UNIVERSIDADE POSITIVO

MARLENE ALVES DE CAMPOS SACHET

DIRETRIZES PARA A MINIMIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR DE SANEAMENTO À LUZ DA ECONOMIA CIRCULAR

Curitiba

2024

MARLENE ALVES DE CAMPOS SACHET

DIRETRIZES PARA A MINIMIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SETOR DE SANEAMENTO À LUZ DA ECONOMIA CIRCULAR

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo.

Orientadora: Prof.ª Dra. Cíntia Mara Ribas de Oliveira

Linha de pesquisa: Avaliação e modelagem (descrição de processos) socioambientais

Projeto associado: Desenvolvimento e aplicação de processos de avaliação, monitoramento e gerenciamento ambiental

Curitiba

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central – Universidade Positivo

S121 Sachet, Marlene Alves de Campos.
Diretrizes para minimização de emissões de gases de efeito estufa no setor de saneamento à luz da economia circular / Marlene Alves de Campos Sachet. — Curitiba : Universidade Positivo, 2024.
195 f. ; il.; color.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental – Universidade Positivo, 2024.
Orientador(a): Prof. Dr. Cíntia Mara Ribas de Oliveira.

1. Gestão ambiental. 2. Índice de desempenho circular. 3. Gases de efeito estufa. 4. Tecnologias eficientes. 5. Diretrizes circulares. 6. Esgoto. I. Oliveira, Cíntia Mara Ribas de. II. Título.

CDU 551.588.7

Nota
Esta tese foi desenvolvida sob a orientação da Profa. Dra. Patrícia Bilotta, de março de 2019 a julho de 2020 e, em virtude de seu desligamento do quadro funcional da Universidade Positivo, assumiu como orientadora, a partir de julho de 2020, a Profa. Dra. Cíntia Mara Ribas de Oliveira.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental da Universidade Positivo.

Dedico esta tese aos meus amados filhos, Amanda de Campos Sachet e Giordano Bruno Campos Sachet, e ao meu esposo, Eudo Luis Sachet, que partiram, mas continuam a viver em meu coração. A força e o amor que me deram, mesmo na ausência, foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Esta conquista é uma homenagem a vocês.

AGRADECIMENTOS

Uma conquista nunca é solitária; ela sempre se deve a mais de uma pessoa e a fatos que contribuem para o sucesso. Assim foi a construção deste trabalho. Confesso que não foi uma trajetória fácil, e tenho certeza de que, sem as valiosas contribuições de tantas pessoas, eu não teria conseguido. Seja nas orientações, na revisão de literatura ou nas trocas de conhecimento e incentivos, tudo fez a diferença. Este agradecimento reflete, portanto, a pura verdade.

Agradeço a minha mãe Amendorina e minha irmã Marilene, pelo carinho, compreensão pelas ausências.

Agradeço a Francisco meu fiel escudeiro por estar sempre ao meu lado.

Meu eterno reconhecimento à minha orientadora, professora doutora Cíntia Mara Ribas de Oliveira, por acreditar em mim, pela paciência e por me encorajar a não sucumbir. Suas palavras, “Tenha fé, tudo vai dar certo”, me deram a força necessária para continuar.

Expresso minha gratidão aos colegas da empresa de saneamento do Paraná engenheiro Gustavo Rafael Collere Possetti e engenheiro Edgard Faust Filho, pela liberação dos dados essenciais para meus estudos.

Muito obrigada à engenheira ambiental Mariana de Souza Espindola, pelas orientações técnicas dispensadas.

A todos os professores e colaboradores do PPGAMB, sou grata pelos ensinamentos e pela agradável convivência.

Agradeço também a todos que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para a realização deste trabalho.

Em especial, sou grata a Deus, pela minha vida, por estar sempre comigo e por nunca me abandonar neste plano terreno.

RESUMO

O aumento da temperatura, causado pela liberação de gases, principalmente o gás metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o dióxido de carbono (CO_2), tem sido uma preocupação para a sociedade. No setor de saneamento, o gerenciamento eficiente dos gases de efeito estufa (GEE) oriundos do tratamento de esgoto representa um desafio que exige avanços para sua mitigação. Neste contexto, a formulação de diretrizes voltadas à redução das emissões de GEE pode estimular a adoção de práticas mais sustentáveis no setor. O objetivo deste trabalho é identificar práticas de economia circular no tratamento de esgoto que possam contribuir como diretrizes para a redução de emissões de GEE no setor de saneamento. A pesquisa se alinha à Agenda 2030, principalmente aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) 6, 9 e 13. A metodologia envolveu revisão da literatura do cenário atual de tecnologias em tratamento de esgoto no Brasil e em outros países, com base em levantamento nas plataformas *Science Direct, Scielo, Scopus* e *Web of Science*, de artigos publicados entre 1993 e 2024. Foram analisados dados sobre emissões de de CO_2, CH_4 e N_2O em cada fase do processo (preliminar, primária, secundária e terciária) em estações de tratamento de esgoto anaeróbio (ETE). A fase secundária de uma ETE produz os maiores valores em metano e óxido nitroso. Para o CO_2, a fase primária se mostrou mais propensa à produção. A análise demonstrou que o clima exerce influência sobre a produção de GEE e que altas temperaturas aumentam a geração de gás metano. O tipo de tecnologia e a idade do empreendimento também foram identificados como fatores que interferem na produção desses gases. Com base nos dados de literatura, desenvolveu-se um índice de desempenho circular (IDC) para analisar tecnologias de ETEs e identificar combinações que minimizem as emissões de GEE. Valores mais elevados de IDC diagnosticam ETEs com menor potencial de emissões de GEE. Os resultados sugerem que as tecnologias compostas por lodo ativado *A2O* (*Activated sludge and anaerobic / anoxic / aerobic)* com espessante do lodo; *A2O (Activated sludge and anaerobic / anoxic / aerobic)* e *Upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) apresentaram menores emissões de GEE, com IDC de 256,50%/tonCO_2e, 193,89%/tonCO_2e e 166,74%/tonCO_2e, respectivamente. Tais tecnologias são mais eficientes em termos de emissão de GEE em comparação a alternativas analisadas. Entre as principais economicidades passíveis de serem recomendadas como diretrizes ao setor, à luz da economia circular, para minimização

de emissões de GEE estão o aproveitamento do lodo de esgoto para a produção de biogás; água de reuso e destinação de lodo como fertilizante. Entre as diretrizes elencadas, o uso do IDC criado pode se configurar como uma boa prática para a definição de tecnologias de menor geração de GEE e para apoiar condicionantes na liberação de licenças pelos órgãos ambientais do setor nacional e internacional. As diretrizes apontam para a necessidade de desenvolvimento de marcos legais, diálogo entre órgãos reguladores e a sociedade para que haja uma atuação integrada e alinhada ao ambiente da circularidade. Por fim, proporcionam ferramentas para a melhoria da gestão nas ETEs, com o direcionamento da mudança gradativa quanto à geração de rejeitos, para adoção de práticas que envolvam melhor reaproveitamento, e resíduos das ETEs passam a ser considerados como recursos na implantação de processos circulares, possibilitando a conservação do meio ambiente e gerando valor.

Palavras-chave: Índice de Desempenho Circular. Gases de Efeito Estufa. Tecnologias eficientes. Diretrizes Circulares. Esgoto.

ABSTRACT

The progressive rise in global temperatures, primarily driven by the release of greenhouse gases (GHGs) such as methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and carbon dioxide (CO_2), has become a growing concern for society. In the sanitation sector, the efficient management of GHG emissions from wastewater treatment processes remains a significant challenge, requiring advances in mitigation strategies. In this context, the development of guidelines for reducing GHG emissions can encourage the adoption of more sustainable practices in the sector. This study aims to identify circular economy practices in wastewater treatment that contribute to reducing GHG emissions in the sanitation sector. The research is aligned with the 2030 Agenda, to contribute to the sustainable development goals (SDGs) 6, 9 and 13. The methodology involved a literature review of the current scenario on wastewater treatment technologies in Brazil and other countries, utilizing the ScienceDirect, SciELO, Scopus, and Web of Science databases to identify articles published between 1993 and 2023. Data were collected on GHG emissions from each stage of the treatment process (preliminary, primary, secondary, and tertiary) in anaerobic sewage treatment plants (STPs), focusing on CO_2, CH_4, and N_2O emissions. The findings indicate that the secondary phase of an STP generates the highest emissions of CH_4 and N_2O, while the primary phase is the most significant source of CO_2. Additionally, the analysis demonstrated that climatic conditions influence GHG emissions, with higher temperatures promoting CH_4 production. The type of treatment technology and the age of the facility were also identified as factors affecting GHG emissions. Based on the literature review, a Performance Index for Circularity (PI) was developed to assess STP technologies and identify combinations that minimize GHG emissions. Higher PI values indicate STPs with lower GHG emissions potential. The results suggest that treatment technologies incorporating activated sludge A2O (*Activated sludge and anaerobic / anoxic / aerobic*) with sludge thickening, A2O without sludge thickening, and Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors exhibited the lowest GHG emissions, with PI values of 256.50%/tonCO_2e, 193.89%/tonCO_2e, and 166.74%/tonCO_2e, respectively. These findings indicate that these technologies are more efficient concerning GHG mitigation compared to other alternatives analyzed. Among the key economic and environmental advantages identified as sector guidelines under the circular economy framework to minimize GHG emissions are the

utilization of sewage sludge for biogas production, water reuse, and sludge application as fertilizer. Additionally, the PI developed in this study can serve as a valuable tool for selecting low-emission treatment technologies and informing regulatory decisions for environmental licensing at national and international levels. The study highlights the need for the development of legal frameworks and enhanced dialogue between regulatory agencies and society to foster an integrated approach to circularity in wastewater management. Ultimately, the study's most significant contribution is to provide tools for improving STP management, promoting a transition from waste disposal to resource recovery, where waste streams are reintegrated into circular processes, thereby contributing to environmental conservation and value generation.

Keywords: Circular Performance Index. Greenhouse Gas. Efficient Technologies. Circular Guidelines. Sewage Treatment.