APRESENTAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA A HIERARQUIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SUSTENTÁVEIS (ADHES)

Rodrigo Pinheiro Pacheco [(1)], Engenheiro Civil pela UTFPR e Doutorando e Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação – PPGERHA, brasileiro, coordenador de projetos da COBRAPE - Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos LTDA.

Daniel da Costa Santos [(2)], Engenheiro Civil, Filósofo, Mestre Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRG, doutor Construção Civil e Estruturação Urbana pela USP e pós-doutorado em Saneamento Ambiental no *Institute for Water Education*, UNESCO IHE, Holanda. Professor da UFPR no Departamento de Hidráulica e Saneamento junto ao Programa de Pós-Graduação – PPGERHA.

Miguel Mansur Aisse [(3)], Engenheiro Civil, mestre Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela USP e doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela USP. Professor da UFPR junto ao Programa de Pós-Graduação – PPGERHA.

Endereço [(1)]**:** Avenida São Jose, 618 – 11º andar – Cristo Rei – Curitiba – Paraná – Brasil – CEP: 80.050-350 – fone: +55 (41) 3094-2424 - rodrigopacheco@cobrape.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta conceitualmente a estrutura da ferramenta denominada Apoio à Decisão para a Hierarquização de Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis (ADHES) que visa auxiliar a hierarquização de estações de tratamento de esgoto sustentáveis. A estrutura em questão observa os temas ciclo urbano da água, análise do ciclo de vida, revalorização socioambiental, conservação e salubridade ambiental, indicadores e índices de sustentabilidade ambiental, sistemas de apoio à decisão e tecnologias de tratamento de esgoto. A aplicação do método utiliza a matriz multicritério denominada Matriz para Análise do Nível de Sustentabilidade de ETEs (MANSE) observando os indicadores relacionados com as dimensões social, ambiental e econômica. Destaca-se a promoção do saneamento, a melhoria da qualidade do meio ambiente e da saúde pública, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos para selecionar alternativa de tratamento mais sustentável.

Palavras-chave: Análise do Ciclo de Vida; Indicadores e índices de sustentabilidade ambiental; Revalorização socioambiental; Tecnologias de tratamento de esgoto;

INTRODUÇÃO

O Brasil estabeleceu no PLANSAB metas audaciosas e necessárias no setor que pretendem elevar os índices atuais de tratamento de esgoto de 52,2%, segundo o SNIS (2023)[1], para 93% até o ano de 2033. Portanto, entende-se que parte desta demanda também será resolvida com a implantação estações de tratamento de esgotos (ETEs). A reconhecida demanda de se aumentar os índices de tratamento de esgoto, adicionalmente por meio de processos de tratamentos que observem as tecnologias sustentáveis, visando promover o saneamento e, consequentemente, gerando qualidade no meio ambiente e melhora da saúde pública, representa uma atual e necessária abordagem.

No entanto, a escolha das tecnologias de tratamento de esgoto é um processo complexo, pois envolvem diversas variáveis quantitativas e qualitativas (FREITAS, 2020). Portanto, para ultrapassar esta barreira, que é a seleção de tecnologias de tratamento, faz-se importante considerar metodologias que se utilizem de sistemas de apoio a decisão. Os sistemas de apoio à decisão baseados na análise multicriterial têm condições de possibilitar a avaliação de vários aspectos importantes presentes na complexidade de um cenário de projeto (IWASA *et al.,* 2014).

Esta crescente complexidade é visível quando, por exemplo, se observa que tecnologias de tratamento de esgoto, inicialmente concebidas para removerem poluentes, posteriormente passam a ser consideradas como

[1] Média dos índices de tratamento no Brasil, considerando os esgotos gerados.

tecnologias capazes de gerar produtos a serem aproveitados, conforme os preceitos das abordagens da economia circular, da análise do ciclo de vida e da sustentabilidade. Exemplos são vários como o uso do biogás (BRESSANI-RIBEIRO, 2019 e RIETOW *et al.,* 2022), do lodo tratado (CERQUEIRA; AISSE, 2021 e BORATTO; von SPERLING, 2023), do efluente tratado (NAKAMURA *et al.*, 2023) visando o uso agrícola e industrial (NAKAMURA *et al.*, 2023). Não obstante, GUTIERREZ (2014) demonstrou, por meio da análise do ciclo de vida (ACV), o potencial de impactos ambientais relacionado à cal virgem para os processos higienizadores do lodo de esgoto, confirmando que o gerenciamento dos subprodutos da ETE é determinante para a melhoria da sustentabilidade ambiental. Em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) de grande porte, GUTIERREZ (2014) observou na secagem do lodo que o uso do biogás gerado para cogeração diminui os potenciais impactos ambientais, sendo que se o lodo fosse utilizado como biofertilizante (BITTENCOURT et al., 2017), os resultados seriam ainda melhores, uma vez que a exposição térmica resulta na higienização do lodo.

Neste ambiente complexo as ETEs igualmente geram impactos socioambientais que repercutem sobre a vizinhança (AMARAL *et al.*, 2019). Dentre aqueles negativos, encontram-se a geração e emissão de odores, estes dentre os principais motivos de queixa, além de ruídos atribuídos a ETE (CASTANHEIRA; BAYDUM; 2015 e AMARAL *et al.*, 2019). Por outro lado, PHILIP (2011) critica a inexistência de uma ação coordenada entre os setores que estão ligados ao ciclo urbano da água, este composto pelas edificações e pelos sistemas de abastecimento de água e de águas pluviais. As decisões são tomadas sem uma análise integrada dos setores para o uso deste recurso, deixando-se de considerar os impactos a longo prazo nas bacias hidrográficas (BENETTI, 2015).

Todavia, inegavelmente, muitos esforços têm sido conduzidos para a construção de sistemas de apoio à decisão com o intuito de efetivamente incluir a visão integrada sobre a infraestrutura sanitária. No entanto, tal visão remete à consideração de abordagens inescapáveis como, por exemplo, a prospecção de interdependências existentes entre variáveis e parâmetros de projetos de ETEs, o planejamento estratégico e o enfoque sistêmico. Desta forma, estes sistemas de apoio à decisão têm sido propostos sob várias formas e amplitudes, desde ferramentas a modelos matemáticos, cujos objetivos ousam ampliar o conhecimento da realidade por suas complexidades. Como exemplo, cumpre citar a ferramenta *Urban Water Use* – UWU (dos SANTOS e van der STEEN, 2011), a qual estruturada sobre princípios da gestão das águas urbanas, do planejamento estratégico e da abordagem sistêmica, assim como voltada para hierarquizar medidas de conservação da água e de promoção da salubridade ambiental.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é a apresentação conceitual da ferramenta de Apoio à Decisão para a Hierarquização de ETEs Sustentáveis (ADHES), que observa as dimensões social, ambiental e econômica da sustentabilidade.

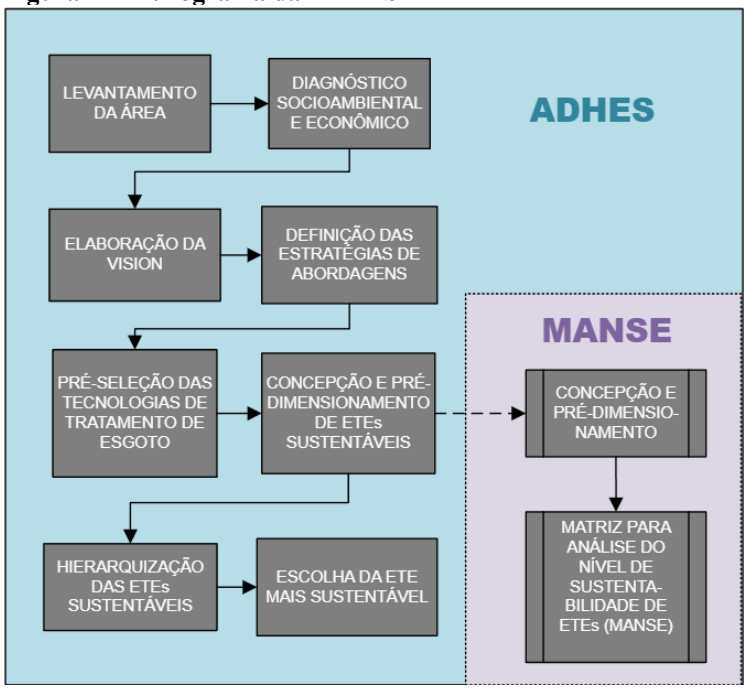
METODOLOGIA UTILIZADA

A ferramenta ADHES foi concebida sob o ambiente propiciado pelo contínuo aperfeiçoamento da supracitada UWU, conforme as atividades que têm sido desenvolvidas no Grupo de Pesquisa do CNPq intitulado Conservação e Salubridade Ambiental. Desta forma, a ADHES tem raízes nos ditames do planejamento estratégico e do enfoque sistêmico, conforme será abordado nas 02 fases a seguir que compõem esta ferramenta.

Estrutura da ADHES

A estrutura da ADHES foi elaborada em oito etapas, conforme o fluxograma que pode ser observado na Figura 1 e texto detalhado a seguir.

Figura 1 – Fluxograma da ADHES



Fonte: Os autores.

Tais etapas são discutidas a seguir.

1ª Etapa - Levantamento da área

Nesta primeira etapa ocorre o levantamento das principais informações da área de projeto em questão, estas estruturadas pelas dimensões da sustentabilidade e suas respectivas características, conforme segue:

- **Dimensão Social**: população atual, taxa de crescimento populacional, coberturas de sistemas de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem urbana, cobertura habitacional, indicadores de saúde pública etc.
- **Dimensão Ambiental**: compartimentos ar, água e solo, bacias hidrográficas, ecossistema urbano a partir de registros pertinentes à hidrografia, à vegetação, à ocupação do solo, ao clima, à qualidade e salubridade ambientais etc.
- **Dimensão Econômica**: renda per capita, setores de produção econômica, potenciais de produção econômica por setor, produção econômica anual por setor, desigualdade social, mecanismos de geração e de transferência de renda etc.

2ª Etapa - Diagnóstico socioambiental e econômico

Uma vez feito o levantamento da área, de acordo com as informações da primeira etapa, há a elaboração de diagnóstico para municiar a concepção. Será dado um destaque aos aspectos relevantes da realidade social, ambiental e econômica encontrada, no intuito de apontar fragilidades e potencialidades a serem consideradas na construção de caminhos rumo à sustentabilidade de um ecossistema urbano, mantendo uma visão integrada do uso urbano da água no saneamento.

3ª Etapa - Elaboração da Vision

Nesta etapa ocorre a escolha pública de indicadores sustentabilidade de acordo com os valores e percepção de todos os atores da comunidade sob foco. Portanto, nesta etapa são definidos os valores e pesos dos indicadores escolhidos, assim como será elaborada uma lista de indicadores sistêmicos e interdependentes entre si para expressarem a complexidade socioambiental e econômica que envolve o ato da tomada de decisão.

4ª Etapa - Definição das estratégias de abordagem

Consta da etapa na qual são definidas as estratégias de abordagem para a concepção das ETEs sustentáveis a partir dos princípios da Análise do Ciclo de Vida, das Soluções Baseadas na Natureza, do Saneamento Ecológico, da Conservação da Água, da Salubridade Ambiental, dentre outras filosofias.

5ª Etapa - Pré-seleção das tecnologias de tratamento de esgoto

A seleção prévia das tecnologias de tratamento de esgoto tecnicamente disponíveis, no intuito de excluir aquelas opções que não seriam aplicáveis a área de projeto de acordo com a *vison* e estratégias de abordagens definidas nas atividades anteriores, é realizada nesta etapa. Desta forma são verificados critérios tais como a área disponível, os custos de implantação e operação, aceitabilidade do processo etc.

6ª Etapa - Concepção e pré-dimensionamento das ETEs sustentáveis

Após a pré-seleção das tecnologias de tratamento, nesta etapa é conduzida a concepção e pré-dimensionamento das ETEs sustentáveis, cujos resultados devem ser expressos nos termos dos indicadores sistêmicos. Para tanto será elaborada uma matriz intitulada Matriz para Análise do Nível de Sustentabilidade de ETEs (MANSE), que está detalhada na sequência.

Matriz para Análise do Nível de Sustentabilidade de ETEs (MANSE)

A aplicação da MANSE está estruturada conforme as seguintes subetapas.

6.1ª Concepção e pré-dimensionamento da ETE

Dados de entrada

Os dados de entrada necessários para a concepção e pré-dimensionamento da ETE são os seguintes: população atual, taxa de crescimento populacional, alcance do projeto, consumo per capita de água potável, coeficiente de retorno, características dos mananciais, características dos corpos hídricos receptores, características qualitativas adotadas para o esgoto bruto (concentrações dos parâmetros DBO, fósforo (P), nitrogênio (N), coliforme termotolerantes (CTerm), dentre outras variáveis como pH, clima (T), etc.), características qualitativas previamente estimadas para o ponto de disposição final do esgoto bruto no corpo hídrico (concentrações no corpo hídrico dos parâmetros DBO, P, N, CTerm.

Estimativas iniciais

Igualmente se faz necessário, para as estimativas iniciais, obter as informações da área de projeto sobre a população total de final de plano (PT), contribuição per capita de esgoto bruto (qc), vazão final (média e máxima) de esgoto bruto, cargas dos parâmetros DBO, P, N e CT, eficiência mínima de remoção dos mesmos parâmetros de maneira a garantir o enquadramento do corpo hídrico etc.

Concepção da ETE

Requer a observação das seguintes informações para a concepção do sistema de esgotamento sanitário:

- Rede de coleta e transporte: lançamento otimizado conforme topografia;
- ETE: conexão ao emissário de esgoto bruto e localizada estrategicamente próxima à disposição final no corpo hídrico; e
- Disposição final: em uma posição na qual o enquadramento do corpo hídrico seja assegurado.

Concepção do Tratamento

Impõe-se observar as seguintes informações para a concepção do tratamento:

- Objetivos: remoção suficiente de poluentes no intuito de manter o corpo hídrico em seu enquadramento legal, gerar água de reuso para diversas finalidades, gerar energia, reduzir a emissão de gases de efeito estufa etc.;
- Configuração: etapas preliminares, primário, secundário e terciário (na fase líquida e gasosa) e para o tratamento do lodo (na fase sólida).

Pré-dimensionamento

Para a condução do pré-dimensionamento, deve ser observado:

- Parâmetros de entrada: parâmetros já apresentados;
- Pré-Dimensionamento: dimensionamento de parâmetros como volume, área, largura, comprimento, altura, relação de forma, tempo de detenção, dentre outros que são específicos conforme a natureza e as etapas de cada modalidade de tratamento de esgoto, taxa de escoamento superficial, taxa de filtração;
- Estimativas: eficiência de remoção dos parâmetros DBO, P, N e CTerm de maneira a garantir o enquadramento do corpo hídrico e a qualidade mínima necessária à água de reuso, DBO, P, N e CTerm da água de reuso, concentrações dos precursores da geração de energia, concentrações dos precursores dos gases de efeito estufa, volume de lodo etc. Estes parâmetros deverão ser estimados por equações específicas utilizadas em projetos.
- Verificações Técnicas: carga volumétrica, relações de forma, velocidade do escoamento etc.

6.2ª Matriz para análise do nível de sustentabilidade de ETEs (MANSE)

Nesta subetapa a MANSE considera as dimensões social, ambiental e econômica, a qual é aplicada para cada ETE concebida. Portanto, as aplicações da MANSE para as diversas ETEs possibilitam compará-las à luz do índice (IS) respectivo ao nível de sustentabilidade alcançado em cada uma das ETEs avaliadas. A princípio, conforme o grau de complexidade auferido ao estudo, o qual dependente do número de parâmetros e indicadores considerados, quanto maior o IS maior será o nível de sustentabilidade alcançado, escala esta que possibilitará a hierarquização das ETEs. Cumpre igualmente destacar que os parâmetros e indicadores são definidos pelos atores envolvidos em função de cada realidade sob estudo conforme as etapas Levantamento, Diagnóstico, Vision, Estratégias de Abordagem e Pré-Seleção de Tecnologias da ADHES. Sob o caráter ilustrativo, a Tabela 01 a seguir apresenta alguns parâmetros e indicadores.

Tabela 01: Ilustração de Parâmetros e Indicadores Aplicáveis à MANSE

Parâmetros	
Q: vazão; OD: oxigênio invalidado; T: turbidez; P: fósforo; N: nitrogênio; CTerm: coliformes termotolerantes; PGEN: precursor de geração de energia; PGEE: precursor de gases de efeito estufa; Vld: volume de lodo; ODm: oxigênio dissolvido; DBOm: Demanda Bioquímica de Oxigênio; Pm: fósforo; Nm: nitrogênio; PT: C/hab: custo por habitante; B/hab: Benefício por habitante; PT: População Total.	
Dimensões	**Indicadores**
Social	CSES: cobertura do sistema de esgotamento sanitário; ΔCSAA: incremento de cobertura do sistema de abastecimento de água; MI: mortalidade infantil; PAG: produção agrícola; DAR: demanda de água de reuso; DEN: demanda de energia; ISP: indicador de satisfação pública.
Ambiental	ODm: oxigênio dissolvido; DBOm: Demanda Bioquímica de Oxigênio; Pm: fósforo; Nm: nitrogênio; CTm: coliformes termotolerantes; GEN: geração de energia; SFE: substituição de fontes de energia.
Econômica	C: custo; B: benefício; C/B: relação custo-benefício; ICr: investimento cruzado; GR: geração de renda.

Notas: eb: esgoto bruto; et: esgoto tratado; ar: água de reúso; m: mistura no ponto de lançamento de esgoto no corpo hídrico receptor; Fonte: Os autores.

Conforme anteriormente introduzido, portanto, este trabalho objetiva apresentar conceitualmente a estrutura da ferramenta ADHES no intuito de apontar um procedimento científico e técnico que possibilite expressar magnitudes de níveis de sustentabilidade a serem alcançados por ETEs sustentáveis. Com este objetivo, o resultado da MANSE é apresentado pelo Índice de Sustentabilidade (IS) para cada ETE sob análise, este representando, em termos percentuais, a razão entre o número de indicadores nos quais se obteve sucesso e o número total de indicadores considerados no estudo. Um caso de sucesso, cabe destacar, ocorre quando o indicador estimado (IEST) atende o indicador de referência (IREF), estes anteriormente apresentados.

7ª Etapa - Hierarquização das ETEs sustentáveis

A partir dos resultados anteriores, ver adiante no item de RESULTADOS - APLICABILIDADE DA ADHES na Tabela 02: Índice de Sustentabilidade Concepção da ETE 1, promove-se a hierarquização das ETEs sustentáveis por meio de simulações e análises da MANSE em associação ao índice de sustentabilidade de cada ETE. Este índice será elaborado a partir indicador estimado (IEST) e do indicador de referência (IREF) gerados pela própria MANSE.

8ª Etapa - Escolha da ETE mais sustentável

Ao final da ADHES procede-se a escolha da ETE mais sustentável com base nos resultados gerados pelas tabelas MANSE, para as dimensões e indicadores escolhidos pelo grupo de atores ou partes interessadas.

RESULTADOS - APLICABILIDADE DA ADHES

Na sequência são apresentados resultados de um exercício hipotético cujo foco é a aplicação da MANSE. Dado o aludido caráter conceitual deste trabalho, tais resultados são apresentados sob uma linguagem simbólica que abriga siglas, algarismos e equações. Desta forma, enquanto espaço de convergência e síntese, é apresentada a seguir a Tabela 02 que demonstra esta aplicação conceitual da MANSE para uma determinada concepção de ETE (ETE 1).

Tabela 02: Índice de Sustentabilidade da ETE 1

Parâmetros	Indicadores								
	Dimensão Social				Dimensão Ambiental			Dimensão Econômica	
	Cses	ΔCsaa	MI	ODm	GEE	GEN	C	B	IC
Qe	*		*		*	*	*	*	*
ODe			*	*			*		
DBOe			*	*		*	*		
Qar		*		*			*	*	
ODar		*		*			*	*	
DBOar		*		*			*	*	
Tar		*					*	*	
CTar		*					*	*	
PGEE					*				
PGEN						*		*	
GR								*	
C/hab.							*	*	*
B/hab.								*	*
PT	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Equações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IEST	Cses Est. (1)	ΔCsaa Est. (1)	MI Est. (1)	ODm Est. (1)	GEE Est. (1)	GEN Est. (1)	C Est. (1)	B Est. (1)	IC Est. (1)
IREF	Cses Esp. (2)	ΔCsaa Esp. (2)	MI Esp. (2)	ODm Esp. (2)	GEE Esp. (2)	GEN Esp. (2)	C Esp. (2)	B Esp. (2)	IC Esp. (2)
Verificação	(1) >(2)	(1) <(2)	(1) <(2)	(1) >(2)	(1) >(2)	(1) <(2)	(1) >(2)	(1) >(2)	(1) <(2)
Caso de Sucesso (CS)	1	0	1	1	0	0	0	1	0
IS = (CS/Ni)	Índice de Sustentabilidade = 44,44% (4 casos de sucesso de 9 indicadores)								

Notas: * Indica relação funcional direta entre um parâmetro e um indicador; CS: caso de sucesso no qual o índice estimado atende o índice de referência; 0: não sucesso; 1: sucesso; IS: índice de sustentabilidade; Ni:

número total de indicadores considerado; Est. = estimado; Esp. = esperado. CSES: cobertura do sistema de esgotamento sanitário; ΔCSAA: incremento de cobertura do sistema de abastecimento de água; MI: mortalidade infantil; PAG: produção agrícola; DAR: demanda de água de reuso; DEN: demanda de energia; ISP: indicador de satisfação pública. ODm: oxigênio dissolvido; DBOm: Demanda Bioquímica de Oxigênio; Pm: fósforo; Nm: nitrogênio; CTm: coliformes termotolerantes; GEN: geração de energia; SFE: substituição de fontes de energia. C: custo; B: benefício; C/B: relação custo-benefício; IC: investimento cruzado; GR: geração de renda. Fonte: Os autores.

Como pode ser observado, para a ETE 1, obteve-se um IS de 44,44%. A MANSE deve ser então aplicada às demais ETEs pré-selecionadas a serem avaliadas de maneira a identificar aquela que obtém o maior IS. Todavia, é importante observar que o IS é uma indicação preliminar.

Destaca-se que para as equações de 1 a 9 (coluna de indicadores) constam apresentadas as respectivas relações funcionais diretas entre os parâmetros e indicadores selecionados. Estas relações estão sintetizadas na Tabela 03, com o intuito tanto de melhor esclarecê-las quanto de facilitar a identificação de possíveis interdependências entre os indicadores e as funcionalidades de cada ETE, interdependências estas que podem complementar a análise do IS.

Tabela 03: Relações entre os parâmetros e indicadores selecionados presentes nas equações

Equações	Relações entre parâmetros e indicadores selecionados	Interdependências
1	Cses f (Qe, ODe, DBOe, PT)	A Cses reduz a MI.
2	ΔCsaa f (Qar, ODar, DBOar, Tar, CTar, PT)	O reuso de água incrementa a Csaa.
3	MI f (Qe, ODe, DBOe, PT)	Saneamento é investimento nas pessoas.
4	ODm f (Qe, ODe, DBOe, Qar, ODar, DBOar, PT)	O reuso de água pode ser indireto.
5	GEE f (Qe, PGEE, PT)	Tecnologias que aproveitam a energia gerada podem reduzir o GEE.
6	GEN f (Qe, DBOe, PGEN, PT)	Sistemas anaeróbios geram energia.
7	C f (Qe, ODe, DBOe, Qar, ODar, DBOar, C/hab, PT)	Os custos podem ser considerados como investimentos por gerarem benefícios sociais e econômicos.
8	B f (Qe, Qar, ODar, DBOar, PGEN, GR, C/hab, B/hab, PT)	O reuso gera renda financeira.
9	ICr f (Qe, C/hab, B/hab, PT)	Aumentos da Cses e Csaa são investimentos na saúde pública.

Notas: f (): em função de; Cses: cobertura de sistema de esgotamento sanitário; Qe: vazão de esgoto; ODe: oxigênio dissolvido de esgoto; DBO: demanda biológica de oxigênio de esgoto; PT: população total; ΔCsaa: incremento da cobertura do sistema de abastecimento de água; Qar: vazão de água de reuso; ODar: oxigênio dissolvido de água de reuso; DBOar: demanda biológica de oxigênio de água de reuso; Tar: turbidez de água de reuso; CTar coliformes termotolerantes de água de reuso; MI: mortalidade infantil; GEE: gás de efeito estufa; GEN: geração de energia; PGEE: precursor de gases de efeito estufa; PGEN: precursor de geração de energia; C: custo; C/hab: custo por habitante; B: benefício; ICr: investimento cruzado; B/hab: benefício por habitante. Fonte: Os autores.

Fazem-se necessárias análises complementares como, por exemplo, aquelas respectivas as interdependências entre os indicadores e as funcionalidades da ETE. Ou seja, impõe-se a necessidade uma análise sistêmica que propicie identificar sinergias positivas e negativas que podem alterar a hierarquização proposta pelo IS. Esta análise pode ser verificada através do Índice de Complexibilidade (IC), ainda a ser desenvolvido. A escolha dos indicadores, ou até a quantidade deles, poderá apresentar um IS diferente para a mesma área de projeto, pois, há interrelações entre alguns parâmetros, o que irá refletir diretamente na complexidade da análise. Dependendo deste IC, para um determinado cenário fixo entre as análises, pode-se obter uma hierarquização diferente para as alternativas de tratamento.

CONCLUSÕES

A ADHES, com a respectiva MANSE, busca indicar a ETE mais sustentável a partir de algumas relações funcionais com indicadores que, em conjunto, propiciam uma avaliação mais sistêmica sobre as dimensões da sustentabilidade. A questão, portanto, não seria apenas identificar se a ETE é sustentável, mas, outrossim, prospectar sobre o quanto é sustentável diante de quadros de crescentes complexidades configuradas por dinâmicas e diversas demandas socioambientais e econômicas. O IS possibilita uma avaliação inicial o qual, no entanto, requer aprofundamentos como, por exemplo, a introdução de pesos aos indicadores que expressem a relevância dada pelos atores a cada indicador, a medição da complexidade que emerge de cada realidade estudada, a validação continuada da própria ADHES via comparação de seus resultados com outras ferramentas de apoio à decisão, dentre outras iniciativas de aprimoramento. E isto ocorre com a ADHES, isto é, consta de uma ferramenta sob contínuo aperfeiçoamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, K. G. C., AISSE, M. M., POSSETTI, G. R. C., COSTA, F. J. O. G., RIETOW, J. C. Análise de aspectos sociais inerentes ao gerenciamento de lodo e de biogás em uma estação de tratamento de esgoto empregando reator USAB. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. Vol. 14, n 1, p. 117 – 135, 2019.

2. BENETTI, A. B. Método para concepção de soluções de saneamento integrado para revalorização de áreas fragilizadas. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR, PPGERHA, 2015.

3. BITTENCOURT, S. AISSE, M. A., SERRAT, B. M. Gestão do Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: estudo de caso no Estado do Paraná, Brasil. *Eng Sanit Ambient* | v.22 n.6 | | 1129-1139, 2017.

4. BORATTO, D. C.; VON SPERLING, M. Análise e comparação técnica e econômica de alternativas de processamento de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários para uso em solos. *Revista DAE* | São Paulo | v. 71, n 240 / pp 06-22 | Abr a Jun, 2023.

5. BRASIL. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto – SNIS 2022. Ministério do Desenvolvimento Regional - SNIS, 2023;

6. BRESSANI-RIBEIRO, T. et al. Planning for achieving low carbon and integrated resources recovery from sewage treatment plants in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Management.* Volume 242, pages 465–473, 2019.

7. CASTANHEIRA, J. P. A., BAYDUM V. P. A. Percepção dos impactos socioambientais da estação de tratamento de esgotos (ETE) relatados pelos moradores do Residencial Olho d´Água, Jaboatão dos Guararapes, PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.08, n.03, (2015) 876-887. 2015.

8. CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e pós-tratamento aeróbio: subsídios para Estudos de Concepção. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v.26 n.2 (p. 251-262), 2021.

9. FREITAS, E. C. B. Seleção de tecnologias de tratamento de esgoto utilizando análise multicritério. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal. Goiânia, 2020.

10. IWASA, T. A., SANTOS, D. C., BENETTI, A. B. Elaboração de ferramenta de apoio à decisão para proposição de medidas sustentáveis de drenagem urbana. X Encontro Nacional das Águas. ABRH, São Paulo, set. 2014.

11. GUTIERREZ, K. G. Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida. Tese de doutorado. Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

12. LOBATO, M. B. Sistema de apoio à decisão para planejamento, implementação, e gestão de ações estruturais de sistemas convencional e único alternativo de esgotamento sanitário e drenagem urbana para municípios. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – PPGERHA, 2020.

13. NAKAMURA, C. H., *et al.*, Avaliação de alternativas para a destinação de efluentes sanitários tratados em cinco municípios do estado de São Paulo: ênfase no potencial de reúso de água. *32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES*. Belo Horizonte, 2023.

14. PHILIP, R. *Integrated Urban Water Management in the City of the Future*. *SWITCH. Freiburg*, Germany. 2011. In: BENETTI, A. B. Método para concepção de soluções de saneamento integrado para revalorização de áreas fragilizadas. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR, PPGERHA, 2015.

15. RIETOW, J. C., POSSETTI, G.R., CARNEIRO, C., GERVASONI, R., AISSE, M. M., NOYOLA, A. R. Aproveitamento do biogás produzido em reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo para a secagem térmica de lodos de estações de tratamento de esgoto. *Eng Sanit Ambient*. V.27 n.2, p. 347-356, 2022.

16. SANTOS, D. C. dos, van der STEEN, P., *Understanding the IUWM Principles: An Activity Based on Role Play Approach (for Facilitator and Specialists)*. UNESCO-IHE, Delft, 2011.

17. TRES, V., Estudo de viabilidade técnica-econômica, social e ambiental para seleção de tratamento de esgoto doméstico em áreas rurais. Dissertação de Mestrado, em Ciência e Tecnologia Ambiental do PPGCTA da UTFPR, 2021.