terceirizado até o aterro industrial. Também estão inclusos os gastos de taxas de uso da rede pública e Premend;
3. A água residuária tratada chega à rede de esgoto do DMAE atendendo as determinações legais;

4. O esgoto tratado se mistura na rede de esgoto às demais águas residuárias com diferentes características, totalizando assim 2,2 m³/s de esgoto. Investimentos na melhoria, expansão e manutenção da tubulação estão inclusos nessa etapa;

5. Possíveis vazamentos, rupturas e desvios do esgoto podem contaminar o solo, a água e gerar um grande distúrbio na comunidade entorno da tubulação. Tais situações implicam em gastos e despesas para a concessionária;

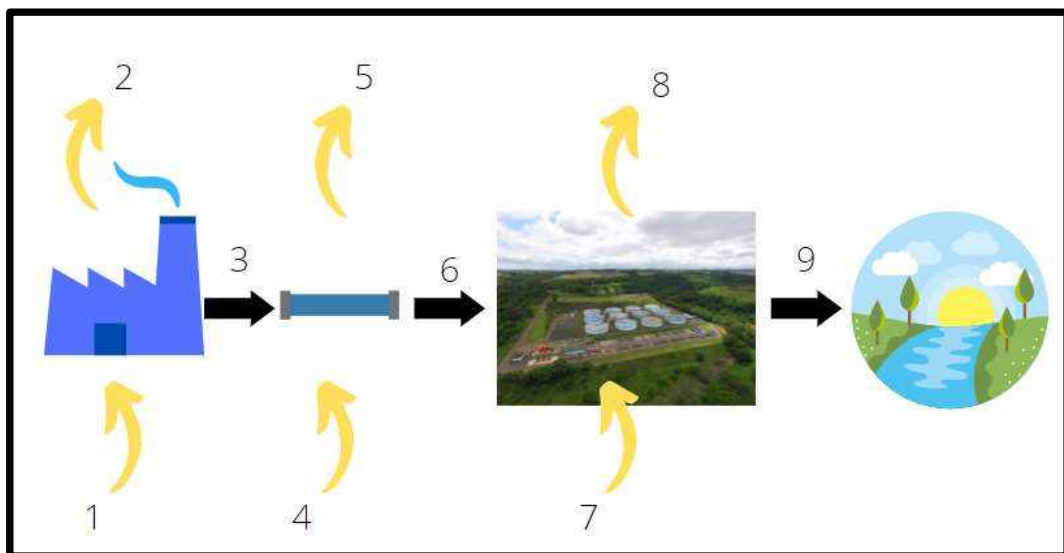
6. A rede coletora de esgoto finalmente chega à ETE Uberabinha, que tem capacidade máxima de tratamento de 2,2 m³/s (UBERLÂNDIA,2021)

7. Na ETE Uberabinha, o esgoto passa por tratamento preliminar, pelo reator UASB como tratamento secundário e canal de flotação como tratamento complementar. Nessa etapa, o principal indicador econômico é o custo da ETE.

8. O Lodo gerado na ETE Uberabinha é destinado ao aterro sanitário industrial e é vista a performance ambiental do sistema;

9. Após ser tratado, o esgoto deve chegar ao rio Uberabinha nas condições ideais para sua disposição final nos termos da legislação ambiental correspondente.

Figura 5: Sistema de fluxo de água da ETE da ISMP ao Rio Uberabinha.



Fonte: Autor (2021)

Quadro 5: Influenciadores do sistema de água para aspectos ambientais de acordo com os limites do Premend, exceto para Cal, PAC 18%, Polímero Aniônico 0,2%, lodo e produção de esgoto bruto.

Influenciadores do sistema de água	Origem	Categoria de Impacto	Valor	Unidade de medida
Cal	Insumo para tratamento de esgoto	-	-	-
PAC 18%				
Polímero Aniônico 0,2%				
Lodo	Tratamento do esgoto	Peco	1.635	Kg/mês
Alumínio	Água residuária	Peco	3	mg/l
Arsênio	Água residuária	Peco	1,5	mg/l
Boro	Água residuária	Peco	5	mg/l
Cádmio	Água residuária	Peco	1,5	mg/l
Chumbo	Água residuária	Peco	1,5	mg/l
Cianeto	Água residuária	Peco	0,2	mg/l
Cobalto	Água residuária	Peco	1	mg/l
Cobre	Água residuária	Peco	1,5	mg/l
Cromo total	Água residuária	Peco	5	mg/l
Cromo hexavalente	Água residuária	Peco	0,5	mg/l
DBO	Água residuária	Peco e PE	350	mg/l
DQO	Água residuária	Peco	600	mg/l
Estanho	Água residuária	Peco	4	mg/l
Índice de fenóis	Água residuária	Peco	5	mg/l
Ferro total	Água residuária	Peco	15	mg/l
Fluoreto	Água residuária	Peco	10	mg/l
Mercúrio	Água residuária	Peco	0,5	mg/l
Níquel	Água residuária	Peco	2	mg/l
Nitrogênio Amoniacal	Água residuária	Peco e PE	100	mg/l
Óleos e graxas	Água residuária	Peco	100	mg/l
pH	Água residuária	Peco	6 – 10	mg/l
Prata total	Água residuária	Peco	1,5	mg/l
Sólidos Dissolvidos	Água residuária	Peco	750	mg/l
Sólidos suspensos totais	Água residuária	Peco	450	mg/l
Sólidos totais	Água residuária	Peco	1200	mg/l
Sólidos sedimentáveis	Água residuária	Peco	20	mg/l
Sulfato	Água residuária	Peco	1000	mg/l
Sulfeto	Água residuária	Peco	1	mg/l
Surfactantes (MBAS)	Água residuária	Peco	5	mg/l
Temperatura	Água residuária	Peco	40	mg/l
Zinco total	Água residuária	Peco	5	mg/l
Esgoto bruto	Produção	RH	146	m ³ /mês

Fonte: Autor (2021)

Esses nove pontos não necessariamente estão diretamente envolvidos com a ISMP, sendo os tópicos 1, 2 e 3 os diretamente relacionados e do tópico 4 ao tópico 9, indiretamente relacionados ou pouco representativos percentualmente. No Quadro 5 esses tópicos de ação direta da ISMP foram divididos e caracterizados de acordo com a categoria de impacto ambiental, seu valor (unidade funcional segundo o grupo II de indústrias químicas do Premend) e unidade de medida.

Já no Quadro 6, estão expostas as movimentações financeiras no sistema de água residuária, divididos em categoria de impacto ambiental, valor e unidade de medida.

Quadro 6: Influenciadores do sistema de água residuária nos aspectos econômicos.

Influenciadores do sistema de água	Origem	Categoria de Impacto	Valor	Unidade de medida
CAL	Insumo para tratamento de esgoto	-	2.300	R\$/mês
PAC 18%				
Polímero Aniônico 0,2%				
Lodo	Tratamento do esgoto	Peco	145,51	R\$/mês
Conta de Água	Premend, uso de água e esgoto	RH	7.500	R\$/mês
Monitoramento	Tratamento do esgoto	RH	1.942	R\$/mês

Fonte: Autor e ISMP (2020)

Essas influências sobre o sistema de água possuem dois atores principais, a própria ISMP e o DMAE. O primeiro, além de gerar o efluente, é responsável pelo primeiro tratamento e adição de água na rede de esgoto não presente inicialmente na rede pública de abastecimento, já que toda sua produção utiliza recursos do poço artesiano. Já o DMAE, atua como agente de coleta e tratamento final do esgoto, bem como na área de fiscalização de atendimento ao decreto municipal, relacionado ao lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora de esgoto.

Como coadjuvante, temos as empresas terceirizadas que fazem o monitoramento do tratamento na ISMP, a que faz a disposição final de Lodo das duas ETEs, os poderes legislativos e órgãos ambientais, que determinam padrões de qualidade e leis sobre a temática.

Na relação entre os atores principais, as tomadas de decisão entre as partes possuem uma legislação correspondente, impondo limites para a ação de cada parte. Normas técnicas, deliberações normativas e decretos municipais já mencionados na Revisão Bibliográfica são os principais exemplos de legislações que guiam o comportamento nessa relação. Nesse sentido, caso uma das partes deseje realizar uma modificação em alguns dos 9 tópicos citados anteriormente, é necessário ter respaldo nas questões técnicas e ambientais presentes nas leis municipal de lançamento de efluente.

5.2 Análise da ecoeficiência

Como primeiro passo para a análise da ecoeficiência, através do inventário do ciclo de vida (LCI), reutilizam-se os dados dos Quadros 4 e 5 e da Figura 5, verifica-se a sequência mostrando assim quais itens e aspectos ambientais entram e saem do sistema de água residuária.

De maneira geral, os itens levantados no LCI, como fazem parte de um efluente líquido, podem fazer parte de uma contaminação de água, especialmente quando não há um tratamento dessa água residuária. Nesse sentido, os principais impactos ambientais negativos será a poluição hídrica, havendo uma alteração física, química ou ainda biológica na qualidade de um corpo hídrico. Alguns exemplos desses danos são: eutrofização, aumento da toxicidade, morte de espécies que vivem em meios aquáticos e complicações à saúde devido ao consumo dessa água contaminada. (GERHARDT, 2018).

Continuando o passo a passo da caracterização da ecoeficiência, são apresentadas as Tabelas 4 e 5, as quais indicam os valores equivalentes totais por substância de contribuição para as categorias: impacto de toxicidade a humanos; ecotoxicidade em água doce, potencial eutrofizante e dano ecossistêmico.

Após a estipulação dos cenários, itens modificadores ambientais e econômicos reconhecidos, bem como os atores do sistema de água residuária, é possível indicar os cálculos referentes aos indicadores de ecoeficiência. Nota-se que o cenário adotado é a legislação ambiental sobre lançamento de efluente de Uberlândia, com uma indústria de saneantes brasileira, adotando seus dados de vazão e tratamento de efluente e simulando os parâmetros.

Tabela 4: Equivalência de 1,4 diclorobenzeno de acordo com a emissão mensal de substâncias em efluente industrial.

Substância Lei	Substância equivalente	Valor base (mg/L)	Valor mensal (Kg/mês)	1,4 diclorobenzeno eq (Kg/mês)		
				Toxicidade a humanos	Ecotoxicidade em água doce	Ecotoxicidade no solo
Arsênio	Íon Arsênico (V)	1,50	0,22	208,19	45,28	2,27E-18
Chumbo	Íon Chumbo II	1,50	0,22	2,68	2,11	1,05E-22
Cobre	Íon Cobre II	1,50	0,22	0,29	253,45	8,90E-22
Cromo hexavalente	Íon Cromo VI	0,50	0,07	0,25	2,02	1,66E-20
DQO	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	600,00	87,60	-	-	-
Índice de fenóis	Fenol	5,00	0,73	0,04	173,02	1,82E-06
Mercúrio	Íon Mercúrio II	0,50	0,07	104,10	125,35	6,79E+01

Fonte: Autor (2021)

Tabela 5: Equivalência de PO_4^{2-} e Ecotoxicidade de acordo com a emissão mensal de substâncias em efluente industrial

Substância Lei	Substância equivalente	Valor base (mg/L)	Valor mensal (Kg/mês)	PO_4^{2-} (Kg/mês)
Arsênio	Íon Arsênico (V)	1,50	0,22	-
Chumbo	Íon Chumbo II	1,50	0,22	-
Cobre	Íon Cobre II	1,50	0,22	-
Cromo hexavalente	Íon Cromo VI	0,50	0,07	-
DQO	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	600,00	87,60	1,93
Índice de fenóis	Fenol	5,00	0,73	-
Mercúrio	Íon Mercúrio II	0,50	0,07	-

Fonte: Autor (2021)

Com os resultados da Equação 1, observa-se que o efluente tratado pela ISMP possui um maior potencial de impacto ambiental na categoria de Ecotoxicidade em águas doces, sendo a presença de cobre e o índice de fenóis os parâmetros mais influentes nesse somatório. Por outro lado, o efeito eutrofizante apresentou o menor índice de impacto, uma vez que os principais causadores desse desfecho, compostos nitrogenados e fosforados (FIGUEIRÊDO; TEIXEIRA; ARAÚJO; ROSA; PAULINO; MOTA; ARAÚJO, 2007), não foram contabilizados nessa análise, apenas a DQO.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados da Equação 1, divididos por variável em cada categoria.

Tabela 6: Resultados da Equação 1 e suas variáveis por categoria de impacto.

Termo	Descrição	Categoria		
		Toxicidade a humanos	Ecotoxicidade em águas doces e em solos	Efeito eutrofizante
Vidir	Valor de impacto ambiental direto	315,54	601,22	1,93
fcr	fcr é o fator caracterizante de recursos utilizados por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria;	Presente no Quadro 5	Presente no Quadro 5	Presente no Quadro 5
fcec	fcec é o fator caracterizante de itens emitidos por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria.;	Presente na Tabela 2	Presente na Tabela 2	Presente na Tabela 2
fr	fr é o fator de recurso, em que se aponta a frequência de uso do recurso para no ciclo de vida do produto ou serviço;	1	1	1
fe	fe é o fator de emissão, em que se aponta a frequência de emissão durante o ciclo de vida do produto ou serviço.	1	1	1

Fonte: Autor (2021)

Como não houve coleta de dados referentes aos impactos indiretamente envolvidos no sistema de água residuária em questão, as variáveis e por conseguinte os resultados foram considerados iguais a 0, ou como não quantificados, para fins de cálculo e não foi aplicado. Sendo assim, somando os resultados da Equação 1 e 2, a Equação 3 obteve os mesmos resultados do primeiro cálculo e esses são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados da Equação 3 e suas variáveis por categoria de impacto.

Termo	Descrição	Categoria		
		Toxicidade a humanos	Ecotoxicidade em águas doces e em solos	Efeito eutrofizante
Vitotal	Valor de impacto ambiental total	315,54	601,22	1,93
VIdir	Valor de impacto ambiental direto	315,54	601,22	1,93
VIind	Valor de impacto ambiental indireto	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2021)

Agora com a Equação 4, divide-se o Valor de Impacto Ambiental (VI_{total}) pela unidade de referência, neste caso a vazão média mensal da ETE (produto final) para todas as categorias. Os resultados dessa Equação estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados da Equação 4 e suas variáveis por categoria de impacto.

Termo	Descrição	Categoria		
		Toxicidade a humanos (Kg 1,4 diclorobenzeno. m3.mês)	Ecotoxicidade em águas doces e em solos (Kg 1,4 diclorobenzeno. m3.mês)	Efeito eutrofizante (Kg de PO_4^{2-})
Iac	indicador de impacto ambiental da categoria	2,16	4,12	0,01
Vic	Vic é o impacto ambiental total do sistema por categoria	315,54	601,22	1,93
Uf	Uf é a unidade funcional (por unidade produzida ou ainda por quantidade de água utilizada no processo)	146,00	146,00	146,00

Fonte: Autor (2021)

Para o cálculo do VTA na Equação 5, foi adotado o faturamento total da ISMP, uma vez que toda sua produção depende da água. Esse dado foi simulado a partir da quantidade média de produtos vendidos em um mês, multiplicados pelo valor do principal produto da INDÚSTRIA, mais 10% desse valor total. Além disso, foi utilizado o faturamento por unidade de produto do sistema, novamente a vazão média mensal da ETE.

Com essa equação, observa-se que para cada m^3 de efluente tratado gerado, a ISMP ganhou R\$ 37.574,06 no mês, com menos de R\$ 97,27 de custos de operação e manutenção

da ETE. O valor do custo representa apenas 0,259% do faturamento, porém nota-se que esses são apenas os custos da ETE, investimentos na produção bem como insumos não foram contabilizados, uma vez que não fazem parte diretamente do sistema de água residuária utilizado. Esses dados também são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Resultados da Equação 5 e suas variáveis por categoria de impacto.

Termo	Descrição	Categoria		
		Toxicidade a humanos	Ecotoxicidade em águas doces e em solos	Efeito eutrofizante
VTA	o Valor Total Agregado (VTA), indicando os custos de abastecimento, tratamento, rejeito e outros usos da água na meso-escala analisada por unidade de água utilizada	R\$ 37.574,06	R\$ 37.574,06	R\$ 37.574,06
VET	VET é o Valor Econômico Total gerado pelo produto ou serviço que requer obrigatoriamente o consumo/uso da água por unidade de água utilizada.	R\$ 37.671,23	R\$ 37.671,23	R\$ 37.671,23
VGsb	VGsb é o Valor econômico Gerado por subprodutos gerados pelo sistema;	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
CFTaa	CFTaa é o Custo Financeiro do abastecimento de água, ou seja, o valor necessário para ter a água na quantidade, qualidade e localização requisitadas para a fabricação de produto ou serviço por unidade de água utilizada	R\$ 29,05	R\$ 29,05	R\$ 29,05
CFTta	CFTta é o Custo Financeiro Total de tratamento de água residuária, onde se é considerado o valor do tratamento e disposição de efluentes por unidade de água utilizada	R\$ 68,12	R\$ 68,12	R\$ 68,12
CA	CA são os Custos Adicionais ou futuros de implantação de novas tecnologias ou ampliação do sistema.	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00

Fonte: Autor (2021)

Por fim, no cálculo da Equação 6, é possível afirmar com os resultados obtidos, apresentados na Tabela 9, que a ecoeficiência para Ecotoxicidade em águas doces e em solos

é a menor apresentada na ISMP com 9.124,58 R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno.m³.mês, devido aos valores de cobre e fenóis aceitos no efluente (Tabela 1).

A toxicidade a humanos apresentou a menor ecoeficiência (17.385,26, R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno m³.mês), pela maior ecoeficiência de efeito eutrofizante, com 2.846.519,56 R\$/Kg de PO₄²⁻.mês.

A explicação para menor ecoeficiência em toxicidade a humanos se dá pela alta equivalência entre os parâmetros de Arsênio e Mercúrio com Kg de 1,4-diclorobenzeno, uma vez que essas substâncias são de fato bem tóxicas para o consumo humano.

Tabela 9:Resultado da ecoeficiência por categoria de impacto.

Termo	Categoria		
	Toxicidade a humanos (R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno/m³.mês)	Ecotoxicidade em águas doces e em solos (R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno.m³.mês)	Efeito eutrofizante (R\$.mês/Kg de PO₄²⁻)
ECOágua	17.385,26	9.124,48	2.846.519,56
VTAc	37.574,06	37.574,06	37.574,06
IAc	2,16	4,12	0,01

Fonte: Autor (2021)

O APÊNDICE I apresenta o procedimento dos cálculos, tomando como base a ecoeficiência na categoria toxicidade a humanos.

Para efeitos comparativos, foi utilizado o trabalho “Avaliação comparativa de ETEs sob a perspectiva da ecoeficiência” de LORENZO-TOJA et al. (2016). Nesse artigo, foi apresentado uma análise entre os custos relacionados ao consumo/tratamento de água (utilizando os princípios da ISO 14045) pelo impacto ambiental causado por uma série de ETEs na Espanha, o qual especifica a categoria de impacto da eutrofização. Desse modo, serão comparadas as variáveis deste trabalho com o estudo europeu.

Os dados da ISMP apontam um gasto médio por metro cúbico de efluente de R\$ 258,02 e 16,39 Kg de PO₄²⁻ de impacto ambiental de efeito eutrofizante por m³ de efluente. O gasto médio foi encontrado após dividir os custos mensais da ETE por seu volume médio mensal, enquanto o impacto originou-se da divisão entre quilograma equivalente gerado e volume mensal da ETE (LORENZO-TOJA et al,2016).

Comparando esse valor com as médias apresentadas pelo estudo realizado na Espanha, a ISMP teria a classe C, ou seja, menor eficiência para seus custos com a ETE

enquanto seria classe A, maior eficiência, para o seu impacto ambiental, segundo o estudo de Lorenzo-Toja et al 2016). Em outras palavras, possui um bom comportamento ambiental no quesito efeito eutrofizante, porém investe muito para obter esse resultado. Entretanto, é válido ressaltar que essas classes encontradas se referem inicialmente a ETEs localizadas na Europa, que tratam efluentes majoritariamente domésticos e possuem portes variados (LORENZO-TOJA,2016).

O Projeto EcoWater possui 4 estudos de caso em indústrias que possuem indicadores similares aos utilizados nesse Trabalho. Conforme a Tabela 10, verifica-se que o indicador de Eutrofização da ISMP possui o maior resultado, principalmente quando comparado com a indústria de laticínios, uma vez que essa empresa dinamarquesa produz itens tipicamente causadores da eutrofização (ECOWATER, 2015).

Em relação a toxicidade a humanos, a ISMP obteve resultados similares ao de eutrofização, no sentido de ter a maior ecoeficiência, mas não de forma tão expressiva quanto o indicador anterior.

Tabela 10: Comparação de indicadores de ecoeficiência com os estudos de caso do Projeto EcoWater.

Indicador	ISMP- Brasil	Indústria Têxtil- Itália	Cogeração de energia elétrica e calor- Holanda	Indústria de laticínios - Dinamarca	Indústria automotiva- Suécia
Eutrofização (R\$/Kg de PO ₄ ²⁻ .mês)	2.846.519,56	3.310,75	-	3,20	135.660,00
Toxicidade a humanos (R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno. m ³ .mês)	17.385,26	21,96	93,35	92,06	6.460,00
Ecotoxicidade em água (R\$/Kg 1,4 diclorobenzeno. m ³ .mês)	9.124,48	30,69	7.005,87	2.034,90	419.900,00

Fonte: Autor (2021)

Por fim, sobre a Ecotoxicidade em água, houve uma queda, sendo que a indústria de saneantes estudada apresentou a segunda melhor ecoeficiência desse indicador (9.124,48), atrás da indústria automotiva (419.900,00) e mais próxima da Cogeração (7.005,87) (ECOWATER, 2015).

Ressalta-se novamente que as indústrias comparadas são estrangeiras e possuem um sistema produtivo diferente da ISMP. Além disso, o fator econômico presente no Projeto EcoWater é dado em euros, portanto para ser feita a comparação, foi utilizado o fator de conversão 3,25, valor equivalente de 1 euro em reais no mês de publicação do estudo do projeto, em janeiro de 2015.

5.3 Identificação de oportunidades de melhoria

Ainda que as comparações apresentadas anteriormente demonstrem uma ecoeficiência maior em quase todas as categorias, é possível obter resultados ainda maiores de ecoeficiência. A partir da Equação 6, é possível afirmar que para um indicador de maior valor, é necessário aumentar o numerador (VTA) ou ainda diminuir o denominador (Impactos Ambientais).

Diante disso, como os parâmetros utilizados nesse trabalho se referem a um efluente que vai ser novamente tratado, é válido afirmar que a concentração de poluentes pode ser mais alta do que a concentração dos parâmetros estabelecidos na lei municipal de lançamentos não domésticos na rede coletora de esgotos, lembrando que a indústria deve lançar esgoto na rede municipal, atendendo o definido no Premend. Conseqüentemente, ao adotar um novo padrão de lançamento de efluente mais restritivo, tal como os definidos na Resolução CONAMA 430/2011, a concentração dos poluentes pode diminuir, bem como o impacto ambiental correspondente.

Aplicando esse raciocínio nos cálculos da ecoeficiência, na categoria de ecotoxicidade em água doce, o impacto ambiental seria menor, somando 189,39 Kg 1,4-diclorobenzeno_{eq} quando utilizado o padrão da Resolução CONAMA 430/2011. Continuando o cálculo, com a vazão de 146 m³ por mês, o indicador de impacto ambiental seria 1,30 Kg 1,4 diclorobenzeno/m³.mês, valor 31,48% do indicador original deste trabalho. A Tabela 11 aponta um resumo desses resultados.

Tabela 11: Cálculo de Impacto ambiental e indicador ambiental para a categoria Ecotoxicidade em água doce com base nos valores parametrizados da Resolução CONAMA 430/2011.

Indicador	Valor base	Valor mensal	Fator de conversão	Resultado equivalente	Impacto ambiental	Indicador ambiental
Arsênio	0,5	0,073	206,75	15,09247	189,3909	1,297198
Chumbo	0,5	0,073	9,62	0,701947		
Cobre	1	0,146	1.157,31	168,9668		
Cromo hexavalente	0,5	0,073	27,66	2,018862		
Índice de fenóis	0,003	0,000438	237,01	0,103809		
Mercúrio	0,01	0,00146	1.717,14	2,507031		

Fonte: Autor (2021)

Essa mudança de parametrização pode ser sugerida pelo DMAE ou ainda por iniciativa da ISMP, buscando uma melhoria ambiental ainda maior no seu sistema.

Além da parametrização, mudar ou ampliar a tecnologia de tratamento de efluentes é uma alternativa para melhorar sua ecoeficiência. Reuso do efluente, adição de filtros biológicos como tratamento complementar ao tratamento químico, troca do tratamento atual por tanques em espirais com H₂O₂/ radiação UVC e processos de ozonização. (SOUZA, 2018)

6. CONCLUSÃO

Após a coleta de dados, formulação de cálculos e comparações com outros setores industriais e legislações, são apresentadas a seguir as conclusões acerca deste trabalho:

- De maneira geral, a ecoeficiência é muito alta quando comparada aos estudos que utilizaram o método EcoWater, bem como aqueles que utilizaram o padrão da ISO 14450 em indústrias que não são de produtos domissanitários.

- As principais diferenças que levaram ao distanciamento dos valores de ecoeficiência nas comparações possivelmente vêm do estilo produtivo em si, já que o efluente industrial depende diretamente do produto, da forma que ele é feito, de sua composição química, dos aspectos físicos da geração do efluente, entre outras peculiaridades;

- Além da diferença das indústrias, não foi utilizado diretamente o efluente da ISMP, mas sim os parâmetros da Lei do Premend, a qual já exige concentrações mais controladas e menores do que um efluente industrial não tratado;

- Ainda outro fator que contribuiu para os altos valores de ecoeficiência utilizando o método EcoWater é a elevada margem de faturamento mensal da ISMP, uma vez que toda a produção depende de água, assim o valor de VTA é maior do que outros setores. Em outras palavras, os produtos da ISMP dependem de água para serem produzidos, então se não houver água, não haverá produtos e nem faturamento a partir de suas vendas.

- Não só o faturamento mensal é próximo a R\$ 5.000.000,00, mas os custos relacionados ao tratamento de efluente são baixos, com aproximadamente 0,259% desse faturamento sendo destinados ao tratamento de efluentes;

- Esse é um estudo que adapta uma metodologia europeia ainda não aplicada a uma indústria de produtos domissanitários, a qual sequer fica na Europa. Sendo assim, por mais que se baseia em um padrão internacional, não é possível afirmar completamente que esta metodologia é aplicável nestas circunstâncias;

- Este estudo utilizou também um padrão de equivalência de uma universidade holandesa para a conversão dos parâmetros, sendo que muitos desses ainda não têm uma convenção única internacionalmente reconhecida. Dessa forma, as equivalências encontradas podem conter erros;

- Para determinar essas questões levantadas, bem como de possíveis alternativas de tratamento de efluentes, viabilidades econômicas e estruturais para implantação de maiores/melhores ETEs, seriam necessários mais estudos aprofundados.

Por fim, é importante que se tenha uma metodologia que avalie não apenas o aspecto econômico e não apenas o aspecto ambiental, mas sim ambos os fatores. O método EcoWater pode ser essa ferramenta de avaliação que indique a sustentabilidade, ou não, dos processos industriais.

7. REFERÊNCIAS

ABIPLA. Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes de Uso Doméstico e de Uso Profissional. **15º Anuário ABIPLA - Edição 2020**. Disponível em: < <http://abipla.org.br/anuario/>>. Acesso em 19 de outubro de 2020.

AGUIAR, Roberto. Direito como fenômeno observável: quem é o legislador?. In: AGUIAR, Roberto. **Direito, Poder e Opressão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2014. Cap. 1. p. 12-16.

ANA. Agência Nacional das Água e Saneamento Básico. Ministério do Meio Ambiente. **Situação da Água no Mundo**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 25 maio 2021.

ANA. Agência Nacional das Água e Saneamento Básico. Ministério do Meio Ambiente. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. 11. ed. Brasília: Agência Comunica, 110 p. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001:2015**: Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040:2009**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2009. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Abnt, 1987. 3 p.

BRASIL. Constituição (1988). Artigo Constitucional nº 225, de 5 de outubro de 1988. Brasília, DF, Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_26.06.2019/art_225_asp#:~:text=225&text=Do%20Meio%20Ambi

ente Art.,as%20presentes%20e%20futuras%20gera%C3%A7%C3%B5es.. Acesso em: 04 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Saneantes. Registro de Produtos. Como Registrar Saneantes. Legislação. Resolução RDC n.184, de 22 de outubro de 2001. Procedimentos referentes ao registro de produtos saneantes domissanitários e outros de natureza e finalidade idênticas. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0184_22_10_2001.html. Acesso em: 21 abr. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União: seção II, n.92, 16 maio. 2011.

DANISH HIDRAULIC INSTITUTE & DELTARES & IVL SWEDISH ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE (Grécia). Baseline eco-efficiency assessment of water use in industrial sectors: meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors. Atenas: National Technical University Of Athens, 2014. 59 p.

DE AGUIAR, M. H. P.; MATTOS, B. R. B.; CARDOSO, N. T. O discurso ambiental brasileiro e a transformação do conceito de soberania: uma análise de Estocolmo à Rio +20. **Estudos Internacionais: revista de relações internacionais da PUC Minas**, v. 3, n. 1, p. 141-164, 18 dez. 2015.

DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 18328, de 8 de junho de 1997. Do lançamento de efluentes líquidos na rede coletora de esgotos. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/decreto-18328>. Acesso em: 04 nov. 2020

ECOWATER. **EcoWater**: meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies & their uptake in water use sectors. meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies & their uptake in water use sectors. 2011. Disponível em: <http://environ.chemeng.ntua.gr/ecoWater/Default.aspx?t=0>. Acesso em: 17 out. 2020.

ECOWATER. **Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors.** [S.I.]: National Technical University Of Athens, 2015. 20 p. (EcoWater Product Fliers).

EHRENFELD, John R.. Eco-efficiency: philosophy, theory, and tools. **Eco-efficiency And Industrial Ecology.** New Haven, p. 6-8. 08 fev. 2008. Disponível em: <http://www.businessperformance.org/sites/default/files/Eco-efficiency%20JIE.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2020.

FERRAZ, Joana de Oliveira. **Análise de métodos de avaliação de eco eficiência.** 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FIGUEIRÊDO, Maria Cléa Brito de; TEIXEIRA, Adunias S.; ARAÚJO, Lúcia de Fátima Pereira; ROSA, Morsyleide Freitas; PAULINO, Walt Disney; MOTA, Suetônio; ARAÚJO, José Carlos. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 399-409, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522007000400006>.

GERHARDT, Rafael; REISDORFER, Gustavo; CARDOSO, Manuela Gomes. Remoção de nitrogênio e fósforo de efluente industrial através da precipitação de estruvita. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 1, p. 35-40, 22 jan. 2018. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul. <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v22i1.8858>.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais.** Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 2004.

GROENING, Christopher; SARKIS, Joseph; ZHU, Qingyun. Green marketing consumer-level theory review: a compendium of applied theories and further research directions. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 172, p. 1848-1866, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.002>.

GUEDES, Everaldo Freitas; ZEBENDE, Gilney Figueira; SILVA FILHO, Aloísio Machado da. **Análise temporal dos indicadores da indústria de transformação da Bahia: uma abordagem com métodos da mecânica estatística**. C & P Conjuntura & Planejamento, Salvador, n. 186, p. 34-43, 2015.

GUINÉE, B. J. et al. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

HAHN, T. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodology and its application to the CO₂-efficiency of German companies. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 10, p.1997-2007, 2010.

HINTERBERGER, F. MIPS and Factor 10- Physical sustainability indicators as a social device. **Ecological Economics**, v. 29, n.1, 1999. 4p.

HUPPES, G. e ISHIKAWA, M. (2005), **A Framework for Quantified Eco-efficiency Analysis**. *Journal of Industrial Ecology*, 9: 25-41.

IBIPORÃ. Decreto nº 380, de 2017. Dispõe sobre o regulamento do procedimento de normas de recebimento e monitoramento de efluentes não domésticos do Município de Ibiporã – PR.. **Decreto Municipal Nº. 380/2017**. Ibiporã, PR, 2017. Disponível em: <http://www.samaeibi.com.br/uploads/legislacao/REGULAMENTO-lancamento-de-efluentes-na-rede-coletora-publica-SAMAE.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14045:2012**: Environmental management — Eco-efficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines. Genebra: ISO, 2012.

KUOSMANEN, T.; KORTELAJINEN, M. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis. **Journal of Industrial Ecology**. v. 9, n. 4, p. 59-71, 2005

LORENZO-TOJA, Y.; VÁZQUEZ-ROWE, I.; AMORES, M.J.; TERMES-RIFÉ, M.; MARÍN-NAVARRO, D.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. **Benchmarking wastewater**

treatment plants under an eco-efficiency perspective. *Sci. Total Environ.* 2016, 566, 468–479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.110>.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

MINAS GERAIS. **Resolução ARSAE-MG 130, de 11 de novembro de 2019.** Estabelece condições específicas a serem observadas na prestação dos serviços públicos de esgotamento sanitário dinâmico pelos prestadores de serviços regulados pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG). Belo Horizonte, MG, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). **VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Disponível em: https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_control_e_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 05 nov. 2020.

MUNCK, Luciano; CELLA-DE-OLIVEIRA, Flávio Augusto; BANSI, Ana Claudia. ECOEFICIÊNCIA: uma análise das metodologias de mensuração e seus respectivos indicadores. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 183-199, 22 mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.24857/rgsa.v5i3.453>.

NRTEE- NATIONAL ROUND TABLE ON THE ENVIRONMENT AND ECONOMY. **Eco-efficiency indicators** – Calculating Eco-efficiency Indicators: A Workbook for industry. 2001. 60 p.

NTUA (Grécia). Ecowater (ed.). **EcoWater Product Fliers:** deliverable 6.15. 1.0 Atenas: Ntua, 2015. 20 p. Disponível em: http://environ.chemeng.ntua.gr/ecowater/UserFiles/files/D6_15%20EcoWater%20Product%20Fliers.pdf. Acesso em: 17 out. 2020.

OERS, L. van, 2015. **CML-IA database, characterisation and normalisation factors for midpoint impact category indicators**. Version 4.5, april 2015. Disponível em <http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

PEIXOTO, Diego Rafael dos Santos. A IMPORTÂNCIA DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARA A GESTÃO AMBIENTAL PÚBLICA MUNICIPAL E O SETOR PRIVADO. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 281-285, 28 dez. 2018. Semestral. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2018.34529>.

SALING, P. Eco-efficiency analysis by BASD; the method. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 7, n.4, 2002. 16p.

SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JÚNIOR, N. As substâncias da vida I: água, sais, açucares e gorduras: água, sais, açucares e gorduras. *In*: SILVA JÚNIOR, C.; SASSON, S.; CALDINI JÚNIOR, N. *Biologia* 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2011. p. 25-26.

SKINNER, B. F. **Science and human behavior**. Nova York: Pearson Education, Inc, 1965. 461 p.

SOUZA, Adriane Lys de. **APLICAÇÃO DE PROCESSOS AVANÇADOS DE OXIDAÇÃO PARA O TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUTOS SANEANTES**: 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

STEPHAN SCHMIDHEINY. Business Council For Sustainable Development. **Changing Course**: a global business perspective on development and the environment. [S.I.]: Mit Press, 1992. 373 p.

UBERLÂNDIA. (MG) Prefeitura Municipal de Uberlândia (ed.). **Decreto nº 13.481, de 22 de junho de 2012**. Uberlândia, MG, 2012.

UBERLÂNDIA. (MG). Prefeitura Municipal de Uberlândia (ed.). **DMAE**: departamento municipal de água e esgoto. Departamento Municipal de Água e Esgoto. 2021. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/o-dmae/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

UN ESCAP. **Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Eco-efficiency and the impact of Economic Activities on the environment**, 2009. 25p. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/785eco.pdf> . Acesso em: 16 de out. 2020.

VERCALSTEREN, A., SPIRINCKX, C. & GEERKEN, T. **Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events**. *Int J Life Cycle Assess* **15**, 221–230 (2010). <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0143-z>

VERFAILLIE, H. **Measuring eco-efficiency-** A guide to reporting company performance. World Business Council of Sustainable Development. 2000. 35 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 1 v.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. Unesco.: **Facts and figures; from the United Nations World Water Development Report 4: managing water under uncertainty and risk**. França: United Nations World Water Assessment Programme, 2012.

YAMAGUCHI, Mirian Ueda *et al.* **Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR**. *Mundo da Saúde*, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 312-320, mar. 2013. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/artigos/mundo_saude/qualidade_microbiologica_agua_consumo_humano.pdf. Acesso em: 08 abr. 2020.

APÊNDICE I- MEMORIAL DE BASE DE CÁLCULO

Exemplificação da forma de cálculo nas equações 1 a 6 na categoria toxicidade a humanos

EQUAÇÃO 1

$$VI_{di r} = \sum_r (f_{c_{rc}} \times f_r) + \sum_e (f_{c_{ec}} \times f_e)$$

- $f_{c_{rc}}$ é o fator caracterizante de recursos utilizados por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria;
- $f_{c_{ec}}$ é o fator caracterizante de itens emitidos por categoria, ou seja, o quanto ele contribui para o impacto na sua categoria.;
- f_r é o fator de recurso, em que se aponta a frequência de uso do recurso durante o ciclo de vida do produto ou serviço;
- f_e é o fator de emissão, em que se aponta a frequência de emissão durante o ciclo de vida do produto ou serviço.

Para os cálculos da equação 1, foram necessárias três medidas principais: a vazão mensal do efluente (f_r), a unidade padrão de concentração por substância ($f_{c_{rc}}$) e sua equivalência em 1,4-diclorobenzeno ($f_{c_{ec}}$).

f_r já é conhecida, sendo ela igual a 146 m³/mês

$$f_r = 146 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Para a variável $f_{c_{rc}}$ foram adotados os limites determinados pela Lei do Premend para emissão de efluentes não-domésticos por indústrias químicas em rede pública de esgoto (valores presentes na Tabela 4).

Tabela 1 Apêndice: Valores base na Lei do Premend

Substância (nome segundo Premend)	Substância equivalente (nome tabelado)	Valor base (mg/L)
Arsênio	Íon Arsênico (V)	1,50
Chumbo	Íon Chumbo II	1,50
Cobre	Íon Cobre II	1,50
Cromo hexavalente	Íon Cromo VI	0,50
Índice de fenóis	Fenol	5
Mercúrio	Íon Mercúrio II	0,50

Por fim, para descobrir a terceira variável, foi utilizado os valores padrão compilados por Oers (2015) e apresentador no texto na tabela 2

Tabela 2 Apêndice: Valores equivalentes em Kg 1,4 – diclorobenzeno.

Substância	Unidade de medida	Equivalência em Kg 1,4-diclorobenzeno
Íon Arsênico (V)	kg	950,6168
Íon Cromo VI	kg	3,4204
Íon Cobre II	kg	1,3393
Íon Chumbo II	kg	12,2595
Íon Mercúrio II	kg	1.425,9594
Fenol	kg	0,0492

Para padronização de medidas, foi estabelecido quilograma (Kg) para massa, metros cúbicos (m³) para volume e mês para tempo. Sendo assim, apenas os valores base necessitam

de correção, de modo que eles são multiplicados pelo fator 0,001, chegando assim a unidade de Kg/m³ de concentração.

Com as variáveis conhecidas e colocadas em unidades padrão de medida, é possível chegar no resultado da Equação 1, multiplicando os fatores e somando o resultado final de cada parâmetro.

Para a substância Fenol por exemplo, ao multiplicar seu valor base (0,005), pela vazão (146) e unidade equivalente (0,0492), sua contribuição na somatória é de 0,05 Kg/mês.

Tabela 3 Apêndice: Sequência de dados para multiplicação da Equação 1.

Substância	Valor base (Kg/m³)	Vazão (m³/mês)	Unidade equivalente (1,4-diclorobenzen)	Valor final (Kg/mês)
Íon Arsênico (V)	0,0015	146	950,6168	208,18
Íon Cromo VI	0,0015	146	3,4204	0,75
Íon Cobre II	0,0015	146	1,3393	0,29
Íon Chumbo II	0,0005	146	12,2595	0,89
Íon Mercúrio II	0,0005	146	1425,9594	104,10
Fenol	0,005	146	0,0492	0,05
VI_{dir}				315,54

EQUAÇÃO 2

$$VI_{ind} = \sum_r f_{i_{rc}} \times f_r$$

Para a equação 2, como dito no texto, não houve coleta de dados referentes aos impactos indiretamente envolvidos no sistema de água residuária em questão, as variáveis e por conseguinte o resultado foram considerados iguais a 0.

$$VI_{ind} = 0$$

EQUAÇÃO 3

$$VI_{total} = VI_{dir} + VI_{ind}$$

Para essa equação, foi somado o VI_{dir} (resultado da Equação 1) e o VI_{ind} (da Equação 2), que é igual a zero. Logo:

$$VI_{total} = VI_{dir} = 315,54 \text{ Kg/mês}$$

EQUAÇÃO 4

$$I A_c = \frac{VI_{total}}{Uf}$$

Sendo VI_{total} o resultado da Equação 3 e Uf a vazão mensal, expressa-se que:

$$I A_c = \frac{VI_{total}}{Uf} = \frac{315,54}{146} = 2,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{mês}}$$

EQUAÇÃO 5

$$VTA = VET + VG_{sb} - CFT_{aa} - CFT_{ta} - CA$$

Sendo:

- VET é o Valor Econômico Total gerado pelo produto ou serviço que requer obrigatoriamente o consumo/uso da água;
- VG_{sb} é o Valor econômico gerado por subprodutos do sistema;
- CFT_{aa} é o Custo Financeiro do abastecimento de água, ou seja, o valor necessário para ter a água na quantidade, qualidade e localização requisitadas para a fabricação de produto ou serviço;
- CFT_{ta} é o Custo Financeiro Total de tratamento de água residuária, onde se é considerado o valor do tratamento e disposição de efluentes;
- CA são os Custos Adicionais ou futuros de implantação de novas tecnologias ou ampliação do sistema.

Dados conforme Tabela 8

Tabela 4 Apêndice: Resultados das variáveis e da incógnita da Equação 5.

Variável	Valor
VTA	R\$ 37.574,06
VET	R\$ 37.671,23
VGsb	R\$ 0,00
CFTaa	R\$ 29,05
CFTta	R\$ 68,12
CA	R\$ 0,00

Equação 6

$$ECO_{\text{água}} = \frac{\text{Valor Total Agregado do produto ou serviço}}{\text{Impacto Ambiental Total}} = \frac{VTAc}{IAc}$$

Por fim, na Equação 6, para a categoria de Toxicidade a humanos temos que:

$$ECO_{\text{água}} = \frac{VTAc}{IAc} = \frac{37.574,06}{2,16} = 17.385,26 \frac{R\$.m^3.mês}{Kg\ 1,4 - di\ cl\ orobenzeno}$$

A mesma lógica dessas equações se aplica as demais categorias.