

# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

### V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

### II Jornada Internacional de Comunicação Científica

#### INICIATIVAS DE REAPROVEITAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

#### SEWAGE REUSE INITIATIVES IN BRAZIL

#### INICIATIVAS DE REAPROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN BRASIL

Camila da Silva Serra Comineti <sup>1</sup>

Madalena Maria Schlindwein <sup>2</sup>

Nicolle Lopes Valadares <sup>3</sup>

**Área Temática:** Economia Ambiental - Q53 - Poluição do Ar, Poluição da Água, Ruído, Resíduos Perigosos, Resíduos Sólidos, Reciclagem.

**Resumo:** A dificuldade em alcançar o saneamento para todos e as limitações do tratamento convencional têm impulsionado o reaproveitamento de resíduos de esgoto. Assim, esta pesquisa teve como objetivo identificar iniciativas brasileiras para o reaproveitamento de resíduos de esgoto. A coleta de dados envolveu revisão da literatura, análise documental e dados dos painéis do SIPEAGRO e dos produtores de biometano. Os resultados revelaram 175 iniciativas distribuídas por todo o país, principalmente direcionadas para a agricultura (146), seguidas por materiais de construção (20), reuso de água (7) e biogás/biocombustível (2). A distribuição geográfica evidenciou uma concentração no Sudeste, com presença significativa também no Sul e Nordeste do país. Alguns municípios diversificaram o uso dos resíduos de esgoto, indicando potencial para uma utilização abrangente dos recursos. Os desafios incluem questões de transparência de dados, sugerindo uma subestimação das iniciativas que utilizam resíduos de esgoto.

**Palavras-chave:** Resíduos de esgoto; Economia circular; Reciclagem; Saneamento de esgoto; Bioeconomia.

**Abstract:** The difficulty in achieving sanitation for all and the limitations of conventional treatment have driven the reuse of these waste products. Thus, this research aimed to identify Brazilian initiatives for sewage waste reuse. Data collection involved literature review, documentary analysis, and data from SIPEAGRO panels and biogas/biofuel producers. The results revealed 175 initiatives distributed throughout the country, mainly directed towards agriculture (146), followed by construction materials (20), water reuse (7), and biogas/biofuel (2). The geographical distribution showed a concentration in the Southeast, with significant presence also in the South and Northeast regions of the country. Some municipalities have diversified the use of sewage waste, indicating potential for comprehensive resource utilization. Challenges include data transparency issues, suggesting an underestimation of sewage waste utilization initiatives.

**Key-words:** Sewage waste; Circular economy; Recycling; Sewage sanitation; Bioeconomy.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Brasil; ORCID: 0000-0003-0873-6998; adm.camilaserra@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD); Brasil; ORCID: 0000-0002-4387-9786; madalenaschlindwein@ufgd.edu.br.

<sup>3</sup> Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD); Brasil; ORCID: 0000-0001-6715-8505; nicolle.valadares050@academico.ufgd.edu.br.



# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

*V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics*

*II Jornada Internacional de Comunicação Científica*

**Resumen:** La dificultad para lograr saneamiento para todos y las limitaciones del tratamiento convencional han impulsado la reutilización de estos residuos. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo identificar iniciativas brasileñas para la reutilización de residuos de aguas residuales. La recolección de datos involucró revisión de literatura, análisis documental y datos de los paneles de SIPEAGRO y de los productores de biometano. Los resultados revelaron 175 iniciativas distribuidas en todo el país, principalmente dirigidas a la agricultura (146), seguidas por materiales de construcción (20), reutilización de agua (7) y biogás/biocombustible (2). La distribución geográfica mostró una concentración en el Sudeste, con una presencia significativa también en el Sur y el Noreste del país. Algunos municipios han diversificado el uso de los residuos de aguas residuales, lo que indica un potencial para una utilización integral de los recursos. Los desafíos incluyen problemas de transparencia de datos, lo que sugiere una subestimación de las iniciativas de utilización de residuos de aguas residuales.

**Palabras-clave:** Aguas residuales; Economía circular; Reciclaje; Saneamiento de aguas residuales; Bioeconomía.

### Introdução.

A falta de saneamento de esgoto é um problema global que afeta bilhões de pessoas, comprometendo a saúde pública e o meio ambiente. Estima-se que cerca de 2,3 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços básicos de saneamento, e mais de 600 milhões praticam a defecação a céu aberto. Essa situação leva à proliferação de doenças transmitidas pela água, como diarreia, cólera e hepatite, resultando em milhares de mortes evitáveis a cada ano, especialmente entre crianças (WHO/UNICEF, 2021).

O reconhecimento da importância do saneamento foi reforçado com a criação dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) em 2015. O ODS 6 visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos até 2030. Esse objetivo inclui metas específicas para melhorar a qualidade da água, reduzir a poluição, eliminar a defecação a céu aberto e aumentar o tratamento seguro e o reaproveitamento de resíduos de esgoto (ONU, 2024).

No Brasil, a questão do saneamento tem sido um desafio histórico. Em 2007, foi estabelecida a Lei n.º 11.445, que instituiu diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo a gestão de esgoto. Em 2020, o novo marco legal do saneamento (Lei n.º 14.026) foi sancionado, buscando universalizar e qualificar a prestação dos serviços de saneamento. Esse marco legal prevê a universalização do acesso ao saneamento básico até 2033, com metas ambiciosas para o tratamento de esgoto e abastecimento de água (Brasil, 2020a).

No entanto, a gestão de esgoto enfrenta várias limitações. A infraestrutura inadequada, a falta de investimentos, a gestão ineficaz e a desigualdade regional dificultam a expansão e a manutenção dos serviços de saneamento (Cominetti et al., 2024). Em muitas áreas rurais e periféricas, o esgoto ainda é lançado diretamente em corpos d'água sem qualquer tratamento, contaminando os recursos hídricos, prejudicando a biodiversidade e a qualidade de vida das pessoas (Marathe, et al. 2017; Herbig, 2019; Lam, et al. 2023).

Por outro lado, a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de esgoto oferece uma oportunidade significativa. Tecnologias orientadas para recursos permitem o tratamento e a reutilização de águas residuais para irrigação agrícola e até mesmo consumo humano, após o tratamento adequado (Souza, et al. 2023). Além disso, os resíduos sólidos do esgoto podem ser transformados em biogás,



# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

biometano, biocombustíveis, que podem ser utilizados como fonte de energia renovável, e em biofertilizantes, bioplásticos, materiais de construção, entre outros, contribuindo para a economia circular (Gherghel, Teodosiu e Gisi, 2019). Essas iniciativas de reaproveitamento são acompanhadas de avanços tecnológicos e oferecem caminhos promissores para enfrentar os desafios do saneamento, melhorar a saúde pública, da preservação dos recursos naturais e avançar em direção à sustentabilidade ambiental (Comineti et al., 2024).

No Brasil, o reaproveitamento de resíduos de esgoto é uma realidade. Em 2017, 170 municípios utilizavam o lodo de esgoto tratado na agricultura (IBGE, 2020). Porém, foi a partir de 2020 que o país regulamentou as regras sobre as exigências e tolerâncias de biofertilizantes utilizados na agricultura, estabelecendo padrões para garantir a segurança e a bioatividade desses produtos (Brasil, 2020b). Outro resíduo proveniente do esgoto com potencial de ser reaproveitado é o metano, que pode ser usado no transporte e na geração de energia. O uso do biometano foi regulamentado no Brasil em 2022, para fins de comercialização (Brasil, 2022). Essas regulamentações visam assegurar que os resíduos tratados possam ser utilizados de forma segura e benéfica, promovendo o reaproveitamento responsável dos resíduos de esgoto e contribuindo para a sustentabilidade global das operações de tratamento.

Em suma, considerando os desafios do avanço da gestão do saneamento de esgoto e as possibilidades legais de uso de resíduos, esta pesquisa teve o objetivo de identificar iniciativas brasileiras de reaproveitamento de resíduos de esgoto. Ao documentar essas práticas, são apresentadas percepções valiosas para formuladores de políticas, gestores públicos e privados, além de incentivos ao desenvolvimento e à adoção de tecnologias inovadoras. A pesquisa contribui para o cumprimento do ODS 6 e fornece a outros países um modelo de práticas bem-sucedidas de reaproveitamento de resíduos de esgoto.

### Procedimentos Adotados.

A pesquisa foi realizada no período de janeiro de 2023 a maio de 2024. A primeira etapa consistiu na coleta e análise de dados por meio de uma revisão da literatura nas bases de dados Scopus e Google Acadêmico. Utilizando a combinação de termos "*initiatives*", "*sewage reuse*", "*agriculture*", "*Brazilian*" e "*Brazil*", foram identificados 37 artigos relevantes. Na segunda etapa, foram analisados documentos como relatórios, comunicados e notícias de empresas de saneamento e prefeituras dos 170 municípios brasileiros que destinaram o lodo para uso na agricultura, IBGE (2020), além dos municípios identificados nos 37 estudos acadêmicos da revisão da literatura. A terceira etapa envolveu a coleta de dados nos painéis da área de fertilizantes, inoculantes e corretivos (SIPEAGRO) (Brasil, 2024a) e nos painéis de produtores de biometano (Brasil, 2024b).

### Resultados e discussão.

Na primeira etapa, foram identificadas 37 pesquisas acadêmicas que realizaram experimentos com o reaproveitamento de resíduos de esgoto no Brasil, com foco principalmente na higienização dos resíduos e na produtividade agrícola. Dessas pesquisas, seis concluíram que os empreendimentos de lógica circular geraram economia, tanto de recursos quanto financeira, comprovando os benefícios do processo cíclico e indicando o crescente interesse pela temática.



# XVI ECOPAR

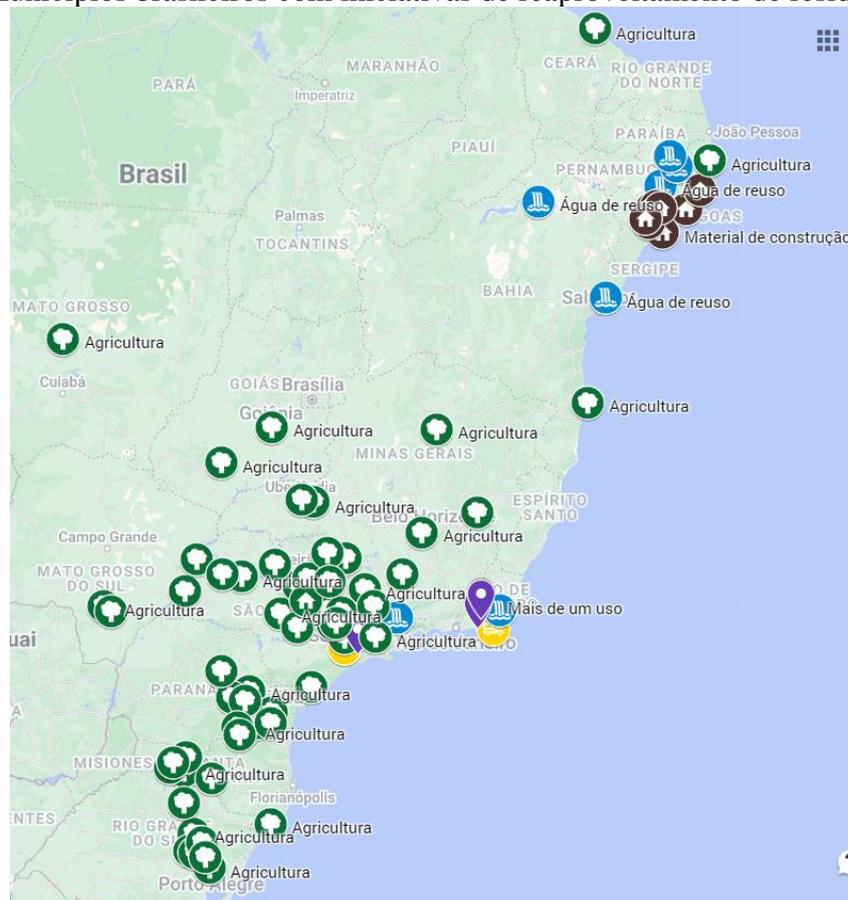
## Encontro de Economia Paranaense

### V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

### II Jornada Internacional de Comunicação Científica

A segunda e terceira etapa de coleta e análise de dados revelou um total de 175 ações distribuídas em diversos municípios brasileiros (Figura 1). Estas iniciativas foram categorizadas em quatro áreas de aplicação: água de reuso, agricultura, material de construção e biogás/biocombustível. Entre as 175 iniciativas, a maioria (146) foi direcionada para a agricultura, seguida por 20 iniciativas para material de construção, 7 para água de reuso e 2 para biogás/biocombustível.

Figura 1 – Municípios brasileiros com iniciativas de reaproveitamento de resíduos de esgoto



Fonte: elaboração própria (2024)<sup>4</sup>.

Este predomínio de iniciativas agrícolas (Figura 1) destaca dois aspectos importantes: primeiro, que o uso de resíduos de esgoto como insumo para a agricultura é o trajeto mais explorado, coerente com o observado na literatura (Robles, et al. 2020), com grande potencial para tornar as práticas agrícolas e de saneamento mais sustentáveis; e segundo, a relevância de criar políticas que regulamentem e controlem o uso desses resíduos para assegurar a transparência das ações deste tipo de empreendimento, garantindo a segurança da saúde e do meio ambiente.

A transparência da base de dados SIPEAGRO permitiu a identificação de 73% das iniciativas. No entanto, 12 iniciativas agrícolas em uso não estavam cadastradas no SIPEAGRO. Por exemplo, na

<sup>4</sup> A interação com os dados pode ser realizada no <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1cHH1AceMCD2TC-YA1E3fataEE0o7RtQ&usp=sharing>.

# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

*V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics*

*II Jornada Internacional de Comunicação Científica*

análise documental, uma das empresas de saneamento informou que destina o lodo das ETEs para 52 municípios, mas nos documentos só menciona o nome de 7 deles, que foram aqui contabilizados. A distribuição geográfica das iniciativas de reaproveitamento de resíduos de esgoto revelou que 95 municípios brasileiros participaram desse processo com diversas finalidades. A análise regional mostra uma concentração significativa no Sudeste, com municípios como Uberlândia (MG), que lidera com 17 iniciativas para agricultura, e São Paulo (SP), onde várias cidades, incluindo Coroados e Jacupiranga, somam múltiplas iniciativas. No Sul, destaca-se Montenegro (RS) com 7 iniciativas para agricultura e Fazenda Vilanova (RS) com 5. O Nordeste também apresenta um número considerável de ações, especialmente em Alagoas, com municípios como Arapiraca e Junqueiro aplicando os resíduos na agricultura e material de construção. O Centro-Oeste e o Norte, embora menos representados, contribuem com exemplos como Goiânia (GO) e cidades menores focadas principalmente na agricultura. Esta distribuição revela um padrão de maior concentração de iniciativas nas regiões Sudeste e Sul, com uma presença significativa também no Nordeste (Figura 1).

Adicionalmente, quatro municípios foram identificados por direcionarem os resíduos de esgoto para mais de um uso, exemplificando uma abordagem mais integrada e eficiente na gestão de resíduos. Araruama (RJ), Saquarema (RJ) e Silva Jardim (RJ) utilizam os resíduos tanto na agricultura quanto na produção de material de construção, enquanto Mauá (SP) combina água de reuso com agricultura. Essa diversificação de usos indica uma flexibilidade na aplicação dos resíduos, permitindo um aproveitamento mais completo dos recursos disponíveis e maximizando os benefícios ambientais e econômicos dessas iniciativas.

Considerando o destino dessas iniciativas, as águas de reuso são destinadas para a lavagem das ETEs, limpeza de ruas e irrigações paisagísticas. No setor agrícola, o uso dos resíduos de esgoto é variado, incluindo aplicações diretas, produção de biochar, mantas, biofertilizantes, condicionadores de solo e substratos para plantas. Na construção civil, os resíduos são utilizados para a fabricação de tijolos artesanais, tijolos ecológicos e cerâmicas, majoritariamente produzidos no estado do Alagoas.

As iniciativas de biogás e biocombustível são regulamentadas pela ANP. No entanto, as iniciativas aqui identificadas não estão regulamentadas na ANP. Baseado nos experimentos identificados na literatura, estima-se que o uso interno de biogás pelas ETEs seja mais expressivo do que as iniciativas aqui identificadas. Em relação às usinas de produção de biometano, a partir de resíduos de ETEs e aterros, nenhuma delas é direcionada para resíduos de ETE, sendo 5 direcionadas para aterros sanitários. As usinas produtoras de biometano já existentes empregam resíduos sólidos urbanos provenientes de aterros sanitários como matéria-prima. Esses aterros recebem das ETEs 48% de todo o lodo tratado e 37% de lodo não tratado (IBGE, 2020). Embora essa seja uma solução de reaproveitamento dos resíduos de esgoto, ainda é questionável se trata de uma solução sustentável para o esgoto do ponto de vista ambiental, social e econômico.

A presente análise pode estar subdimensionada devido à dificuldade na coleta de dados. De acordo com o IBGE (2020), 119 cidades do estado do Paraná utilizam o lodo tratado como insumo para agricultura, porém, apenas 12 municípios foram identificados, pois não há informações disponíveis nos documentos divulgados pelas prefeituras ou em portais de transparência. Assim, é possível que a quantidade de iniciativas utilizando o lodo de esgoto seja significativamente maior do que a mapeada aqui.



# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

### Considerações Finais.

Conforme proposto, foram identificadas 175 iniciativas de reaproveitamento de resíduos de esgoto em 95 municípios brasileiros. Identificou-se 73% dessas iniciativas devido à regulamentação de biofertilizantes em 2020, o que sugere a garantia da qualidade e segurança das pessoas e do meio ambiente. No entanto, identificou-se que uma das principais limitações no controle dessas iniciativas: a falta de integração de dados entre diferentes plataformas.

Com base nos dados desta pesquisa, conclui-se que é necessário obrigar as empresas de saneamento a relatar anualmente, de forma precisa, o destino do esgoto e dos efluentes tratados ou não nas ETEs. A alimentação de dados pode ser realizada na plataforma do SNIS, onde essas empresas já fornecem anualmente seus dados operacionais e financeiros.

Essa medida desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade e segurança das pessoas e do meio ambiente, seguindo o exemplo das regulamentações já existentes, como as de biofertilizantes e biometano. Além disso, promove o desenvolvimento de práticas mais inovadoras e sustentáveis no reaproveitamento de resíduos de esgoto. Tanto a implementação quanto o acompanhamento dessas práticas são essenciais para o cumprimento das metas de desenvolvimento sustentável, os ODS.

Para futuras pesquisas, sugere-se investigar as rotas de comercialização e os impactos específicos dessas iniciativas em termos de sustentabilidade, eficiência econômica e benefícios ambientais.

### Agradecimentos.

Agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

### Referências

BRASIL. (2020a). **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento [...].

BRASIL. (2020b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 61, de 08 de julho de 2020**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura.

BRASIL. (2022). Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis. **Resolução ANP Nº 886, de 29 de setembro de 2022**. Estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais [...].

Brasil.

BRASIL (2024a). Ministério da Agricultura e Pecuária. **Painel da área de Fertilizantes, Inoculantes e Corretivos (SIPEAGRO)**. Acesso em: 27 de maio de 2024. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Fertilizantes/Fertilizantes.html>.

BRASIL (2024b). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Painel dinâmico - produtores de biometano**. Acesso em maio de 2024. Disponível em:



# XVI ECOPAR

## Encontro de Economia Paranaense

V International Meeting on Economic Theory and Applied Economics

II Jornada Internacional de Comunicação Científica

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiM2MwZWQ0ZjAtYTRjNy00MWUyLThiYzgtYjI4Y2JmMjA3YzNhIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkyMyJ9.>

Cominetti, C.S.S.; Schlindwein, M.M.; Hoeckel, P.H.O.; **Socio-environmental externalities of sewage waste management.** Science of the Total Environment. No prelo.

Marathe, N.P.; Pal, C.; Gaikwad, S.S.; Jonsson, V.; Kristiansson, E.; Larsson, D.G.J. 2017. **Untreated urban waste contaminates Indian river sediments with resistance genes to last resort antibiotics.** Water Research, November 1: 388-397. doi:10.1016/j.watres.2017.07.060.

IBGE. (2020). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2017.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=publicacoes>.

Herbig, F.J.W. 2019. **Talking dirty - effluent and sewage irreverence in South Africa: A conservation crime perspective.** Cogent Social Sciences, December 10. doi:10.1080/23311886.2019.1701359.

Lam, K.-L.; Lam, Y.-H.; Ng, A.Y.-S.; So, K.K.-Y.; Tam, N.F.-Y.; Lee, F.W.-F.; Mo, W.-Y. 2023. **The Impact of Anthropogenic Pollution on Tidal Water Quality in Mangrove Wetlands.** J. Mar. Sci. Eng. Special Issue Coastal Environments: Recent Advances in Conservation and Sustainable Development, 11(12), 2374, Published: 16 December 2023. doi:10.3390/jmse11122374.

ONU. 2024. NAÇÕES UNIDAS Brasil. **Objetivos do desenvolvimento sustentável.** Acesso em: 10 junho de 24. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

Robles, Á.; Aguado, D.; Barat, R.; Borrás, L.; Bouzas, A.; Giménez, J. B.; Martí, N.; Ribes, J.; Ruano, M.V.; Serralta, J.; Ferrer, J.; Seco, A. 2020. **New frontiers from removal to recycling of nitrogen and phosphorus from wastewater in the Circular Economy.** Bioresource Technology, March. doi:10.1016/j.biortech.2019.122673.

Souza, H.H.S.; Lima, P.M.; Medeiros, D.L.; Vieira, J.; Magalhães Filho, F.J.C.; Paulo, P.L.; Fullana-i-Palmer, P.; Boncz, M.A. 2023. **Environmental assessment of on-site source-separated wastewater treatment and reuse systems for resource recovery in a sustainable sanitation view.** Science of The Total Environment, October 15. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.165122.

WHO/UNICEF. 2021. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: Five years into the SDGs.** World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), Geneva.

