

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –  
MESTRADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luana Bertolo Y Castro Bender

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE ATRAZINA E CLOMAZONE DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS POR MICROALGAS**

Santa Cruz do Sul  
2022

Luana Bertolo Y Castro Bender

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE ATRAZINA E CLOMAZONE DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS POR MICROALGAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado e Doutorado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Linha de Pesquisa em Tecnologias de Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider.

Coorientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Tiele Medianeira Rizzetti

Santa Cruz do Sul

2022

## RESUMO

Nos últimos anos houve um aumento das contaminações das águas superficiais que levou a necessidade de desenvolvimento de tecnologias remediadoras. Dessa forma, buscou-se o desenvolvimento de um método de remoção de agrotóxicos em águas superficiais com o emprego das microalgas, utilizando um sistema fotobiorreator de coluna de bolhas e um sistema *Algal Turf Scrubber* (ATS). No estudo preliminar o emprego da solução 1 g L<sup>-1</sup> de NPK apresentou maior percentual de remoção de atrazina (51,9%) em 21 dias quando comparado ao tratamento sem o aporte de nutrientes. Este estudo foi realizado com uma concentração alta de atrazina (1800 µg L<sup>-1</sup>), assim, novos experimentos foram realizados com uma concentração inicial teórica de 200 µg L<sup>-1</sup> de atrazina em diferentes concentrações (0,25 g L<sup>-1</sup>, 0,5 g L<sup>-1</sup> e 1 g L<sup>-1</sup>) de NPK durante 49 dias. A média de remoção de atrazina do meio aquoso foi de 87,7%. Para os diferentes aportes de NPK não foram observadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) no percentual de remoção. Portanto, a concentração de 0,5 g L<sup>-1</sup> de solução de NPK no meio foi escolhida. Utilizando as condições escolhidas de NPK realizou-se o experimento com o herbicida clomazone, alcançando valores de remoção de 85,2% em 49 dias. Os ensaios de fotólise para as mesmas condições, apresentaram 51,4% e 58,4% de remoção de clomazone e atrazina, respectivamente. Observou-se que houve a formação dos metabólitos atrazina desisopropil 2-OH e atrazina 2-OH. No teste de genotoxicidade observou-se os efeitos mutagênicos dos agrotóxicos e que após tratamento com microalgas foram reduzidos. Para o sistema ATS, realizou-se um estudo preliminar com atrazina utilizando água do Rio Pardinho, Santa Cruz do Sul, RS. Neste sistema, a média de remoção de atrazina foi de 15,15% no sétimo dia. O tratamento no sistema fotobiorreator de coluna de bolhas apresentou elevados valores de remoção dos agrotóxicos, mostrando-se uma alternativa para o tratamento de água. Do mesmo modo, os estudos com o ATS indicaram ser promissor na remoção de moléculas como a atrazina.

**Palavras-chave:** biorremediação, microalgas, fotobiorreatores, agrotóxicos, genotoxicidade.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	5
2 OBJETIVOS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1 Objetivo Geral .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2 Objetivo Específico.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1 Contaminantes emergentes em água .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2 Contaminação das águas por agrotóxico .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.3 Remoção dos contaminantes orgânicos por microalgas	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>definido.</b>	
3.4 Sistema <i>Algal Turf Scrubber</i> (ATS) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.5 Produção de microalgas em Fotobiorreatores	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4 METODOLOGIA .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1 Área de coleta de água.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.2 Cultivo de microalgas (inóculo) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3 Operação do sistema <i>Algal Turf Scrubber</i> (ATS)	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>definido.</b>	
4.3.1 Cultivo do perifíton e configuração experimental do ATS	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>definido.</b>	
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
7 TRABALHOS FUTUROS .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
8 REFERÊNCIAS.....	8

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com o crescimento populacional, aliado aos processos industriais e com o aumento da produção agrícola na utilização de agrotóxicos, houve um aumento das contaminações do meio aquático (Sarker, Nandi et al. 2021).

Os micropoluentes que resultam destes processos, também são denominados de contaminantes emergentes, como por exemplo, os produtos farmacêuticos, os produtos de higiene pessoal, os hormônios esteróides, os surfactantes e os agrotóxicos. Essas substâncias de origem natural ou antrópica estão presentes nas águas superficiais em baixas concentrações apresentando para cada substância um mecanismo de ação, dificultando tanto a detecção e análise dessas substâncias quanto a sua remoção dos corpos hídricos (Quesada, Baptista et al. 2019).

Outro problema atual é a ausência na legislação de concentrações máximas permitidas desses compostos em água e, em decorrência, poucas ações de monitoramento são tomadas para garantir que micropoluentes não sejam descartados ou lixiviados para as águas superficiais, pois podem causar sérios problemas no ambiente aquático (Quesada, Baptista et al. 2019).

Diante desse agravante, pode haver contaminação das águas subterrâneas, mesmo que elas sejam menos susceptíveis à contaminação por contaminantes emergentes. Portanto, há um risco para as águas superficiais quando se trata da contaminação por contaminantes emergentes (White, Lapworth et al. 2019), uma vez que são encontradas concentrações a nível de traços de numerosos poluentes nos diferentes corpos hídricos (Lapworth, Lopez et al. 2019, Moreau, Hadfield et al. 2019). A existência de inúmeras novas substâncias contaminantes no meio aquático, geram danos ao meio ambiente e saúde humana (Lukač Reberski, Terzić et al. 2022).

Dentre os contaminantes encontrados em água destacam-se os agrotóxicos, substâncias sintéticas, que possuem baixa solubilidade em água, baixo peso molecular e alta atividade biológica (Rani, Thapa et al. 2021). Estes

compostos são extensivamente utilizados em todos os países, buscando uma melhor produtividade agrícola e controle de pragas. Os agrotóxicos podem ser categorizados como inseticidas, fungicidas, herbicidas, rodenticidas, fumigantes e repelentes de insetos e com base na natureza química, podem ser classificados como, organoclorados, carbamatos, piretróides, fenilamidas, fenoxialcalonatos, trazinas, derivados de ácido benzóico, benzonitrilos, derivados de ftalimida e dipirídeos (Rani, Thapa et al. 2021).

Diversas classes de contaminantes emergentes ou não, são identificados na água e submetidos ao tratamento convencional, como coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração (Lima, Tonucci et al. 2017). Porém para minimizar os impactos da necessidade de tratamento, são necessárias novas tecnologias que removam esses contaminantes e evitem os metabólitos remanescentes, garantindo o padrão de potabilidade preconizado na Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde Brasileiro (BRASIL 2021).

Entre os métodos alternativos encontram-se os métodos microbiológicos que usam biorreatores para garantir a máxima ação dos microrganismos sobre as moléculas poluentes. Entre os sistemas destacam-se aqueles que viabilizam a formação de microalgas, como as rampas para a formação de tapetes de algas, principal componente do perifíton, denominados *Algal Turf Scrubber* (ATS) e os fotobiorreatores abertos e fechados em batelada (Yun, Cho et al. 2018). A utilização das microalgas para tratar águas residuais foi reconhecida como sendo um método de baixo custo dependendo do sistema utilizado (Ahmed, Ibrahim et al. 2020).

Na fitorremediação, as microalgas utilizam os componentes orgânicos e inorgânicos presentes nas águas residuárias, tais como derivados de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C), os quais são utilizados no crescimento microalgal, e por consequência removidos do meio (Mohsenpour, Hennige et al. 2021). Recentemente, diversos estudos (Escapa, Coimbra et al. 2019, Agüera, Plaza-Bolaños et al. 2020, Nguyen, Yoon et al. 2021) foram desenvolvidos para remover os contaminantes de águas residuárias, mostrando ser uma escolha viável, uma vez que são uma fonte de energia, absorvem CO<sub>2</sub> e recuperam nutrientes de águas, produzem O<sub>2</sub> e produzem biomassa microalgal com potencial de uso em biorrefinarias.

Sistemas como ATS e outros fotobiorreatores tendem a viabilizar condições para que as microalgas cresçam e possam sequestrar poluentes do meio líquido, sendo caminhos em potencial para estudar a remediação de agrotóxicos (Nie, Sun et al. 2020).

Nesse contexto, são de grande relevância estudos que se desenvolvam tecnologias que visem a remoção de contaminantes orgânicos em águas residuárias. Dessa forma, destacam-se pesquisas que busquem avaliar a remoção de agrotóxicos com o emprego de microalgas.

Dentre esses contaminantes, o uso de agrotóxicos como atrazina (Perin, Dallegre et al. 2021) e clomazone (Escoto, Gayer et al. 2019) se destacam em países em desenvolvimento com economias de base agrícola, como por exemplo o Brasil, e sua presença têm sido relatadas em águas superficiais.

Águas de rios e lagos são muitas vezes o destino dos contaminantes de origem na agricultura e portanto, sistemas de tratamento biológicos ou mesmo, a ação natural de microrganismos para a remoção destas moléculas pode ser uma opção uma opção de tratamento ambientalmente amigável.





## 8 REFERÊNCIAS

- Acayaba, R. D. A., A. F. de Albuquerque, R. L. Ribessi, G. d. A. Umbuzeiro and C. C. Montagner (2021). "Occurrence of pesticides in waters from the largest sugar cane plantation region in the world." Environmental Science and Pollution Research **28**(8): 9824-9835.
- Adey, W. H., P. C. Kangas and W. Mulbry (2011). "Algal Turf Scrubbing: Cleaning Surface Waters with Solar Energy while Producing a Biofuel." BioScience **61**(6): 434-441.
- Agüera, A., P. Plaza-Bolaños and F. G. A. Fernández (2020). Chapter 20 - Removal of contaminants of emerging concern by microalgae-based wastewater treatments and related analytical techniques. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. S. Varjani, A. Pandey, R. D. Tyagi, H. H. Ngo and C. Larroche, Elsevier: 503-525.
- Ahmed, S., M. Ibrahim, F. Ahmad, H. A. Rana, T. Rao, W. Anwar, M. Younus, W. Ahmad, S. H. Farooqi, A. Aftab, M. Hussain, M. Khalid and G. M. Kamal (2020). Chapter 20 - Microbial risk assessment and antimicrobial resistance. Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment. M. Z. Hashmi, Elsevier. **1**: 313-330.
- Ahmed, S. F., M. Mofijur, T. A. Parisa, N. Islam, F. Kusumo, A. Inayat, V. G. Le, I. A. Badruddin, T. M. Y. Khan and H. C. Ong (2022). "Progress and challenges of contaminate removal from wastewater using microalgae biomass." Chemosphere **286**.
- Ahmed, S. F., M. Mofijur, T. A. Parisa, N. Islam, F. Kusumo, A. Inayat, V. G. Le, I. A. Badruddin, T. M. Y. Khan and H. C. Ong (2022). "Progress and challenges of contaminate removal from wastewater using microalgae biomass." Chemosphere **286**: 131656.
- Akgündüz, M. Ç., K. Çavuşoğlu and E. Yalçın (2020). "The Potential Risk Assessment of Phenoxyethanol with a Versatile Model System." Scientific Reports **10**(1).
- Alanazi, H. M., M. AlHaddad, A. Shawky and R. M. Mohamed (2023). "Promoted photocatalytic mineralization of atrazine over visible-light active Ag<sub>2</sub>O/CeO<sub>2</sub> nanocomposites with sustainable reusability." Materials Research Bulletin **164**: 112248.
- Alencar, B. T. B., V. H. V. Ribeiro, C. M. Cabral, N. M. C. dos Santos, E. A. Ferreira, D. M. T. Francino, J. B. d. Santos, D. V. Silva and M. d. F. Souza (2020). "Use of macrophytes to reduce the contamination of water resources by pesticides." Ecological Indicators **109**: 105785.
- Arsand, J. B., R. B. Hoff, L. Jank, A. Dallegrove, C. Galeazzi, F. Barreto and T. M. Pizzolato (2018). "Wide-Scope Determination of Pharmaceuticals and Pesticides in Water Samples: Qualitative and Confirmatory Screening Method Using LC-qTOF-MS." Water, Air, & Soil Pollution **229**(12): 399.
- Athanásio, C. G., D. Prá and A. Rieger (2014). "Water quality of urban streams: The Allium cepa seeds/seedlings test as a tool for surface water monitoring." Scientific World Journal **2014**.
- Avila, R., A. Peris, E. Eljarrat, T. Vicent and P. Blánquez (2021). "Biodegradation of hydrophobic pesticides by microalgae: Transformation products and impact on algae biochemical methane potential." Science of The Total Environment **754**: 142114.

Bai, L., Q. Ju, C. Wang, L. Tian, H. Zhang and H. Jiang (2022). "Responses of steroid estrogen biodegradation to cyanobacterial organic matter biodegradability in the water column of a eutrophic lake." Science of the Total Environment **805**.

Barizon, R. R. M., R. d. O. Figueiredo, D. R. C. de Souza Dutra, J. B. Regitano and V. L. Ferracini (2020). "Pesticides in the surface waters of the Camanducaia River watershed, Brazil." Journal of Environmental Science and Health, Part B **55**(3): 283-292.

Bianchi, C. L., C. Pirola, V. Ragaini and E. Selli (2006). "Mechanism and efficiency of atrazine degradation under combined oxidation processes." Applied Catalysis B: Environmental **64**(1): 131-138.

Bonciu, E., P. Firbas, C. S. Fontanetti, J. Wusheng, M. C. Karaismailoğlu, D. Liu, F. Menicucci, D. S. Pesnya, A. Popescu, A. V. Romanovsky, S. Schiff, J. Ślusarczyk, C. P. de Souza, A. Srivastava, A. Sutan and A. Papini (2018). "An evaluation for the standardization of the Allium cepa test as cytotoxicity and genotoxicity assay." Caryologia **71**(3): 191-209.

BRASIL. (1989). "Lei dos agrotóxicos." from <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/arquivos-de-legislacao/lei-7802-1989-lei-dos-agrotoxicos/view>.

BRASIL. (2021). "Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o anexo xx nº5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.", from <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.

Brovini, E. M., B. C. T. de Deus, J. A. Vilas-Boas, G. R. Quadra, L. Carvalho, R. F. Mendonça, R. d. O. Pereira and S. J. Cardoso (2021). "Three-bestseller pesticides in Brazil: Freshwater concentrations and potential environmental risks." Science of The Total Environment **771**: 144754.

Caldas, S. S., J. L. O. Arias, C. Rombaldi, L. L. Mello, M. B. R. Cerqueira, A. F. Martins and E. G. Primel (2019). "Occurrence of Pesticides and PPCPs in Surface and Drinking Water in Southern Brazil: Data on 4-Year Monitoring." Journal of the Brazilian Chemical Society **30**(1): 71-80.

Campos, M. M. C., V. H. F. Faria, T. S. Teodoro, F. A. R. Barbosa and S. M. S. Magalhães (2013). "Evaluation of the capacity of the cyanobacterium *Microcystis novacekii* to remove atrazine from a culture medium." Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes **48**(2): 101-107.

Chanquia, S. N., G. Vernet and S. Kara (2021). "Photobioreactors for cultivation and synthesis: Specifications, challenges, and perspectives." Engineering in Life Sciences **n/a**(n/a).

Chaves, M. d. J. S., S. C. Barbosa, M. d. M. Malinowski, D. Volpato, Í. B. Castro, T. C. R. d. S. Franco and E. G. Primel (2020). "Pharmaceuticals and personal care products in a Brazilian wetland of international importance: Occurrence and environmental risk assessment." Science of The Total Environment **734**: 139374.

da Silva Souza, T., V. V. de Souza and M. B. Lascola (2018). "Assessment of surface water using Allium cepa test and histological analysis in Rhamdia quelen." Environmental Monitoring and Assessment **190**(7).

Dange, P., S. Gawas, S. Pandit, L. Mekuto, P. K. Gupta, P. Shanmugam, Kanupriya, R. Patil and S. Banerjee (2022). Chapter 7 - Trends in photobioreactor technology for microalgal biomass production along with wastewater treatment:

Bottlenecks and breakthroughs. An Integration of Phycoremediation Processes in Wastewater Treatment. M. Shah, S. Rodriguez-Couto, C. B. V. De La Cruz and J. Biswas, Elsevier: 135-154.

Data, W. L. C.-i.-P. (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.

de Barros, A. L. C., C. G. de Abreu, C. C. R. F. da Cunha, D. A. da Silva Rodrigues, R. J. d. C. F. Afonso and G. A. da Silva (2019). "Method development for simultaneous determination of polar and nonpolar pesticides in surface water by low-temperature partitioning extraction (LTPE) followed by HPLC-ESI-MS/MS." Environmental Science and Pollution Research **26**(31): 31609-31622.

de Barros, A. L. C., F. F. Schmidt, S. F. de Aquino and R. J. d. C. F. Afonso (2018). "Determination of nine pharmaceutical active compounds in surface waters from Paraopeba River Basin in Brazil by LTPE-HPLC-ESI-MS/MS." Environmental Science and Pollution Research **25**(20): 19962-19974.

Dell'Osbel, N., G. S. Colares, G. A. Oliveira, L. R. Rodrigues, F. P. da Silva, A. L. Rodriguez, D. A. R. López, C. A. Lutterbeck, E. O. Silveira, L. T. Kist and Ê. L. Machado (2020). "Hybrid constructed wetlands for the treatment of urban wastewaters: Increased nutrient removal and landscape potential." Ecological Engineering **158**: 106072.

Della-Flora, A., R. Wielens Becker, S. Frederigi Benassi, A. Theodoro Toci, G. A. Cordeiro, M. Ibáñez, T. Portolés, F. Hernández, M. Boroski and C. Sirtori (2019). "Comprehensive investigation of pesticides in Brazilian surface water by high resolution mass spectrometry screening and gas chromatography–mass spectrometry quantitative analysis." Science of The Total Environment **669**: 248-257.

Deng, Z., J. Zhu, L. Yang, Z. Zhang, B. Li, L. Xia and L. Wu (2022). "Microalgae fuel cells enhanced biodegradation of imidacloprid by *Chlorella* sp." Biochemical Engineering Journal **179**.

Derakhshan, Z., A. H. Mahvi, M. H. Ehrampoush, S. M. Mazloomi, M. Faramarzan, M. Dehghani, S. Yousefinejad, M. T. Ghaneian and S. M. Abtahi (2018). "Studies on influence of process parameters on simultaneous biodegradation of atrazine and nutrients in aquatic environments by a membrane photobioreactor." Environmental Research **161**: 599-608.

Donato, F. F., N. M. G. Bandeira, G. C. dos Santos, O. D. Prestes, M. B. Adaime and R. Zanella (2017). "Evaluation of the rotating disk sorptive extraction technique with polymeric sorbent for multiresidue determination of pesticides in water by ultra-high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry." Journal of Chromatography A **1516**: 54-63.

Driver, K. E., C. A. C. G. Brunharo and K. Al-Khatib (2020). "Mechanism of clomazone resistance in *Leptochloa fusca* spp. fascicularis to clomazone." Pesticide Biochemistry and Physiology **162**: 1-5.

Escapa, C., R. N. Coimbra, T. Neuparth, T. Torres, M. M. Santos and M. Otero (2019). "Acetaminophen Removal from Water by Microalgae and Effluent Toxicity Assessment by the Zebrafish Embryo Bioassay." Water **11**(9).

Escoto, D. F., M. C. Gayer, M. C. Bianchini, G. da Cruz Pereira, R. Roehrs and E. L. G. Denardin (2019). "Use of *Pistia stratiotes* for phytoremediation of water resources contaminated by clomazone." Chemosphere **227**: 299-304.

Fattahi, A., M. J. Arlos, L. M. Bragg, S. Kowalczyk, R. Liang, O. M. Schneider, N. Zhou and M. R. Servos (2021). "Photodecomposition of pharmaceuticals and

personal care products using P25 modified with Ag nanoparticles in the presence of natural organic matter." Science of the Total Environment **752**.

Ferrando, L. and V. Matamoros (2020). "Attenuation of nitrates, antibiotics and pesticides from groundwater using immobilised microalgae-based systems." Science of The Total Environment **703**: 134740.

Fioresi, V. S., B. de Cássia Ribeiro Vieira, J. M. S. de Campos and T. da Silva Souza (2020). "Cytogenotoxic activity of the pesticides imidacloprid and iprodione on *Allium cepa* root meristem." Environmental Science and Pollution Research **27**(22): 28066-28076.

Fiskesjö, G. (1985). "The *Allium* test as a standard in environmental monitoring." Hereditas **102**(1): 99-112.

Gao, F., H.-L. Yang, C. Li, Y.-Y. Peng, M.-M. Lu, W.-H. Jin, J.-J. Bao and Y.-M. Guo (2019). "Effect of organic carbon to nitrogen ratio in wastewater on growth, nutrient uptake and lipid accumulation of a mixotrophic microalgae *Chlorella* sp." Bioresource Technology **282**: 118-124.

García-Galan, M. J., R. Gutierrez, E. Uggetti, V. Matamoros, J. Garcia and I. Ferrer (2018). "Use of full-scale hybrid horizontal tubular photobioreactors to process agricultural runoff." Biosystems Engineering **166**: 138-149.

García-Galán, M. J., L. S. Monllor-Alcaraz, C. Postigo, E. Uggetti, M. López de Alda, R. Díez-Montero and J. García (2020). "Microalgae-based bioremediation of water contaminated by pesticides in peri-urban agricultural areas." Environmental Pollution **265**.

Gil-Izquierdo, A., M. A. Pedreño, S. Montoro-García, M. Tárraga-Martínez, P. Iglesias, F. Ferreres, D. Barceló, E. Núñez-Delicado and J. A. Gabaldón (2021). "A sustainable approach by using microalgae to minimize the eutrophication process of Mar Menor lagoon." Science of The Total Environment **758**: 143613.

Gojkovic, Z., R. H. Lindberg, M. Tysklind and C. Funk (2019). "Northern green algae have the capacity to remove active pharmaceutical ingredients." Ecotoxicology and Environmental Safety **170**: 644-656.

Gondi, R., S. Kavitha, R. Yukesh Kannah, O. Parthiba Karthikeyan, G. Kumar, V. Kumar Tyagi and J. Rajesh Banu (2022). "Algal-based system for removal of emerging pollutants from wastewater: A review." Bioresource Technology **344**: 126245.

Guarda, P. M., A. M. S. Pontes, R. de S. Domiciano, L. da S. Gualberto, D. B. Mendes, E. A. Guarda and J. E. C. da Silva (2020). "Determination of Carbamates and Thiocarbamates in Water, Soil and Sediment of the Formoso River, TO, Brazil." Chemistry & Biodiversity **17**(4): e1900717.

Guldhe, A., S. Kumari, L. Ramanna, P. Ramsundar, P. Singh, I. Rawat and F. Bux (2017). "Prospects, recent advancements and challenges of different wastewater streams for microalgal cultivation." Journal of Environmental Management **203**: 299-315.

Guo, F., S. Iwakami, T. Yamaguchi, A. Uchino, Y. Sunohara and H. Matsumoto (2019). "Role of CYP81A cytochrome P450s in clomazone metabolism in *Echinochloa phyllopogon*." Plant Science **283**: 321-328.

Hu, N., Y. Xu, C. Sun, L. Zhu, S. Sun, Y. Zhao and C. Hu (2021). "Removal of atrazine in catalytic degradation solutions by microalgae *Chlorella* sp. and evaluation of toxicity of degradation products via algal growth and photosynthetic activity." Ecotoxicology and Environmental Safety **207**: 111546.

Kaloudas, D., N. Pavlova and R. Penchovsky (2021). "Phycoremediation of wastewater by microalgae: a review." Environmental Chemistry Letters **19**(4): 2905-2920.

Karimi, Z., H. D. I. Laughinghouse, V. A. Davis and D. M. Biersch (2021). "Substrate properties as controlling parameters in attached algal cultivation." Applied Microbiology and Biotechnology **105**(5): 1823-1835.

Kirnev, P. C. S., J. C. Carvalho, L. P. S. Vandenberghe, S. G. Karp and C. R. Soccol (2020). "Technological mapping and trends in photobioreactors for the production of microalgae." World Journal of Microbiology and Biotechnology **36**(3): 42.

Lapworth, D. J., B. Lopez, V. Laabs, R. Kozel, R. Wolter, R. Ward, E. Vargas Amelin, T. Besien, J. Claessens, F. Delloye, E. Ferretti and J. Grath (2019). "Developing a groundwater watch list for substances of emerging concern: a European perspective." Environmental Research Letters **14**(3): 035004.

Leme, D. M. and M. A. Marin-Morales (2008). "Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water-A case study." Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis **650**(1): 80-86.

Lima, D. R. S., M. C. Tonucci, M. Libanio and S. F. de Aquino (2017). "Pharmaceuticals and endocrine disrupting compounds in Brazilian waters: occurrence and removal techniques." Engenharia Sanitaria E Ambiental **22**(6): 1043-1054.

Lukač Reberski, J., J. Terzić, L. D. Maurice and D. J. Lapworth (2022). "Emerging organic contaminants in karst groundwater: A global level assessment." Journal of Hydrology **604**: 127242.

Luo, Y., P. Le-Clech and R. K. Henderson (2017). "Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors: A review." Algal Research **24**: 425-437.

Macar, T. K., O. Macar, E. Yalçın and K. Çavuşoğlu (2020). "Resveratrol ameliorates the physiological, biochemical, cytogenetic, and anatomical toxicities induced by copper(II) chloride exposure in *Allium cepa* L." Environmental Science and Pollution Research **27**(1): 657-667.

Maryjoseph, S. and B. Ketheesan (2020). "Microalgae based wastewater treatment for the removal of emerging contaminants: A review of challenges and opportunities." Case Studies in Chemical and Environmental Engineering **2**.

Mohsenpour, S. F., S. Hennige, N. Willoughby, A. Adeloye and T. Gutierrez (2021). "Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review." Science of The Total Environment **752**: 142168.

Moreau, M., J. Hadfield, J. Hughey, F. Sanders, D. J. Lapworth, D. White and W. Civil (2019). "A baseline assessment of emerging organic contaminants in New Zealand groundwater." Science of The Total Environment **686**: 425-439.

Mustafa, S., H. N. Bhatti, M. Maqbool and M. Iqbal (2021). "Microalgae biosorption, bioaccumulation and biodegradation efficiency for the remediation of wastewater and carbon dioxide mitigation: Prospects, challenges and opportunities." Journal of Water Process Engineering **41**: 102009.

Negri, M. (2022). CULTIVO MULTITROFICO EM VIVEIROS ESCAVADOS COM O USO DE SUBSTRATO PARA O CRESCIMENTO DE PERIFÍTON Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura.

Nguyen, H. T., Y. Yoon, H. H. Ngo and A. Jang (2021). "The application of microalgae in removing organic micropollutants in wastewater." Critical Reviews in Environmental Science and Technology **51**(12): 1187-1220.

Nie, J., Y. Sun, Y. Zhou, M. Kumar, M. Usman, J. Li, J. Shao, L. Wang and D. C. W. Tsang (2020). "Bioremediation of water containing pesticides by microalgae: Mechanisms, methods, and prospects for future research." Science of the Total Environment **707**.

Pacheco, D., A. C. Rocha, L. Pereira and T. Verdelhos (2020). "Microalgae Water Bioremediation: Trends and Hot Topics." Applied Sciences **10**(5).

Perin, M., A. Dallegrave, L. Suchecki Barnett, L. Zanchetti Meneghini, A. de Araújo Gomes and T. M. Pizzolato (2021). "Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach." Science of The Total Environment **793**: 148561.

Peter, A. P., A. K. Koyande, K. W. Chew, S. H. Ho, W. H. Chen, J. S. Chang, R. Krishnamoorthy, F. Banat and P. L. Show (2022). "Continuous cultivation of microalgae in photobioreactors as a source of renewable energy: Current status and future challenges." Renewable and Sustainable Energy Reviews **154**.

Quesada, H. B., A. T. A. Baptista, L. F. Cusioli, D. Seibert, C. de Oliveira Bezerra and R. Bergamasco (2019). "Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review." Chemosphere **222**: 766-780.

Rani, L., K. Thapa, N. Kanojia, N. Sharma, S. Singh, A. S. Grewal, A. L. Srivastav and J. Kaushal (2021). "An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment." Journal of Cleaner Production **283**: 124657.

Rempel, A., G. Nadal Biolchi, A. C. Farezin Antunes, J. P. Gutkoski, H. Treichel and L. M. Colla (2021). "Cultivation of Microalgae in Media Added of Emergent Pollutants and Effect on Growth, Chemical Composition, and Use of Biomass to Enzymatic Hydrolysis." BioEnergy Research **14**(1): 265-277.

Rout, P. R., T. C. Zhang, P. Bhunia and R. Y. Surampalli (2021). "Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review." Science of The Total Environment **753**: 141990.

Roveri, V., L. L. Guimarães and A. T. Correia (2020). "Temporal and spatial variation of benthic macroinvertebrates on the shoreline of Guarujá, São Paulo, Brazil, under the influence of urban surface runoff." Regional Studies in Marine Science **36**: 101289.

Salvi, K. P., W. da Silva Oliveira, P. A. Horta, L. R. Rörig and E. de Oliveira Bastos (2021). "A new model of Algal Turf Scrubber for bioremediation and biomass production using seaweed aquaculture principles." Journal of Applied Phycology **33**(4): 2577-2586.

Sarker, A., R. Nandi, J.-E. Kim and T. Islam (2021). "Remediation of chemical pesticides from contaminated sites through potential microorganisms and their functional enzymes: Prospects and challenges." Environmental Technology & Innovation **23**: 101777.

Sezerino, P. H. and C. Pelissari (2021). *Wetlands construídos como ecotecnologia para o W539 tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras.*, Editora Brasil.

Silva, T. S., M. de Freitas Souza, T. Maria da Silva Teófilo, M. Silva dos Santos, M. A. Formiga Porto, C. M. Martins Souza, J. Barbosa dos Santos and D. V. Silva

(2019). "Use of neural networks to estimate the sorption and desorption coefficients of herbicides: A case study of diuron, hexazinone, and sulfometuron-methyl in Brazil." Chemosphere **236**: 124333.

Silveira, M. A. D., D. L. Ribeiro, G. M. Vieira, N. R. Demarco and L. P. G. d'Arce (2018). "Direct and Indirect Anthropogenic Contamination in Water Sources: Evaluation of Chromosomal Stability and Cytotoxicity Using the *Allium cepa* Test." Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology **100**(2): 216-220.

Sivaranjane, R. and P. S. Kumar (2021). "A review on remedial measures for effective separation of emerging contaminants from wastewater." Environmental Technology and Innovation **23**.

Siville, B. and W. J. Boeing (2020). "Optimization of algal turf scrubber (ATS) technology through targeted harvest rate." Bioresource Technology Reports **9**: 100360.

Sotão Neto, B. M. T., T. Combi, S. Taniguchi, A. C. R. Albergaria-Barbosa, R. B. Ramos, R. C. L. Figueira and R. C. Montone (2020). "Persistent organic pollutants (POPs) and personal care products (PCPs) in the surface sediments of a large tropical bay (Todos os Santos Bay, Brazil)." Marine Pollution Bulletin **161**: 111818.

Souza, A. M., J. C. Maciel, G. M. Barroso, R. S. Silva, A. R. S. Garraffoni, C. A. Neves, M. A. Soares and J. B. Santos (2024). "Ecotoxicological effects of commercial herbicides on the reproductive system of aquatic arthropod *Limnocois submontandoni* (Hemiptera: Naucoridae)." Brazilian Journal of Biology **84**.

Streit, A. F. M., G. C. Collazzo, S. P. Druzian, R. S. Verdi, E. L. Foletto, L. F. S. Oliveira and G. L. Dotto (2021). "Adsorption of ibuprofen, ketoprofen, and paracetamol onto activated carbon prepared from effluent treatment plant sludge of the beverage industry." Chemosphere **262**: 128322.

Sutherland, D. L., J. Burke and P. J. Ralph (2020). "Flow-way water depth affects algal productivity and nutrient uptake in a filamentous algae nutrient scrubber." Journal of Applied Phycology **32**(6): 4321-4332.

Valenzuela, E. F., H. C. Menezes and Z. L. Cardeal (2019). "New passive sampling device for effective monitoring of pesticides in water." Analytica Chimica Acta **1054**: 26-37.

Weis, L., R. de Cassia de Souza Schneider, M. Hoeltz, A. Rieger, S. Tostes and E. A. Lobo (2020). "Potential for bifenthrin removal using microalgae from a natural source." Water Sci Technol **82**(6): 1131-1141.

White, D., D. J. Lapworth, W. Civil and P. Williams (2019). "Tracking changes in the occurrence and source of pharmaceuticals within the River Thames, UK; from source to sea." Environmental Pollution **249**: 257-266.

WHO, L. C.-i.-P. D. (2017). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.

Yildiz, M., I. H. Ciğerci, M. Konuk, A. Fatih Fidan and H. Terzi (2009). "Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* root cells by chromosome aberration and comet assays." Chemosphere **75**(7): 934-938.

Yun, J. H., D. H. Cho, S. Lee, J. Heo, Q. G. Tran, Y. K. Chang and H. S. Kim (2018). "Hybrid operation of photobioreactor and wastewater-fed open raceway ponds enhances the dominance of target algal species and algal biomass production." Algal Research **29**: 319-329.