

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA SANITÁRIA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA SANITÁRIA 2



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Amanda Costa da Kelly Veiga
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia sanitária 2 /
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-537-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.379211310>

1. Engenharia sanitária. I. Paniagua, Cleiseano
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Sanitária 2” é constituído por vinte e cinco capítulos de livros que foram devidamente selecionados por membros que integram o corpo editorial da Atena Editora. Diante disso, este e-book foi dividido em quatro unidades temáticas de grande relevância.

A primeira é constituída por sete capítulos que tratam da importância de se monitorar os parâmetros físico-químicos e biológicos da água destinada ao abastecimento público, provenientes de águas superficiais ou subterrâneas (poço artesiano). Por ser um recurso natural e cada vez mais escasso em termos de padrões de potabilidade, faz-se necessário a adoção de uma consciência coletiva que leve a redução do consumo *per capita* a nível mundial.

Os capítulos de 8 a 15 apresentam estudos que reforçam a importância de se investigar alternativas a fim de se estabelecer melhores condições de confinamento, destinação final e desaguamento do lodo gerado na ETA. Além disso, é apresentada a importância de melhorar e empregar técnicas de tratamento de efluente hospitalar e provenientes de instituições de ensino.

A terceira temática apresenta trabalhos que tratam da importância do conhecimento sobre resíduos na formação de futuros profissionais da biologia. Outro estudo apresenta a importância e o devido reconhecimento que os catadores de recicláveis representam para a sociedade e que contribuem para a política reversa de materiais recicláveis. Já outros trabalhos, procuram avaliar o uso de lodo de ETA e de rejeitos da mineração como matéria-prima a ser incorporada em substituição aos extraídos da natureza. Por fim, é apresentado um trabalho que validou uma metodologia QuEChERS-CLAE/FL na determinação do antibiótico Tetraciclina em cama de aviários.

O último tema é composto por quatro trabalhos que reportam a utilização de biomassa tanto para remoção de cor de águas residuárias, quanto como matéria-prima para a produção de bioetanol. Além disso, apresenta um trabalho que traz uma discussão em voga em relação aos possíveis riscos associados à utilização de agrotóxicos e por último um trabalho que trata do desenvolvimento de estratégias de *designs* para o reuso de espaços urbanos abertos para o público como espaços de acesso ao público.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil e com contribuições provenientes de pesquisadores de Portugal e da Itália, a Atena Editora publica e disponibiliza de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas instituições de ensino do Brasil e de outros países. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS AO SISTEMA LAGUNAR DE ITAIPU-PIRATININGA

Flávia Cipriano Dutra do Valle

Wilson Thadeu Valle Machado

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113101>

CAPÍTULO 2..... 12

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PINHAL - RS

Ronaldo Sartoretto

Samuel Lunardi

Marcelle Martins

Dienifer Stahlhöfer

Willian Fernando de Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113102>

CAPÍTULO 3..... 23

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Madalena Teixeira Soares

Manuel Santos da Costa

Mariano Carvalho de Souza

Marijara Serique de Almeida Tavares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113103>

CAPÍTULO 4..... 36

OS INDICADORES AMBIENTAIS: MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Yasmin Rodrigues Gomes

Lilian Levin Medeiros Ferreira da Gama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113104>

CAPÍTULO 5..... 44

COMPARATIVO FINANCEIRO DO CONSUMO DE ÁGUA EM ESCOLAS NAS MICRORREGIÕES SERGIPANAS

Zacarias Caetano Vieira

Carlos Gomes da Silva Júnior

Rayana de Almeida Novais

Paulo Cicero de Jesus Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113105>

CAPÍTULO 6..... 55

DIMENSIONAMENTO DE BARRAGEM PARA O ABASTECIMENTO DE SÃO MATEUS-ES

Aloísio José Bueno Cotta
Renato Pereira de Andrade
Honerio Coutinho de Jesus
Paloma Francisca Pancieri de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113106>

CAPÍTULO 7..... 66

PROPOSTAS DE MELHORIAS NO SISTEMA CAPTAÇÃO, TRATAMENTO, ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NA ÁREA URBANA E RURAL NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO, MG

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113107>

CAPÍTULO 8..... 79

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO CENÁRIO BRASILEIRO

Lucas Rodrigues Bellotti
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113108>

CAPÍTULO 9..... 87

DESAGUAMENTO DE LODOS DE ETAs: EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM EMPREGO DE LEITO DE DRENAGEM

Antonio Osmar Fontana
João Sergio Cordeiro
Cali Laguna Achon
Marcelo Melo Barroso
Renan Felício dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113109>

CAPÍTULO 10..... 104

A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM LEITOS DE DRENAGEM

Renan Felício dos Reis
Cali Laguna Achon
João Sergio Cordeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131010>

CAPÍTULO 11..... 122

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO – ETA SANTA BÁRBARA (RS)

Daniele Martin Sampaio
Carlos Vinícius Caetano Gonçalves

Laone Hellwig Neitzel
Karen Gularte Peres Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131011>

CAPÍTULO 12..... 135

QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO DE DECANTADORES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GUARATINGUETÁ

Paulo Ricardo Amador Mendes
Ailton César Teles de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131012>

CAPÍTULO 13..... 142

SISTEMA DE CONFINAMENTO DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO LODO DE ETA

Denise de Carvalho Urashima
Ana Paula Moreira de Faria
Mag Geisielly Alves Guimarães
Beatriz Mydori Carvalho Urashima
Matheus Müller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131013>

CAPÍTULO 14..... 150

TRATAMENTO DE EFLUENTE HOSPITALAR EM REATOR TIPO UASB E FITOTOXICIDADE

Roberson Davis Sá
Fernando Rodrigues-Silva
Paloma Pucholobek Panicio
Yohannys Mannes
Mariana Azevedo dos Santos
Lidia Lima
Lutécia Hiera da Cruz
Liziê Daniela Tentler Prola
Wanessa Algarte Ramsdorf
Adriane Martins de Freitas
Karina Querne de Carvalho
Marcus Vinicius de Liz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131014>

CAPÍTULO 15..... 164

WETLANDS: UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO NO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE

Carina Siqueira de Souza
Halanna Moura de Souza
Soanne Hemylle de Jesus Santos
Thaise Kate Silva dos Santos
Geovane de Mello Azevedo
Maurício Santos Silva
Felippe Matheus Silva Meneses

Florilda Vieira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131015>

CAPÍTULO 16..... 176

A IMPORTÂNCIA DO COMPONENTE CURRICULAR “GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS” PARA A FORMAÇÃO ACADÊMICA DE UM BIÓLOGO: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

Regiane Gabriele Rocha Vidal

Beatriz dos Santos Souza

Dinalva Ribeiro de Oliveira

Juliana Maia Lima

Jannah Thalís da Silva Alves

Ana Caroline Barbosa de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131016>

CAPÍTULO 17..... 185

CONDIÇÕES DE TRABALHO DOS CATADORES E CATADORAS DE CAXIAS DO SUL/RS APÓS 10 ANOS DE IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ana Maria Paim Camardelo

Nilva Lúcia Rech Stedile

Fernanda Meire Cioato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131017>

CAPÍTULO 18..... 196

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL PARA EMPREGO NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE

Jéssika Cosme

Daniel Pinto Fernandes

Gilberto Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131018>

CAPÍTULO 19..... 205

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ETA COMO IMPERMEABILIZANTE DE OBRAS DE TERRA PARA A CONTENÇÃO DE RESÍDUOS

Leonardo Marchiori

André Studart

Maria Vitoria Morais

Antônio Albuquerque

Victor Cavaleiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131019>

CAPÍTULO 20..... 213

ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA ASSOCIADA ÀS BARRAGENS DE REJEITOS NO NORDESTE BRASILEIRO

Ana Nery de Macedo Cadete

Abmael de Sousa Lima Junior

Roberta de Melo Guedes Alcoforado
Marcelo Casiuch
Andresa Dornelas de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131020>

CAPÍTULO 21..... 223

OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA QuEChERS-CLAE/FL PARA A DETERMINAÇÃO DO ANTIBIÓTICO TETRACICLINA EM CAMA DE AVIÁRIO

Ismael Laurindo Costa Junior
Letícia Maria Effting
Luciane Effting

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131021>

CAPÍTULO 22..... 241

ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADO AO USO DE AGROTÓXICOS - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ESCADA, PERNAMBUCO, BRASIL.

Eduardo Antonio Maia Lins
Fellipe Martins Maurício de Menezes
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Sérgio Carvalho de Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131022>

CAPÍTULO 23..... 249

CASCA E BAGAÇO DA LARANJA COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE COR DE ÁGUAS RESIDUAIS

Rayane de Oliveira Zonato
Bianca de Paula Ramos
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131023>

CAPÍTULO 24..... 263

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE SISTEMA *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOETANOL.

Eduarda Torres Amaral
Gisele Alves
Gustavo Stolzenberg Colares
Tiele Medianeira Rizzetti
Rosana de Cassia de Souza Schneider
Ênio Leandro Machado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131024>

CAPÍTULO 25..... 270

URBAN OPEN SPACES RE-USE: DESIGN STRATEGIES

Rossella Franchino
Caterina Frettoloso
Nicola Pisacane

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131025>

SOBRE O ORGANIZADOR.....	282
ÍNDICE REMISSIVO.....	283

CAPÍTULO 14

TRATAMENTO DE EFLUENTE HOSPITALAR EM REATOR TIPO UASB E FITOTOXICIDADE

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 25/08/2021

em Tecnologia e Sociedade

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/7220071333364474>

Lutécia Hiera da Cruz

Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR),

Centro de Ciências Exatas e Biológicas

União da Vitória-PR

<http://lattes.cnpq.br/2403668086605389>

Lizíê Daniela Tentler Prola

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/6809940830015445>

Wanessa Algarte Ramsdorf

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/7831415947244973>

Adriane Martins de Freitas

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/0004273272645453>

Karina Querne de Carvalho

UTFPR, Departamento Acadêmico de

Construção Civil (DACOC), PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/8055585859691419>

Marcus Vinicius de Liz

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/6959317686443946>

Roberson Davis Sá

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

(UTFPR), Departamento Acadêmico de

Química e Biologia (DAQBI), Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

(PPGCTA)

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/6459862919919897>

Fernando Rodrigues-Silva

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG),

Departamento de Engenharia Sanitária

e Ambiental (DESA), Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e

Recursos Hídricos (PPGSMARH)

Belo Horizonte-MG

<http://lattes.cnpq.br/1235200960817095>

Paloma Pucholobek Panico

UTFPR, DAQBI

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/1825038759305181>

Yohannys Mannes

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/4515747011128785>

Mariana Azevedo dos Santos

UTFPR, DAQBI, PPGCTA

Curitiba-PR

<http://lattes.cnpq.br/8974402245890163>

Lidia Lima

UTFPR, DAQBI, Programa De Pós-graduação

RESUMO: Os efluentes hospitalares possuem diversos contaminantes orgânicos recalcitrantes e tóxicos que são geralmente destinados à

rede coletora de esgotamento sanitário, quando existentes. Reatores tipo UASB são muito utilizados na América Latina, principalmente no Brasil, para tratamento de diversas águas residuárias. Portanto, neste trabalho foi avaliado o tratamento do efluente de um hospital com nível de atenção à saúde terciário em um reator tipo UASB e monitorou a fitotoxicidade deste antes e após o tratamento. Um reator tipo UASB em escala de bancada, diâmetro 12 cm, altura da lâmina d'água de 40 cm e volume útil de 4,2 L foi operado com carga orgânica volumétrica média de 1,8781 (0,2216) kg DQO m⁻³ d⁻¹. Os resultados do monitoramento do sistema demonstraram estabilidade no processo anaeróbio de tratamento, atingindo-se remoção média de DQO de 73(5)%. Ambas as amostras do afluente e efluente ao reator tipo UASB resultaram em efeito fitotóxico de inibição do crescimento radicular. Neste sentido, embora o tratamento no reator tipo UASB tenha se demonstrado efetivo para remoção de matéria orgânica carbonada, estudos futuros devem ser conduzidos para verificar a possibilidade de pós-tratamento para remoção da toxicidade e carga orgânica residual.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto. Recalcitrância. Tratamento anaeróbio. Ecotoxicidade.

TREATMENT OF HOSPITAL WASTEWATER BY UASB REACTOR AND PHYTOTOXICITY

ABSTRACT: Hospital wastewaters contain several recalcitrant and toxic organic contaminants. They are usually discharged into the sewage collection network, when there is one. Due to the effluent complexity, UASB reactors are widely used in Latin America, mainly in Brazil, for this treatment. Therefore, this work aims at evaluating the treatment of wastewater from a hospital with tertiary health care level using a UASB reactor, considering its phytotoxicity before and after treatment. A UASB reactor at bench-scale, diameter 12 cm, water depth of 40 cm and useful volume of 4.2 L was operated with an average organic loading rate of 1.8781 (0.2216) kg COD m⁻³d⁻¹. The system monitoring results demonstrated stability in the anaerobic treatment process, achieving an average COD removal of 73(5)%. Both influent and effluent samples of the system resulted in phytotoxicity effect of inhibition of root growth. In this sense, although the treatment in a UASB reactor has been shown to be effective for removing carbonaceous organic matter, future studies should verify the possibility of post-treatment to remove the toxicity and residual organic load.

KEYWORDS: Sewage. Recalcitrance. Anaerobic treatment. Ecotoxicity.

1 | INTRODUÇÃO

Efluentes hospitalares apresentam alta concentração de substâncias recalcitrantes, patogênicos, fármacos, produtos laboratoriais e de pesquisa, tornando-se este efluente único. Muitos destes contaminantes são utilizados em análises, tratamentos agressivos e invasivos, enquanto outros são utilizados na desinfecção nas limpezas das instalações (ORIAS; PERRODIN, 2013). Não há obrigatoriedade de tratamento prévio dos efluentes gerados em laboratórios de diagnósticos, clínicas médicas ou consultórios odontológicos de acordo com a legislação brasileira atual.

Essa combinação de compostos, quando lançada em excesso no ambiente e de

forma inadequada, causa poluição, desequilíbrio ambiental no meio aquático e problemas de saúde pública (KHAN *et al.*, 2020; PRAYITNO *et al.*, 2014). Além disso, a destinação destes efluentes diretamente na rede coletora de esgotos associa-se a problemas como o desenvolvimento de bactérias resistentes a antimicrobianos e transferência horizontal de genes resistentes a antibióticos (STARLING *et al.*, 2021).

A legislação de grande parte dos países trata o efluente hospitalar da mesma forma com que trata o efluente sanitário de origem doméstica. Os países da Europa, principalmente, adotam políticas públicas para o descarte dos diversos efluentes gerados em estabelecimentos de saúde. Não existe uma norma geral, mas várias diretrizes para os diversos resíduos, desde a proibição da descarga em rede pública até a permissão de diluição de alguns outros contaminantes (CARRARO *et al.*, 2016; KUMARI; MAURYA; TIWARI, 2020).

Países como Brasil, França, Índia, Suíça, Taiwan, Argentina e Itália lançam a maior parte de seus resíduos líquidos hospitalares diretamente na rede coletora de esgotamento sanitário (KUMARI; MAURYA; TIWARI, 2020). Segundo a atualização do Atlas de Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA), apenas 46,5% dos brasileiros possuem sistema coletivo de coleta e tratamento de esgotos (82.130.656 pessoas). Este levantamento ainda destaca que as maiores coberturas de coleta e tratamento de efluentes são observados no Distrito Federal (89,3%), Paraná (80,7%) e São Paulo (71,9%). Ademais, da totalidade de 3.419 Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) no Brasil, 37% são operadas com reatores tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) (ANA, 2020).

Tendo em vista a complexa composição desses efluentes, o seu tratamento na fonte geradora torna-se necessário e deve ser incluída nos programas de gerenciamento de resíduos (KAJITVICHYANUKUL; SUNTRONVIPART, 2006; MACHADO; YOKOYAMA, 2020) sendo, muitas delas, da área de saúde. Para que esses resíduos sejam tratados como efluente é necessária a adequação às legislações ambientais de disposição final de resíduos de serviço de saúde e lançamento de efluentes. O objetivo deste estudo é apresentar uma proposta de tratamento de efluente de laboratório de assistência à saúde, por meio de processos oxidativos avançados (POA). Neste sentido, o sistema anaeróbio de tratamento de águas residuárias em reatores tipo UASB é uma opção atrativa para tratamento de efluente uma vez que possui baixo consumo de energia e baixo custo de implantação e operação, aproveitamento do gás metano como combustível, baixa produção de lodo e pouca manutenção do equipamento. De todo modo, deve-se salientar a possibilidade de emissão de odores desagradáveis, sensibilidade às alterações bruscas de pH, temperatura e cargas de choque (CHERNICHARO *et al.*, 2015).

O processo anaeróbio de tratamento de efluente é baseado na utilização de uma associação de diversos tipos de microrganismos, os quais, realizam a degradação da matéria orgânica carbonada, transformando substâncias complexas em substâncias simples. O tratamento em reator tipo UASB destaca-se pela manta de lodo, região com elevada presença de microrganismos anaeróbios em grânulos e flocos sem meio suporte, e

o separador trifásico, utilizado para coletar o gás metano produzido, que atua na separação das fases sólida, líquida e gasosa do sistema de tratamento (CHERNICHARO, 2015).

Este tipo de efluente possui composição diversificada, sendo que, geralmente, os contaminantes orgânicos recalcitrantes e tóxicos não são degradados por completo por processos biológicos. Portanto, deve-se verificar as respostas ecotoxicológicas do tratamento desta matriz de elevada complexidade (VERLICCHI; AL AUKIDY; ZAMBELLO, 2015) primary, secondary and polishing. De maneira geral, exemplos referentes à toxicidade desse tipo de efluente presente no ambiente à diversos organismos testes tem sido reportados na literatura (ANTONOPOULOU *et al.*, 2021; KHAN, Afzal Husain *et al.*, 2020; KHAN, Nadeem A. *et al.*, 2020).

Desta forma, no presente trabalho foi caracterizado o efluente hospitalar e avaliada a eficiência do tratamento biológico por meio do reator tipo UASB por meio do monitoramento de parâmetros físico-químicos e verificação das respostas fitotoxicológicas a partir de bioensaios com sementes de *Lactuca sativa* (alface).

2 | MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Este trabalho foi conduzido com efluente de um hospital com nível terciário de atenção à saúde. As coletas do efluente foram realizadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011) NBR n. 9898 (ABNT, 1987). Os parâmetros analisados foram pH, alcalinidade total, alcalinidade intermediária, alcalinidade parcial, ácidos voláteis, demanda química de oxigênio total (DQO_{total}) e solúvel ($DQO_{solúvel}$), de acordo com as diretrizes estabelecidas no APHA (2017). Foram realizadas campanhas com coleta periódicas para alimentação do reator tipo UASB.

2.1 Tratamento do efluente em reator tipo UASB

O reator do tipo UASB utilizado na condução deste estudo pode ser verificado na representação esquemática apresentada na Figura 1.

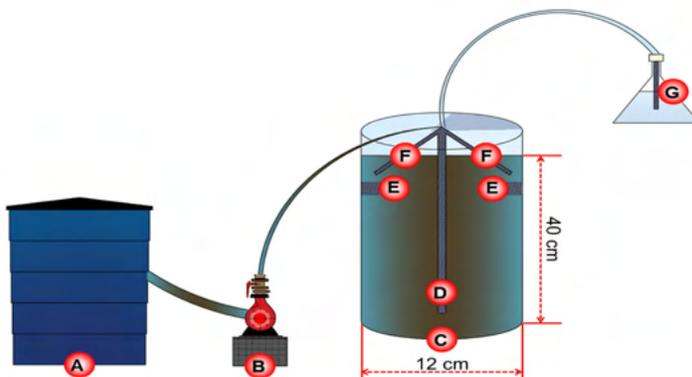


Figura 1: Reator tipo UASB: A, reservatório de alimentação; B, bomba para recalque e alimentação do reator; C, reator tipo UASB; D, alimentação de fluxo ascendente; E, defletores; F, separador trifásico; G, selo hidráulico.

Foi montado um reator do tipo UASB em escala de bancada cilíndrico em vidro transparente alcalino, diâmetro 12 cm, altura da lâmina d'água de 40 cm (Figura 1C), com capacidade volumétrica de 4,2 L. Os defletores do reator foram implantados a partir de funis de polipropileno (Figura 1E) e o separador trifásico foi confeccionado em vidro no formato de funil (Figura 1F), o qual foi conectado a um selo hidráulico para separação da fase gasosa (Figura 1G).

O reator foi alimentado continuamente com o efluente hospitalar, acondicionado diariamente em um reservatório com capacidade de 20 L (Figura 1A), por uma bomba de diafragma modelo Concept Plus (ProMinent®), com vazão de operação de 0,1 a 1 L h⁻¹ (Figura 1B). A alimentação do reator foi realizada em sentido ascendente a partir do aparato de distribuição alocado no reator (Figura 1D).

Previamente à operação com efluente hospitalar, o reator tipo UASB foi inoculado com lodo anaeróbio proveniente de um sistema de tratamento de esgoto municipal de Curitiba operado por reator anaeróbio de leito fluidizado, na proporção de 30% do volume do reator (1,26 L). A biomassa possuía concentrações de sólidos totais (ST) de 89,1 (1,8) g L⁻¹, sólidos totais fixos (STF) de 30,3 (2,6) g L⁻¹ e sólidos totais voláteis (STV) de 58,8 (1,7) g L⁻¹, ou seja, 33,9 e 66,1% de STF e STV em relação aos sólidos totais, respectivamente. Além disso, a operação do reator foi iniciada com aumento gradual da proporção entre o substrato sintético (TORRES; FORESTI, 1992) e o efluente hospitalar até a operação estritamente com efluente hospitalar. Os resultados apresentados neste trabalho são referentes à operação alimentada apenas com o efluente hospitalar durante 40 dias, sendo 8 campanhas de coleta (n = 8).

O tratamento foi realizado com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 14 horas. O reator foi alimentado com vazão constante de 0,3 L h⁻¹, tendo sido operado com carga orgânica volumétrica média de 1,8781 (0,2216) kg DQO m³d⁻¹.

Semanalmente foi realizada a limpeza do sistema de alimentação, composto por tanque

de armazenamento de efluente, mangueiras e bomba de alimentação, para minimização da ação microbiológica de degradação do efluente prévia ao reator ou possíveis entupimentos no sistema.

2.2 Fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa*

A coleta e preservação de amostras para realização dos bioensaios deste estudo foram realizados de acordo com a NBR n. 15469 (ABNT, 2016). Não foram realizados preparo de amostras prévio aos ensaios, como por exemplo correção do pH e filtração.

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados antes e após o tratamento do efluente hospitalar no reator tipo UASB. Os testes de fitotoxicidade com *Lactuca sativa* (alface), foram realizados a partir de sementes da variedade Boston Branca (Isla Pak®). Este bioensaio foi realizado com metodologia descrita por Sobrero e Ronco (2009) e Young *et al.* (2012). Neste bioensaio, 15 sementes foram dispostas em placa de Petri (10 cm de diâmetro), colocadas sobre um papel filtro (80 g m⁻², Unifil) com 4 mL de amostra. As placas foram envolvidas com filme plástico e incubadas a 20±2°C, sem fotoperíodo, por 120 horas. Solução comercial de glifosato a 6% foi utilizada como controle positivo e água tipo II, purificada por um sistema de osmose reversa, foi utilizada como controle negativo. Todas as amostras e controles foram feitos em triplicata (n = 3).

Após o período de exposição, o comprimento das radículas foi medido com uma casa decimal. Radículas com crescimento inferior a 0,2 cm foram consideradas não germinadas. Foram calculadas as médias de comprimento de cada réplica, assim como o desvio padrão (DP). Os resultados foram avaliados através do índice de germinação (IG, Eq. 1) e índice de crescimento relativo (ICR, Eq. 2).

$$IG = \frac{\text{Média de germinação de cada réplica da amostra}}{\text{Média de germinação de cada réplica do controle negativo}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$ICR = \frac{\text{Média do comprimento das radículas das amostras}}{\text{Média do comprimento das radículas do controle negativo}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Os valores do ICR foram divididos em três categorias de acordo com os efeitos de toxicidade observados: (a) inibição do alongamento da raiz: 0 < ICR < 0,8; (b) sem efeitos fitotóxicológicos: 0,8 ≤ ICR ≤ 1,2; e (c) estimulação do alongamento radicular: ICR > 1,2.

2.3 Testes Estatísticos

Todos os testes estatísticos foram realizados com o *software* livre BioStat 5.0 (Tefé, Amapá). Foram aplicados testes estatísticos não paramétricos com nível de confiança de 95% para todos os estudos realizados. As amostras de monitoramento do reator tipo UASB antes e após o tratamento foram avaliadas a partir do teste não paramétrico de comparação entre

dois conjuntos de amostras independentes Mann-Whitney. As comparações entre múltiplas amostras do bioensaio de fitotoxicidade com sementes de *L. sativa* foram determinadas a partir do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e, verificando-se diferença significativa, aplicou-se o pós-teste não paramétrico de Dunn.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Tratamento do efluente hospitalar em reator tipo UASB

Os resultados obtidos no monitoramento do reator tipo UASB com alimentação do efluente hospitalar bruto a partir do pH, alcalinidade, relação alcalinidade intermediária por alcalinidade parcial (AI/AP), ácidos voláteis, DQO_{total} e DQO_{solúvel} podem ser visualizados na Figura 2.

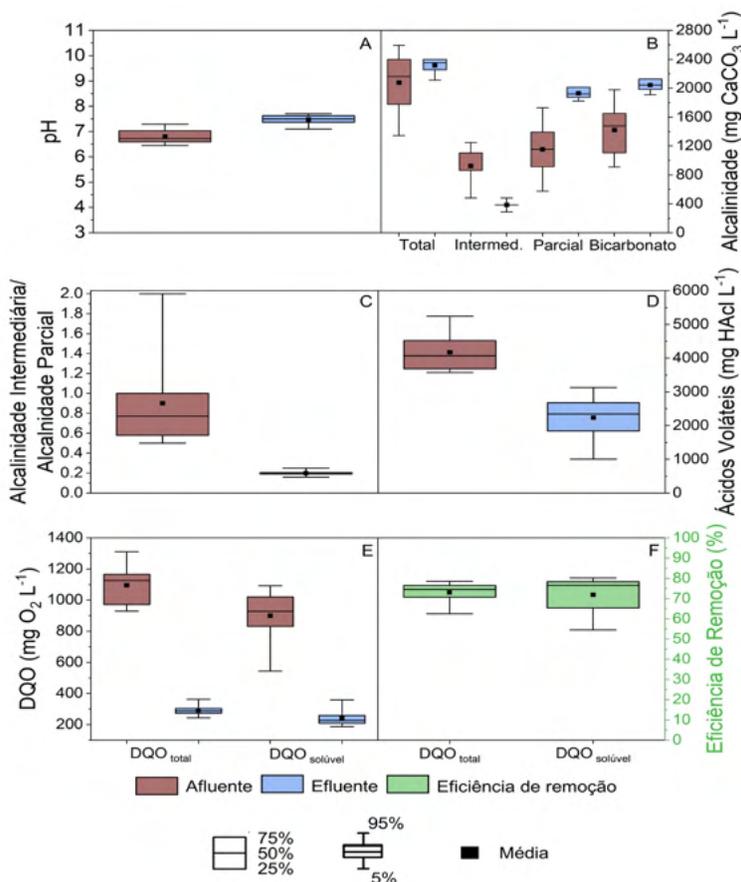


Figura 2: Monitoramento do reator tipo UASB operando com efluente hospitalar: A, pH; B, alcalinidade; C, relação AI/AP; D, ácidos voláteis; E, DQO_{total} e DQO_{solúvel}; F, eficiência de remoção de DQO_{total} e DQO_{solúvel}. n = 8; Intermed. = alcalinidade intermediária; AI/AP = relação de alcalinidade intermediária e alcalinidade parcial.

Os valores medidos de pH (Figura 2A) variaram entre 6,5 e 7,3 para amostras do afluente e entre 7,1 e 7,7 para amostras do efluente, sem resultar em diferença significativa entre o conjunto de amostras ($\alpha = 0,05$; $p = 0,0822$). Esses valores encontram-se nas faixas de pH ótimo recomendadas para os microrganismos metanogênicos e acidogênicos, quando observados os valores mínimo e máximo. Desta forma, a biomassa contida no reator tipo UASB foi capaz de conduzir o processo fermentativo anaeróbio em equilíbrio bioquímico, sem apresentar acidificação (CHERNICHARO, 2015).

A média dos valores de alcalinidade total do efluente hospitalar (Figura 2B) foram de 2076 (420) mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para amostras do afluente e 2316 (108) mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para amostras do efluente, indicando aumento de 12% após a digestão anaeróbia. A alcalinidade a bicarbonato (Figura 2B) apresentou aumento de 44% e, com médias de 1420 (365) e 2043 (86) mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para o afluente e efluente, respectivamente. Neste sentido, a capacidade do reator anaeróbio em manter o pH constante durante o tratamento é alcançado pelo equilíbrio entre compostos ácidos provenientes do processo anaeróbio e pela formação de bicarbonatos, responsável pelo efeito tamponante.

Segundo Ripley, Boyle e Converse (1986), também apontado por Chernicharo (2015), os valores da relação AI/AP superiores a 0,3 indicam distúrbios no processo de tratamento anaeróbio. A relação AI/AP (Figura 2C) apresentou valores médios de 0,90 (0,49) para amostras do afluente e 0,20 (0,03) para amostras do efluente ($\alpha = 0,05$; $p = 0,00004$). Neste sentido, o valor desta relação ficou inferior a 0,3 em 95% dos casos. Embora a relação AI/AP do afluente tenha sido superior ao preconizado na literatura, foi possível constatar que o processo de tratamento anaeróbio deste efluente hospitalar resultou em conversões bioquímicas de produção de alcalinidade parcial, indicando estabilidade do sistema.

Outro parâmetro que deve ser avaliado durante o processo anaeróbio é a concentração de ácidos voláteis antes e após o tratamento. No reator tipo UASB foi observada redução de 46% desse parâmetro, com valores de 4171 (581) mg HAc L^{-1} do afluente para 2232 (677) mg HAc L^{-1} no efluente. O reator tipo UASB manteve o pH na faixa neutra durante o período observado.

A média dos valores de $\text{DQO}_{\text{total}}$ (Figura 2E) das amostras do afluente foi de 1095 (129) mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, com mínima de 929 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ e máxima de 1311 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, apresentando CV de 12%. A $\text{DQO}_{\text{total}}$ efluente obteve valor médio de 291 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, mínima de 243 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ e máxima de 363 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ (CV 12%), apresentando diferença significativa ($\alpha = 0,05$) entre as amostras do afluente e efluente com valor de $p = 0,0274$. A eficiência média de remoção de $\text{DQO}_{\text{total}}$ (Figura 2F) foi de 73 (5) %, com valores variando entre 62% e 78% (CV 7%).

A análise da $\text{DQO}_{\text{solúvel}}$ afluente resultou nas médias de: 894 (173) mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, com mínima de 543 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ e máxima de 1093 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, com CV de 19%, enquanto o efluente obteve valor médio de 242 (54) mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, mínima de 186 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ e máxima de 359 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ (CV 22%). O teste estatístico demonstrou que os conjuntos de amostras foram

significativamente ($\alpha = 0,05$) diferentes entre si, com valor de $p = 0,0451$. Esta etapa de operação resultou em eficiência média de remoção de $DQO_{\text{solúvel}}$ (Figura 2f) de 72 (10)%, sendo os valores mínimo e máximo de 54% e 80%, respectivamente (CV 14%).

A comparação estatística através do teste não paramétrico para amostras independentes Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$), mostrou que não há diferença estatística entre os níveis de remoção da matéria orgânica carbonada em termos de DQO_{total} e $DQO_{\text{solúvel}}$, retornando-se o valor de $p = 0,5286$.

Os resultados obtidos neste estudo, operando-se com matriz de efluente hospitalar, foram superiores aos resultados observados por Campos *et al.* (2004), em que a remoção de DQO atingiu eficiência de aproximadamente 35% no tratamento de efluente de uma indústria de laticínios em reator tipo UASB. Os resultados foram similares aos apresentados por Rodrigues *et al.* (2010) para tratamento de efluente de suinocultura em um reator tipo UASB, com eficiência de aproximadamente 90%. Comportamento similar foi verificado por Fountoulakis *et al.* (2016) que reportaram eficiência de remoção de DQO de 87%.

A eficiência média de remoção de DQO de 73% está de acordo com estudo realizado por Oliveira e Von Sperling (2008) que notaram remoção média de DQO de 59% por reatores tipo UASB para efluente sanitário de 153 ETEs. Além disso, Sharma e Kazmi (2016) obtiveram eficiência média de remoção de DQO de 71%, abaixo da melhor média do reator alcançada nesse estudo.

Um biorreator de leito fixo, em escala de bancada, foi utilizado para tratamento experimental em efluente hospitalar (FARROKHI *et al.*, 2016) make the use of biokinetic coefficients obtained from activated sludge in the MWW treatment unprofitable for designing, modeling and evaluation of biological processes for HWW treatment. Since this study was conducted to evaluate the performance and biokinetic coefficients of a fixed bed bioreactor (FBBR, com remoções de DQO na faixa entre 87% e 97%, valores acima do esperado para esse tipo de tratamento. Valores superiores aos encontrados na literatura podem ser possíveis devido às variações serem mais controladas que em ambiente aberto. A oferta de um efluente com menor variação, homogêneo e com temperatura constante, também são fatores que contribuem para um melhor desempenho do tratamento.

3.2 Fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa*

Os resultados do bioensaio com sementes de *Lactuca sativa* (fitotoxicidade aguda) submetidas ao efluente hospitalar, antes e após o tratamento no reator tipo UASB, podem ser observados na Figura 3.

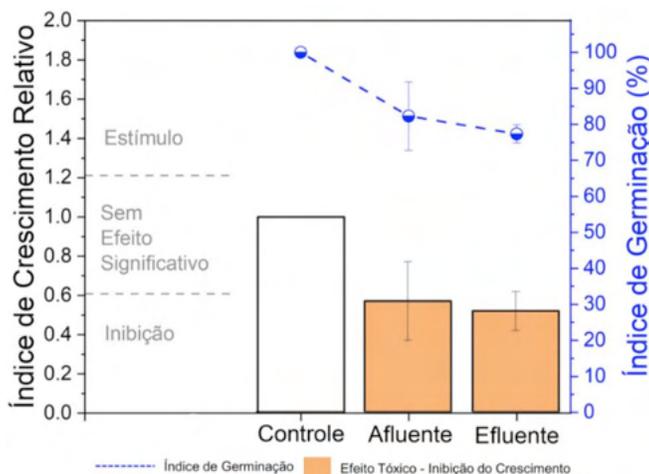


Figura 3 - Fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa* antes e após o tratamento do efluente hospitalar em reator tipo UASB.

Embora a espécie de *L. sativa* não seja autóctone ao ambiente aquático, este organismo pode ser utilizado como indicador de fitotoxicidade (produtor primário) para os efluentes, pois sua resposta toxicológica é análoga à vegetação das margens dos corpos hídricos lênticos e lóticos (SOBRERO; RONCO, 2009).

As amostras do afluente apresentaram média de germinação de 82(9)% e após o tratamento com reator tipo UASB a média de germinação das sementes foi de 77(2)%. Ambas as amostras apresentaram diferença significativa ($\alpha = 0,05$; $p > 0,05$) no crescimento das radículas em comparação ao controle negativo. De acordo com a classificação de Young *et al.* (2012), o índice de crescimento relativo (ICR) resulta em efeito tóxico de inibição de crescimento das radículas das sementes de *L. sativa*, tendo sido registrado ICR médio de 0,56 (0,2) e 0,51 (0,1) para amostras do afluente e efluente, respectivamente.

O tratamento de micropoluentes fortificados em efluente sintético em reator tipo UASB conduzido por Rodrigues-Silva (2020), também resultou em efeito tóxico significativo quando comparado ao controle do bioensaio. Porém, o autor relatou que as amostras do afluente e efluente apresentaram ICR de 1,3 e 1,5, respectivamente, indicando estímulo de crescimento das radículas das sementes. O mesmo comportamento foi observado em amostras de efluente sanitário secundário de ETE operada por sistema de lodos ativados (FREITAS *et al.*, 2017). Embora o estímulo de crescimento possa parecer ser positivo, a literatura aponta que deve-se considerar como efeito tóxico, pois a amostra foi capaz de alterar os processos fisiológicos das sementes (PRIAC; BADOT; CRINI, 2017).

Por outro lado, em relação ao efluente hospitalar, Chow, Lee e Foo (2021) avaliaram a fitotoxicidade deste tipo de efluente com sementes de *Ipomoea aquatica* (espinafre aquático) em diversas diluições do efluente. De maneira geral, os autores observaram que o efluente não causou efeito adverso na germinação das sementes, porém, à medida que se aumentou

a concentração do efluente nos bioensaios foi constatada distorções no crescimento das radículas das sementes, tendo sido verificado menor crescimento quando comparado ao controle, similar ao encontrado na presente pesquisa. Este resultado pode ser atribuído, principalmente, ao efeito inibidor no transporte dos nutrientes essenciais necessários ao desenvolvimento da planta, impulsionado pela presença de diferentes compostos na matriz de efluentes hospitalares (EGBUIKWEM; MIERZWA; SAROJ, 2020)there is pressing need to reclaim and reuse wastewater for agricultural operations. While this practice is gaining significant traction in developed world, it is quite rare in most developing countries with inadequate or no functional sewerage facilities and treatment systems at both municipal and industrial levels occasioned by high investment and operational costs. Consequently, wastewaters generated are in complex heterogenous mix of industrial, domestic, municipal and agricultural runoff wastewater. Biological technologies which utilize the expertise of microorganisms are considered robust, efficient and economically attractive for treatment of wide range of wastewaters and they have high suitability in developing countries. This work therefore assessed the potential of suspended growth biological process (SGBP. Desta forma, nota-se que a complexidade da matriz, mesmo após o tratamento biológico, levou à deficiência e desequilíbrio de nutrientes, com fraco crescimento e desenvolvimento vegetativo.

De maneira geral, tendo em vista os resultados de toxicidade após o tratamento do efluente hospitalar, observa-se que há necessidade de póstratamento do efluente hospitalar para diminuição da toxicidade, bem como a remoção da carga orgânica residual, visando o despejo em corpo hídrico receptor.

4 | CONCLUSÕES

Embora o efluente hospitalar seja uma matriz com maior complexidade em comparação aos esgotos sanitários, foi observado que o reator tipo UASB foi efetivo na remoção da matéria orgânica carbonada em termos de DQO, com eficiência média de 73(5)% para DQO_{total} média de 1095 (129) $mg\ O_2\ L^{-1}$ no efluente.

Em relação à fitotoxicidade, constatou-se que o tratamento biológico não foi capaz de remover o efeito tóxico de inibição de crescimento radicular, o que pode resultar em efeito significativo à vegetação das margens dos corpos hídricos receptores. Neste sentido, estudos futuros devem ser conduzidos para verificar a possibilidade de pós-tratamento para remoção da toxicidade e carga orgânica residual.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15469 - Ecotoxicologia — Coleta, preservação e preparo de amostras**. Rio de Janeiro, p. 1–22, 2016.

ABNT. **NBR 9898 - Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores**. Rio de Janeiro, p. 1-22, 1987.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2020.

ANTONOPOULOU, M.; KOSMA, C.; ALBANIS, T.; KONSTANTINOOU, I. **An overview of homogeneous and heterogeneous photocatalysis applications for the removal of pharmaceutical compounds from real or synthetic hospital wastewaters under lab or pilot scale**. *Science of the Total Environment*, vol. 765, p. 144163, 2021.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd editi. Water Environment Federation, Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association, 2017.

CAMPOS, C. M. M.; LUIZ, F. A. R.; BOTELHO, C. G.; DAMASCENO, L. H. S. **Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas**. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 28, no. 6, p. 1376–1384, 2004.

CARRARO, E.; BONETTA, Si; BERTINO, C.; LORENZI, E.; BONETTA, Sa; GILLI, G. **Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries**. *Journal of Environmental Management*, vol. 168, p. 185–199, 2016.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras**. São Paulo: Agência Nacional de Águas, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN LIER, J. B.; NOYOLA, A.; BRESSANI RIBEIRO, T. **Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges**. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 14, no. 4, p. 649–679, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. **Anaerobic Reactors**. IWA Publishing, 2015.

CHOW, Y. N.; LEE, L. K.; FOO, K. Y. **Scientific rationale of hospital discharge as a sustainable source of irrigation water: Detection, phytological assessment and toxicity verification**. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 148, p. 834–845, 2021.

EGBUIKWEM, P. N.; MIERZWA, J. C.; SAROJ, D. P. **Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions**. *Agricultural Water Management*, vol. 231, p. 106034, 2020.

FARROKHI, M.; MAHDAVIANPOUR, M.; SHIRZAD-SIBONI, M.; NAIMI-JOUBANI, M.; JAMALI, H. A. **Intrinsic kinetics for fixed bed bioreactor in hospital wastewater treatment**. *Water Science and Technology*, vol. 74, no. 8, p. 1992–1998, 2016.

FOUNTOULAKIS, M. S.; MARKAKIS, N.; PETOUSHI, I.; MANIOS, T. **Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing**. *Science of the Total Environment*, vol. 551–552, p. 706–711, 2016.

FREITAS, A. M.; RIVAS, G.; CAMPOS-MAÑAS, M. C.; CASAS LÓPEZ, J. L.; AGÜERA, A.; SÁNCHEZ PÉREZ, J. A. **Ecotoxicity evaluation of a WWTP effluent treated by solar photo-Fenton at neutral pH in a raceway pond reactor.** *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 2, p. 1093–1104, 2017.

KAJITVICHYANUKUL, P.; SUNTRONVIPART, N. **Evaluation of biodegradability and oxidation degree of hospital wastewater using photo-Fenton process as the pretreatment method.** *Journal of Hazardous Materials*, vol. 138, no. 2, p. 384–391, 2006.

KHAN, A. H.; KHAN, N. A.; AHMED, S.; DHINGRA, A.; SINGH, C. P.; KHAN, S. U.; MOHAMMADI, A. A.; CHANGANI, F.; YOUSEFI, M.; ALAM, S.; VAMBOL, S.; VAMBOL, V.; KHURSHEED, A.; ALI, I. **Application of advanced oxidation processes followed by different treatment technologies for hospital wastewater treatment.** *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, 2020.

KHAN, N. A.; AHMED, S.; FAROOQI, I. H.; ALI, I.; VAMBOL, V.; CHANGANI, F.; YOUSEFI, M.; VAMBOL, S.; KHAN, S. U.; KHAN, A. H. **Occurrence, sources and conventional treatment techniques for various antibiotics present in hospital wastewaters: A critical review.** *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, vol. 129, 2020.

KUMARI, A.; MAURYA, N. S.; TIWARI, B. **Hospital wastewater treatment scenario around the globe.** *BV*, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819722-6.00015-8>.

MACHADO, G.; YOKOYAMA, L. **Estudo De Tratamento De Efluente De Serviço De Saúde Para Redução De Custos Econômicos E Impactos Ambientais.** *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, vol. 55, no. 1, p. 89–102, 2020.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. **Reliability analysis of wastewater treatment plants.** *Water Research*, vol. 42, no. 4–5, p. 1182–1194, 2008.

ORIAS, F.; PERRODIN, Y. **Characterisation of the ecotoxicity of hospital effluents: A review.** *Science of the Total Environment*, vol. 454–455, p. 250–276, 2013.

PRAYITNO; KUSUMA, Z.; YANUWIADI, B.; LAKSMONO, R. W.; KAMAHARA, H.; DAIMON, H. **Hospital wastewater treatment using aerated fixed film biofilter - Ozonation (A_2b/O_3).** *Advances in Environmental Biology*, vol. 8, no. 5, p. 1251–1259, 2014.

PRIAC, A.; BADOT, P. M.; CRINI, G. **Évaluation de la phytotoxicité d'eaux de rejets via *Lactuca sativa* : paramètres des tests de germination et d'élongation.** *Comptes Rendus - Biologies*, vol. 340, no. 3, p. 188–194, 2017.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. **Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-Strength Wastes.** *Water Pollution Control Federation*, vol. 58, no. 5, p. 406–411, 1986.

RODRIGUES-SILVA, Fernando. **Degradação de Atrazina, Rifampicina e 17 α -Ethinilestradiol em Água Residuária Sintética por Tratamento Anaeróbio em Reator tipo UASB Combinado com Processos Avançados de Oxidação.** 2020, 199 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Curitiba, 2020.

RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J.; ZOCRATO, M. C. O.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V.; OLIVEIRA, P. R. de. **Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, no. 1, p. 94–100, 2010.

SHARMA, M. K.; KAZMI, A. A. **Performance evaluation of a single household anaerobic packaged system for onsite domestic wastewater treatment.** Desalination and Water Treatment, vol. 57, no. 20, p. 9216–9225, 2016.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L.** Imta, p. 55–67, 2009.

STARLING, M. C. V. M.; MENDONÇA NETO, R. P.; PIRES, G. F. F.; VILELA, P. B.; AMORIM, C. C. **Combat of antimicrobial resistance in municipal wastewater treatment plant effluent via solar advanced oxidation processes: Achievements and perspectives.** Science of the Total Environment, vol. 786, p. 147448, 2021.

TORRES, P.; FORESTI, E. **Desempenho de um reator anaerobio de manta de lodo (uasb) de bancada no tratamento de substrato sintetico simulando esgotos sanitarios.** 1992. Universidade de São Paulo, 1992.

VERLICCHI, P.; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, E. **What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - An overview and a discussion on perspectives.** Science of the Total Environment, vol. 514, p. 467–491, 2015.

YOUNG, B. J.; RIERA, N. I.; BEILY, M. E.; BRES, P. A.; CRESPO, D. C.; RONCO, A. E. **Toxicity of the effluent from an anaerobic bioreactor treating cereal residues on *Lactuca sativa*.** Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 76, no. 1, p. 182–186, 2012.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 85, 232, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 260

Adsorvato 251, 255, 259

Adsorvito 251

Afluentes 5, 8, 56, 57, 59, 60, 61, 67, 123, 124, 125, 168, 243

Agropecuária 175, 238

Agrotóxicos 3, 8, 41, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248

Água 3, 4, 5, 6, 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 151, 154, 155, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 186, 193, 196, 198, 199, 201, 204, 205, 215, 216, 217, 218, 219, 226, 227, 228, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 264

Águas residuárias 3, 151, 152, 163, 252, 260, 265

Antibiótico 3, 8, 223, 226

Atividades antrópicas 12, 13, 36, 38

Aviário 8, 223, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 235, 236, 237, 238, 239

B

Bacias hidrográficas 1, 2, 43, 64, 65, 67, 77, 174

Barragem 5, 55, 59, 61, 62, 63, 64, 69, 125, 134, 216, 217, 218, 221

Bioetanol 3, 8, 263, 264, 265, 266, 267

Biomassa 3, 8, 154, 157, 263, 264, 265, 266, 267, 268

C

Calha Parshall 137

Captação 5, 26, 35, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 75, 76, 81, 87, 89, 106

Carvão ativado 136

Cloração 68, 70, 72, 75, 77

Coagulação 71, 74, 77, 80, 87, 89, 136, 141, 251

Coliformes termotolerantes 1, 2, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 31, 32, 33

Cor 3, 8, 23, 27, 29, 30, 33, 71, 75, 109, 116, 129, 135, 137, 138, 139, 168, 199, 249, 251,

252, 254, 257

Corante 250, 252, 253, 254, 256, 257, 258, 259, 260, 261

D

Decantação 68, 70, 71, 73, 74, 89, 108, 136, 137

Desaguamento 3, 5, 82, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 101, 102, 104, 113, 114, 117, 119, 120, 122, 124, 126, 127, 130, 132, 134, 142, 144, 145, 146, 147, 148

Desenvolvimento sustentável 37, 43, 166

Design 8, 79, 133, 168, 224, 270, 271, 274, 275, 276, 278, 280, 281

Desinfecção 3, 32, 70, 72, 77, 136, 151

Development 64, 123, 195, 214, 224, 238, 261, 264, 270, 272, 275

E

Ecosistema 36, 41, 136, 167, 215, 217, 224, 251

Educação ambiental 9, 21, 167, 177, 178, 179, 182, 184, 192, 282

Efluentes 1, 3, 9, 13, 14, 21, 22, 31, 40, 58, 59, 77, 81, 84, 124, 125, 127, 128, 132, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 164, 166, 167, 168, 174, 249, 250, 251, 253, 260, 265, 282

Environmental 2, 11, 36, 43, 64, 84, 88, 123, 148, 161, 162, 163, 165, 177, 186, 196, 197, 206, 210, 214, 238, 239, 240, 241, 242, 250, 261, 262, 270, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

Escoamento pluvial 3

Estação de Tratamento de Efluente - ETE 148

Estuários 56

Eutrofização 3

F

Fármacos 77, 151, 224, 225, 226, 227, 237, 238

Filtração 68, 72, 74, 75, 89, 92, 106, 126, 127, 133, 136, 138, 142, 146, 148, 155, 200, 254

Flotação 68, 70

Fluoretação 70, 72, 75, 77, 78

Fósforo total 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21

I

Impactos ambientais 36, 37, 38, 42, 81, 106, 122, 136, 141, 162, 164, 166, 183, 205, 241, 243, 244, 245, 246

Índice de Qualidade da Água 4, 1, 2, 11, 12, 13, 16, 17, 41

Índices pluviométricos 56, 97, 135, 138

J

Jusante 14, 217, 218

L

Leito de drenagem 5, 87, 88, 89, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 111, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 134

Lignocelulósicas 264

M

Mananciais 13, 106, 107, 125, 137

Matrizes ambientais 224, 225, 226, 237

Meio ambiente 10, 21, 22, 24, 27, 34, 38, 77, 82, 85, 86, 88, 89, 91, 105, 106, 108, 123, 133, 148, 150, 164, 167, 177, 178, 183, 187, 192, 194, 198, 199, 219, 220, 224, 225, 241, 243, 244, 248

Micro-organismos 72, 74, 75

Mineração 3, 30, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 222, 264

Montante 14, 58, 59, 218

N

Nitrogênio total 12, 13, 16, 17, 19, 20

P

Passivo ambiental 204

Patógenos 37, 151, 191

Poço artesiano 3, 23, 26, 35

Polímeros 87, 101

Poluição 1, 2, 3, 11, 12, 13, 21, 36, 41, 42, 105, 152, 167, 178, 198, 215, 216, 227, 248, 250

Potabilidade 3, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 64, 68, 74, 75, 76, 77, 90, 123, 136, 196, 199, 204

R

Reaproveitamento 89, 133, 135, 141, 177, 179, 182, 265

Reciclável 186, 188, 192, 194

Recursos hídricos 1, 2, 3, 10, 11, 13, 14, 41, 42, 55, 56, 63, 64, 65, 68, 106, 134, 149, 150, 219, 220

Rejeito 144, 187, 190, 192, 214, 219

Resíduos agroindustriais 249, 251, 260

Resíduos sólidos 7, 3, 81, 84, 85, 102, 106, 120, 136, 143, 144, 147, 148, 165, 176, 177,

178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 194, 195, 197, 198, 199, 204, 260

Resolução CONAMA 357 1, 2, 3, 4, 19, 21, 136

S

Saneamento básico 9, 10, 66, 78, 80, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 103, 106, 110, 125, 144, 147, 164, 165, 174

Segurança hídrica 7, 213, 214, 215, 217, 219, 221

T

Turbidez 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 23, 29, 30, 33, 69, 74, 75, 98, 99, 109, 116, 124, 126, 129, 135, 137, 138, 139, 164, 168, 170, 172, 199

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA SANITÁRIA 2



 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA SANITÁRIA 2



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br