

De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



UMA REVISÃO SISTEMÁTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NO SANEAMENTO BÁSICO

MARCOS EDUARDO BRAZ - marcos.braz@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE- rosane.battistelle@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ÁREA: 10. EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SUBÁREA: 10.1 ESTUDO DA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

RESUMO: A IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NO SETOR DE SANEAMENTO BÁSICO É UM TEMA DE RELEVÂNCIA CRESCENTE, ESPECIALMENTE EM FACE DOS DESAFIOS AMBIENTAIS E SOCIAIS CONTEMPORÂNEOS. ESTE PROJETO VISA IDENTIFICAR AS PRINCIPAIS BARREIRAS E OPORTUNIDADES ASSOCIADAS À ADOÇÃO DE TAIS PRÁTICAS, PROPONDO UMA ANÁLISE DETALHADA DO CONTEXTO ATUAL. A PESQUISA PARTE DA PREMISSE DE QUE, EMBORA EXISTAM OBSTÁCULOS SIGNIFICATIVOS, HÁ TAMBÉM OPORTUNIDADES PROMISSORAS QUE PODEM SER EXPLORADAS PARA PROMOVER A SUSTENTABILIDADE. DENTRE AS PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS, DESTACA-SE O INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUE SEJAM MENOS INTENSIVAS EM ENERGIA, CONTRIBUINDO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL. ALÉM DISSO, A ADOÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS BASEADOS EM IOT (INTERNET DAS COISAS) É ESSENCIAL PARA OTIMIZAR O USO DA ÁGUA E DETECTAR VAZAMENTOS DE FORMA MAIS EFICAZ, MELHORANDO A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. A REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, GUIADA PELO PROTOCOLO PRISMA 2020 (PREFERRED REPORTING ITEMS FOR SYSTEMATIC REVIEWS AND META-ANALYSES), FOI UTILIZADA PARA EXAMINAR OS INDICADORES DE VIABILIDADE DAS PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS NO SETOR.

PALAVRAS-CHAVES: SANEAMENTO BÁSICO; BARREIRAS E OPORTUNIDADES; SUSTENTABILIDADE; PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS.

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade no setor de saneamento básico é uma questão premente que exige atenção global, assim como a crescente urbanização e a demanda por serviços de saneamento colocam uma pressão significativa sobre os recursos naturais e infraestruturas existentes. De acordo com uma revisão sistemática conduzida por diversos estudos (Silva e Oliveira, 2021), a implementação de práticas sustentáveis no saneamento básico enfrenta tanto barreiras quanto oportunidades que devem ser exploradas para promover a sustentabilidade ambiental e social. As barreiras incluem desafios institucionais, financeiros e técnicos. Por exemplo, a falta de investimento adequado e a capacidade limitada de gestão são problemas recorrentes, especialmente em áreas urbanas de rápido crescimento e em países em desenvolvimento (Silva e Oliveira, 2021). Além disso, sistemas de saneamento obsoletos e a desigualdade no acesso aos serviços de saneamento exacerbam esses desafios (Souza e Andrade, 2022). A resistência cultural e a falta de conscientização sobre a importância da sustentabilidade também são obstáculos significativos que dificultam a implementação de novas práticas (Silva e Oliveira, 2021).

No entanto, oportunidades também emergem, como a recuperação de recursos e o desenvolvimento de sistemas de saneamento mais resilientes e adaptáveis às mudanças climáticas e às necessidades locais (Pereira e Costa, 2020). Por exemplo, a reutilização de águas residuais tratadas para irrigação agrícola e a geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos são práticas que podem ser implementadas para promover a sustentabilidade. Além disso, a integração de tecnologias inovadoras, como sensores inteligentes para monitoramento de redes de esgoto, pode melhorar a eficiência e a gestão dos sistemas de saneamento (Pereira e Costa, 2020). A implementação dessas oportunidades requer um esforço colaborativo entre governos, instituições de financiamento, comunidades locais e o setor privado. A promoção de uma abordagem de saneamento sustentável, que inclua a recuperação de recursos e o uso de tecnologias inovadoras, pode não apenas melhorar a saúde pública, mas também contribuir para o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (Silva e Oliveira, 2021; Souza e Andrade, 2022).

Outro aspecto importante é a capacitação e o treinamento de profissionais para a gestão de sistemas de saneamento sustentável. Investir em educação e formação técnica pode fortalecer a capacidade institucional e promover uma mudança cultural em direção a práticas mais sustentáveis (Silva e Oliveira, 2021). Além disso, políticas públicas que incentivem a

inovação e ofereçam subsídios para projetos sustentáveis podem acelerar a adoção de novas tecnologias e práticas no setor (Souza e Andrade, 2022).

Portanto, este artigo visa analisar as barreiras e oportunidades na implementação de práticas sustentáveis no setor de saneamento básico, com foco em identificar estratégias que possam ser adotadas para superar os desafios e aproveitar as oportunidades para um futuro mais sustentável, analisados nos artigos da revisão. A importância dos estudos já realizados é inegável, pois fornecem uma base sólida de conhecimento e exemplos práticos de sucesso e fracasso. No entanto, ainda existem lacunas significativas a serem exploradas, como o desenvolvimento de modelos de financiamento inovadores, a adaptação de tecnologias às realidades locais e a integração de abordagens participativas na gestão dos sistemas de saneamento. Ao abordar esses aspectos, espera-se contribuir para a criação de um sistema de saneamento que seja não apenas eficiente e eficaz, mas também alinhado com os princípios de sustentabilidade ambiental e justiça social.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Existência de Indicadores no Setor de Saneamento

A análise teórica sobre a sustentabilidade no setor de saneamento básico abrange três aspectos principais: existência de indicadores no setor, oportunidades e barreiras para práticas sustentáveis, e agentes externos que podem contribuir para práticas de sustentabilidade. Com base no conteúdo dos artigos analisados, esta revisão explora esses tópicos em profundidade, citando exemplos específicos. Existência de indicadores no setor de saneamento são ferramentas essenciais para monitorar e avaliar a eficácia das políticas e práticas de saneamento básico. O estudo de Cunha e Borja (2018) destaca que os investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) na Bahia priorizaram ações estruturais, como água e esgoto, em detrimento de ações estruturantes essenciais para a sustentabilidade das melhorias. Embora tenha havido investimentos significativos, o impacto na universalização dos serviços foi limitado, sugerindo a necessidade de indicadores mais abrangentes que capturem a sustentabilidade a longo prazo. Além disso, pode-se demonstrar a utilização de mapas mentais automatizados para a análise de patentes, indicando alternativas tecnológicas relevantes para o setor (Vanderlei et al. 2021). Esta técnica facilita a descoberta de conhecimento e a tomada de decisões estratégicas, promovendo inovações e práticas sustentáveis no saneamento. Outro aspecto relevante é a análise de Clemens e Douglas (2012) que investiga a relação entre investimentos em abastecimento de água potável, saneamento,

saúde pública e desenvolvimento econômico em países em desenvolvimento. O estudo indica que investimentos integrados nessas áreas são fundamentais para gerar benefícios econômicos significativos, mas ressalta a necessidade de indicadores específicos para avaliar o impacto econômico e social dessas iniciativas.

2.2 Oportunidades e Barreiras para Práticas Sustentáveis

As oportunidades para práticas sustentáveis no saneamento básico são amplas, mas enfrentam barreiras significativas. Cortez et al. (2022) investigam como os biodigestores podem impulsionar a economia circular no Brasil, promovendo a reutilização de recursos e a geração de energia renovável. No entanto, a falta de incentivo governamental e outras fraquezas estruturais representam barreiras consideráveis para a implementação desta tecnologia. O estudo de Rossio e Seo (2020) enfatiza a importância do envolvimento ativo das comunidades locais em projetos de abastecimento de água potável e saneamento em áreas rurais da Colômbia. As abordagens participativas melhoram a adaptação tecnológica às condições locais e fortalecem a sustentabilidade dos sistemas. No entanto, barreiras institucionais, sociais, financeiras e políticas limitam sua aplicação. Adicionalmente, o artigo de Geraldo et al. (2017) explora a produção de geopolímeros sustentáveis usando lodo de tratamento de água e cinza de casca de arroz. A pesquisa conclui que é possível produzir materiais de construção sustentáveis com benefícios ambientais significativos, mas aponta para a necessidade de mais estudos e incentivos para a adoção dessas práticas na construção civil.

2.3 Agentes Externos que Contribuem para Práticas de Sustentabilidade

Os agentes externos, como políticas públicas, organizações não governamentais (ONGs) e iniciativas privadas, desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade no saneamento básico. O artigo de Clemens e Douglas (2012) mostra que investimentos em água e saneamento, combinados com melhorias na saúde pública, promovem benefícios econômicos significativos. Abordagens integradas são essenciais para o desenvolvimento sustentável, embora a pesquisa tenha sido concentrada em um único país e organização, limitando a generalização dos resultados. Muanda et al. (2020) examinam as práticas de saneamento dos residentes de assentamentos informais na Província do Cabo Ocidental, África do Sul. A política de Saneamento Básico Gratuito (FBSan) fornece instalações, mas muitos residentes não as utilizam devido a problemas de manutenção e inadequação às necessidades socioculturais. Abordagens mais integradas e sensíveis ao contexto são necessárias para garantir a sustentabilidade dos serviços de saneamento.

O artigo de Turrén-Cruz et al. (2019) também destaca a importância da participação das comunidades no sucesso das iniciativas de saneamento. Utilizando o Community Capitals Framework (CCF), o estudo demonstra que a participação comunitária é crucial para garantir a aceitação e a apropriação das tecnologias implementadas, promovendo a eficácia e a sustentabilidade dos serviços de saneamento. Outro exemplo é o estudo de Salisbury et al. (2018), que utiliza a análise de decisão com múltiplos critérios (MCDA) para a seleção de sistemas de saneamento em municípios sul-africanos. Esta abordagem considera dimensões econômicas, ambientais, socioculturais e tecnológicas, promovendo uma compreensão abrangente das preferências e preocupações dos stakeholders. A MCDA contribui para a eficácia e sustentabilidade dos sistemas de saneamento implementados.

3. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo do estudo, foi escolhida a revisão sistemática de literatura, pois permite uma visão abrangente e atualizada sobre o tema, além de identificar tendências e lacunas na literatura. Foram seguidas as recomendações e os passos metodológicos sugeridos pelo protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)(Page et al., 2021).

A Figura 1 apresenta o esquema de extração de dados do estudo. A busca foi realizada em junho de 2023 nas bases de dados Scopus e Web of Science. As palavras-chave utilizadas foram "Basic Sanitation" AND "Sustainability"; "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation"; "Circular Economy" AND "Basic Sanitation"; "Sustainability Indicators" AND "Sanitation"; "Water Resource Management" AND "Sustainability"; "Sustainable Development" AND "Sanitation"; "Barriers" AND "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation"; "Opportunities" AND "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation"; "Public Health" AND "Basic Sanitation" AND "Sustainability". Inicialmente, foram encontrados 389 documentos, dos quais apenas os artigos foram considerados para a pesquisa, excluindo-se artigos de conferência, revisões de literatura, livros, capítulos de livros e editoriais, e baseando nos critérios de triagem e elegibilidade, chegou a 159 documentos e após a leitura com as restrições nos filtros para selecionar áreas de engenharia recursos hídricos e sustentabilidade, foram excluídos 126 artigos resultando em 25 documentos. Foram identificadas 2 pesquisas duplicadas e 7 bloqueados, aos quais foram excluídos, restando 16 para análise e extração de dados. E na figura 2 a apresentação do fluxograma de extração de dados do estudo.

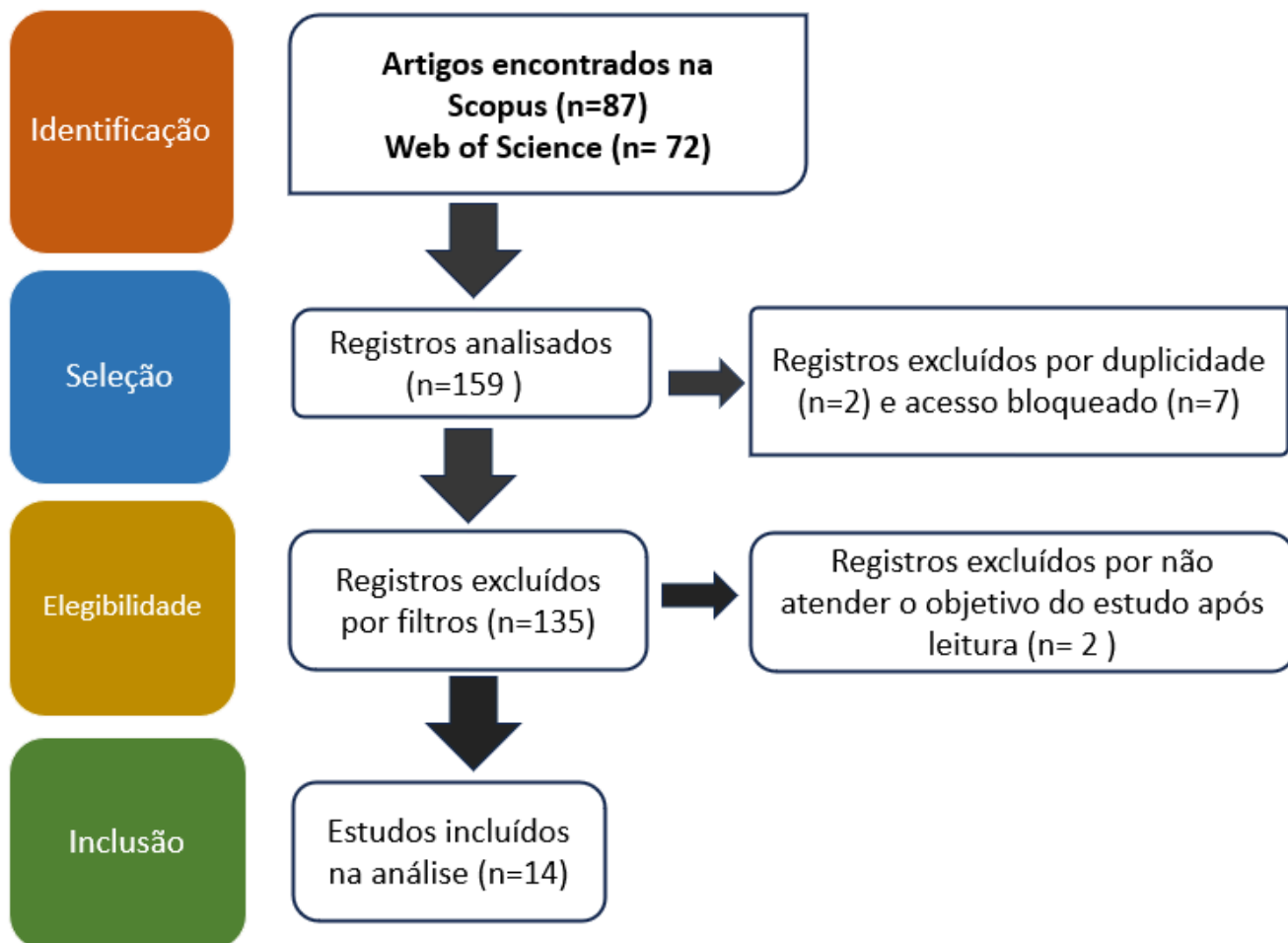
Figura 1 – Resumo da pesquisa

Base de Dados	Busca	Total	Restrições	Resultados	Período
Keywords	("Basic Sanitation" AND "Sustainability") ("Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation")("Circular Economy" AND "Basic Sanitation")("Sustainability Indicators" AND "Sanitation")("Water Resource Management" AND "Sustainability")("Sustainable Development" AND "Sanitation")("Barriers" AND "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation")("Opportunities" AND "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation")("Public Health" AND "Basic Sanitation" AND "Sustainability")	Documentos Encontrados	Engenharia e Artigos e Recursos hídricos e sustentatbilidade	SOMA	De Até
Scopus	("Basic Sanitation" AND "Sustainability")	81	75 excluídos - 1 bloqueado	Artigos =6	1998 2024
	("Public Health" AND "Basic Sanitation" AND "Sustainability"))	6	5 Excluídos		
	Resultados Encontrados	TOTAL= 87	TOTAL= 81		
Web of Science	("Basic Sanitation" AND "Sustainability")	55	36 excluídos e 5 Bloqueados	Artigos =10	2006 2024
	("Public Health" AND "Basic Sanitation" AND "Sustainability")	3	2 duplicatas		
	("Opportunities" AND "Sustainable Practices" AND "Basic Sanitation")	14	13 excluídos e 1 Bloqueado		
	Resultados Encontrados	TOTAL= 72	TOTAL= 54		
Total de Artigos Analisados				16	

Fonte: Autor 2024

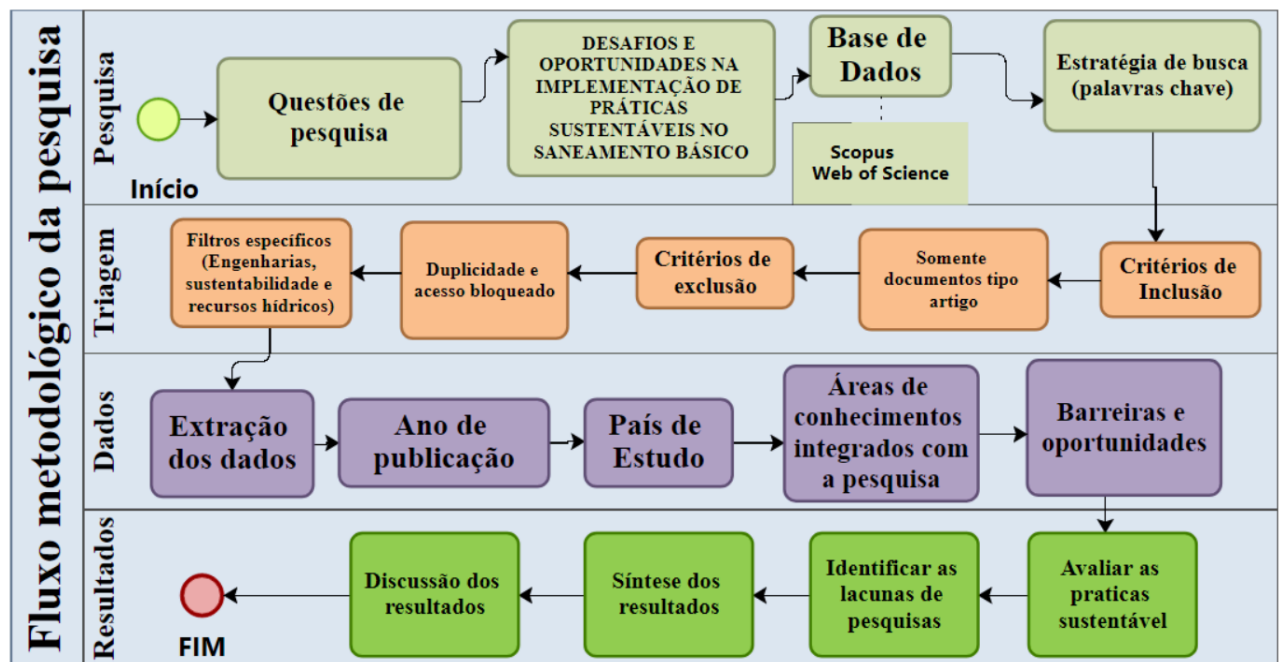
Após a leitura dos 16 artigos, 2 foram considerados fora do contexto ou com baixa relevância com o tema da pesquisa. Exemplificado com o fluxograma abaixo na figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de extração de dados do estudo



Fonte: Autor 2024, diretrizes PRISMA 2020(Page et al., 2021)

Figura 3 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Autor 2024

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Evolução temporal e distribuição geográfica dos estudos

A amostra de 14 artigos abrange um período temporal de 2012 a 2024. A análise temporal revela uma parábola nos artigos, indicando uma pequena tendência de crescimento seguida por um declínio, com um pico de publicações em 2020. Este resultado sugere lacunas nas áreas de conhecimento voltadas para o desenvolvimento da qualidade de vida, respeito ao meio ambiente e promoção da sustentabilidade no saneamento básico. Para abordar essas questões, é crucial focar nos quatro pilares fundamentais: tratamento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem da água da chuva, gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana. Esses tópicos são de grande relevância na literatura de engenharia, pois promovem ideias sustentáveis. Em termos de distribuição geográfica, os estudos abrangem 7 países, com o Brasil liderando com 7 artigos. A África do Sul ocupa a segunda posição com 2 artigos, seguida por Colômbia, Guatemala, México, Quênia e Uganda, cada um com uma publicação.

Apesar da importância do tema, a análise revela que a pesquisa sobre sustentabilidade no saneamento básico ainda é subexplorada nas bases de dados Scopus e Web of Science, indicando a necessidade de mais estudos nesta área. Além disso, a inclusão de inovações

tecnológicas, políticas públicas eficazes e a participação comunitária são aspectos que podem enriquecer futuras pesquisas e práticas, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e inclusivo na gestão do saneamento básico. As tabelas 1 e 2 apresentam o quantitativo de publicações por ano e por região (país), respectivamente.

Tabela 1- Publicações por país

Países ▾	Número de Artigos
África do Sul	2
Brasil	7
Colombia	1
Guatemala	1
México	1
Quênia	1
Uganda	1
Total Geral	14

Fonte: Autor 2024

Tabela 2- Publicações por ano

QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES POR ANO	
2024 ▾	1 ▾
2023	1
2022	2
2021	2
2020	3
2019	1
2018	2
2017	1
2012	1

Fonte: Autor 2024

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão dos artigos revela que, embora existam diversas iniciativas e oportunidades para promover a sustentabilidade no setor de saneamento básico, ainda há barreiras significativas que precisam ser superadas. Indicadores eficazes, políticas públicas integradas e o envolvimento ativo das comunidades locais são cruciais para alcançar a sustentabilidade. A contribuição de agentes externos, como ONGs e iniciativas privadas, também é vital para enfrentar os desafios e implementar soluções inovadoras e sustentáveis. Para avançar na sustentabilidade do saneamento básico, é essencial adotar uma abordagem holística que incorpore inovações tecnológicas, incentivos governamentais e participação comunitária. Apenas através de um esforço coordenado e colaborativo será possível alcançar melhorias significativas na qualidade de vida, respeito ao meio ambiente e promoção da sustentabilidade no saneamento básico.

Para alcançar uma gestão sustentável eficaz, é essencial considerar três aspectos principais: a existência de indicadores no setor, as oportunidades e barreiras para práticas sustentáveis, e os agentes externos que podem contribuir para essas práticas. Primeiramente, a implementação de indicadores eficazes é crucial para monitorar e avaliar a eficácia das políticas e práticas de saneamento. Estes indicadores devem ser abrangentes e capturar a sustentabilidade a longo prazo, permitindo a tomada de decisões informadas e estratégicas. Em segundo lugar, as oportunidades para práticas sustentáveis no saneamento básico devem ser amplamente exploradas. Apesar das barreiras significativas, como a falta de incentivos governamentais e desafios institucionais, a reutilização de recursos, a geração de energia renovável e a participação ativa das comunidades locais são práticas promissoras que podem ser implementadas com sucesso e superar essas barreiras requer esforços concentrados e a criação de políticas que incentivam práticas sustentáveis.

Ao notar a contribuição de agentes externos, incluindo políticas públicas, ONGs e iniciativas privadas, é fundamental para a promoção da sustentabilidade no setor. Abordagens integradas e sensíveis ao contexto são necessárias para garantir a eficácia e a sustentabilidade dos serviços de saneamento. A colaboração entre governo, empresas, academia e sociedade é essencial para desenvolver e implementar soluções inovadoras e sustentáveis. Portanto, a integração efetiva desses três aspectos - indicadores eficazes, exploração de oportunidades e mitigação de barreiras, e a contribuição de agentes externos - é vital para promover um saneamento básico sustentável. Apenas através de um esforço coordenado e colaborativo será

possível construir um futuro mais sustentável, com melhorias significativas na qualidade de vida e respeito ao meio ambiente. A adoção de uma abordagem holística, que engloba inovações tecnológicas, incentivos governamentais e participação comunitária, é o caminho para alcançar a sustentabilidade no setor de saneamento básico.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Eliomar Viana et al. Environmental fragility and risks to water sustainability in the extreme south of Bahia, Brazil: implications for the provision of basic sanitation services. **Sustainable Water Resources Management**, v. 10, n. 2, p. 59, 2024.

CORTEZ, Suzy C. et al. How Can Biodigesters Help Drive the Circular Economy? An Analysis Based on the SWOT Matrix and Case Studies. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7972, 2022.

CLEMENS, Bruce; DOUGLAS, Thomas J. To What Degree Can Potable Water Foster International Economic Development and Sustainability? What Role Does Health Play?. **Organization Management Journal**, v. 9, n. 2, p. 83-89, 2012.

CUNHA, Mateus Almeida; BORJA, Patrícia Campos. Growth acceleration program in the state of Bahia and its contribution to face the basic sanitation universalization challenges. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 173-185, 2018.

DE ANDRADE, Matheus Vinicius Vidal; GALHARDO, Cristiane Xavier. Biorremediação dos efluentes do Rio São Francisco em Petrolina-PE: perspectivas de tratamento. **Journal on Innovation and Sustainability RISUS**, v. 12, n. 1, p. 70-82, 2021.

GERALDO, Rodrigo H.; FERNANDES, Luiz FR; CAMARINI, Gladis. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymers production. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 146-155, 2017.

LEITE, Carlos Henrique Pereira; MOITA NETO, José Machado; BEZERRA, Ana Keuly Luz. New legal framework for basic sanitation: changes and perspectives. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 1041-1047, 2022.

MUANDA, Christophe; GOLDIN, Jacqueline; HALDENWANG, Rainer. Factors and impacts of informal settlements residents' sanitation practices on access and sustainability of sanitation services in the policy context of Free Basic Sanitation. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 10, n. 2, p. 238-248, 2020.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 **statement: an updated guideline for reporting systematic** reviews. *BMJ*, 372, n71.

Pereira, F. S., & Costa, L. G. (2020). "Recuperação de Recursos e Sustentabilidade no Saneamento." **Anuário de Engenharia Ambiental**, 25(4), 302-317.

ROSSIO, Coronel Picon Yulieth; SEO, Yongwon. Participatory approaches in the planning of drinking water supply and basic sanitation projects in the rural areas of Colombia. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 24, n. 4, p. 1374-1382, 2020.

SALISBURY, Frances et al. Multiple criteria decision analysis for sanitation selection in South African municipalities. **Water SA**, v. 44, n. 3, p. 448-458, 2018.

Silva, J. P., & Oliveira, A. L. (2021). "Desafios e Oportunidades na Gestão Sustentável do Saneamento Básico." **Revista de Saneamento e Sustentabilidade**, 18(3), 201-215.

Souza, R. M., & Andrade, T. M. (2022). "Desigualdade no Acesso ao Saneamento Básico: Impactos Sociais e Ambientais." **Jornal de Estudos Urbanos**, 7(2), 85-99.

SNYDER, Jedidiah S. et al. The sustainability and scalability of private sector sanitation delivery in urban informal settlement schools: A mixed methods follow up of a randomized trial in Nairobi, Kenya. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 15, p. 5298, 2020.

TURRÉN-CRUZ, Thalía; GARCÍA-RODRÍGUEZ, Juan Alejandro; LÓPEZ ZAVALA, Miguel Ángel. Evaluation of sanitation strategies and initiatives implemented in Mexico from community capitals point of view. **Water**, v. 11, n. 2, p. 295, 2019.

VANDERLEI, Celso Arruda et al. Patent analysis by automated mind maps: Contribution to sustainability in a water and sewage sanitation company. **Sustainable Operations and Computers**, v. 2, p. 246-253, 2021.

VICARIO, Elizabeth F. et al. Do Sanitation Marketing Activities Increase Households' Likelihoods of Reaching Improved Sanitation or Involving Women in Decision Making?. **Environmental Science & Technology**, v. 57, n. 44, p. 16851-16861, 2023.