



## II-157 - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

### **Julio Noventa Dalmazio<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Engenheiro Civil pela Faculdade Multivix. Empregado público da CESAN-ES. Mestrando em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

### **Adriana Marcia Nicolau Korres<sup>(2)</sup>**

Bióloga pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutora em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia/Universidade Estadual do Ceará. Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

### **Mariângela Dutra de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora efetiva do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Carlos Delgado Guerra Pinto, 765 – Jardim Camburi - Vitória - ES - CEP: 29090-040 - Brasil - Tel: (27) 99827-2948 - e-mail: jdalmazio@hotmail.com

### **RESUMO**

As ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) prestam um serviço essencial à população, devendo se primar pelo fortalecimento da gestão ambiental de suas unidades operacionais. A literatura especializada tem agregado diversos estudos relacionados a otimização do desempenho das ETEs. Para aprimorar o controle ambiental das ETEs, uma alternativa é a utilização de ferramentas que permitam mensurar a sustentabilidade das unidades levando em consideração os aspectos fundamentais da sustentabilidade. O artigo realizou revisão sistemática de literatura sobre indicadores de sustentabilidade de ETE, analisando e avaliando criticamente as pesquisas recentes. As buscas pelas publicações técnico-científicas foram realizadas no mês de março/2023, no banco de dados online Scopus. Como critérios de inclusão, foram adotadas as pesquisas que abordam indicadores de sustentabilidade em ETEs com fase biológica e ETEs em fase de operação. Como critérios de exclusão, foram adotados: pesquisa realizada em ETEs com fase química e ETEs em fase de projeto. Foram encontrados um total de 214 artigos científicos em inglês, compreendendo o período de 2014 a 2023, sendo que 17 artigos estão relacionados diretamente à temática de indicadores de sustentabilidade de ETE, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Os 17 artigos selecionados foram lidos em sua totalidade e foram selecionados 7 documentos por tratarem exclusivamente de indicadores de sustentabilidade de ETE com tratamento biológico, em fase de operação. Foram levantados 137 critérios, sendo 49 critérios ambientais, 23 econômicos, 52 sociais e 13 técnicos. A análise integrada das dimensões ambiental, social, econômica e técnica evidenciam sua interdependência e a necessidade de uma visão holística com relação aos processos que envolvem a operação de uma ETE

**PALAVRAS-CHAVE:** Indicadores. Tratamento de Esgoto. Desempenho Operacional. Avaliação de Estações.

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, cerca de 56% dos esgotos produzidos são coletados, e destes, 81,6% são efetivamente tratados. No ano de 2022, o volume de esgotos coletado foi de 6,1 bilhões de m<sup>3</sup>, já o de esgoto tratado chegou a 5 bilhões de m<sup>3</sup> (BRASIL, 2023).

O lançamento indevido dos efluentes domésticos e não domésticos sem tratamento nos corpos d'água podem causar poluição com alterações na qualidade no corpo receptor, trazendo limitações aos usos de suas águas (JORDÃO e PESSOA, 2014).



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



As ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) prestam um serviço essencial à população, devendo se primar pelo fortalecimento da gestão ambiental de suas unidades operacionais. Neste sentido, uma série de leis e resoluções foram propostas para regulamentar as atividades de tratamento de esgoto e o seu lançamento em corpos hídricos, tais como: Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997a) e as Resoluções Conama Nº 237/1997, 357/2005 e 430/2011 (BRASIL, 1997b; 2005; 2011).

Consolidada pela ONU em 2015, a Agenda 2030 contém os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, com 169 metas, estimulando as ações para os planos nas seguintes áreas de importância: pessoas, planeta, prosperidade, paz e parceria. Destaca-se o ODS 6, que possui como metas a melhorias da qualidade da água, o tratamento de efluentes, a reutilização segura dos efluentes tratados, o aumento da eficiência do uso da água, a implementação da gestão de reuso de água, além da proteção e restauração dos ecossistemas relacionados à água (ONU, 2015).

Campos e Nolasco (2021) relatam que nos últimos 20 anos, a literatura especializada tem agregado diversos estudos relacionados a otimização do desempenho das ETEs, integrando novas tecnologias e arranjos de processos com objetivo de conferir uma abordagem sustentável a gestão de águas residuais.

Para aprimorar o controle ambiental das ETEs, uma alternativa é a utilização de ferramentas que permitam mensurar a sustentabilidade das unidades levando em consideração os aspectos fundamentais – ambiental, social e econômico – promovendo um monitoramento mais apurado e definição de metas de investimento (Rametsteiner et al., 2011; Agustini e Gianeti, 2018).

Uma alternativa é a compilação de indicadores em métrica composta para uma avaliação multidimensional da sustentabilidade (Merz et al., 2013), neste caso aplicado a uma ETE. Indicadores compostos são ferramentas importantes que ajudam na tomada de decisões em políticas públicas e na divulgação de informações ao público (Lozano-Oyola et al., 2012). Para Molinos-Senante (2014, p. 609), “(...) os indicadores devem ser capazes de indicar o progresso em direção à sustentabilidade ou longe dela.”

Alguns estudos vêm sendo desenvolvidos nesta área, sendo que alguns abordam os indicadores para definições de projeto, outros avaliando diretamente a operação das unidades, como a pesquisa de Paula e Souza (2022), que propuseram uma metodologia para seleção e avaliação de indicadores de desempenho operacional de ETEs, compondo um banco de indicadores potenciais, por meio do método multiobjetivo AHP. Em outra pesquisa subsequente, Paula e Souza (2023) propuseram metodologia para avaliação de desempenho de ETEs em operação, empregando indicadores previamente selecionados por especialistas, sendo que a metodologia desenvolvida foi considerada adequada, com abrangência e flexibilidade para avaliação de ETEs com diferentes tipologias, portes e situação de contexto.

O artigo tem por objetivo realizar revisão de literatura internacional sobre indicadores de sustentabilidade de ETE, analisando e avaliando criticamente as pesquisas recentes sobre esta temática, visando aprimorar o indicador composto desenvolvido por Costa et al. (2024), que permitirá avaliar a sustentabilidade operacional de diversas tipologias de tratamento biológico de efluentes domésticos.

## OBJETIVO

Realizar revisão de literatura em base de dados internacional sobre a temática de indicadores de sustentabilidade de ETE, fazendo uma análise e avaliação crítica da sua relevância com intuito de aprimorar metodologia de construção de indicador composto de sustentabilidade para avaliação operacional de diversas tipologias de tratamento biológico de efluentes domésticos.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho foi elaborado na forma de Revisão Sistemática da Literatura, como proposto por Okoli (2019), contemplando 8 etapas: identificação do objetivo, planejamento do protocolo, aplicação de uma seleção prática, busca da bibliografia, extração dos dados, avaliação da qualidade dos dados, sintetização dos dados e escrita da revisão.

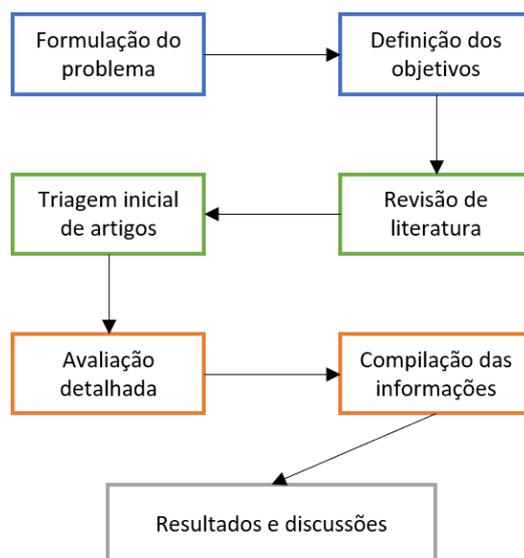
As buscas pelas publicações técnico-científicas foram realizadas no mês de março/2023, no banco de dados online Scopus. Na primeira etapa, foi definido que o campo de investigação e o objeto de estudo deveriam abranger publicações na forma de artigo, com a combinação dos descritores “*indicators*”, “*sustainability*”, “*treatment*”, “*wastewater*” realizadas utilizando o operador booleano “AND”. Na etapa seguinte, foi definido o período de publicação entre os anos de 2014 e 2023, com linguagem limitada ao idioma inglês.

Como critérios de inclusão, foram adotadas as pesquisas que abordam a temática de indicadores de sustentabilidade em ETEs com fase biológica e ETEs em fase de operação. Como critérios de exclusão, foram adotados: pesquisa realizada em ETEs com fase química e ETEs em fase de projeto (com exceção daqueles que tratem das fases de operação e projeto em um único artigo, sendo extraído apenas os critérios que satisfaçam aos objetivos desta pesquisa).

O processo de seleção dos estudos passou por uma triagem inicial onde por meio do gerenciador de referências Mendeley foram excluídos os artigos em duplicata. Procedeu-se então a leitura dos títulos e dos resumos para determinar a relevância do estudo para a pesquisa. Na sequência foi realizada a leitura completa dos artigos restantes para extração, análise e síntese dos dados.

Informações relevantes foram extraídas e os dados foram sintetizados de forma a destacar padrões, lacunas e tendências, apresentando os resultados de maneira clara, no formato de planilhas.

A figura 1 apresenta o diagrama da metodologia proposta neste artigo.



**Figura 1: Diagrama metodológico.**  
Fonte: elaborado pelos autores (2024).

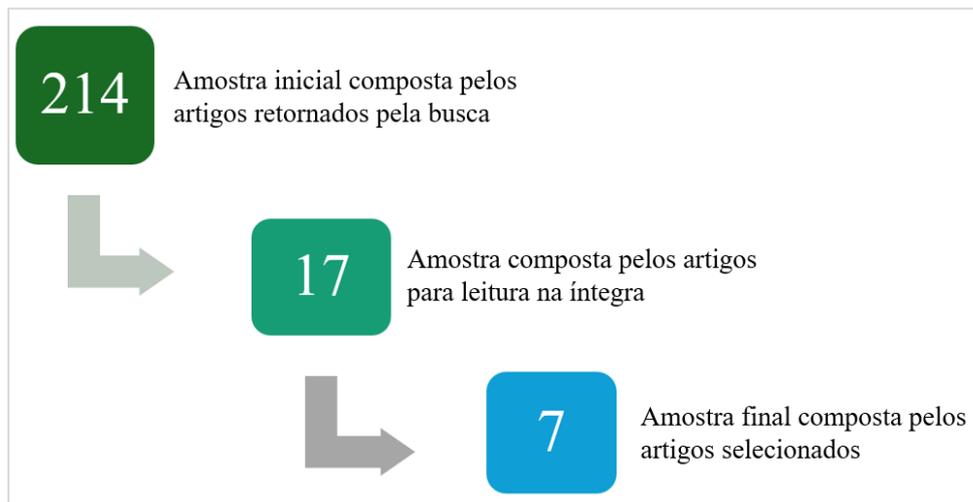
## RESULTADOS OBTIDOS

A pesquisa encontra-se em andamento e dará subsídio ao desenvolvimento de um indicador de desempenho de ETE com as principais tecnologias empregadas pela companhia de saneamento de um estado da região sudeste do Brasil.

Aplicando a metodologia para pesquisa de artigos na base Scopus, foram encontrados um total de 214 artigos científicos em inglês, compreendendo o período de 2014 a 2023. Em uma triagem inicial, após leitura dos títulos e resumos, foram selecionados 17 artigos relacionados diretamente à temática de indicadores de sustentabilidade de ETE, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos.



Os 17 artigos selecionados foram lidos em sua totalidade e, de acordo com os critérios de inclusão, e destes foram selecionados 7 documentos por tratarem exclusivamente de indicadores de sustentabilidade de ETE com tratamento biológico, em fase de operação. A figura 2 ilustra o fluxograma de seleção.

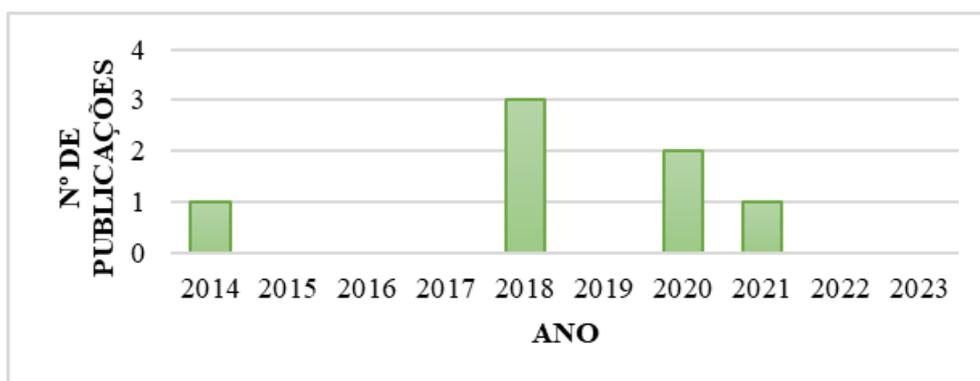


**Figura 2: Fluxograma de seleção dos artigos levantados e selecionados em revisão sistemática de literatura.**

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

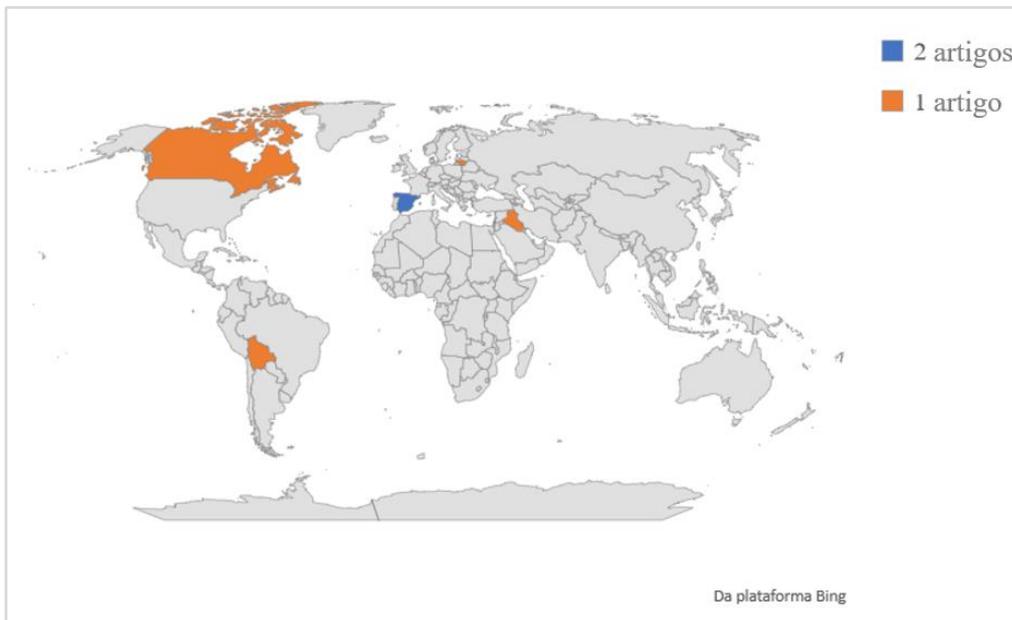
Dos 7 artigos selecionados na segunda etapa da revisão, relacionados a trabalhos que tratam exclusivamente de indicadores de sustentabilidade de ETEs com tratamento biológico, em fase de operação, observa-se uma predominância de publicações em 2018 (Figura 3).



**Figura 3: Número de publicações por ano (segunda etapa da revisão sistemática).**

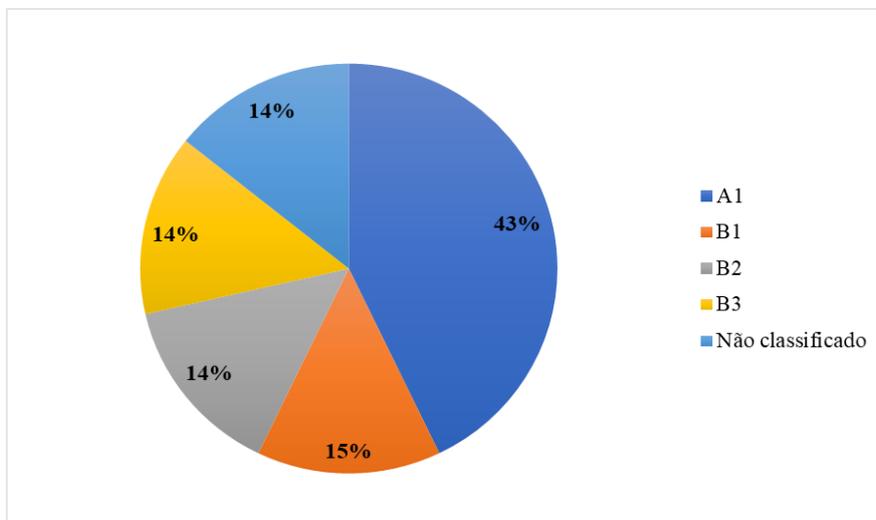
Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Com relação a espacialidade dos artigos selecionados, temos: Canadá, Bolívia, Lituânia e Iraque com uma publicação; Espanha com duas publicações (figura 4). Apenas um trabalho não se refere a uma localidade em específico, mas sim a um grupo de tipologias de tratamento predefinidas para análise no estudo.



**Figura 4: Espacialização dos trabalhos selecionados.**  
Fonte: elaborado pelos autores (2024).

A Figura 5 mostra um panorama da classificação dos periódicos (Qualis) onde os artigos selecionados foram publicados, segundo a plataforma Sucupira, da CAPES, para o quadriênio 2017-2020.



**Figura 5: Classificação Qualis dos periódicos selecionados.**  
Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Ao analisar a classificação Qualis dos artigos, foi observado que a maioria se enquadra na qualificação A1. Dos 7 artigos selecionados, apenas um não possuía classificação, de acordo com a plataforma Sucupira.

Os critérios utilizados nos artigos para composição dos indicadores de sustentabilidade de ETEs foram divididos nas dimensões ambiental, social e econômica. Alguns autores também acrescentam a dimensão técnica em suas pesquisas.

Em um primeiro momento, 137 critérios foram levantados, sendo 49 critérios ambientais, 23 econômicos, 52 sociais e 13 técnicos. Todos os critérios estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, de acordo com o autor e



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



classificação da dimensão. A repetição de critérios em diversos trabalhos reforça sua relevância e necessidade de priorização na avaliação de diferentes tecnologias de tratamento.

Os critérios utilizados na dimensão ambiental indicam um viés na mitigação de impactos ambientais gerados pelo processo de operação de uma ETE, se concentrando nas esferas de eficiência de remoção, impactos ambientais, recursos hídricos e gerenciamento de resíduos. Os critérios mais utilizados pelos autores estão relacionados a remoção de nutrientes, reutilização de água, emissão de gases e consumo de energia, refletindo a preocupação com a mitigação da poluição e otimização dos recursos.

Os critérios levantados na dimensão econômica apontam para a moderação dos custos tanto no processo de operação quanto para o usuário, focando principalmente na viabilidade financeira e eficiência econômica, se concentrando nas esferas de custos operacionais, custos de investimentos e custos totais. Os critérios mais utilizados são os custos operacionais e de manutenção, a tarifa do usuário e os custos de energia, que indica a necessidade de garantir que os sistemas sejam economicamente sustentáveis.

Quanto aos critérios elencados na dimensão social, é demonstrado uma perspectiva de precaução quanto ao desconforto ambiental que a operação de ETEs pode causar aos funcionários e a comunidade local, abrangendo as esferas de impacto na comunidade, saúde pública, gestão e operação da unidade e impactos ambientais percebidos pelos usuários. Os critérios mais frequentemente relatados pelos artigos são a aceitação pública, saúde pública, níveis de ruído, odor e poluição, indicando um viés de promoção de um ambiente mais saudável e aceito socialmente.

A análise dos critérios técnicos aponta para a necessidade de alcance da eficiência operacional, se concentrando nas esferas de desempenho e capacidade da planta, de forma a avaliar sua performance técnica. Os critérios técnicos foram discutidos nos artigos de Dvarionienè et al. (2018) e Omram et al. (2021).

É possível detectar que alguns critérios são mencionados em diferentes dimensões a depender da percepção dos autores quanto ao contexto em que está inserido, apontando para flexibilidade e variabilidade na aplicação de uma avaliação de sustentabilidade. Um exemplo são os critérios similares relacionados a gastos energéticos, que na dimensão ambiental é mencionado nos artigos de Molinos-Senante et al. (2014), Cossio et al. (2018), Omram et al. (2018), já para Dvarionienè et al. (2018) assume diferentes posicionamentos nas dimensões econômica e técnica.

Como interconexão entre as dimensões, é passível de apontamento que a viabilidade de uma ETE depende da harmonização entre os pilares ambientais, sociais, econômicas e técnicas, em casos específicos a depender da necessidade. Algumas lacunas podem ser observadas nos trabalhos citados:

- Pode ser observado que os critérios sociais não são abordados em todos os artigos, como o trabalho de Gémár et al. (2018), podendo resultar em uma visão incompleta da sustentabilidade, o que compromete a eficácia e equidade da operação de uma ETE;
- Enquanto alguns trabalhos utilizam as dimensões econômicas, ambientais e sociais, outros destacam a necessidade de utilização de dimensão técnicas para uma avaliação mais abrangente. A dimensão técnica também pode assumir papel fundamental na viabilização e otimização das unidades, não se limitando apenas a configurações operacionais, mas como elemento estratégico para a integração entre as demais dimensões.
- A falta de informação sobre a tipologia de tratamento de esgoto no estudo de Popovic e Kraslawski (2018) pode ser um fator limitante na comparação entre tecnologias de tratamento, já que essas podem apresentar diferenças significativas entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos;
- A falta de uniformidade na definição e aplicação dos indicadores de sustentabilidade dificulta a criação de um conjunto padronizado de métricas que permita a comparação entre sistemas, a implantação de selos verdes e/ou certificados de sustentabilidade para as ETEs.

**Tabela 1: Relação de critérios ambientais, econômicos e sociais levantados em revisão sistemática de literatura (continua)**

AUTORES	CRITÉRIOS		
	AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
<b>MOLINOS-SENANTE et al. (2014)</b>	Remoção eficiente de matéria orgânica	Custo de investimento	Odores
	Remoção de eficiência de sólidos suspensos	Custos de operação e manutenção	Ruído
	Remoção de eficiência de nitrogênio		Impacto visual
	Remoção de eficiência de fósforo		Aceitação pública
	Consumo de energia		Complexidade
	Área de terreno necessária		
	Produção de lodo de esgoto		
	Potencial para reutilização de água		
	Potencial para recuperar produtos		
Confiabilidade			
<b>GÉMAR et al. (2018)</b>	Matéria orgânica removida	Despesas com pessoal	
	Sólidos em suspensão removidos	Custos de gestão de resíduos	
	Gases de efeito estufa	Custos de manutenção	
<b>DVARIONIENÈ et al. (2018)</b>	Proporção do total de poluentes no esgoto em relação ao efluente ETE	Custos totais por volume de águas residuais tratadas	Tamanho da comunidade atendida
	Proporção de sólidos enviados para aterro em comparação com a aplicação no solo	Custos operacionais e de manutenção por volume de águas residuais tratadas	Pegada da ETAR comparada com águas residuais tratadas
	Reciclagem de fósforo (P) e nitrogênio (N) por meio do reaproveitamento de bio-sólidos	Custos de energia por volume de águas residuais tratadas	Mão de obra necessária para operar a ETE
	Descarga de metais pesados no solo (Cu, Zn, Cr, Pb)	Custos químicos	Estética - nível medido de incômodo causado pelo odor
	Emissão de gases em kg equivalente de CO <sub>2</sub> por dia	Custo do usuário	Proporção entre a população total atendida e o total de visitas à ETE
	Odor		Proporção entre o total de funcionários e o pessoal da comunidade da ETAR
	Ruído e Tráfego		
Remoção de patógenos			



**Tabela 1: Relação de critérios ambientais, econômicos e sociais levantados em revisão sistemática de literatura (continuação)**

AUTORES	CRITÉRIOS		
	AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
POPOVIC e KRASLAWISKI (2018)			Eficiência de limpeza
			Tempo perdido por funcionário por ano relacionadas a doenças e lesões
			Intenção da estação de tratamento de águas residuais de alcançar determinadas propriedades de limpeza
			Número total de auditorias por ano que verificam e confirmam a relevância e precisão da medição
			Porcentagem do orçamento local anual dedicado a auditorias e garantir assim a proteção da saúde pública
			Percentual de domicílios/população ligadas a rede de esgoto
			Relação entre volume de águas residuais e capacidade da planta
			Razão entre o número de análises e manutenções periódicas dos equipamentos e o número de análises e manutenções exigidas pelo enquadramento do plano de gestão
			Horas de treinamento realizadas por funcionário por ano
			Relação entre a concentração de substâncias perigosas de grande preocupação internacional em efluentes
			Relação entre o número de amostragens de efluentes por mês e o número de amostragens de efluentes por mês exigido por lei de política de tratamento de águas residuais
			Relação entre projetos bem-sucedidos de melhorias de segurança (objetivos declarados alcançados) em um determinado período e o número total de projetos na ETE
			Percentual de empregados locais
		Percentual de empregados filiados ao sindicato	
		Níveis médios de ruído, maus odores e poluição luminosa e atmosférica	
		Níveis médios anuais medidos de ruído, maus odores e poluição luminosa e atmosférica	
		Porcentagem do orçamento anual investido em novas tecnologias para melhorar as condições de trabalho	

**Tabela 1: Relação de critérios ambientais, econômicos e sociais levantados em revisão sistemática de literatura (continuação)**

AUTORES	CRITÉRIOS		
	AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
POPOVIC e KRASLAWISKI (2018)			Número de reclamações de autoridades locais residentes relacionados com ruído, maus odores, poluição luminosa
			Comprimento (km) de tubulações de esgoto público mantidas, inspecionadas ou substituídas por ano
			Relação entre o tamanho da bacia de armazenamento e o volume das cargas de choque
			Percentagem de lodos que são tratadas de diferentes formas, tais como utilização na agricultura, eliminação térmica, aterros etc.
		Relação entre a distância da estação de tratamento da comunidade e a distância regulamentada por lei	

AUTORES	CRITÉRIOS		
	AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
COSSIO et al. (2020)	Uso de energia	Custos de investimento	Aceitação pública
	Potencial de aquecimento global	Custos operacionais e de manutenção	Estética (impacto visual)
	Remoção de nutrientes		
	Área de terreno		
	Qualidade dos efluentes e lodos		
SUN et al. (2020)	Reciclagem potencial (efluente tratado)		
	Uso de recursos	Acessibilidade	Requisitos institucionais
	Emissão de poluentes gasosos, no efluente e lodo	Custo	Aceitação
	Volume de tratamento	Rentabilidade	Experiência
	Remoção de nutrientes	Taxa de usuário	Custo
	Impacto líquido no aquecimento global		Taxa de utilização
	Escassez de água		Volume de tratamento
	Reutilização de água		Reutilização de água
	Potencial de recuperação de produtos		Odores
	Confiabilidade		Ruído
Intensidade de emissão de carbono		Impactos visuais	
Potencial de eutrofização		Complexidade	
		Resiliência (robustez e rapidez)	



**Tabela 1: Relação de critérios ambientais, econômicos e sociais levantados em revisão sistemática de literatura (conclusão)**

AUTORES	CRITÉRIOS		
	AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
OMRAM et al. (2021)	Exploração da terra	Custo de construção	Aceitação cultural (aceitação pública)
	Poluição do ar	Custo de operação e manutenção	Segurança pública
	Consumo de energia	Custo do terreno	Criação de emprego
	Remoção de poluentes	Custo dos recursos utilizados	Requisito de competência e treinamento
	Substâncias tóxicas	Custo dos salários e vencimentos do trabalho	Desenvolvimento local
	Emissão de odor	Desp. com saúde e segurança	
	Incômodo e ruído	Desempenho econômico da produção e gestão de resíduos	
	Uso de produtos químicos		
	Produção de lodo		
	Qualidade do lodo		
	Urbanização		

**Tabela 2: Relação de critérios técnicos levantados em revisão sistemática de literatura**

AUTORES	CRITÉRIOS TÉCNICOS
OMRAM et al. (2021)	Durabilidade
	Confiabilidade e flexibilidade
	Facilidade de construção
	Complexidade
DVARIONIENÈ et al. (2018)	Quantidade de águas residuais tratadas como percentagem da quantidade total de águas residuais
	Percentagem de consumo de energia por volume de águas residuais tratadas
	Uso total de produtos químicos por dia por volume de águas residuais tratadas
	Carga de poluentes que entram na ETAR por habitante ligado, por área de influência, por densidade populacional
	Eficiência de remoção de poluentes em ETE
	Energia recuperada da ETAR
	Equivalente real de pessoas (PE) como porcentagem do PE do projeto
	Proporção de poluentes em águas residuais
	Número de falhas do sistema para manutenção por dia

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um processo de tratamento de esgoto eficiente deve primar tanto pela eficiência na otimização de recursos e custos quanto na equidade da distribuição de benefícios e na mitigação de impactos negativos. A



responsabilidade compartilhada entre as partes interessadas é essencial para o alcance de soluções sustentáveis no setor de saneamento.

No que diz respeito aos critérios observados na dimensão ambiental, a proteção da qualidade da água e dos recursos hídricos, a minimização dos impactos ambientais do processo de tratamento de esgoto, a promoção da sustentabilidade hídrica e a redução da demanda por água potável por meio do reúso são aspectos ambientais cujos critérios norteiam.

Os critérios econômicos listados apontam para otimização de custos de investimento, operação, manutenção e energia, além de tarifas acessíveis visando garantir acesso equitativo para toda população e retorno dos investimentos, fortalecendo a sustentabilidade do sistema.

Já os critérios sociais utilizados indicam a necessidade de participação da comunidade para aceitação do sistema de tratamento de esgoto, considerando seus valores e necessidades, bem como a proteção da saúde pública através da eficiência do tratamento e minimização de riscos.

Com relação aos critérios técnicos, no geral pode ser observado que ETEs duráveis, confiáveis, flexíveis, de fácil construção e com menor complexidade são fundamentais para o desenvolvimento de soluções eficazes.

Como lacunas observadas, pode ser citado que a integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e técnicos nas fases de planejamento, instalação e operação do tratamento de esgoto ainda é um desafio a ser superado, indicando que a utilização de indicadores de sustentabilidade abrangentes e específicos são necessários para avaliação da sustentabilidade do tratamento de esgoto. Uma comunicação transparente com a comunidade sobre os benefícios e impactos de uma ETE é imprescindível para a construção de confiança para com o serviço prestado e engajamento.

A inovação tecnológica e sua aplicação em ETEs pode otimizar a eficiência da sua operação e minimizar impactos ambientais. A reutilização dos subprodutos gerados nos processos de tratamentos será cada vez mais importante nas unidades, com vistas a economia circular e atendimento dos ODS.

Quanto aos indicadores levantados, embora muitos deles abordem aspectos semelhantes, seus nomes e métodos de medição variam consideravelmente, o que pode dificultar a comparação direta entre sistemas de tratamento e prejudicar a tomada de decisões. Alguns indicadores são qualitativos, não permitindo uma forma de medição objetiva, havendo necessidade de ajustes específicos para incorporá-los na avaliação geral.

Para garantir que a comparação dos aspectos entre as ETEs sejam representativos, é essencial estabelecer uma padronização dos critérios, de forma que seja possível identificar as melhores práticas e as áreas que necessitam de melhorias. A análise integrada das dimensões ambiental, social, econômica e técnica evidenciam sua interdependência e a necessidade de uma visão holística com relação aos processos que envolvem a operação de uma ETE, para que seja possível alcançar soluções sustentáveis que conciliem a proteção ambiental, a viabilidade econômica e o bem-estar social.

Este trabalho é parte de uma pesquisa, onde consta uma etapa de revisão de literatura que irá subsidiar o aprimoramento de metodologia para construção de indicador composto de sustentabilidade de ETEs.

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUSTINI, Carlos Alberto Di; GIANNETTI, Biagio Fernando. Avaliação de variáveis de sustentabilidade ambiental nas empresas de abastecimento de água e saneamento listadas na BM&FBOVESPA. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 25, n. 4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X3459-17>. Acesso em: 06 abr. 2024.
2. BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



- Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997a. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 06 abr. 2024.
3. \_\_\_\_\_ Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 dez. 1997b. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=237](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237). Acesso em: 05 abr. 2024.
  4. \_\_\_\_\_. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com\\_sisconama&task=documento.download&id=22428](https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=22428). Acesso em: 05 abr. 2023.
  5. \_\_\_\_\_. Resolução nº 430, 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] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-430-2011.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.
  6. \_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022**. Brasília: SNSA/MC, 2023. 108 p.: il.
  7. CAMPOS, Fábio; NOLASCO, Marcelo Antunes. Prospecção Científica e Tecnológica Aplicada ao Conceito de Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 3, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/37258>. Acesso em: 05 abr. 2024.
  8. COSSIO, Claudia; NORRMAN, Jenny; MCCONVILLE, Jennifer; MERCADO, Alvaro; RAUCH, Sebastien. Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries. **Environmental and Sustainability Indicators**, [S.I.], vol. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100028>. Acesso em: 03 mar. 2024.
  9. COSTA, Nayhara Wolkartte; DE OLIVEIRA, Mariângela Dutra; LIMA, Márcia Regina Pereira; BIANCHI, Dejanayne Paiva Zamprogno. Development of a Composite Index of Sustainability for Wastewater Treatment Plants. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n1-066>. Acesso em: 05 abr. 2024.
  10. DVARIONIENĖ, Jolanta; BARANAUSKAITĖ, Inga; KRUIPIENĖ, Jolita; LENKAITYTĖ, Aistė. Sustainability assessment of the wastewater treatment plant in the Baltic Sea region: a case study in Lithuania. **Environmental Engineering and Management Journal**, Iasi, vol. 17, 2018. Disponível em: [http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol17/no5/6\\_28\\_Dvarioniene\\_14.pdf](http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol17/no5/6_28_Dvarioniene_14.pdf). Acesso em: 05 abr. 2024.
  11. GÉMAR, Germán; GÓMEZ, Trinidad; MOLINOS-SENANTE, María; CABALLERO, Rafael; SALA-GARRIDO, Ramón. Assessing changes in eco-productivity of wastewater treatment plants: The role of costs, pollutant removal efficiency, and greenhouse gas emissions. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.I.], v. 69, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.11.007>. Acesso em: 05 abr. 2024.
  12. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
  13. LOZANO-OYOLA, Macarena; BLANCAS, Francisco Javier; GONZÁLEZ, Mercedes; CABALLERO, Rafael. Sustainable tourism indicators as planning tools in cultural destinations. **Ecological indicators**, v. 18, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.01.014>. Acesso em: 04 maio 2024.



14. MERZ, Mirjam; HIETE, Michael; COMES, Tina; SCHULTMANN, Frank. A composite indicator model to assess natural disaster risks in industry on a spatial level. **Journal of Risk Research**, v. 16, n. 9, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.737820>. Acesso em 04 maio 2024.
15. MOLINOS-SENANTE, María.; GÓMEZ, Trinidad; GARRIDO-BASERBA, Manel; CABALLERO, Rafael; SALA-GARRIDO, Ramón. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach. **Science Of The Total Environment**, Spain, v. 497-498, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.026>. Acesso em: 04 abr. 2024.
16. OKOLI, Chitu. Guia para realizar uma revisão sistemática da literatura. Tradução de David Wesley Amado Duarte; Revisão técnica e introdução de João Mattar. **EaD em Foco**, 2019; v. 9 (1). Disponível em: <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>. Acesso em: 05 abr. 2024.
17. OMRAN, Isam Issa; AL-SAATI, Nabeel Hameed; AL-SAATI, Hayam; HASHIM, Khalid S.; AL-SAATI, Zainab N. Sustainability assessment of wastewater treatment techniques in urban areas of Iraq using multi-criteria decision analysis (MCDA). **Water Practice and Technology**, Londres, v. 16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.013>. Acesso em: 05 abr. 2024.
18. ONU. **Agenda 2030**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas: 2015.
19. PAULA, Reuel Lopes de; SOUZA, Marco Antonio Almeida de. Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos utilizando métodos multiobjetivo e indicadores – parte 1: seleção e avaliação de indicadores de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e42022404-428>. Acesso em: 10 jun. 2024.
20. PAULA, Reuel Lopes de; SOUZA, Marco Antonio Almeida de. Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos utilizando métodos multiobjetivo e indicadores – parte 2: uma metodologia para avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos e sua aplicação a um estudo de caso. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 12, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v12e12023e12598>. Acesso em: 10 jun. 2024.
21. RAMETSTEINER, Ewald; PÜLZL, Helga; ALKAN-OLSSON, Johanna; FREDERIKSEN, Pia. Sustainability indicator development—Science or political negotiation? **Ecological Indicators**, [S.I.], v. 11, 2011. Disponível em: <http://10.1016/j.ecolind.2009.06.009>. Acesso em: 04 abr. 2024.
22. SUN, Yian; GARRIDO-BASERBA, Manel; MOLINOS-SENANTE, María; DONIKIAN, Nubia A.; POCH, Manel; ROSSO, Diego. A composite indicator approach to assess the sustainability and resilience of wastewater management alternatives. **Science of The Total Environment**, [S.I.], v. 725, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138286>. Acesso em: 05 abr. 2024.
23. POPOVIC, Tamara; KRASLAWSKI, Andrzej. Quantitative indicators of social sustainability and determination of their interdependencies. Example analysis for a wastewater treatment plant. **Periodica Polytechnica Chemical Engineering**, [S.I.] v. 62, 2018. Disponível em: <https://10.3311/PPch.10526>. Acesso em: 05 abr. 2024.