

APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO TRATAMENTO DE ESGOTOS

Aline Barreto Graebin

Engenheira Química

Especialista em Engenharia de Saneamento

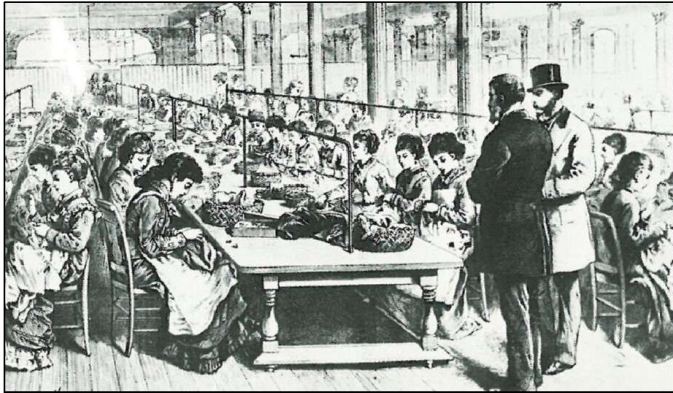
Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais

Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Porto Alegre, 2026



INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO



http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190232

J. Brac. Chem. Soc., Vol. 30, No. 3, 414-432, 2019
Printed in Brazil - ©2019 Sociedade Brasileira de Química

Article

Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil

Cassiana C. Montagner,^{1,2,3,4} Fernando F. Sodré,⁵ Raphael D. Acayaba,⁶ Cristiane Vidal,⁷ Iolana Campestrini,⁸ Marco A. Locatelli,⁹ Igor C. Pescara,⁴ Anjaina F. Albuquerque,¹⁰ Gisela A. Umbuzeiro¹¹ and Wilson F. Jardim¹²

¹Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), CP 6154, 13083-970 Campinas-SP, Brazil

²Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 13484-332 Limeira- SP, Brazil

³Instituto de Química, Universidade de Brasília, 72919-910 Brasília-DF, Brazil

⁴Redox Consultoria e Remedia o Ambiental, Rua Maria Spinelli Bruni, 93, 13309-091 Itu-SP, Brazil

⁵Instituto Federal de Educa o, Ciência e Tecnologia Goiano, 75901-970 Rio Verde-GO, Brazil



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Suspect screening and quantitative analysis of 165 contaminants of emerging concern in water, sediments, and biota using LC-MS/MS: Ecotoxicological and human health risk assessment

Alice Cristina da Silva^{1,2,3}, Luan Valdemiro Alves de Oliveira^{3,4}, Luan Amaral Alexandre⁵, Mateus Rocha Ribas⁶, Juliana Lemos Dal Pizzol⁷, Gustavo Rocha⁸, Jussara Kasuko Palmeiro⁹, Maurício Perin¹⁰, Rodrigo Hoff¹¹, Silvani Verruck¹²

¹Federal University of Santa Catarina, Agricultural Science Center, Department of Food Science and Technology, Brazil

²Federal University of Santa Catarina, Health Sciences Center, Department of Clinical Analysis, Brazil

³Department of Analytical Chemistry, Nutrition and Food Science & Aquatic One Health Research Center (AAC/USC), Universidade de Santiago de Compostela, S/Campus de Lugo, 15782 Santiago de Compostela, Spain

⁴Advanced Laboratory Section of Santa Catarina, Ministry of Agriculture and Livestock, Brazil

Cerca de 43,5% dos rios do mundo têm altas quantidades de medicamentos, diz estudo

23 ingredientes farmacológicos presentes nas amostras coletadas excederam a concentra o considerada "segura"

Ingrid Oliveira, da CNN, São Paulo

10/07/22  s 20:12 | Atualizado 10/07/22  s 20:12



Water Air Soil Pollut (2018) 229: 399
<https://doi.org/10.1007/s11270-018-4036-2>



Wide-Scope Determination of Pharmaceuticals and Pesticides in Water Samples: Qualitative and Confirmatory Screening Method Using LC-qTOF-MS

Juliana Bazzan Arsand · Rodrigo Barcellos Hoff · Louise Jank · Alexandro Dallegrave · Carolina Galeazzi · Fabiano Barreto · T nia Mara Pizzolato

Received: 5 July 2018 / Accepted: 12 November 2018 / Published online: 5 December 2018
  Springer Nature Switzerland AG 2018

Abstract Aquatic system contamination is a subject of concern due to the high number of contaminants with the potential to be hazardous for plant and animal species, including humans. A large number of analytical methods have been developed to evaluate the extension of water solid-phase extraction and analyzed by LC-qTOF-MS/MS. The final method was able to detect 170 chemicals in wastewater treatment plant effluent and 198 chemicals in surface water. The advantage of using post-acquisition data processing provided by a qTOF-MS/MS system

Estudo detecta polui o por medicamentos nas águas da Amazônia

Jenny Gonz les
9 Abr 2022 Am zonia

Comentários Compartilhar artigo



Grandes rios da Amazônia Legal brasileira estão contaminados com uma ampla variedade de produtos farmacológicos, além de altas taxas de cafeina e nicotina, de acordo com pesquisa recente.

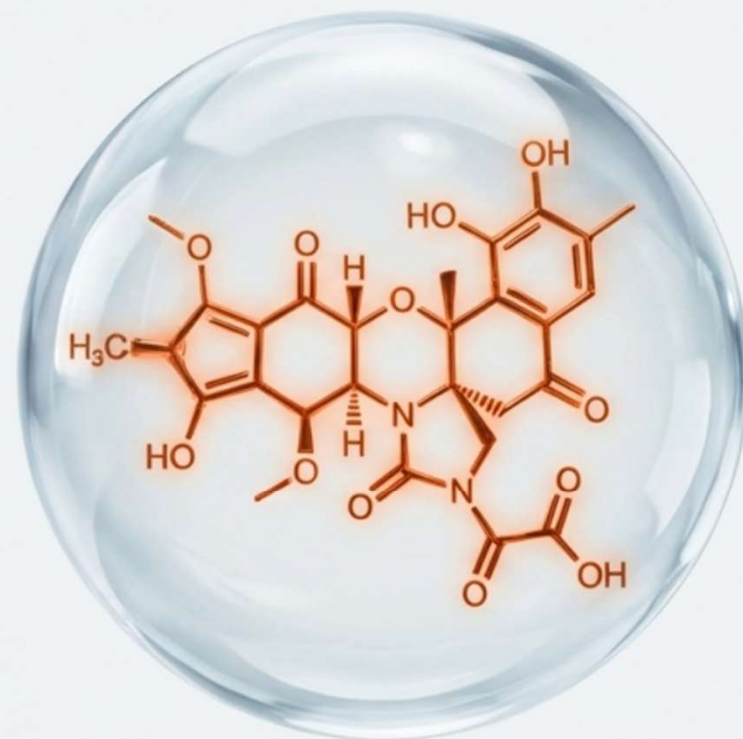
A Ameaça Invisível: O Que São os Contaminantes de Preocupação Emergente (CPEs)?

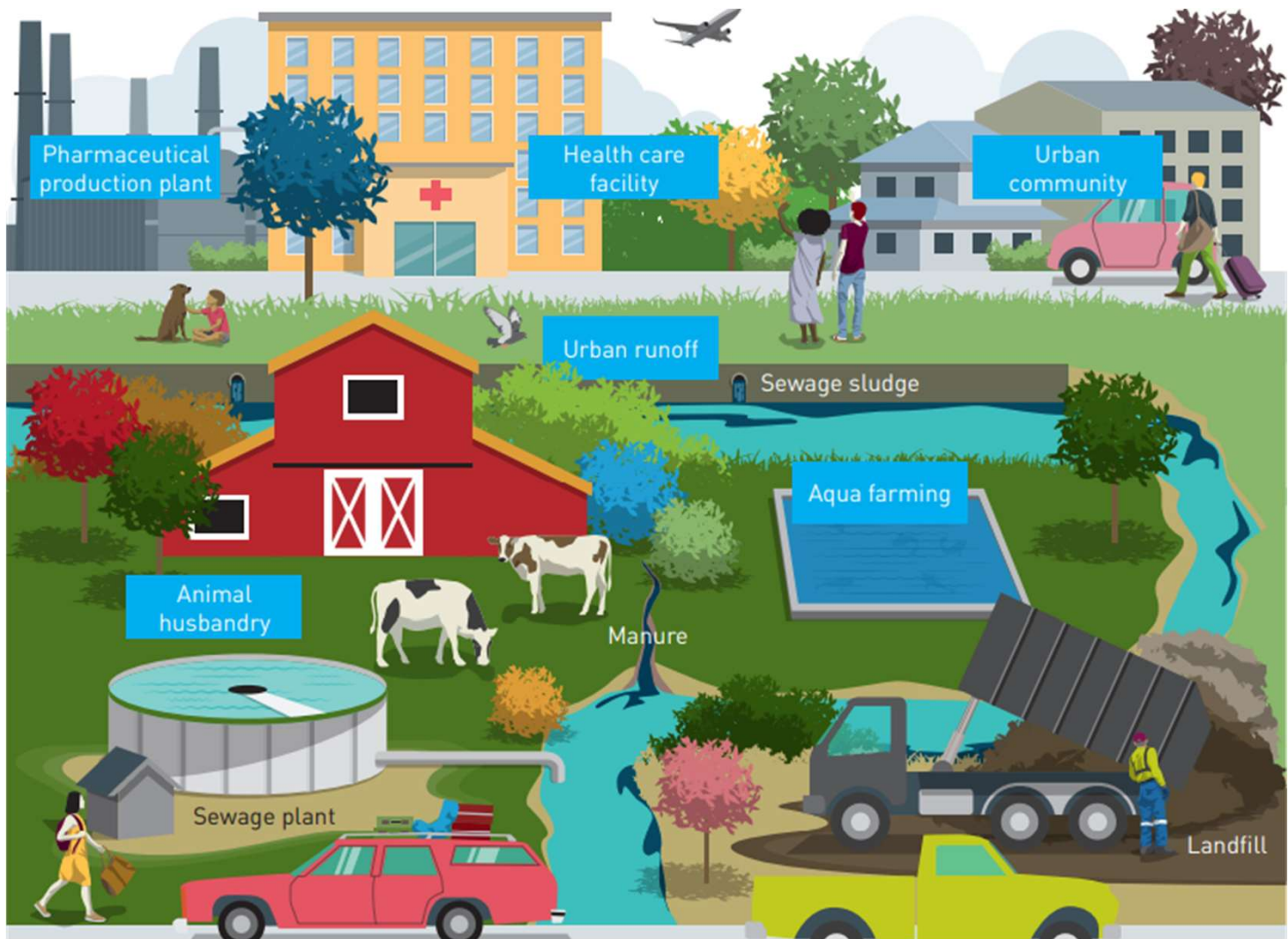
Definição: Poluentes não regulamentados, presentes em concentrações de traço (ng L^{-1}), mas com **alto potencial de risco ecológico** e **sanitário**.

As Classes Principais:

- **Fármacos** (Antibióticos, anti-inflamatórios, hormônios)
- **Pesticidas** (Herbicidas e inseticidas urbanos)
- **Produtos de Cuidado Pessoal** (Conservantes, filtros solares)

O Perigo: **Toxicidade crônica**, **desregulação endócrina** e aumento da **resistência bacteriana**.



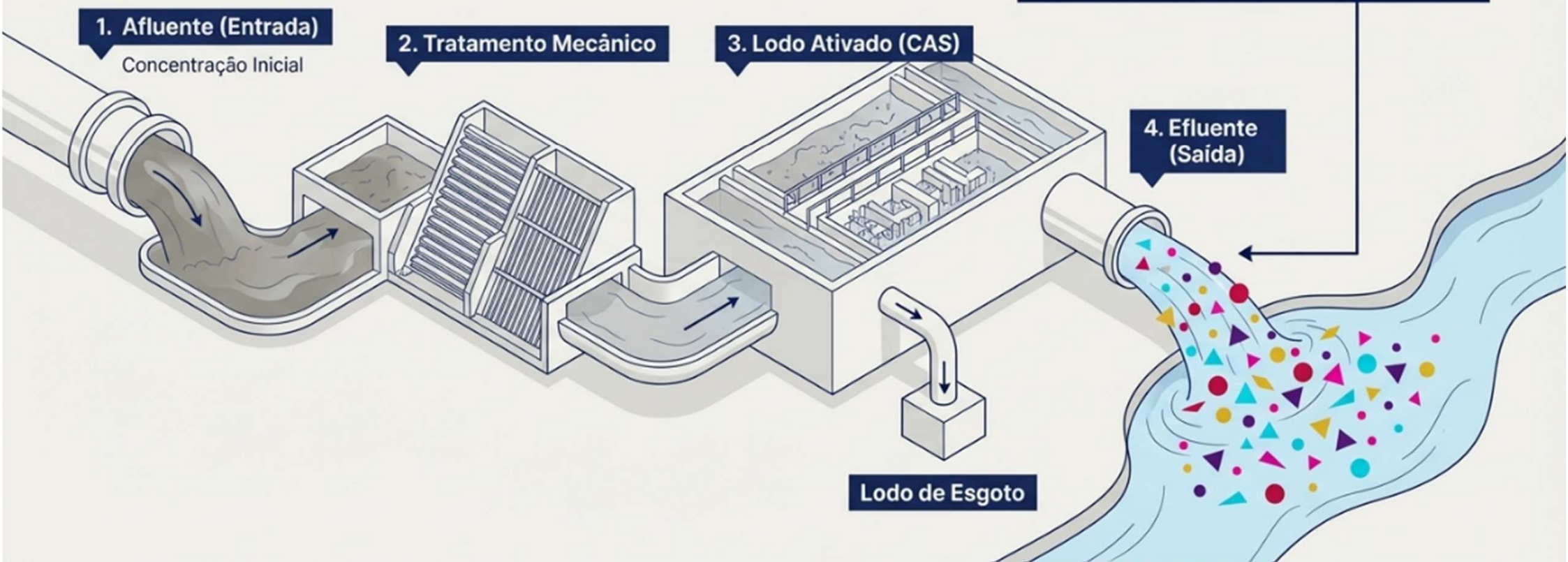


Possíveis rotas de contaminação por CPEs, de acordo com o United Nations Environment Programme (2022).

O percurso da contaminação: Onde a filtração biológica falha

O Falso Positivo

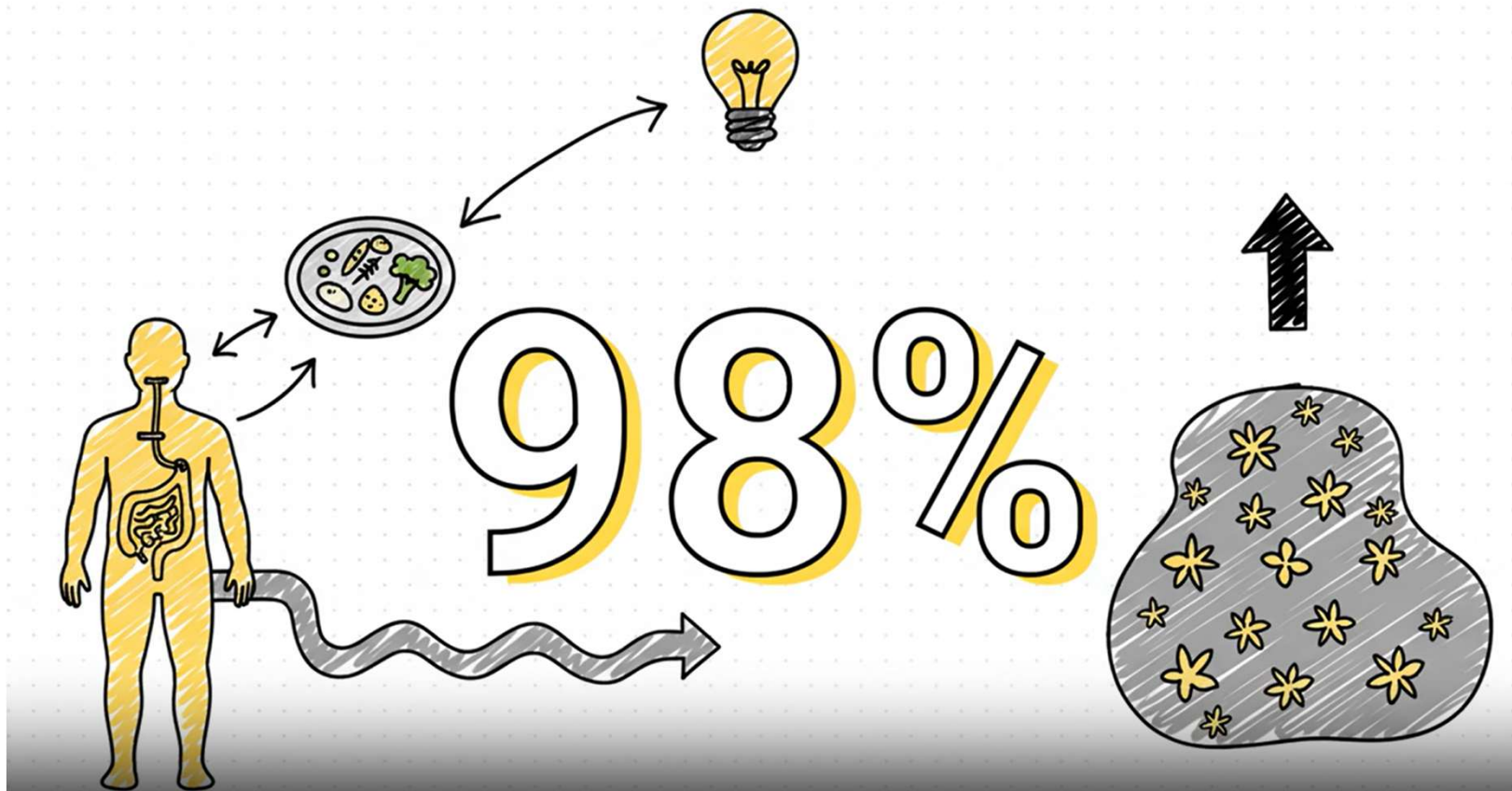
A água sai visualmente límpida, mas carrega moléculas ativas inalteradas direto para o ecossistema aquático.





“A reserva natural de fósforo é **finita** e pode se **esgotar** nos próximos 50 a 100 anos.





O fósforo não desaparece, ele apenas se perde nos lugares errados. Recuperá-lo não é apenas uma opção ambiental, é uma necessidade para a segurança alimentar global.

LEGISLAÇÕES

Minério de fosfato: bem mineral do qual o País depende de importação em alto percentual para o suprimento de setores vitais da economia.



DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 22/06/2021 | Edição: 115 | Seção: 1 | Página: 103
Órgão: Ministério de Minas e Energia/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

RESOLUÇÃO Nº 2, DE 18 DE JUNHO DE 2021

Define a relação de minerais estratégicos para o País, de acordo com os critérios de que trata o art. 2º do Decreto nº 10.657, de 24 de março de 2021.

Água de reúso: efluente tratado em grau suficiente para atender os padrões de qualidade definidos nesta resolução para aproveitamento não potável em determinadas atividades que não requerem necessariamente o uso de água potável



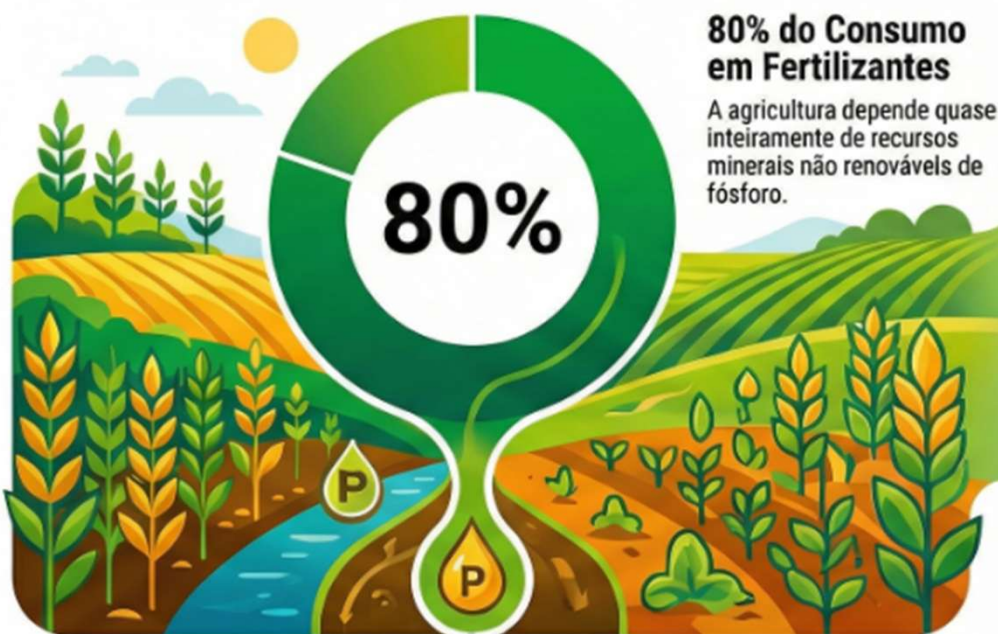
GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

RESOLUÇÃO Nº 419/2020

Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul.

Recuperação de Fósforo: Transformando Resíduos em Recurso Essencial

Fontes e Necessidade Global



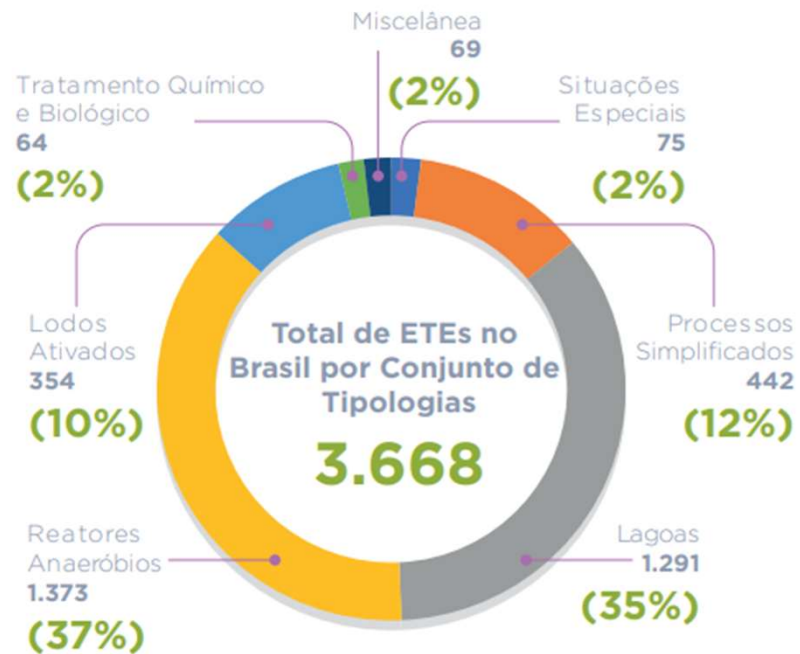
Tecnologias de Recuperação e Eficiência



Eficiência de Recuperação por Método e Fonte



PANORAMA DO TRATAMENTO DE ESGOTOS NO BRASIL



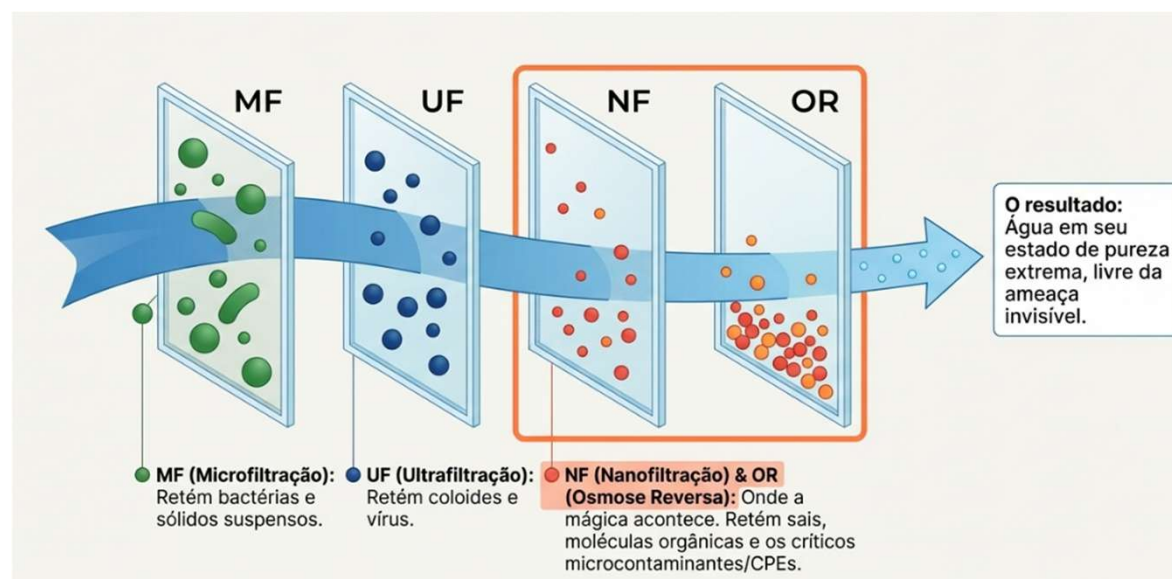
Fonte: Atlas do Esgoto, Agência Nacional das Águas (ANA)

OBJETIVOS



OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de separação por membranas (PSM) como uma alternativa para o tratamento terciário e/ou quaternário em estação de tratamento de efluente (ETE) municipal, visando mitigar o lançamento de contaminantes de preocupação emergente (CPEs) no meio ambiente.



METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

Município de São Leopoldo/RS

População total: 217.410 hab. (IBGE, 2022).

Localizado na Região Metropolitana de POA, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.



Fonte: Prefeitura Municipal de São Leopoldo

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO



METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

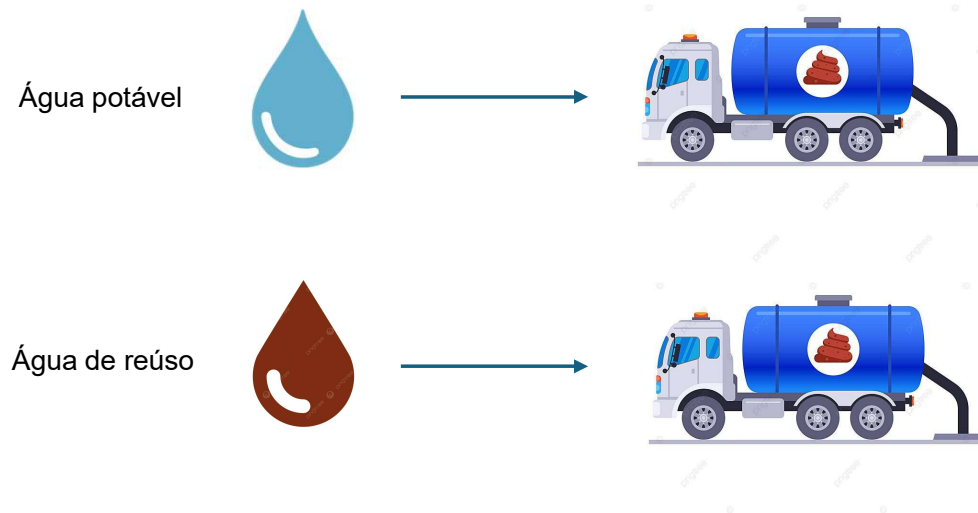


Fonte: Serviço Municipal de Água e Esgotos

AVALIAÇÃO TÉCNICA, OPERACIONAL E ECONÔMICA DO PROCESSO

Análise de Retorno sobre Investimento (ROI)

Payback: Cálculo do tempo necessário para recuperar o investimento inicial com base na economia gerada ou na receita adicional.



RESULTADOS

Caracterização dos efluentes (CPEs)

41 fármacos analisados

28 fármacos detectados, sendo 2 <LQ

em todas as amostras

Legenda:

PMH (ponto de monitoramento hospital)

PME (ponto de monitoramento entrada da

ETE)

PMS (ponto de monitoramento saída da

ETE)

Fármacos	LQ (ng/L)	Concentração (ng/L)					
		PMH1	PMH2	PME1	PME2	PMS1	PMS2
Acetaminofeno	26,00	9.738,82	6.523,71	16.753,80	102,20	8.314,56	19.416,95
Acido Acetilsalicílico	82,41	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ácido Mefenâmico	11,30	192,21	302,98	248,22	295,64	518,06	291,03
Ácido Salicílico	10,00	203,85	138,15	174,31	<LQ	72,94	236,01
Albendazol	2,00	14,32	15,03	19,86	14,90	23,32	23,92
Amoxicilina	13,30	n.d.	n.d.	910,15	943,92	1.036,44	1.052,74
Atenolol	2,00	1.846,38	2.424,72	1.161,61	604,49	975,46	1.446,34
Azitromicina	70,00	5.949,76	13.092,49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Carbamazepin	11,70	50,16	58,82	130,01	128,94	157,91	139,53
Cetoprofeno	2,00	4,11	4,99	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Ciprofloxacina	81,00	<LQ	<LQ	<LQ	1.273,65	390,00	<LQ
Clindamicina	10,32	152,71	197,65	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Diclofenaco	21,00	388,17	579,27	518,87	430,87	589,90	598,14
Dipirona	10,00	121,41	100,64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hidroclorotiazida	12,70	2.985,03	2.847,15	1.814,49	3.148,44	2.595,32	1.719,99
Ibuprofeno	66,00	19.264,84	25.568,25	15.635,78	1.311,17	10.616,68	19.573,79
Lidocaina	2,00	107,36	144,28	29,85	59,78	68,71	31,58
Metoprolol	2,00	35,29	46,62	125,67	107,84	140,61	151,06
Metronidazol	10,12	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Naproxem	42,00	n.d.	n.d.	1.027,31	190,99	779,46	1.312,79
Norfloxacina	68,00	14.381,17	21.693,80	82.962,03	32.063,96	49.559,80	93.462,29
Oxacilim	12,00	258,29	274,91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Propranolol	10,40	23,59	32,49	10,60	18,35	19,91	<LQ
Sotalol	10,40	402,39	487,87	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sulfadiazina	10,50	n.d.	n.d.	544,94	224,92	423,55	702,66
Sulfametoxazol	13,30	69,08	56,51	77,71	50,95	66,61	82,45
Tetraciclina	24,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Trimetoprim	10,30	31,64	40,20	44,63	<LQ	26,46	58,88
Tiabendazol	2,06	2,88	3,68	2,06	3,72	3,28	<LQ

Fonte: Própria autora, dados referentes a primeira campanha de coletas, realizada em Nov/2022)

RESULTADOS

Caracterização dos efluentes (CPEs)

38 pesticidas analisados
10 pesticidas detectados, sendo 1 <LQ em todas as amostras

Legenda:

PMH (ponto de monitoramento hospital)

PME (ponto de monitoramento entrada da ETE)

PMS (ponto de monitoramento saída da ETE)

Pesticidas	LQ (ng/L)	Concentração (ng/L)					
		PMH1	PMH2	PME1	PME2	PMS2	PMS3
2,4 D	0,67	33,80	28,57	481,90	9,89	205,90	720,23
Aldicarbe sulfóxido	1,00	1.135,16	876,84	779,04	212,63	333,33	906,21
Atrazina	0,50	0	0	4,77	10,02	8,97	5,56
Benomil	6,00	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Carbendazim	0,50	62,66	82,68	63,03	88,23	100,32	69,18
Diuron	0,60	15,78	18,97	36,89	46,19	51,49	35,44
Fipronil	0,50	0	0	4,69	0	9,36	2,58
Imazetapir	10,00	<LQ	14,57	0	0	0	0
Imidaclopride	0,70	12,45	14,04	10,93	19,41	22,50	13,25
Tebuconazol	0,50	1	<LQ	5,28	27,64	24,78	0,75
Tiametoxam	0,50	8,01	10,43	6,30	6,61	4,70	9,78

Fonte: Própria autora, dados referentes a primeira campanha de coletas, realizada em Nov/2022)

RESULTADOS ESPERADOS



- PSM apresentar alto índice de rejeição dos CPEs;
- apresentar alta taxa de remoção de fósforo;
- alta capacidade de produzir água de reuso;
- os estudos de viabilidade ajudem as companhias de saneamento a planejarem implementações futuras e melhores práticas em processos de tratamento de efluentes.



Neste sentido, propor um modelo de gerenciamento de processos e produtos alinhados aos princípios da circularidade, endossando as práticas de uso eficiente dos recursos.

Estimular a redução de emissões atmosféricas, consumo eficiente de água e energia, e manutenção dos recursos naturais.

RESULTADOS ESPERADOS

O Esgoto como 'Mina Urbana': Recuperação de Fósforo



"Minério de fosfato: bem mineral do qual o País depende de importação em alto percentual para o suprimento de setores vitais da economia."

A escolha da tecnologia de separação por membranas (PSM) não se deve apenas à sua eficiência na retenção de CPEs, mas ao seu imenso potencial para a concentração e recuperação de nutrientes.

Soberania Nacional: A Resolução Nº 2/2021 do Ministério de Minas e Energia classifica o fósforo como recurso estratégico. A economia circular transforma o custo de tratamento em insumo agrícola essencial.

RESULTADOS ESPERADOS

O Renascimento da Água: Reúso Não Potável





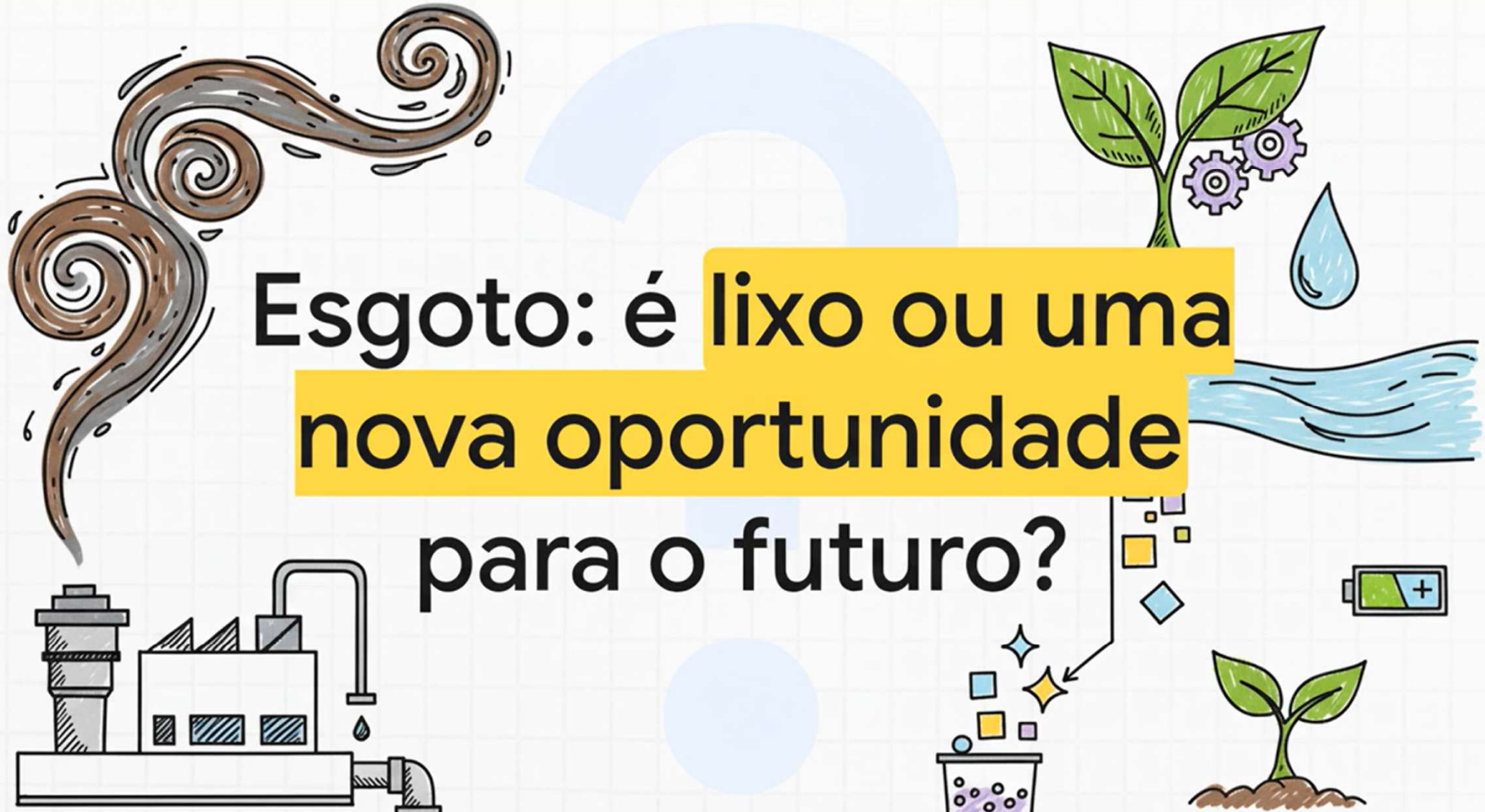
O Elo Perdido: Comunicação, Educação e Sociedade

A melhor infraestrutura de membranas

A melhor infraestrutura de membranas do mundo falhará sem a aceitação pública. O maior desafio estrutural para a implementação do reúso de efluentes em grande escala não é apenas tecnológico, mas profundamente cultural.

O Papel da Comunicação: Através de uma comunicação assertiva, a população ganha acesso ao conhecimento outrora restrito a artigos acadêmicos.

Educação Ambiental: Eliminar preconceitos históricos sobre o reúso de água e garantir que o cidadão se torne parte ativa e engajada do ciclo circular.



Esgoto: é lixo ou uma
nova oportunidade
para o futuro?

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Ministério da Saúde. **Resolução Da Diretoria Colegiada - RDC N° 222, De 28 De Março De 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. 2018.
- ALI, Amjad *et al.* Application of fertilizers improves cadmium phytoextraction efficiency of *Nasturtium officinale* R.Br. grown in cadmium-contaminated water. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 197, n° 2, p. 192, 2025.
- ARSAND, J.B. *et al.* Wide-Scope Determination of Pharmaceuticals and Pesticides in Water Samples: Qualitative and Confirmatory Screening Method Using LC-qTOF-MS. **Water, Air, and Soil Pollution**, vol. 229, n° 12, 2018.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA N° 430 DE 13/05/2011 - Federal - LegisWeb**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- DA SILVA, A.C. *et al.* Suspect screening and quantitative analysis of 165 contaminants of emerging concern in water, sediments, and biota using LC-MS/MS: Ecotoxicological and human health risk assessment. **Science of the Total Environment**, vol. 963, 2025.
- GAŁAZKA, Agnieszka; JANKIEWICZ, Urszula; SZCZEPKOWSKI, Andrzej. Biochemical Characteristics of Laccases and Their Practical Application in the Removal of Xenobiotics from Water. **Applied Sciences**, vol. 13, n° 7, 2023.
- LI, Xingyu *et al.* Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, vol. 278, p. 116420, 2024.

REFERÊNCIAS

- MI, Iborra-Clar; S, Carlos; I, Martón. Statistical Study of Membrane Performance for Different Pharmaceutical Compounds Removal. **Archives of Case Reports**, vol. 8, nº 1, p. 014–026, 2024.
- MONTAGNER, C.C. *et al.* Ten years-snapshot of the occurrence of emerging contaminants in drinking, surface and ground waters and wastewaters from São Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, vol. 30, nº 3, p. 614–632, 2019.
- PUBCHEM. **Compound Summary**. 2025. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4539>. Acesso em: 9 out. 2025.
- SILVA, Sofia *et al.* Occurrence of pharmaceutical active compounds in sewage sludge from two urban wastewater treatment plants and their potential behaviour in agricultural soils. **Environmental Science: Water Research & Technology**, [s. l.], vol. 7, nº 5, p. 969–982, 2021.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Environmental Dimensions of Antimicrobial Resistance: Summary for Policymakers*. Nairobi: UNEP, 2022. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38373/antimicrobial_R.pdf. Acesso em: 8 out. 2025.

Muito obrigada pela atenção!



Gostou do tema? Vamos conversar.
Entre em contato:

 aline.barreto@semae.rs.gov.br

