

Abertas as inscrições para o ciclo de palestras "Os desafios do Saneamento"

Iniciativa e patrocínio:



Realização:



RESÍDUOS FARMACOLÓGICOS NOS TRATAMENTOS DE ÁGUA

Prof. Dr. Fábio Kummrow

fkummrow@unifesp.br

19/06/2024

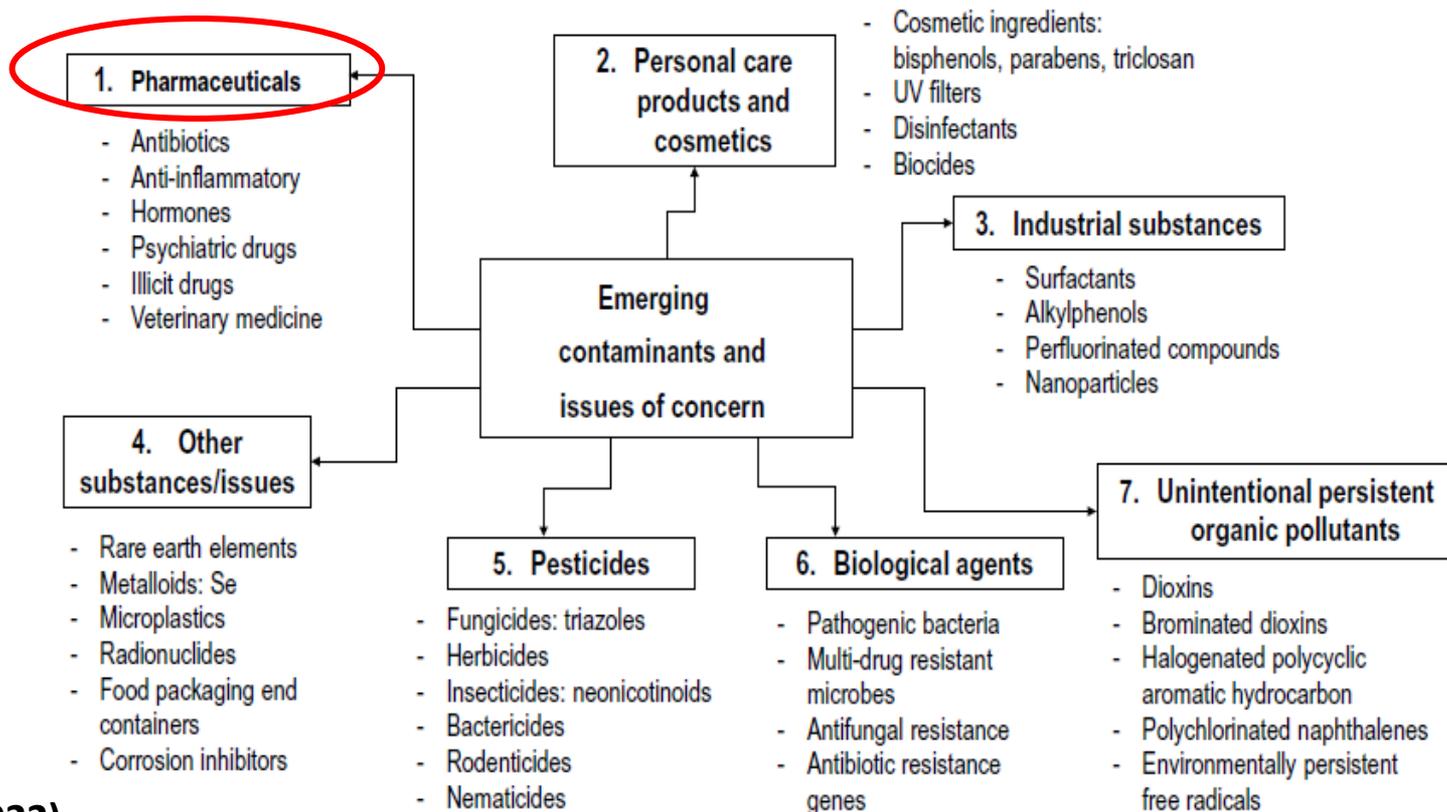


- **Contaminantes de interesse emergente (CE):** termo que se refere principalmente aos contaminantes para os quais **não existe qualquer regulamentação** que exija o **monitoramento** ou **notificação** pública da sua **presença** tanto na **água tratada** destinada ao abastecimento público quanto nas **águas residuais**, mas que é introduzido continuamente nos compartimentos ambientais principalmente por **atividades antrópicas**.

(Horvat *et al.*, 2012; Morin-Crini *et al.*, 2022)

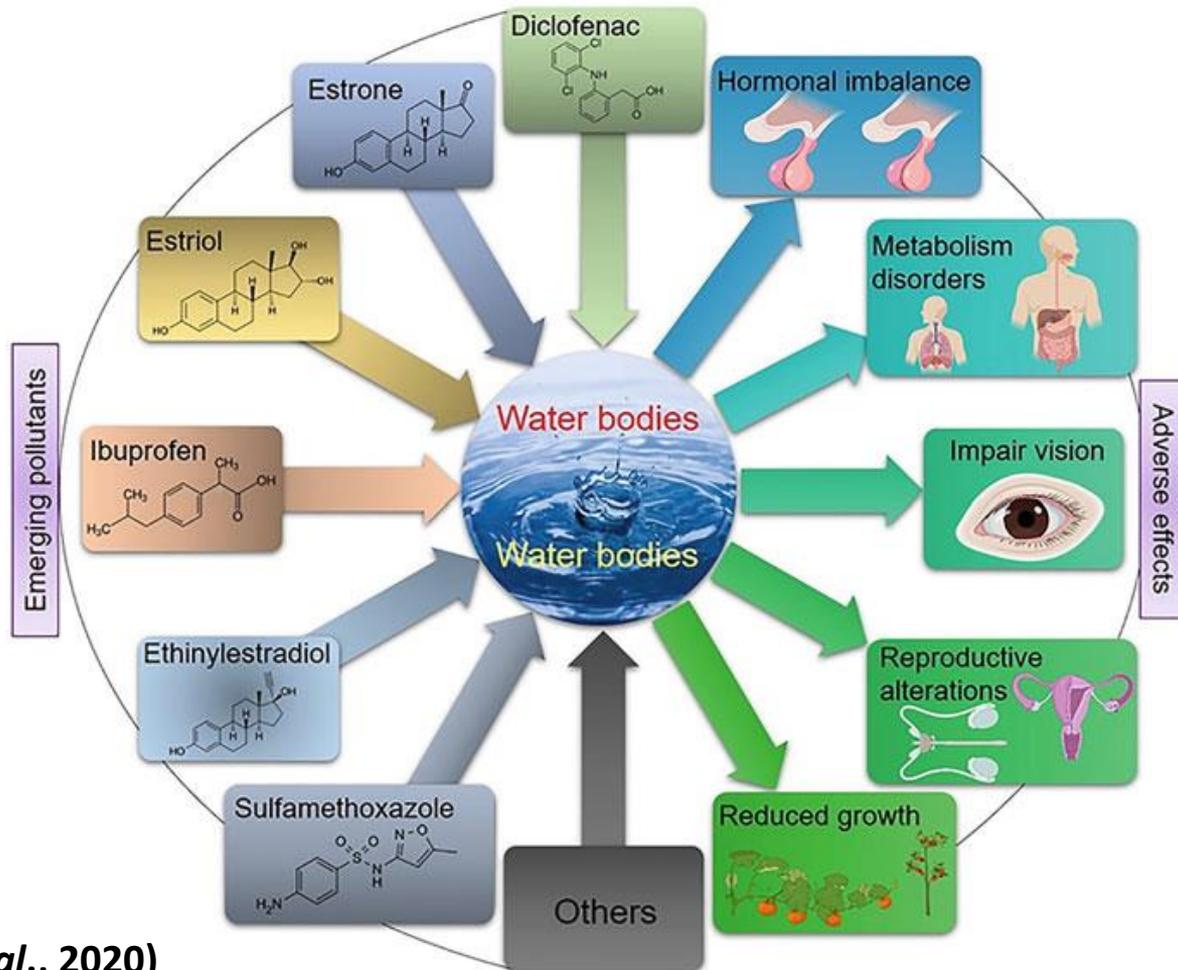


➤ Quem são os contaminantes de interesse emergente?

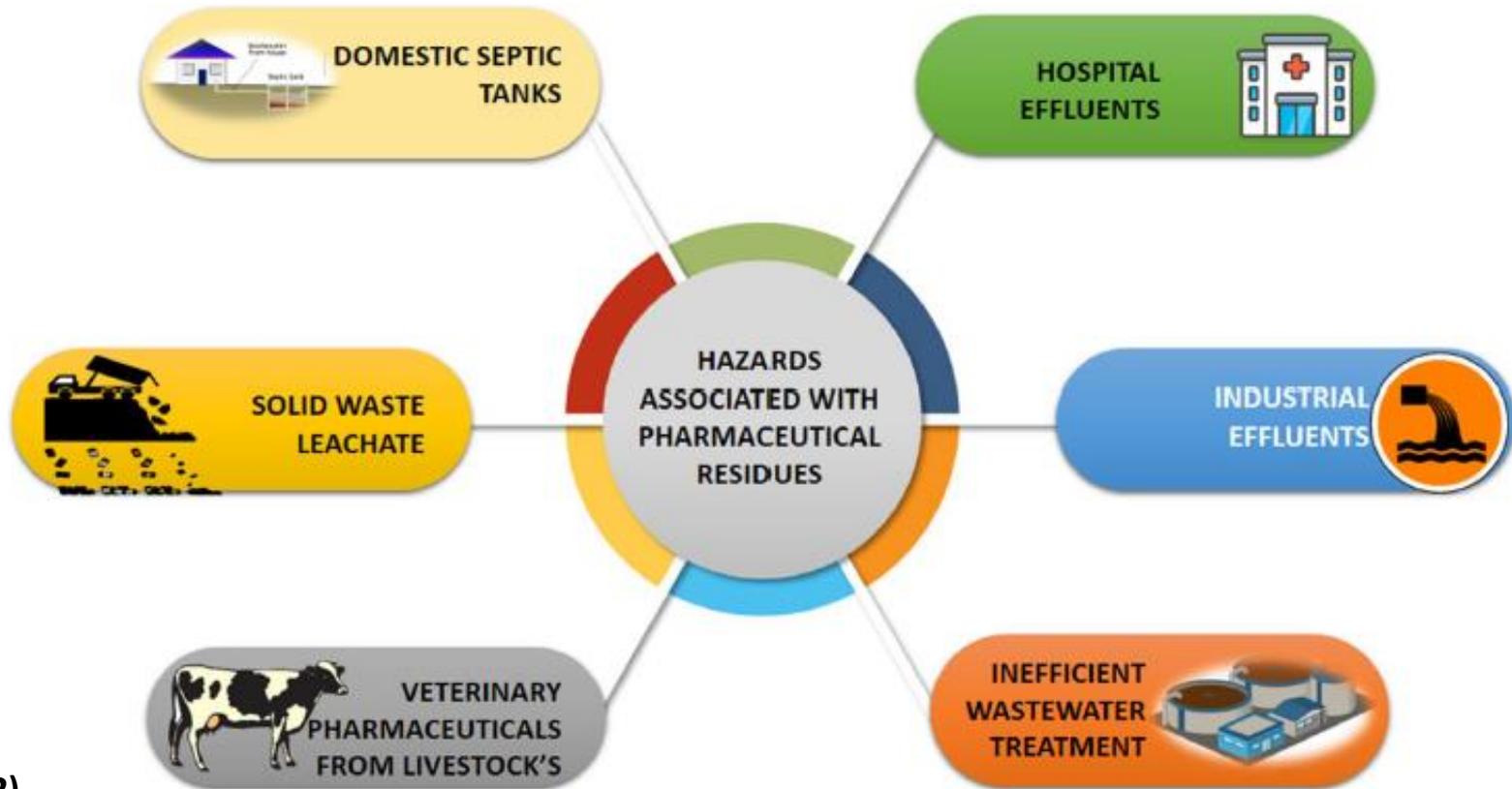


- **Porque os fármacos são contaminantes/poluentes de interesse emergente que podem apresentar riscos?**
- ✓ Aproximadamente 4000 diferentes fármacos;
 - ✓ São desenvolvidos para ter **atividade biológica**;
 - ✓ Devido as suas propriedades físico-químicas (solubilidade – **capacidade de transpor membranas biológicas**);
 - ✓ Por apresentarem certa **resistência a degradação** (biótica e abiótica);
 - ✓ Porque possuem capacidade de **bio/acumulação**;
 - ✓ Devido a ampla produção e utilização (**pseudo-persistência**).





➤ Fontes de contaminação ambiental por fármacos:





➤ **Tratamento de esgoto e de água no Brasil e impacto na qualidade da água consumida:**

- ✓ De acordo SNIS até 2018 apenas **53,2%** dos municípios brasileiros possuíam rede de coleta de esgoto;
- ✓ Do esgoto coletado, ~ **43%** recebe tratamento antes de serem lançados num corpo d'água receptor;
- ✓ Diversos municípios descartam esgoto bruto ou parcialmente tratado diretamente nos corpos d'água superficiais, **mesmo naqueles que são utilizados como fonte de água para abastecimento público;**
- ✓ Em geral a eficiência do tratamento de esgoto/efluentes na remoção dos contaminantes emergentes é inadequada;

(Branco *et al.*, 2021; Farto *et al.*, 2021)

➤ **Etapas do tratamento de esgoto:**

- ✓ **Pré-tratamento:** processo de separação de sólidos, geralmente por **gradeamento** e/ou **desarenação**;
- ✓ **Tratamento primário:** processos **físico-químicos** para remover sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e matéria orgânica;
- ✓ **Tratamento secundário:** processos **biológicos** (aeróbicos ou anaeróbicos) para remover a matéria orgânica não removida no tratamento primário;
- ✓ Em geral permite o **tratamento secundário** atender a legislação;
- ✓ **Tratamento terciário:** aplicado para remover substância recalcitrantes através de técnicas de **filtração, ozonização, cloração, osmose reversa...**



- ✓ **Fato: estações de tratamento de esgoto convencionais têm capacidade limitada para remover fármacos;**
- ✓ **Estações de tratamento de esgoto que empregam sistemas primários e secundários podem remover parcialmente os fármacos, mas não foram projetadas para sua remoção completa;**
- ✓ **Muitos fármacos não podem ser adsorvidos de forma eficaz no lodo ativado e os microrganismos usados no tratamento secundário não conseguem degrada-los completamente.**

➤ **Etapas do tratamento de água:**

- ✓ **Pré-cloração:** redução da matéria orgânica e de alguns metais;
- ✓ **Pré-alkalinização:** adição de Cal para ajuste de pH;
- ✓ **Coagulação:** adição sulfato de alumínio, cloreto férrico...;
- ✓ **Floculação:** formação de flocos a partir das partículas formadas na etapa anterior;
- ✓ **Decantação:** separação dos flocos formados na etapa anterior;
- ✓ **Filtração:** passagem da água por filtro de pedras, areia e carvão antracito;
- ✓ **Pós-alkalinização:** correção do pH;
- ✓ **Desinfecção:** adição de cloro;
- ✓ **Fluoretação:** adição flúor.





- **Fato: a presença de fármacos na água tratada está relacionada com a sua presença na água bruta;**
- ✓ **O tratamento convencional de água potável não é capaz de remover fármacos quando aplicado no tratamento de águas superficiais contaminadas;**
- ✓ **É possível uma remoção limitada de fármacos durante a etapa de desinfecção da água potável, que geralmente é realizada com cloro, dióxido de cloro e ozônio.**

- **Métodos de tratamento biológico:**
- ✓ **Biodegradação por bactérias:** a maioria dos fármacos é tóxica para linhagens bacterianas (especialmente antibióticos), mas algumas bactérias que ocorrem naturalmente têm a capacidade de biodegradar esses contaminantes;
- ✓ Essas linhagens empregam os fármacos como fonte de carbono e nitrogênio ou os utilizam nos seus processos metabólicos.

- **Métodos de tratamento biológico:**
- ✓ **Biodegradação por fungos:** os fungos contêm poderosas enzimas de oxidação que podem degradar os fármacos;
- ✓ Essas enzimas incluem enzimas ligninolíticas, peroxidases, lacases e enzimas intracelulares, como o citocromo P450.
- ✓ Diferentes espécies de fungos tem sido estudadas para uso na degradação de fármacos de diferentes classes terapêuticas com eficiências de remoção variáveis.

- **Métodos de tratamento biológico:**
- ✓ **Biodegradação por algas:** a aplicação de algas está bem estabelecida para a remoção de nutrientes e contaminantes;
- ✓ Contudo, geralmente os fármacos inibem o crescimento de algas e pouco se sabe sobre a biodegradação de algas ou a bioacumulação de produtos farmacêuticos.



- **Tratamentos avançado de água:**
- ✓ **Carvão ativado:** carvão ativado é uma estrutura altamente porosa de vários tamanhos de poros, fabricada a partir de resíduos orgânicos e industriais, categorizados como microporos, mesoporos ou macroporos;
- ✓ Tem sido amplamente utilizado para adsorção de contaminantes complexos de águas residuais, apesar do alto custo que muitas vezes limita a aplicação industrial extensiva;

(Letsoalo *et al.*, 2023)

➤ **Tratamentos avançado de água:**

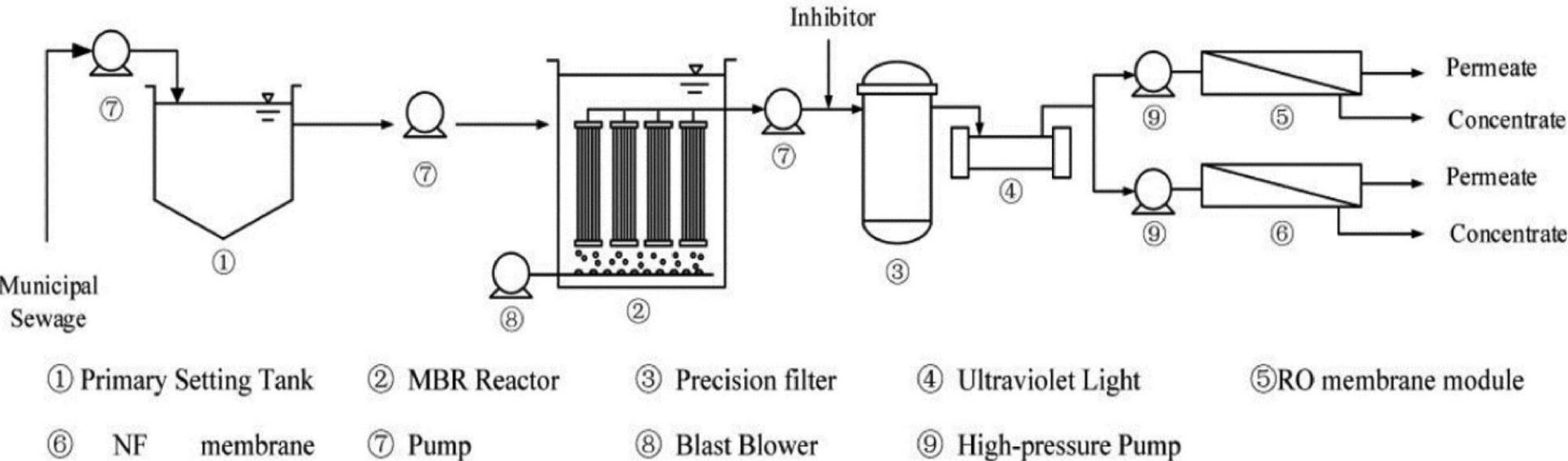
- ✓ **Biocarvão:** o biocarvão contém carbono estável derivado de biomassa por processo de pirólise;
- ✓ O carvão obtido é posteriormente ativado por tratamento ácido para introduzir grupos funcionais oxigenados em sua superfície e melhorar sua funcionalidade e capacidade de adsorção;
- ✓ **A seletividade do biocarvão o torna mais eficiente na remoção de contaminantes do que o carvão ativado, o grafeno e os nanotubos de carbono.**

- **Tratamentos avançado de água:**
- ✓ **Adsorção em nano-adsorventes:** a aplicação dinâmica de nanotubos de carbono e derivados de grafeno desperta enorme interesse como adsorventes para remediação de fármacos presentes em meio aquoso;
- ✓ A **funcionalização** de nanotubos de carbono com a introdução de grupos carbonila e hidroxila, são abordagens comuns que facilitam a remoção de contaminantes emergentes.

- **Tratamentos avançado de água:**
- ✓ **Adsorventes sintéticos:** as propriedades físico-químicas e os parâmetros de separação por adsorção por membrana são de suma importância, pois determinam a **eficiência de remoção**, que geralmente é **baseada no tamanho dos poros, na carga superficial e na hidrofobicidade** do material da membrana;
- ✓ Membranas podem ser produzidas a partir de materiais poliméricos, híbridos e inorgânicos que **diferem em especificidade e seletividade.**

- **Biorreator de Membrana:** é uma combinação de um processo de membrana como ultrafiltração ou nanofiltração com um processo de lodo ativado;
- ✓ Os reatores de membrana são usados para controlar os produtos de reações químicas e podem consistir em um catalisador, uma enzima ou uma cultura de células;
 - ✓ A membrana atua como uma barreira de separação e contato, enquanto um biorreator fornece o melhor ambiente onde as células podem se concentrar na degradação dos fármacos.

➤ Biorreator de Membrana:

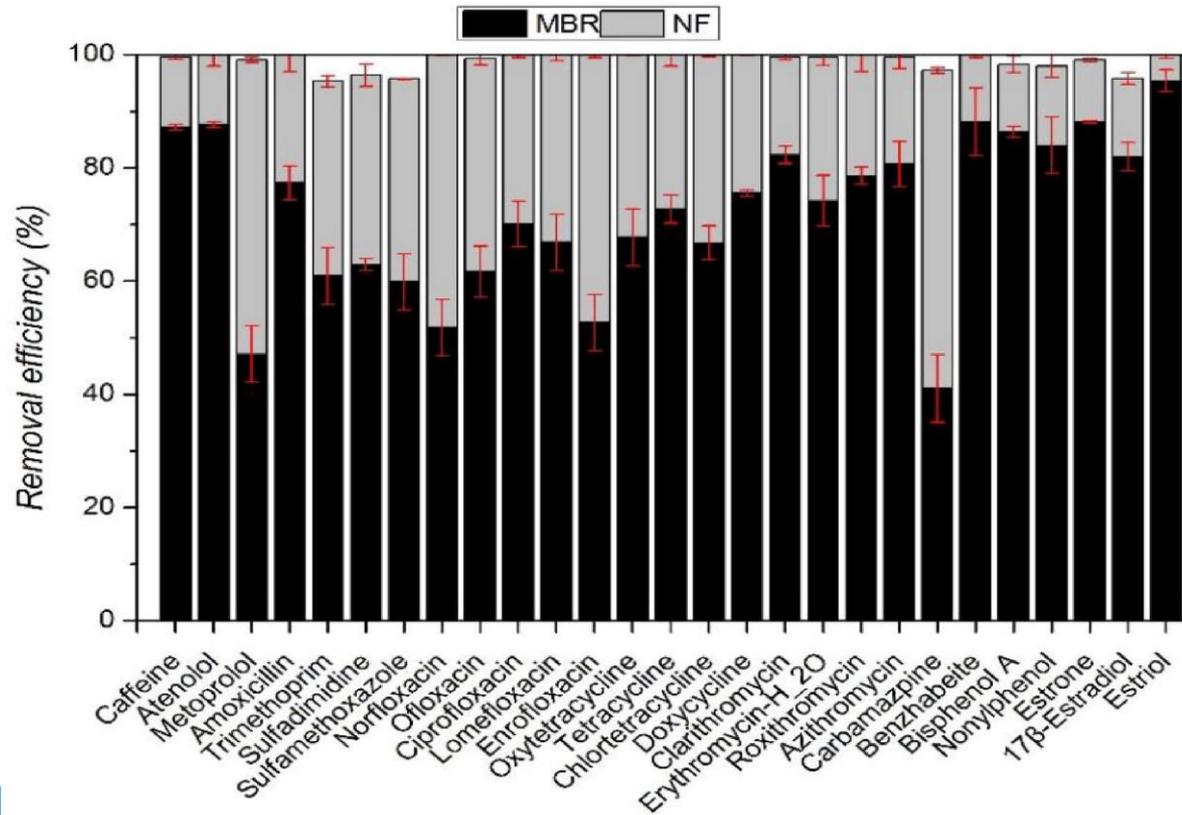




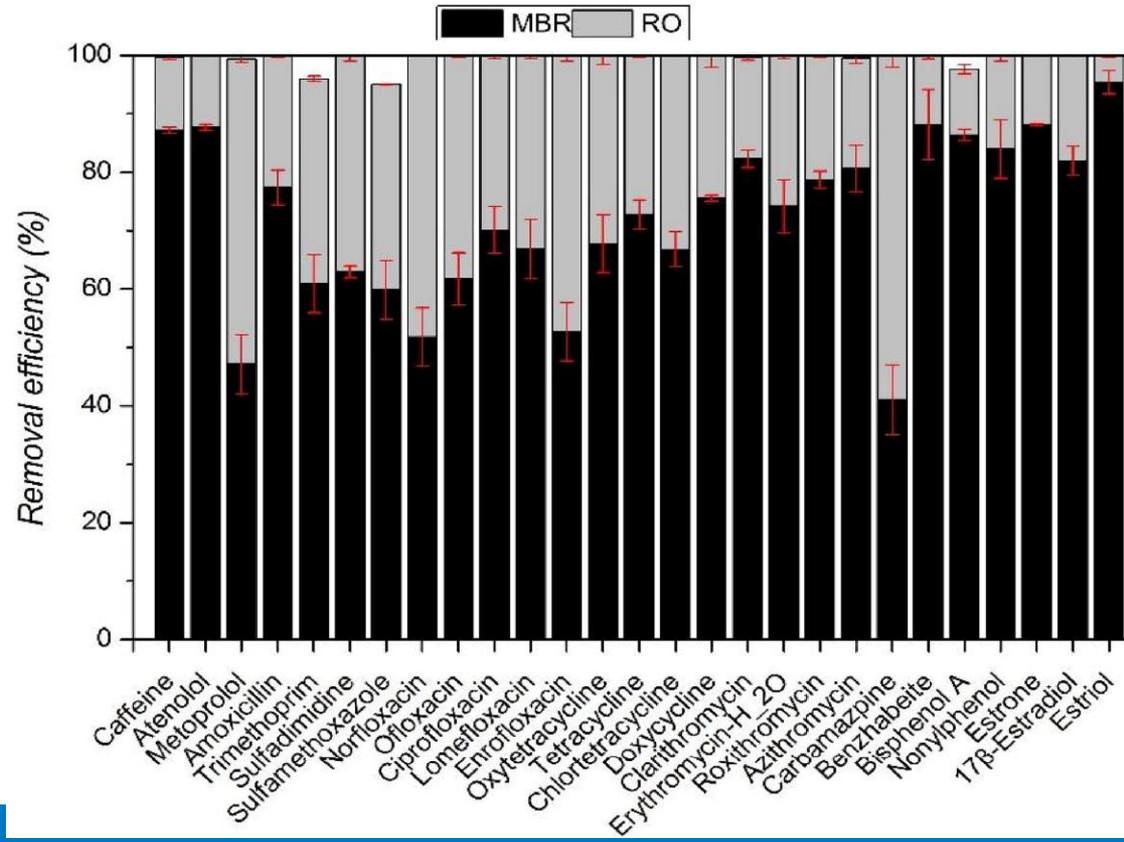
➤ **Vantagens e desvantagens de um Biorreator de Membrana em comparação com as técnicas convencionais de tratamento:**

Vantagens	Desvantagens
Maior eficiência de remoção	Alto consumo de energia
Menor pegada	Elevada concentração de biomassa
Melhor controle do processo	Alto custo de manutenção e operação
Planta de pequeno porte	Maior consumo de oxigênio
Baixa produção de lodo	Deposição de lodo na superfície da membrana
Combina remoção de DQO, sólidos e nutrientes em uma única unidade	(Gulamhussein <i>et al.</i>, 2023)

➤ **Eficiência geral de remoção de 27 compostos usando biorreator de membrana com nanofiltração:**



➤ **Eficiência geral de remoção de 27 compostos usando biorreator de membrana com osmose reversa:**





➤ **Tratamento de esgoto e de água no Brasil e impacto na qualidade da água consumida:**

- ✓ Estudos indicam que as estações de tratamento de esgoto apresentam **remoção reduzida** dos contaminantes emergentes;
- ✓ Evidências apontam que as estações de tratamento de água **não removem** esses contaminantes;
- ✓ Contaminantes emergentes são compostos de **difícil degradação** e, portanto, os **tratamentos convencionais** de água e **biológicos** de esgotos **não removem** de forma **satisfatória** esses contaminantes, podendo afetar a qualidade da água tratada;

(Farto *et al.*, 2021)



➤ **Tratamento de esgoto e de água no Brasil e impacto na qualidade da água consumida:**

- ✓ **A baixa remoção dos contaminantes emergentes durante os processos de tratamento de esgoto/efluentes comumente empregados no Brasil permitem a contaminação dos mananciais de água bruta, e devido a passagem destes contaminantes pelas estações de tratamento de água, a sua presença é frequentemente observada também na água destinada ao abastecimento público;**

Referências

- ✓ Akhbarizadeh R; Dobaradaran S; Schmidt TC; Nabipour I; Spitz J (2020) Worldwide bottled water occurrence of emerging contaminants: a review of the recent scientific literature. *Journal of Hazardous Materials* 392:122271. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122271>
- ✓ Branco FOL; Cárdenas SMM; Serrão ICG; Cunha IRV; Amado LL; Kütter VT (2021) Contaminantes Emergentes nas Bacias Hidrográficas Brasileiras e seus potenciais efeitos a espécies ameaçadas de extinção. *Revista Brasileira de Meio Ambiente* 9:140-174. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5550941>
- ✓ Farto CD; Athayde-Jr GB; Sena RF; Rosenhaim R (2021) Contaminantes de preocupação emergente no Brasil na década 2010-2019 – Parte I: ocorrência em diversos ambientes aquáticos. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 18: e6. <https://doi.org/10.21168/reg.a.v18e6>
- ✓ Gulamhussein MA; Saini B, Anirban Dey A (2023) Removal of pharmaceutical contaminants through membrane bioreactor. *Materials Today: Proceedings* 77:260-268. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.299>

Referências

- ✓ Horvat AJM; Babić S; Pavlović DM; Ašperger D; Pelko S; Kaštelan M; Petrović MM; Mance AD (2012) Analysis, occurrence and fate of anthelmintics and their transformation products in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 31:61-84. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.06.023>
- ✓ Khan AH; Aziz HA; Khan NA; Hasan MA; Ahmed S; Farooqi IH; Dhingra A; Vambol V; Changani F; Yousefi M; Islam S; Mozaffari N; Mahtab MS (2022) Impact, disease outbreak and the eco-hazards associated with pharmaceutical residues: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 19:677-688. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03158-9>
- ✓ Letsoalo MR; Sithole T; Mufamadi S; Mazhandu Z; Sillanpaa M; Kaushik A; Mashifana T (2023) Efficient detection and treatment of pharmaceutical contaminants to produce clean water for better health and environmental. *Journal of Cleaner Production* 387:135798. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135798>

Referências

- ✓ Marson EO; Paniagua CES; Gomes Júnior O, Gonçalves BR; Silva VM; Ricardo IA; Starling MCVM; Amorim CC; Trovó AG (2022) A review toward contaminants of emerging concern in Brazil: Occurrence, impact and their degradation by advanced oxidation process in aquatic matrices. *Science of the Total Environment* 836:155605.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155605>
- ✓ Morin-Crini N; Lichtfouse E; Liu G; Balaram V; Ribeiro ARL; Zhijiang Lu Z; Stock F; Carmona E; Teixeira MR; Picos-Corrales LA; Moreno-Piraján JC; Giraldo L; Li C; Pandey A; Hocquet D; Torri G; Crini G (2022) Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: a review. *Environmental Chemistry Letters* 20:2311–2338.
<https://doi.org/10.1007/s10311-022-01447-4>
- ✓ Parra-Saldivar R; Castillo-Zacarías C; Bilal M; Iqbal HMN; Barceló D (2020) Sources of Pharmaceuticals in Water. In: Solsona SP; Montemurro N; Chiron S; Barceló D (eds) *Interaction and Fate of Pharmaceuticals in Soil-Crop Systems. The Handbook of Environmental Chemistry* 103. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-2020-6_23



Referências

- ✓ Patel M; Kumar R; Kishor K; Mlsna T; Pittman-Jr. CU; Mohan D (2019) Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chemical Reviews* 119:3510-3673. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299>



Muito obrigado!

Prof. Dr. Fábio Kummrow - fkummrow@unifesp.br

