Encontro Técnico AESABESP
35º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

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

Autores: Rodrigo Pinheiro Pacheco, Prof. Dr. Daniel Costa dos Santos e Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse.

São Paulo
2024

Estrutura da Apresentação

1. INTRODUÇÃO
2. OBJETIVO
3. METODOLOGIA UTILIZADA
4. RESULTADOS – APLICABILIDADE DA ADHES
5. CONCLUSÕES
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INTRODUÇÃO

- PLANSAB: 93% até o ano de 2033 = demanda de implantar ETEs - 52,2% (SNIS, 2023);
- ETEs sustentáveis = qualidade no meio ambiente e melhora da saúde pública;
- A escolha das tecnologias de tratamento de esgoto é um processo complexo, pois envolvem diversas variáveis quantitativas e qualitativas (FREITAS, 2020);
- É importante considerar metodologias que se utilizem de SAD (análise multicriterial);
- Tecnologias >> geração de subprodutos - abordagens da Economia Circular, da ACV e da sustentabilidade;
- 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);

1. INTRODUÇÃO

- A secagem do lodo com o uso do biogás gerado para cogeração diminui os potenciais impactos ambientais (GUTIERREZ, 2014);
- Lodo utilizado como biofertilizante com a exposição térmica resulta na higienização do lodo (BITTENCOURT *et al.*, 2017);
- ETEs geram impactos socioambientais (AMARAL et al., 2019) como a geração e emissão de odores, além de ruídos atribuídos a ETE (CASTANHEIRA; BAYDUM; 2015 e AMARAL *et al.*, 2019);
- ***Sanitation Smart Cities*** = ação coordenada entre os setores que estão ligados ao ciclo urbano da água (PHILIP, 2011);
- As decisões devem ser tomadas com uma **análise integrada** dos setores, considerando os impactos a longo prazo nas bacias hidrográficas (BENETTI, 2015);
- Construção de SAD - visão integrada sobre a infraestrutura sanitária, através da prospecção de interdependências existentes entre variáveis e parâmetros de projetos de ETEs, o planejamento estratégico e o enfoque sistêmico;

2. OBJETIVOS

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.

3. METODOLOGIA ULTILIZADA

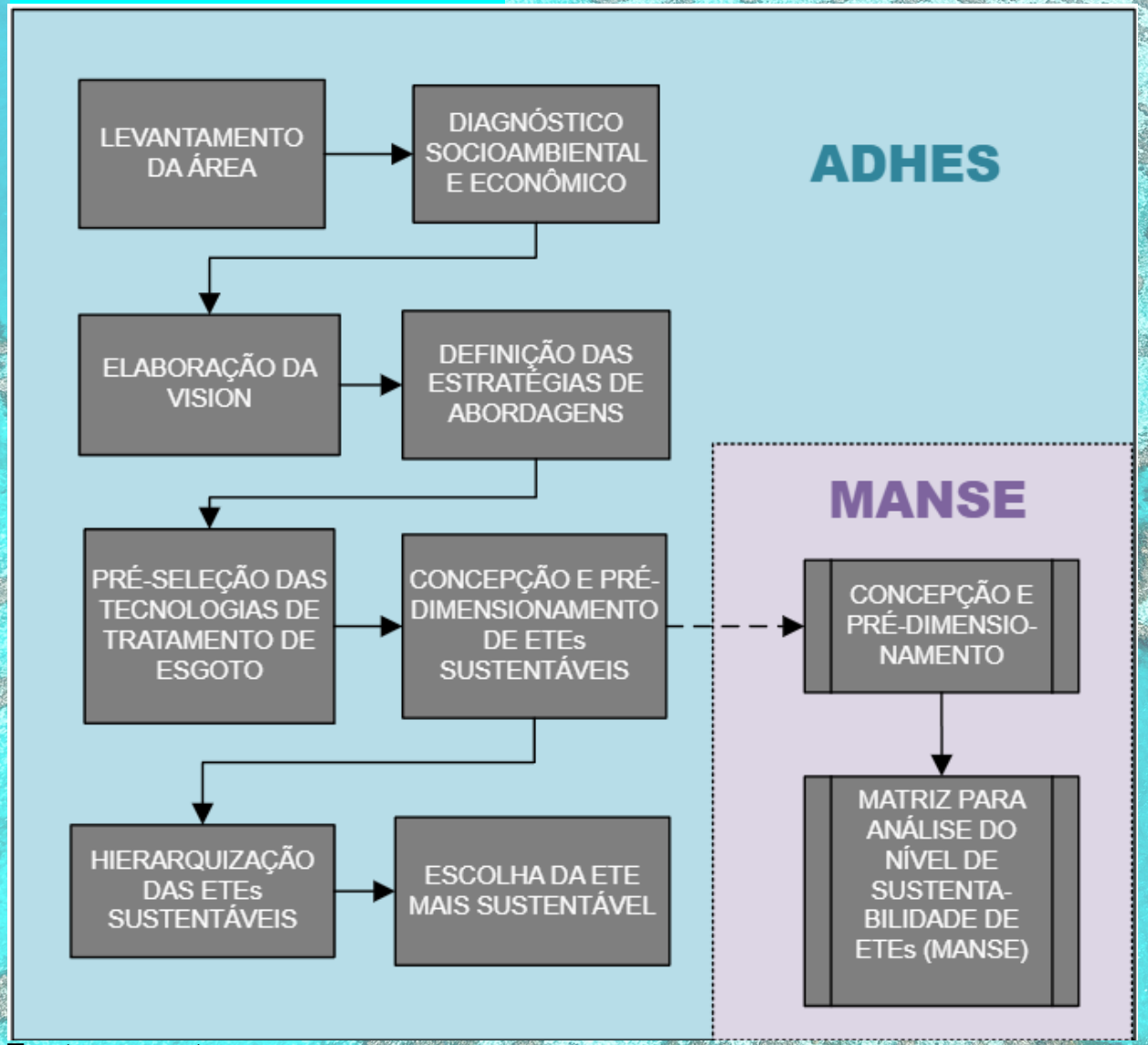
3.1 Introdução

Ferramenta >> ***Urban Water Use – UWU*** (dos SANTOS; 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.

Ferramenta >> **ADHES** está sendo 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**.

3. METODOLOGIA ULTILIZADA

3.2 Estrutura da ADHES



Fonte: os autores

3. METODOLOGIA ULTILIZADA

TABELA 3.1: Parâmetros e Indicadores Aplicáveis à MANSE

Parâmetros	
Q: vazão; **OD:** oxigênio dissolvido; **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; **DBO**: Demanda bioquímica de Oxigênio; **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; 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.

Fonte: os autores

4. RESULTADOS - APLICABILIDADE DA ADHES

TABELA 4.1: MANSE - Índice de Sustentabilidade da ETE 1 - Lodos ativados convencional

Parâmetros	Indicadores									
	Dimensão Social			Dimensão Ambiental				Dimensão Econômica		
	PAG	DAR	ISP	GEN	DBOm	Nm	Pm	C	B	ICr
Qe		x		x	x	x	x	x	x	
DBOe		x			x	x	x	x	x	
P		x			x	x	x			
N		x			x	x	x			
Qar		x						x	x	x
LD	x							x	x	x
DBOar		x								
PGEN				x				x	x	x
GR	x	x						x	x	x
C/hab.								x	x	x
B/hab.									x	x
PT			x	x	x	x	x	x	x	x
Equações	Eq. 1	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 5	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 8	Eq. 9	Eq. 10
IEST (1)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
IREF (2)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Verificação	(1) > (2)	(1) < (2)	(1) > (2)	(1) < (2)	(1) < (2)	(1) < (2)	(1) = (2)	(1) > (2)	(1) > (2)	(1) < (2)
Caso de Sucesso (CS)	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
IS = (CS/Ni)	**5 de 10 = 50,00%**									

Fonte: Pacheco (2024).

Notas: **x** indica relação funcional direta entre um parâmetro e um indicador; **CS:** caso de sucesso; **0:** não sucesso; **1:** sucesso; **IS:** índice de sustentabilidade; **Ni:** número total de indicadores considerado; **Est.** = estimado; **Esp.:** esperado; **PAG:** produção agrícola; **DAR:** demanda de água de reuso; **ISP:** indicador de satisfação pública; **GEN:** geração de energia; **DBO:** demanda bioquímica de oxigênio; **Nm:** nitrogênio; **Pm:** fósforo; **C:** custo; **B:** benefício; **ICr:** investimento cruzado; **GR:** geração de renda; **Qe:** vazão do efluente; **Qar:** vazão de água de reuso; **Vld:** volume de lodo desidratado; **PGEN:** percursor de geração de energia; **C/hab.:** custo por habitante; **B/hab.:** benefício por habitante; **PT:** população total;

4. RESULTADOS - APLICABILIDADE DA ADHES

TABELA 4.2: 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 bioquímica 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 bioquímica de oxigênio de água de reuso; **Tar:** turbidez de água de reuso; **CTar:** coliformes termotolerantes de água de reuso; **MI:** mortalidade infantil; **GEE:** geração 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

4. RESULTADOS - APLICABILIDADE DA ADHES

Índice de Complexibilidade (IC)

Interdependências entre os indicadores e as funcionalidades da ETE >> análise sistêmica que propicie identificar sinergias positivas e negativas que podem alterar a hierarquização proposta pelo Indice de Sustentabilidade (IS).

Índice de Complexibilidade (IC) >> 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.

5. 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 é prospectar sobre o quanto a ETE 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 requer aprofundamentos a validação continuada da própria ADHES via comparação de seus resultados com outras ferramentas de apoio à decisão.

Encontro Técnico AESABESP
35º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BENETTI, A. B. Método para concepção de soluções de saneamento integrado para revalorização de áreas fragilizadas. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR, PPGERHA, 2015.
- 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.
- 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.
- BRASIL. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto – SNIS 2022. Ministério do Desenvolvimento Regional - SNIS, 2023;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

Encontro Técnico AESABESP
35º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

Encontro Técnico AESABESP
35º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PACHECO, R. P.. Ferramenta de apoio à decisão para a hierarquização de estações de tratamento de esgoto sustentáveis (ADHES). Tese apresentado ao PPGERHA - UFPR, 2024.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

Encontro Técnico
AESABESP
35º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

Obrigado!

Contato:
rppacheco@gmail.com

