

COMO O USO DO PROCESSO UV-C/CL PODE SER UMA POLÍTICA DE MEIO AMBIENTE E DE RESPONSABILIDADE SOCIAL NAS EMPRESAS DE SANEAMENTO

Suzan Costa Zilli – suzanzilli@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (PPG-IPH), Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental (NESA)

Avenida Bento Gonçalves, 9500

91501-970 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Gabriela Bernart Zin – gabrielazin4@gmail.com

UFRGS, IPH, NESA

Louidi Lauer Albornoz – louidi.lauer@ufrgs.br

UFRGS, IPH, NESA

Tânia Mara Pizzolato – tania.pizzolato@ufrgs.br

UFRGS, Instituto de Química (IQ)

Salatiel Wholmuth da Silva – salatiel.silva@ufrgs.br

UFRGS, IPH, NESA

Resumo: A água para abastecimento humano apresenta deterioração da sua qualidade como consequência da poluição ambiental, sendo exemplos dessa redução a presença de compostos de preocupação emergente (CPE) como a atrazina (ATZ), o sulfametoxazol (SMX) e a carbamazepina (CBZ). Processos convencionais de tratamento de água não são capazes de remover os CPE, por isso, as empresas de saneamento deveriam estudar novas etapas unitárias a fim de melhorar sua responsabilidade social. Diante desse cenário, esse trabalho investigou o processo combinado de radiação UV-C e cloração para remoção desses CPE, visto que são dois processos empregados para desinfecção de água, não necessitam de grandes obras civis para implementação e que apresentam potencial oxidativo para contaminantes. Os resultados demonstraram que a adição do processo UV-C/Cl em ETA convencional poderia reduzir em 100% a concentração de ATZ e SMX e 14,2% de CBZ, podendo o processo compor as ações de compromisso socioambiental das empresas de saneamento, visto a melhoria na qualidade da água e da saúde da população abastecida.

Palavras-chave: CPE; radiação UV-C e cloração; atuação socioambiental; água tratada; saúde da população.



HOW THE USE OF THE UV-C/CL PROCESS CAN BE AN ENVIRONMENTAL AND SOCIAL RESPONSIBILITY POLICY IN SANITATION COMPANIES

Abstract: Water for human supply has deteriorated in quality as a consequence of environmental pollution, examples of this reduction are the presence of contaminants of emerging concern (CPE) such as atrazine (ATZ), sulfamethoxazole (SMX) and carbamazepine (CBZ). Conventional water treatment processes are not able to remove CPEs, therefore, sanitation companies should study new unitary steps in order to improve their social responsibility. Given this scenario, this work investigated the combined process of UV-C radiation and chlorination to remove these CPEs, since they are two processes used for water disinfection, do not require major civil works for implementation and have oxidative potential for contaminants. The results demonstrated that the addition of the UV-C/Cl process to conventional water treatment plant could reduce the concentration of ATZ and SMX and 14.2% of CBZ by 100% in water, and the process could be part of the socio-environmental commitment actions of sanitation companies, as improving water quality and the health of the population supplied.

Keywords: CECs (Contaminants of Emerging Concern); UV-C radiation and chlorination; socio-environmental performance; treated water; population health.

1. INTRODUÇÃO

Água segura é um bem fundamental à manutenção da vida. Atualmente, vive-se um período de escassez de água, seja em quantidade ou em qualidade em nível mundial (CALIJURI e CUNHA, 2019; WHO e UNICEF, 2021). Para além dos parâmetros de potabilidade, há diversos outros contaminantes sendo detectados e quantificados nas matrizes ambientais e, consequentemente, na água tratada. Esses contaminantes, chamados contaminantes de preocupação emergente – CPE, são considerados preocupantes porque não são removidos pelos processos convencionais de tratamento (de água ou de esgoto), não tem efeitos conhecidos nos organismos a longo prazo, não são regulados, e são potencialmente tóxicos – mesmo em baixas concentrações (GEISSEN et. al, 2015; MOHAMMADI et. al, 2022). A falta de conhecimento sobre a atuação desses compostos no organismo humano sendo consumido de forma contínua, por longo prazo e em conjunto na água de abastecimento é um fator de grande preocupação e deveriam ser consideradas formas de mitigação e minimização para garantia da saúde da sociedade.

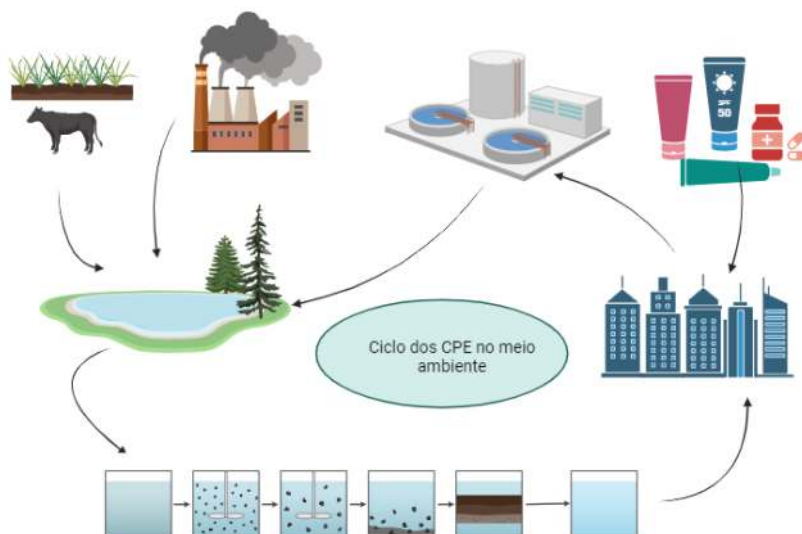
São encontrados cada vez mais nas águas de mananciais como resultado da utilização de produtos com a presença desses na indústria, nos estabelecimentos de saúde, agricultura, bens de consumo e usos domésticos. De forma geral, são divididos em três classes: fármacos, produtos de higiene e cuidado pessoal, e disruptores endócrinos (GOGOI et al., 2018). Os fármacos humanos ou veterinários, após utilizados, são excretados, seja em sua forma inalterada ou de seus metabólitos. Dessa forma, chegam aos sistemas de tratamento de esgotos (quando disponível) ou a corpos d'água (CORREIA e MARCANO, 2015). Os produtos utilizados em áreas de produção agrícola, como os agrotóxicos, acabam sendo carreados seja por escoamento seja por infiltração para os corpos d'água e é uma importante fonte de poluição das águas superficiais e subterrâneas (CONTRERAS-BLANCAS et al., 2020). O ciclo de entrada e permanência dos CPE no ambiente a partir de seus usos é demonstrado na figura 1. Diante da preocupação emergente com a saúde humana e ambiental, devem ser controlados com o emprego de tecnologias para tratamento dessa água ou desses resíduos (WOLS E HOFMAN-CARIS, 2012).

Nesse trabalho de pesquisa, são alvo os CPE atrazina (ATZ), carbamazepina (CBZ) e sulfametoxazol (SMX). ATZ é um herbicida amplamente utilizado no Brasil, sendo o terceiro mais vendido no país no ano de 2022 (BRASIL, 2022). É um dos poucos CPE com padrão estabelecido na



portaria de potabilidade da água para distribuição pública, sendo esse de $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$ (BRASIL, 2021). CBZ é um fármaco da classe dos anticonvulsionantes usado para tratamento de crises convulsivas e algumas doenças neurológicas (BRASIL, 2019). É considerada recalcitrante pois resiste ao tratamento biológico convencional de esgotos e ao tratamento convencional de água, e resistente à fotólise por não se degradar quando exposta à radiação solar (KOSMA et. al, 2020; AL-QAIM et. al, 2015; SOMATHILAKE et al., 2018). O SMX é um fármaco antimicrobiano da classe das sulfonamidas (BRASIL, 2007). Tem sido encontrado em águas superficiais, na saída de estações convencionais de tratamento de esgoto e mesmo em água tratada (ARSAND et al., 2018; VERLICCHI et al., 2012; BENOTTI et al., 2009).

Figura 1 - Ciclo dos contaminantes de preocupação emergente no meio ambiente



Diante do fato de que os processos convencionais de tratamento de água empregados no sistema de abastecimento público são inefficientes para a remoção de CPE, os processos oxidativos avançados (POA) se mostram como uma alternativa possível para essa remoção. Tais processos são aqueles em que há a formação de radical hidroxila ($\text{HO}^\bullet$, $E^0_{\text{oxi}} = 2,80 \text{ V}$), altamente reativo e não seletivo e, assim, com potencial de degradação de CPE (SILLANPÄÄ et al., 2018; BABU et al., 2019; BETHI et al., 2016). Atualmente se inclui nesses processos aqueles em que há a formação de outros radicais, como o radical sulfato e os radicais a base de cloro ou espécies reativas de oxigênio (KISHIMOTO, 2019; FARZANEHSA et al, 2023, NGUMBA et al., 2020).

A aplicação de cloro (Cl) é um fator comum nas ETA brasileiras na etapa de desinfecção e para a garantia de manutenção de ação desinfetante residual ao longo da rede de distribuição (RICHTER, 2009), prática exigida por legislação para manutenção da qualidade microbiológica (BRASIL, 2021). Outra forma de desinfecção de água tratada é a fotólise por radiação UV, sendo mais recomendado para esse fim a radiação na região do UV-C (STEFAN, 2004; METCALF e EDDY, 2016).

A combinação desses dois processos - o processo UV/Cl - vem sendo indicado como forma de remoção de CPE por ser mais eficiente e com melhor custo-benefício quando comparado ao UV/ H_2O_2 (FARZANEHSA et al., 2023). Kishimoto (2019) enfatiza que o processo UV/Cl seria facilmente incorporado às estações convencionais de tratamento de água, por já serem individualmente aplicados. No cenário atual, a remoção de CPE é parte fundamental da melhoria da qualidade da água, tornando-a mais segura para a sociedade, como preconiza o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 - Água potável e saneamento, da Organização das Nações Unidas (ONU, 2024).

Esse trabalho busca fundamentar a implementação do UV-C/Cl em plantas de tratamento de água convencionais, considerando que seriam de mais fácil implementação em plantas ativas em que a cloração seja utilizada, com a mínima intervenção de obras civis, contribuindo para a distribuição de uma água mais segura à população. Assim, as empresas de saneamento responsáveis pela entrega da



água tratada estariam atuando de forma proativa na melhoria da água dos seus usuários, visto que é de conhecimento que os CPE estão presentes nos mananciais. Essa iniciativa seria um passo importante no engajamento por alterações nos processos das ETA no país, e mesmo na conscientização do uso indiscriminado dos CPE e em uma maior regulação deles–

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de degradação foram conduzidos em sistema de tratamento especificado no item 2.2. Foram elaborados três grupos de experimentos a serem praticados: a) aplicação apenas de cloração via hipoclorito de sódio a 1%; b) aplicação da combinação UV-C/Cl; c) aplicação apenas da radiação UV-C. Nos experimentos em que há adição do cloro essa é realizada para uma concentração final de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ na solução – que é a menor concentração exigida para potabilidade da água distribuída para consumo público.

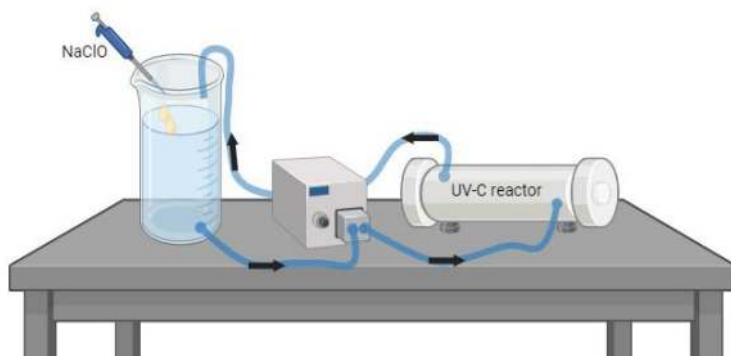
2.1 Solução de trabalho

Água deionizada proveniente de um sistema de osmose reversa (Permutation, RO0420) com pH 6,1 adicionada dos contaminantes ATZ, CBZ e SMX (produtos comerciais) em concentração final de 5 mg L^{-1} cada.

2.2 Sistema de tratamento

O sistema de tratamento é composto por um recipiente de vidro onde a solução é armazenada e conectado ao reator de radiação UV-C. O reator é um cilindro em aço inox onde a lâmpada UV-C (TUV 16W 4P SE UNP/32, Philips) é inserida axialmente – revestida por tubo de quartzo. Uma bomba mantém o fluxo da solução entre recipiente e reator e garante a agitação da solução (Figura 2).

Figura 2 - Sistema de tratamento UV-C/Cl: composto de reservatório, reator UV-C e bomba.



2L da solução de trabalho são colocados no reservatório e a bomba ligada para preencher o sistema e manter a recirculação. O hipoclorito de sódio a 1% é adicionado no tempo zero do experimento e a lâmpada UV-C acionada. Amostras para acompanhamento da concentração dos contaminantes via HPLC são coletadas na mangueira de retorno ao reservatório nos tempos 0, 2,5, 5, 10, 15, 30 e 60 min.

2.3 Análises

Medidas de pH foram realizadas em uma sonda multiparâmetros Digimed DM-22 equipado com eletrodo combinado de pH DME-CV1, previamente calibrado com as soluções de calibração pH 4, pH 7 e pH 10 Digimed.

A concentração dos contaminantes foi monitorada em um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) Shimadzu LC20A, utilizando um detector UV-VIS de arranjo de diodos (Diode Array



Detector, DAD) SPD-20AV e amostrador automático SIL-20A. A fase estacionária utilizada foi uma coluna Shim-pack XR-ODS C18 (3,0 mm ID × 50 mm, Shimadzu) e fase móvel A (55%) tampão fosfato 0,025 M (pH 2,5; 2,5 g NaH₂PO₄·2H₂O Merck P.A.; 0,65 mL de H₃PO₄ Synth P.A. 85 %) e fase móvel B (45%) acetonitrila (Merck, grau HPLC) em fluxo de 1 mL . min⁻¹. O volume de injeção de cada amostra foi de 20 µL e o monitoramento dos analitos se deu nos comprimentos de onda de 210 nm para ATZ, 210 nm para CBZ e 269 nm para SMX. Os tempos de retenção foram 6,765 min, 6,092 min e 5,823 min, respectivamente.

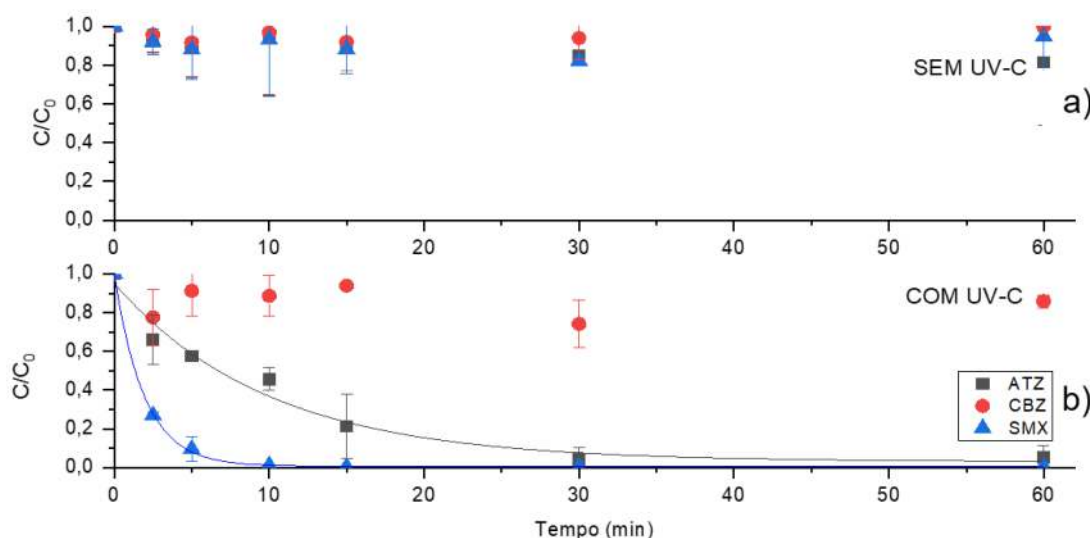
A mineralização dos compostos foi monitorada em aparelho TOC-L CPH Shimadzu equipado com um injetor de amostra automático (ASI-L). As análises foram realizadas seguindo o método Non-Purgeable Organic Carbon (NPOC), que realiza a medida do carbono orgânico não volátil presente na amostra a partir de oxidação térmica catalítica a 680°C com fornecimento contínuo de fluxo de oxigênio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimentos apenas com Cloro

Na presença de cloro e ausência de UV-C os níveis dos contaminantes permanecem sem variações significativas (Figura 3a). Os resultados de baixa ou nenhuma degradação de ATZ, CBZ e SMX pelo cloro estão de acordo com a literatura. Estudos relatados por Benotti et al. (2009) demonstram que a ATZ é pouco degradada por cloro mesmo em tempos de contato de 24h, atingindo o máximo de 44% de degradação em água tratada com dosagem de 1,2 mg L⁻¹ de cloro. A CBZ também demonstra resistência a degradação por cloro: em água tratada, sua remoção foi de 9%, com dosagem de cloro de 1,2 mg L⁻¹ e tempo de contato de 24h (BENOTTI et al., 2009). Para o SMX, Benotti et al. (2009) relatam degradação de 48% em água tratada, com cloro a 1,2 mg L⁻¹ em tempo de contato de 24h. Todos esses resultados foram obtidos com tempos de contato de 24h, muito superiores ao tempo total dos experimentos realizados nesse trabalho que foi de 1h. O monitoramento de COT demonstrou nenhuma redução do carbono orgânico total. Os resultados dessa etapa dos experimentos demonstraram que a dosagem mínima de cloro aplicada nas ETA no Brasil não é capaz de degradar os CPE ATZ, CBZ e SMX.

Figura 3 - a) remoção dos contaminantes ATZ, CBZ e SMX em solução mista nas condições SEM UV-V e com Cloro; b) remoção dos contaminantes ATZ, CBZ e SMX em solução mista nas condições COM UV-C e com cloro.



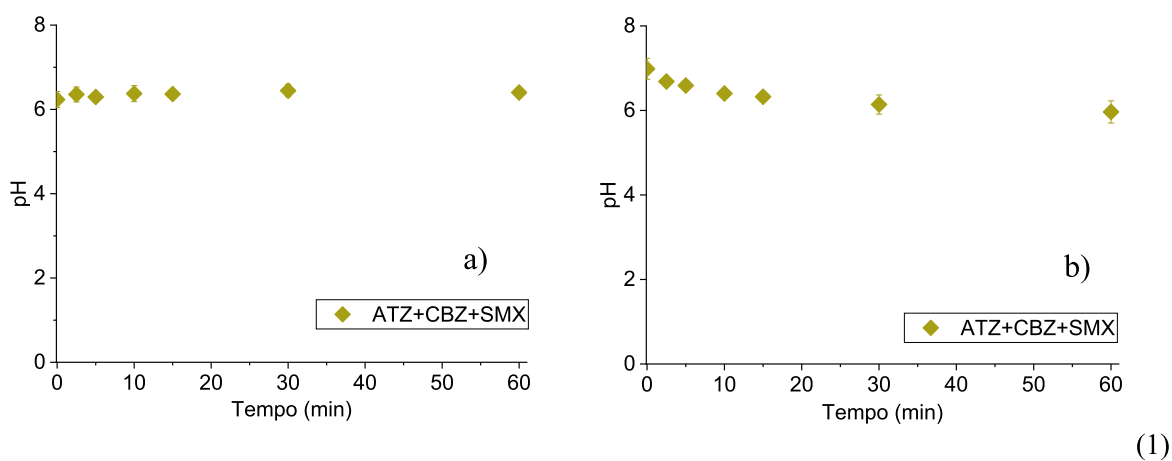
3.2 Experimentos com a combinação UV-C/Cl

Nos experimentos com aplicação da combinação de radiação UV-C/Cl a ATZ apresenta degradação a uma taxa de $0,101 \text{ min}^{-1}$, com R^2 de ajuste da curva de 0,973, sendo completamente degradada ao final do experimento. A CBZ apresentou uma baixa degradação, com redução de apenas 14,2% da concentração inicial ao final do experimento. Ela é considerada fotorresistente e de baixa reatividade com espécies reativas de cloro, altamente reativa apenas com radicais hidroxila e ozônio (SÁNCHEZ-MONTES et al. 2020; SGROI et al., 2021; SOMATHILAKE et al., 2018). Já o SMX tem a concentração inicial reduzida em 70% em 2,5 min de experimento, alcançando níveis de não detecção a partir do instante 15 min. O ajuste da curva apresenta um R^2 de 0,9994 e uma taxa de decaimento de $0,518 \text{ min}^{-1}$ (Figura 3b). Ambas as cinéticas de degradação (ATZ e SMX) seguem o padrão de primeira ordem. O monitoramento de COT demonstrou baixa redução do carbono orgânico total, indicando que há a formação de produtos de transformação - e que devem ser avaliados em etapas futuras do estudo.

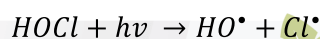
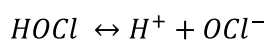
3.3 Análise dos resultados de pH

Quanto ao pH, esse se manteve por volta de 6,0 nos experimentos Cl e, entre 6,0 e 7,0 nos experimentos UV-C/Cl, não demonstrando variação ao longo do tempo de reação (Figura 4). O hipoclorito de sódio, após adicionado na água, se dissocia gerando ácido hipocloroso HOCl (equação 1). Nesse momento se desenvolve um equilíbrio entre suas formas dissociada (ClO^-) e não dissociada (HOCl) (equação 2). A predominância de uma forma sobre a outra é dependente do pH: em pH menores que 7,5, predomina a forma HOCl; em pH maiores que 7,5, predomina a forma ClO^- . Ao adicionar uma fonte de radiação, o HOCl gera radical hidroxila e radical cloro (equação 3). Considerando que o pico de absorvidade molar do HOCl é 240nm, a radiação UV-C – empregada nesse estudo – é a mais eficiente para essa fotólise. Sendo assim e considerando que o pH do sistema de tratamento ficou abaixo de 7,5, é esperado que as formas presentes no meio quando empregado o sistema combinado sejam os radicais $\text{HO}^\bullet$ e $\text{Cl}^\bullet$.

Figura 4 - Resultados de pH nos experimentos: a) apenas Cl; b) combinação UV-C/Cl



(2)



(3)

Realização

ABES-RS

PUCRS

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br

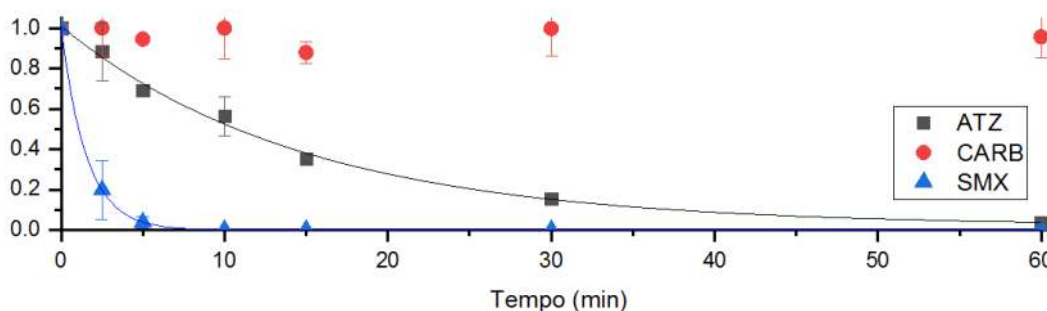


3.4 Experimentos apenas com UV-C

Foram realizados também experimentos na ausência de cloro - ou seja, na presença apenas da radiação UV-C - com objetivo de avaliar a interferência desse fator isolado no conjunto de resultados. A ATZ demonstra uma resposta mais lenta em comparação à condição de processos combinados, com taxa de $0,067 \text{ min}^{-1}$, em uma curva ajustada com R^2 de 0,994 (Figura 5). Apesar de mais lenta, ocorreu uma remoção total da ATZ de 96,2%, seguindo cinética de primeira ordem, o que está de acordo com o relatado na literatura (YE et al., 2007). A alta degradabilidade da ATZ em sistemas com fotólise é conhecida, porém ela se transforma em hidroxietrazina, que é muito resistente à fotólise, o que praticamente impossibilita a mineralização. Os produtos de transformação da ATZ são degradados apenas por reações radicalares (RÓZNA et al., 2019).

A CBZ segue apresentando baixa remoção, ainda menor que 5% (Figura 5), provavelmente pela ausência de $\text{HO}^\bullet$ no meio, que seria gerado em reação em cadeia a partir da irradiação do cloro. O SMX apresentou comportamento semelhante quando comparado à condição UV-C/Cl. A taxa foi de $0,647 \text{ min}^{-1}$ (pouco maior que na condição anterior) um ajuste de curva de R^2 de 1,0, também atingindo ponto de não detecção no instante 15 min e mantendo cinética de primeira ordem (Figura 5). A alta remoção de SMX obtida pelo tratamento UV-C ocorre de acordo com o esperado, segundo relatos prévios (NGUMBA et al., 2020; SGROI et al. 2021; SÁNCHEZ-MONTES et al. 2020b).

Figura 5 - Resultados dos experimentos com emprego apenas de UV-C.



4. CONCLUSÃO

No Brasil, 203,1 milhões de habitantes são atendidos por serviço de tratamento e distribuição de água, média de 84,9% da população total. Na região Sul, esse percentual sobe para 91,6 % (SNIS, 2023). De toda a população abastecida, não é possível dizer quantas são afetadas pela presença de CPE, visto que não é parâmetro de monitoramento obrigatório. Porém, uma publicação de Farto et al. (2021) elaborou um compilado de estudos relacionados a CPE no Brasil e constatou que já foram detectados CPE na água tratada dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Piauí, Pará, Mato Grosso, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Ceará e Santa Catarina. Ou seja, é necessária uma ação para mudar esse cenário. E nada mais efetivo que as operadoras de saneamento atuem nesse quesito, ampliando as etapas de tratamento das ETA existentes.

Os resultados desse trabalho permitiram perceber que a dosagem mínima de cloro livre aplicada nas estações de tratamento convencional de águas para abastecimento não é capaz de degradar os CPE em questão. Porém, com a adição do fator UV-C é possível remover a ATZ e o SMX, além de causar uma redução na concentração de CBZ. Considerando esses dados obtidos aliados ao cenário de exposição da população aos CPE pode-se dizer que seria de interesse público a incorporação desse método ao tratamento convencional de água para abastecimento. A implementação do processo UV-C/Cl como melhoria da qualidade da água distribuída pelas concessionárias demonstra uma atuação proativa que poderia ser incorporada às ações e compromissos da política de meio ambiente e de



responsabilidade social da empresa. Dessa forma, indo ao encontro do atendimento de itens do ODS 6, que trata de segurança na qualidade da água de abastecimento. Cabe destacar que devem ser avaliados também a toxicidade inerente à degradação desses CPE e os produtos de transformação gerados ao longo dos processos, para conferir maior segurança à água tratada.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio de CNPq, CAPES, FINEP e FAPERGS.

REFERÊNCIAS

AL-QAIM, F.; ABDULLAH, M.; OTHMAN, M. et al. Investigation of the Environmental Transport of Human Pharmaceuticals to Surface Water: A Case Study of Persistence of Pharmaceuticals in Effluent of Sewage Treatment Plants and Hospitals in Malaysia. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 26, 2015.

ARSAND, J.; HOFF, R.; JANK, L. et al. Wide-Scope Determination of Pharmaceuticals and Pesticides in Water Samples: Qualitative and Confirmatory Screening Method Using LC-qTOF-MS. **Water Air Soil Pollut**, v. 229, 2018.

BABU, D.; SRIVASTAVA, V.; NIDHEESH, P.V.; KUMAR, M. S. Detoxification of water and wastewater by advanced oxidation processes. **Science of The Total Environment**, v.696, 2019.

BENOTTI, M. J.; TRENHOLM, R. A.; VANDERFORD, B. J. et al. Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Compounds in U.S. Drinking Water. **Environ. Sci. Technol.**, v. 43, p. 597-603, 2009.

BETHI, B.; SONAWANE, S.; BHANVASE, B.; GUMFEKAR, S. Nanomaterials-based advanced oxidation processes for wastewater treatment: A review. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v.109, p.178-189, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Consultas: carbamazepina. 2019. Disponível em: <https://consultas.anvisa.gov.br/#/medicamentos/25351011440201951/?nomeProduto=carbamazepina>. Acesso em 18 jan 2024.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Painéis de informações de agrotóxicos. 2022. Disponível em: <http://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em 19 jan 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Abastecimento de Água 2022. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ab>

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União – Brasília, 2021.

CALIJURI, Maria do C.; CUNHA, Davi Gasparini F. **Engenharia Ambiental - Conceitos, Tecnologias e Gestão**. Barueri: Grupo GEN, 2019

CONTRERAS-BLANCAS, E.; RUIZ-ORDAZ, N.; GALÍNDEZ-MAYER, J. et al. Permeable reactive surface-biobarriers. Testing and evaluation of an ecotechnology for the removal of agrototoxic compounds carried by agricultural runoffs. **J Environ Health Sci Engineer**, v. 18, p. 559–571, 2020.



CORREIA, A.; MARCANO, L. Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales. Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. **Bol. Mal. Salud Amb.**, v. 55, p. 1-18, 2015.

FARTO, C. D.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; SENA, R. F.; ROSENHAIM, R. 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**, v. 18, 2021.

FARZANEHSA, M.; VAUGHAN, L.; ZAMYADI, A.; KHAN, S. Comparison of UV-Cl and UV- H₂O₂ advanced oxidation processes in the degradation of contaminants from water and wastewater: a review. **Water Environ J.**, p.1-11, 2023.

GEISSEN, V.; MOL, H.; KLUMPP, E. et al. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, p. 57–65, 2015.

GOGOI, Anindita; MAZUMDER, Payal; TYAGI, Vinay Kumar; CHAMINDA, G.G. Tushara; NA, Alicia Kyoungjin; KUMAR, Manish. Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 6, p. 169-180, 2018.

KISHIMOTO, N. State of the Art of UV/Chlorine Advanced Oxidation Processes: Their Mechanism, Byproducts Formation, Process Variation, and Applications. **Journal of Water and Environment Technology**, v. 17, n. 5, p.302–335, 2019.

KOSMA, C.; KAPSI, M.; KONSTAS, P. et al. Assessment of multiclass pharmaceutical active compounds (PhACs) in hospital WWTP influent and effluent samples by UHPLC-Orbitrap MS: Temporal variation, removals and environmental risk assessment. **Environmental Research**, v. 191, 2020.

METCALF AND EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Porto Alegre: Grupo AMGH, 2016.

MOHAMMADI, A.; DOBARADARAN, S.; SCHMIDT, T.C. et al. Emerging contaminants migration from pipes used in drinking water distribution systems: a review of the scientific literature. **Environ Sci Pollut Res.**, v. 29, p. 75134–75160, 2022.

NGUMBA, E.; GACHANJA, A; TUHKANEN, T. Removal of selected antibiotics and antiretroviral drugs during post-treatment of municipal wastewater with UV, UV/chlorine and UV/hydrogen peroxide. **Water and Environment Journal**, v. 34, p. 692–703, 2020.

ONU. Organização das Nações Unidas. Department of Economic and Social Affairs. The 17 goals. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em 30 jan 2024.

RICHTER, Carlos A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher, 2009.

SÁNCHEZ-MONTES, I.; GARCÍA, I. S.; IBÁÑEZ, G. R. et al. UVC-based advanced oxidation processes for simultaneous removal of microcontaminants and pathogens from simulated municipal wastewater at pilot plant scale. **Environ. Sci.: Water Res. Technol.**, v. 6, 2020.

SGROI, M.; ANUMOL, T.; VAGLIASINDI, F. G. A. et al. Comparison of the new Cl₂/O₃/UV process with different ozone and UV-based AOPs for wastewater treatment at pilot scale: Removal of



pharmaceuticals and changes in fluorescing organic matter. **Science of The Total Environment**, v. 765, 2021.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; MATILAINEN, A. Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. **Journal of Environmental Management**, v. 208, p.56-76, 2018.

SOMATHILAKE, P.; DOMINIC, J. A.; ACHARI, G.; LANGFORD, C. H.; TAY, J. Use of low pressure mercury lamps with H₂O₂ and TiO₂ for treating carbamazepine in drinking water: Batch and continuous flow through experiments. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 230-2036, 2018.

STEFAN, M. I. UV Photolysis: background. In: PARSONS, S. **Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment**. London: IWA Publishing, 2004.

VERLICCHI, P.; AUKIDY, M.; GALLETTI, A. et al. Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of pharmaceuticals and environmental risk assessment. **Science of the Total Environment**, v. 430, p. 109-118, 2012.

WOLS, B.A.; HOFMAN-CARIS, C.H.M. Review of photochemical reaction constants of organic micropollutants required for UV advanced oxidation processes in water. **Water Research**, v. 46, p. 2815-2827, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF). **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs**. Geneva: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF), 2021.

YE, X.; CHEN, D.; LI, K.; WANG, B., HOPPER, J. Photolytic Treatment of Atrazine-Contaminated Water: Products, Kinetics, and Reactor Design. **Water Environment Research**, v. 79, n. 8., 2007.

