

## PROCESSOS CONVENCIONAIS E PROMISSORES DE INATIVAÇÃO OU REMOÇÃO DO SARS-COV-2 DE ESGOTOS: REVISÃO DE PRINCÍPIOS E MECANISMOS DE AÇÃO

### CONVENTIONAL AND PROMISING PROCESSES FOR INACTIVATING OR REMOVING SARS-COV-2 FROM SEWAGE: REVIEW OF PRINCIPLES AND MECHANISMS OF ACTION

Pedro Henrique Mainardi<sup>a</sup>, Ederio Dino Bidoia<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP

[pedro.h.mainardi@unesp.br](mailto:pedro.h.mainardi@unesp.br), [ederio.bidoia@unesp.br](mailto:ederio.bidoia@unesp.br)

Submissão: 15 de fevereiro de 2022

Aceitação: 16 de maio de 2022

#### Resumo

O SARS-CoV-2 é um novo tipo de coronavírus capaz de infectar humanos e causar a síndrome respiratória aguda grave COVID-19, uma doença que, devido ao seu alto índice de disseminação e fatalidade, tem causado enormes impactos no Brasil e no mundo. Estudos publicados por diversos pesquisadores indicaram a frequente detecção de fragmentos do SARS-CoV-2 em amostras obtidas de redes de esgoto ou de estações de tratamento dos mesmos. A presença do novo coronavírus nesses ambientes tem levantado a possibilidade da transmissão indireta da COVID-19 via rota fecal-oral, ou seja, por meio do contato com águas residuais contaminadas. Além disso, a presença do novo coronavírus nesses ambientes também tem levantado a possibilidade da disseminação do SARS-CoV-2 em animais domesticados e selvagens, assim, propiciar a propagação do patógeno em surtos futuros por meio de infecções cruzadas. Sabendo que inibir a propagação do SARS-CoV-2 através de matrizes aquáticas tem se demonstrado de grandíssima importância como controle da COVID-19, e que o descarte ou reutilização das águas residuais de forma segura tem dependido diretamente da eficácia dos processos de tratamento das mesmas, o objetivo desta revisão foi de descrever os métodos convencionais de inativação ou remoção do SARS-CoV-2 de esgotos, e tecnologias promissoras que poderiam ser utilizadas com estas finalidades. No artigo, foram destacados os mecanismos de ação das técnicas e também breves recomendações que visavam fomentar práticas eficientes e seguras caso implementadas.

**Palavras-chave:** água residuária, desinfecção, efluente, matrizes aquáticas, profilaxia, recursos hídricos, saneamento.

#### Abstract

SARS-CoV-2 is a new type of coronavirus capable of infecting humans and cause the severe acute respiratory syndrome COVID-19, a disease that, due to its high rate of spread and fatality, has caused enormous impacts in Brazil and in the world. Studies published by several researchers indicated the frequent detection of fragments of SARS-CoV-2 in samples obtained from sewage networks or sewage treatment plants. The presence of the new coronavirus in those environments has raised the possibility of the indirect transmission of COVID-19 via the fecal-oral route, that is, through the contact with contaminated wastewater. In addition, the presence of the new coronavirus in those environments has also raised the possibility of the spread of SARS-CoV-2 in domesticated and wild animals, thus, propitiate the spread of the pathogen in future outbreaks through cross-infection. Knowing that inhibiting the spread of SARS-CoV-2 through aquatic matrices has proved to be of great importance as a control of COVID-19, and that the disposal or reuse of wastewater in a safe way has directly depended on the effectiveness of their treatment processes, the objective of this review was to describe the conventional methods of inactivating or removing the SARS-CoV-2 from sewage, and promising technologies that could be used for those purposes. In the article, the mechanisms of action of the

techniques were highlighted and also brief recommendations aimed at promoting efficient and safe practices if implemented.

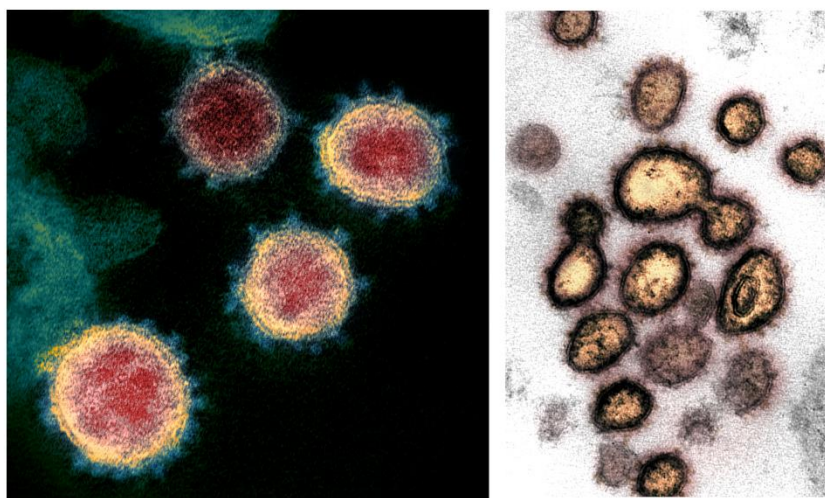
**Keywords:** wastewater, disinfection, effluent, aquatic matrices, prophylaxis, water resources, sanitation.

## 1. INTRODUÇÃO

SARS-CoV-2 é um novo tipo de coronavírus pertencente à família *Coronaviridae* e ao gênero *Betacoronavirus*. Esse vírus, também chamado de novo coronavírus, é responsável por causar a “Doença por Coronavírus – 2019” (COVID-19), uma enfermidade que pode ocasionar graves infecções no sistema respiratório humano. A doença, COVID-19, foi vista por ocasionar manifestações em vários sistemas humanos, incluindo o cardiovascular, renal, musculoesquelético, nervoso, imunológico, ocular, gastrointestinal, dermatológico, reprodutor e principalmente o respiratório (BORSA & MAZET, 2020; CARRASCOSA et al., 2020; DE GIORGIO et al., 2020; LI et al., 2020a; LI et al., 2020b; NAVEL et al., 2020; WU et al., 2020; YANG & TU, 2020; CRETA et al., 2021; SMET et al., 2021). Pacientes sintomáticos, em geral, têm apresentado sintomas clínicos como febre, tosse, rinorreia, dor de garganta, dor de cabeça, fadiga, congestão nasal, disfunções de cheiro e paladar, sintomas gastrointestinais, incluindo diarreia e vômitos, e em alguns casos, pneumonia viral e síndrome de dificuldade respiratória aguda grave (LOVATO & DE FILIPPIS, 2020; VINER et al., 2020).

O SARS-CoV-2 contém um genoma de tamanho aproximado de 30.000 nucleotídeos de fita simples de RNA sentido positivo (UZUNIAN, 2020). De acordo com microfotografias eletrônicas, o vírus é circundado por um envelope lipídico que possui em sua superfície glicoproteínas denominadas “*spike*”, estruturas em forma de coroa que derivaram seu nome (“corona” é a palavra latina para coroa) (SHARMA et al., 2020) (Figura 1). Embora vírus envelopados tenham sido comumente considerados menos resistentes do que os vírus nus, em especial, devido ao fato de que agentes químicos tendem a degradar os envelopes virais (WURTZER et al., 2021), o SARS-CoV-2, desde a sua primeira detecção, tem rapidamente se propagado através do contato direto com secreções contaminadas, capazes de serem transportadas e dispersadas pelo ar, como gotículas respiratórias, saliva e partículas aerossóis (PRATHER et al., 2020; TANG et al., 2020). Estudos também indicaram a possível transmissão do SARS-CoV-2 pelo contato indireto com superfícies contaminadas, incluindo plásticos, aço inoxidáveis, papéis, vidros, capas protetoras de plástico e luvas de borracha de nitrilo (BUECKERT et al., 2020; XIE et al., 2020).

**Figura 1. Micrografia eletrônica de transmissão de partículas do SARS-CoV-2 isoladas de um paciente.**



Fonte: NIAID-RML - National Institute of Allergy and Infectious Diseases - Rocky Mountain Laboratories

O SARS-CoV-2 foi detectado pela primeira vez no final de dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China (MOHAMMADI et al., 2020). A enorme velocidade de disseminação, juntamente com uma elevada taxa de mortalidade, tem tornado a doença um enorme problema de saúde em nível mundial, e ocasionado enormes impactos sociais e econômicos ao redor do mundo (SOOD et al., 2020). A COVID-19, segundo a Organização Mundial da Saúde, foi considerada como uma emergência de saúde a nível mundial no final de janeiro de 2020, e adquiriu proporções pandêmicas em março de 2020 (OMS, 2020a). De acordo com a agência das Nações Unidas, desde o início da pandemia até o dia 27 de dezembro de 2021, houve cerca de 290 milhões de casos de COVID-19 ao redor do mundo. Durante esse período, aproximadamente 5,45 milhões de óbitos foram atribuídos à COVID-19 (OMS, 2022). A transmissão da doença tem sido limitada através de medidas de proteção, como higienização pessoal e locais públicos, uso de máscara facial, distanciamento físico, ventilação adequada e filtração do ar em espaços confinados, desinfecção de superfícies e imunização por vacinas (PRATHER et al., 2020; XIE et al., 2020; RANZANI et al., 2021; THOMPSON et al., 2021).

As partículas virais do SARS-CoV-2 têm sido majoritariamente detectadas através de procedimentos de biologia molecular, chamados de “Transcrição Reversa seguida de Reação em Cadeia da Polimerase” (RT-PCR) e “Transcrição Reversa seguida de Reação em Cadeia da Polimerase em Tempo Real” (RT-qPCR) (MAINARDI & BIDOIA, 2021). Ambos os métodos têm permitido aos pesquisadores a detecção de fragmentos dos materiais genéticos do novo coronavírus através de replicações *in-vitro* das sequências que codificam proteínas únicas, como as do nucleocapsídeo N, N1 e N2, o gene da RNA polimerase viral RdRP, o gene da proteína S spike e o gene da proteína do envelope E (CORPUZ et al., 2020). Testes de RT-PCR e RT-qPCR, entretanto, não têm sido capazes de distinguir as partículas virais infecciosas das não infecciosas. Dessa forma, métodos virológicos têm sido utilizados para caracterizar o estado de infectividade dos vírus existentes nas águas residuais (MAAL-BARED et al., 2021). Esses métodos, fundamentados em técnicas de cultivo celular, têm sido utilizados para fornecer estimativas referentes a quantidade de vírus infectantes e o risco que uma amostra representa para hospedeiros animais ou à saúde dos seres

humanos (POLO et al., 2020).

A detecção de partículas virais infecciosas do SARS-CoV-2 em amostras nasofaríngeas, de saliva, urina e fezes foi comumente observada em pacientes com COVID-19 (JEONG et al., 2020; XIAO et al., 2020; MURATA et al., 2021). A presença de partículas virais infecciosas do novo coronavírus nessas amostras, além de evidenciar a possibilidade de transmissão viral pelo contato direto ou pelos aerossóis gerados pelas excretas de pacientes contaminados (KANG et al., 2020; VAN DOORN et al., 2020; XIAO et al., 2020), tem indicado a possível contaminação de esgotos e águas naturais pelo SARS-CoV-2 (CAHILL & MORRIS, 2020; CARDUCCI et al., 2020). A propagação do SARS-CoV-2 através de matrizes aquáticas poderia, por conseguinte, ocasionar a transmissão indireta da COVID-19 via rota fecal-oral (YUAN et al., 2020; ELSAMADONY et al., 2021; GIACOBBO et al., 2021). Essa forma de transmissão, através de esgotos contaminados com partículas virais infectantes, embora ainda não demonstrada quanto ao SARS-CoV-2, foi evidenciada em uma pesquisa conduzida em um prédio residencial em Hong Kong durante o surto de SARS-CoV-1 em 2003 (YU et al., 2004).

Ainda que também sem comprovação, a presença de partículas virais viáveis do SARS-CoV-2 em águas naturais poderia ocasionar a possível disseminação da COVID-19 através de atividades de pesca e recreação, como visto em outros patógenos virais (OKOH et al., 2010; CAHILL & MORRIS, 2020; SHUTLER et al., 2021). Além de oferecer perigo aos seres humanos, a existência do novo coronavírus nesses ambientes também tem demonstrado enorme potencial em gerar prejuízos em populações de espécies de mamíferos suscetíveis, tanto aquáticos quanto terrestres (AUDINO et al., 2021; MATHAVARAJAH et al., 2021). Adicionalmente, o SARS-CoV-2, caso presente em esgotos e águas naturais, tem levantado a possibilidade da propagação do novo coronavírus em animais selvagens e domesticados que propiciariam a disseminação e adaptação evolutiva do patógeno através de infecções cruzadas (FAGRE et al., 2020; WARTECKI & RZYMSKI, 2020; DELAHAY et al., 2021). Embora os tratamentos convencionais, constituídos em sua grande maioria de etapas de sedimentação primária, digestão biológica e cloração, tenham sido capazes de desinfetar uma parcela significativa do SARS-CoV-2 de esgotos contaminados, em alguns casos, os processos têm se demonstrado ineficientes em remover por

completo as partículas do genoma desse vírus (ALI et al., 2020; AMPUERO et al., 2020; WURTZER et al., 2020).

## 2. OBJETIVOS

Considerando que limitar a propagação do SARS-CoV-2 no meio ambiente tem se demonstrado de grandíssima importância como controle da COVID-19, e que o descarte ou reutilização das águas residuárias de forma segura tem dependido diretamente da eficácia dos processos de tratamento das mesmas, o objetivo desta revisão de literatura foi de apresentar os métodos convencionais e as tecnologias promissoras que apresentam a capacidade de inativar ou remover de forma efetiva o novo coronavírus de esgotos contaminados. O artigo também destacou os mecanismos de ação de cada tecnologia e apresentou breves recomendações que visavam fomentar práticas eficientes e seguras caso sejam implementadas.

## 3. METODOLOGIA

Este artigo de revisão crítica foi fundamentado em trabalhos científicos publicados em inglês ou português, indexados em bancos de dados virtuais das plataformas Web of Science, Science Direct, Google Scholar e Scopus. As pesquisas eletrônicas foram conduzidas até o dia 22 de abril de 2022, e incluíram documentos disponibilizados através de intuições acadêmicas e de acesso aberto ao público. Os termos utilizados nas pesquisas foram uma combinação de “SARS-CoV-2”, “COVID-19”, “Características”, “Manifestações”, “Sintomas”, “Profilaxia”, “Esgoto”, “Água residual”, “Detecção”, “Viabilidade”, “Risco”, “Perigo”, “Tratamento”, “Desinfecção”, “Primário”, “Decantação”, “Coagulação”, “Secundário”, “Biológico”, “Lodo Ativado”, “Digestão Biológica”, “Terciário”, “Cloração”, “Ozonização”, “Ultravioleta”, “Térmico”, “Calor”, “Membranas” e “Filtração por Membranas”. Após a obtenção dos documentos, com o intuito de verificar a presença de duplicatas e a adequação dos trabalhos quanto à temática proposta neste artigo, os mesmos foram refinados quanto aos seus títulos e conteúdos. Em seguida, os documentos foram classificados de acordo com os seguintes tópicos: (a) Características, manifestações e profilaxia do SARS-CoV-2/COVID-19, (b) Detecção e riscos quanto à ocorrência do SARS-CoV-2 no esgoto, (c) Tratamentos gerais relacionados ao SARS-CoV-2,

(d) Sedimentação primária, (e) Processos biológicos secundários, (f) Cloração, (g) Ozonização, (h) Irradiação por Luz UV, (i) Tratamento térmico e (j) Filtração por membranas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas, após refinamento mencionado no item anterior, localizaram 367 trabalhos que apresentavam proximidade quanto ao tema proposto neste artigo de revisão. Destes, 114 documentos foram classificados como pertencentes ao tema (a), 159 como pertencentes ao tema (b), 45 ao tema (c), 7 ao tema (d), 5 ao tópico (e), 2 ao tópico (f), 12 ao tópico (g), 7 ao tópico (h), 7 ao tópico (i) e 9 ao tópico (j). Após a leitura na íntegra de cada um deles, 137 documentos que apresentavam ineditismo ou discussões relevantes foram escolhidos para serem utilizados como base teórica na elaboração deste artigo e incluídos nas referências.

### 4.1. Tratamento convencional de esgoto

As estações de tratamento de esgotos (ETEs) têm sido convencionalmente projetadas com o objetivo de reduzir ou eliminar sólidos em suspensão, matéria orgânica dissolvida, dispersa ou suspensa, nutrientes, metais pesados e também os patógenos de matrizes aquosas poluídas (LAHRICH et al., 2021; REVILLA PACHECO et al., 2021; TEYMOORIAN et al., 2021). Na grande maioria das instalações, o processo tem sido constituído de unidades específicas e dispostas em sequência, chamadas de unidade preliminar, primária, secundária e terciária (MOHAPATRA et al., 2021).

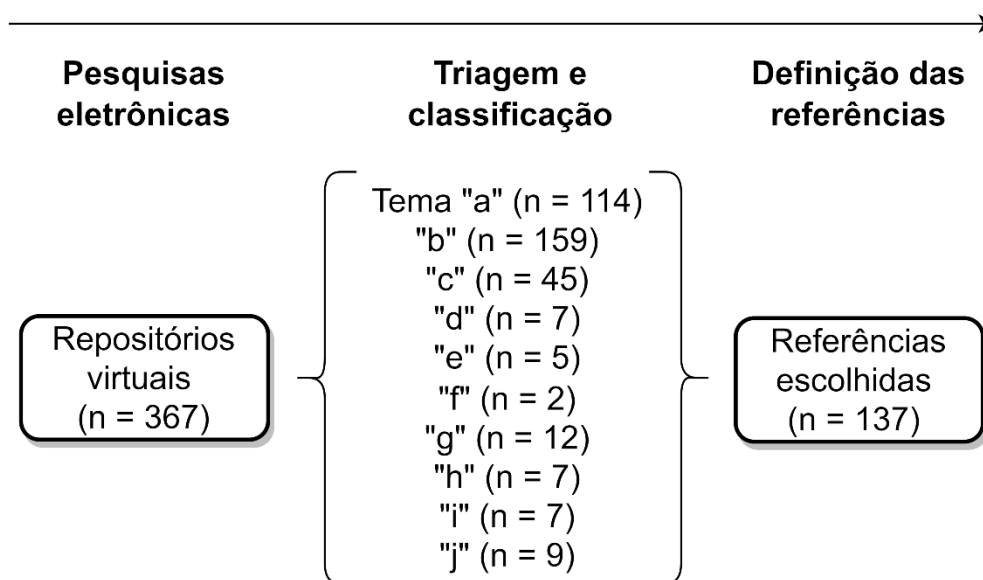
A unidade de tratamento preliminar tem detido o objetivo de remover as partículas grosseiras do efluente, como areia, carvão, pó de pedras, plásticos, fios e similares em caixas de areia, peneiras ou grades, e também de remover óleos e gorduras livres em caixas separadoras (GIORDANO, 2004; DEMIRBAS et al., 2017). A unidade primária, por sua vez, tem sido empregada para remover os sólidos orgânicos e inorgânicos, metais pesados dissolvidos, além de óleos e gorduras emulsionados através de métodos de sedimentação ou flotação (GIORDANO, 2004; SONUNE & GHATE, 2004). Já a unidade de tratamento secundária, colocada subsequentemente à primária, tem se consistido de processos de tratamento biológico que possibilitam a remoção da matéria orgânica

biodegradável e também os sólidos remanescentes (BABU, 2007; MOHAPATRA et al., 2021).

Frequentemente, o processo de tratamento tem contido uma terceira unidade, utilizada para remover os compostos restantes, como moléculas recalcitrantes, sais dissolvidos e também os patógenos remanescentes das águas residuárias (MAINARDI & BIDOIA, 2020). Estudos têm indicado que todas as unidades operacionais

convencionais, primária, secundária e terciária, têm apresentado papéis fundamentais na inativação e remoção de partículas virais das águas residuárias (MOHAN et al., 2021). Os princípios dos processos primários, secundários e terciários de tratamento de esgoto, e os mecanismos que os propiciam a inativação ou remoção das partículas virais de águas residuárias contaminadas, incluindo o SARS-CoV-2, foram descritos nos tópicos seguintes.

**Figura 2. Diagrama esquemático referente ao trajeto da metodologia utilizada na elaboração da revisão.**



Fonte: Autores

#### 4.1.1. Sedimentação primária

Como descrito anteriormente, o primeiro processo de tratamento em ETEs convencionais, após a unidade preliminar, em geral, tem sido o de remoção dos sólidos sedimentáveis, suspensos e flutuantes, gorduras e óleos, metais dissolvidos e partículas coloidais através de processos de sedimentação e flotação, em alguns casos, se utilizando de reações de coagulação, floculação e/ou adsorção química (BABU, 2007; DE GISI et al., 2016; MOHAN et al., 2021, MOHAPATRA et al., 2021). A etapa, quando procedida com o auxílio de reagentes químicos, tem sido denominada de “tratamento primário avançado ou quimicamente assistido” e, embora geralmente aplicada de forma transitória devido ao seu custo operacional, tem sido utilizada para remover o máximo possível de sólidos e matéria orgânica biodegradável da fase líquida antes da implantação do tratamento secundário (JORDÃO,

2015).

A utilização dos compostos químicos foi vista por influenciar diretamente nas energias de atração e repulsão que as cargas elétricas das partículas exercem umas sobre as outras, ou seja, em suas afinidades. O processo de coagulação tem sido feito através da adição de coagulantes químicos que retiram as cargas eletrostáticas negativas dos colóides e diminuem seus potenciais repulsivos, causando, assim, a aglutinação dos mesmos (DA SILVA et al., 2019). O método de floculação tem se utilizado de floculantes que possibilitam que as partículas se organizem em estruturas de maior dimensão e densidade, chamadas de “flóculos”, capazes de serem retiradas por processos de decantação ou filtração (DA SILVA et al., 2019). O método de adsorção, por sua vez, tem se consistido na adição de materiais porosos que, através de diferenças entre as energias existentes nas moléculas da superfície dessas partículas porosas, possibilitam a atração

dos poluentes e subsequentemente a remoção dos mesmos da fase líquida (HU & XU, 2020).

Como as superfícies das células virais, embora dependam das espécies virais e do valor de pH em que elas se encontram, geralmente possuem carga eletrostática líquida negativa, tem sido possível adsorver e aglomerar as partículas virais em superfícies sólidas com carga positiva, para posterior decantação e remoção das mesmas através de métodos de separação de fases (SIDDIQUI et al., 2020). O mecanismo, que é influenciado diretamente pela hidrofobicidade da superfície das partículas virais, também tem envolvido reações de desestabilização e coordenação entre as espécies ionizadas dos reagentes utilizados como coagulantes com o grupo carboxila dos capsídeos virais (MOHAPATRA et al., 2021). Além disso, os mecanismos também têm envolvido efeitos viricidas que alguns reagentes utilizados como coagulantes podem apresentar aos vírus patogênicos, como danos promovidos ao capsídeo viral e bloqueio dos sítios de ligação das partículas virais que tendem a impossibilitar suas ligações com as células hospedeiras (HEFFRON & MAYER, 2016; MOHAPATRA et al., 2021).

De acordo com pesquisas, dependendo da escolha dos reagentes, o processo de sedimentação primária pôde alcançar uma remoção considerável de vírus entéricos humanos, como o Rotavírus, Norovírus, Poliovírus e Coxsackievírus (BOSCH et al., 1986; SHIN & SOBSEY, 2015; SHIRASAKI et al., 2016). Pesquisas procedidas em plantas de tratamento de esgoto em escalas reais, entretanto, demonstraram que a remoção de fragmentos do genoma viral do SARS-CoV-2 tem sido insuficiente nas etapas de sedimentação primária (BALBOA et al., 2021; SERRA-COMPTÉ et al., 2021). Dessa forma, embora o processo de sedimentação primária seja considerado como extremamente importante na remoção de uma porção significativa das partículas virais do SARS-CoV-2 em esgotos (BHATTARAI et al., 2021), a remoção completa do novo coronavírus no tratamento dessas matrizes tem requerido a aplicação de outros processos de tratamento.

#### 4.1.2. Processos biológicos

A unidade de tratamento secundária, colocada posteriormente à unidade de tratamento primário, tem sido geralmente constituída por etapas de tratamentos biológicos, conduzidos

tanto em aerobiose, anaerobiose ou ambas as condições (MAINARDI & BIDOIA, 2020; MOHAPATRA et al., 2021). O processo conduzido em aerobiose tem se baseado na utilização de tanques aerados que promovem a atividade de consórcios bacterianos que degradam a matéria orgânica existente nos efluentes na presença de oxigênio livre. Já o processo, quando conduzido em anaerobiose, tem se utilizado de biorreatores que promovem a metabolização da matéria orgânica dos efluentes na ausência de oxigênio livre, além de serem também utilizados para estabilizar o lodo residual gerado nos tratamentos aeróbios, consequentemente reduzindo a quantidade de biomassa produzida nas unidades biológicas (MOHAN et al., 2021; BHATTARAI et al., 2021). As unidades biológicas também têm incluído processos de sedimentações secundárias, capazes de adsorver, aglomerar e reter os compostos orgânicos e sólidos suspensos em lodos residuais (TOPARE et al., 2011; BOGLER et al., 2020).

Em ambas as etapas constituintes da unidade de tratamento biológico, as partículas virais têm sido inativadas por meio da atividade de microrganismos antagônicos, como bactérias heterotróficas, actinomicetos, algas, protozoários e metazoários (YE et al., 2016; BHATT et al., 2020; MOHAN et al., 2021). Esses microrganismos, constituintes fundamentais dos bioprocessos de tratamento, têm sido capazes de remover as partículas virais através de processos de predação viral, promovido, em especial, por protozoários, metazoários ou organismos superiores (YE et al., 2016; WARTECKI & RZYMSKI, 2020). Além disso, microrganismos antagônicos demonstraram-se capazes de favorecer a inativação das partículas virais por meio da síntese e excreção de substâncias antagonistas, como compostos antivirais e enzimas extracelulares, como hidrolases, proteases e nucleases (GUNDY et al., 2009; FEICHTMAYER et al., 2017). O processo de sedimentação secundária, que ocorre nessa unidade de tratamento, também foi visto por propiciar um efeito de sorção das partículas virais em compostos orgânicos, beneficiando a remoção dessas partículas através da aglomeração em flocos de biomassa maiores (CLARKE et al., 1961; CHAUDHRY et al., 2015; BOGLER et al., 2020). Outro aspecto refere-se aos fatores abióticos propiciados pelas condições ambientais nos biorreatores de tratamento, como o pH, exposição a luz UV e temperatura (GUNDY et al., 2009; PATEL et al., 2021). Entre esses fatores, a

temperatura foi vista por se apresentar como um fator central na inativação de patógenos virais nesse ambiente, incluindo de vírus envelopados como o SARS-CoV-2 (GUNDY et al., 2009; MOHAN et al., 2021).

De acordo com estudos, processos anaeróbios que atingiram temperaturas de 56°C por 90 minutos foram responsáveis por reduzir de forma significativa a infectividade de cepas de Coronavírus (CoVs) (KWEINOR TETTEH et al., 2020). Tem se acreditado que os efeitos estejam relacionados com o aumento na atividade de enzimas extracelulares excretada por microrganismos antagônicos, além da desnaturação de proteínas, ácidos nucleicos virais, e destruição do capsídeo viral (GUNDY et al., 2009; BHATT et al., 2020). Ressalta-se que, embora relatos tenham indicado que as unidades secundárias de tratamento tenham sido capazes de remover e inativar parcelas significativas de vírus entéricos (YANG et al., 2020; BRISOLARA et al., 2021), as unidades não têm sido capazes de remover de forma completa o SARS-CoV-2 em plantas de tratamento de águas residuais em escalas reais (MOHAN et al., 2021; SERRA-COMPTE et al., 2021). De acordo com estudos procedidos em ETEs na Espanha, Japão, Israel e Índia, fragmentos do genoma do SARS-CoV-2 ainda foram capazes de ser detectados em amostras de efluentes secundários (ALI et al., 2020; HARAMOTO et al., 2020; RANDAZZO et al., 2020; KUMAR et al., 2021). Embora os processos secundários relatados nos estudos tenham apresentado diferenças operacionais significativas, a implementação de unidades terciárias de tratamento foi fortemente recomendada com o intuito de reduzir a possibilidade de propagação do SARS-CoV-2 através das matrizes aquáticas.

#### 4.1.3. Cloração

O método terciário de desinfecção, na grande maioria dos sistemas das ETEs, tem sido o de cloração, feito através da utilização de compostos oxidantes que apresentam o cloro em sua composição e a capacidade de inativar vírus patogênicos suspensos em matrizes aquáticas, como o gás cloro ( $Cl_2$ ), o hipoclorito de sódio ( $NaClO$ ) e o dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) (MOHAN et al., 2021). A adição desses compostos na água tem propiciado a formação de espécies químicas oxidantes, como o ácido hipocloroso  $HOCl$  ou o íon hipoclorito  $OCl^-$ , que atacam o genoma e o

capsídeo viral, impedem a replicação das partículas virais infecciosas, e diminuem a capacidade de infecção das viroses (CHEN et al., 2021; LAHRICH et al., 2021; MAAL-BARED et al., 2021). De acordo com as pesquisas, linhagens de Coronavírus (CoVs) tem se demonstrado extremamente sensíveis frente a oxidantes químicos, como o hipoclorito de sódio e dióxido de cloro (LA ROSA et al., 2020). Estudos indicaram que dosagens acima de 10 mg/L de cloro provindo de hipoclorito de sódio na temperatura de 20°C, com tempo de contato de 30 minutos (0,33 mg/L.min) e valor de cloro residual livre acima de 0,4 mg/L, foram suficientes por inativar completamente o vírus SARS-CoV-1 presentes em águas residuárias (WANG et al., 2005). O dióxido de cloro, por sua vez, foi responsável por ocasionar a inativação completa desse vírus após 30 minutos de desinfecção em concentrações de 40 mg/L (1,33 mg/L.min) e 2,19 mg/L de cloro residual livre nas mesmas condições do estudo anterior (WANG et al., 2005).

Devido à similaridade que o SARS-CoV-2 apresenta em relação ao SARS-CoV-1, tem se acreditado que o novo coronavírus também seja sensível quanto aos fatores ambientais e desinfetantes (WANG et al., 2020). Até o presente momento, as evidências incluem uma pesquisa feita por CHIN et al. (2020), que constatou que o vírus SARS-CoV-2 foi inativado após 5 minutos de tempo de contato por água sanitária diluída em 1:99, e um estudo feito por CHAN et al. (2020), que comprovou que o hipoclorito de sódio na concentração de 10% podia inativar o SARS-CoV-2 em 1 minuto. Outros estudos incluem uma pesquisa promovida por TAKEDA et al. (2020), que indicou que o efeito viricida que a água eletrolisada ácida ocasionada no SARS-CoV-2 dependia da quantidade de cloro livre disponível, e uma investigação de XILING et al. (2021), que demonstrou que concentrações de cloro disponíveis de 250, 500 e 1000 mg/L exigiram respectivos 20, 5 e 0,5 minutos para inativar por completo o SARS-CoV-2 em suspensão aquosa. Se tratando de amostras obtidas de plantas de tratamento de esgoto reais, HEMALATHA et al. (2021) evidenciaram que concentrações acima ou iguais de 2% de hipoclorito de sódio foram responsáveis por inibir por completo a detecção do genoma do SARS-CoV-2, indicando uma provável inativação do material genético viral.

A cloração, devido a sua simplicidade operacional, viabilidade técnica e baixo custo de aplicação, tem sido amplamente recomendada e

utilizada na maioria das unidades de desinfecção de vírus patogênicos em estações de tratamento de águas residuais, incluindo o SARS-CoV-2 (CHEN et al., 2021; LAHRICH et al., 2021). Nesses locais, o processo de cloração tem sido feito em uma etapa terciária, em geral, em tanques que permitem a aplicação de cloro na forma de gás ou hipoclorito de sódio (NaClO). As diretrizes de desinfecção recomendadas pela Organização Mundial de Saúde tem sido uma concentração residual de cloro livre de mais de 0,5 mg/L após pelo menos 30 min de contato em pH menor que 8,0 (OMS, 2020b). Ressalta-se, entretanto, que a eficiência da inativação das partículas virais, incluindo de vírus envelopados como SARS-CoV-2, tem sido influenciada por diversos fatores críticos, como o tempo de contato, dose, pH, temperatura e composição de águas residuais/água (MOHAN et al., 2021), além das condições de manutenção e operação das estações de tratamento (NASSERI et al., 2021). Estudos realizados em plantas de tratamento de esgoto reais no Irã e Israel, por exemplo, indicaram que o processo de terciário de cloração não foi 100% eficaz na remoção de material genético do SARS-CoV-2 das águas residuais em tratamento (ALI et al., 2020; NASSERI et al., 2021).

A situação tendeu a se agravar em locais cujas águas residuais apresentavam maiores probabilidades de receber o novo coronavírus, como esgotos provindos de hospitais que recebiam pacientes com COVID-19. Nesses ambientes, foi visto que a dosagem de 800 g/m<sup>3</sup> de hipoclorito de sódio e concentrações superiores a 0,5 mg/L de cloro livre com tempo de contato acima de 1,5 h não foram capazes de garantir a desinfecção total do genoma do SARS-CoV-2 (ZHANG et al., 2020). De acordo com o estudo, a desativação completa das partículas gênicas do SARS-CoV-2 só foi garantida quando adicionado doses de 6700 g/m<sup>3</sup> de NaClO à água residual hospitalar (ZHANG et al., 2020). A utilização de doses elevadas de cloro, todavia, tem propiciado a formação de subprodutos de desinfecção (DBPs), um problema indesejável que pode causar danos ao meio ambiente e à saúde de seres humanos, incluindo efeitos de mutagenicidade, carcinogenicidade e teratogenicidade (CHEN et al., 2021; MOHAN et al., 2021). Dessa forma, tem sido incentivada a otimização da quantidade de cloro residual necessária para inativar o SARS-CoV-2 em ETEs (COVID-19) (GARCÍA-ÁVILA et al., 2021; SABA et al., 2021), além do fomento de pesquisas que visam o desenvolvimento e a

aplicação de novos métodos de desinfecção para o SARS-CoV-2 e outros patógenos (JOO & CHOI et al., 2021).

## 4.2. Tecnologias promissoras de desinfecção

Como descrito anteriormente, métodos terciários de desinfecção, adicionados após a unidade biológica secundária, têm sido essenciais na inativação ou remoção do SARS-CoV-2 em ETEs. Devido ao fato de que, em alguns casos, os métodos convencionais de desinfecção por cloração tenham se demonstrado como insuficientes para inativar ou remover por completo fragmentos do genoma viral do SARS-CoV-2, tem sido cogitada a implementação de novas tecnologias de tratamento. Essas tecnologias, denominadas neste artigo de promissoras, tem se utilizado de métodos químicos de ozonificação, ou físicos a partir da irradiação ultravioleta (UV) e tratamentos térmicos (Figura 2). Essas técnicas tem tido como alvo as estruturas essenciais do vírus, ou seja, seus constituintes funcionais, como as proteínas do capsídeo, o envelope lipídico, e o material genômico, RNA no caso do SARS-CoV-2 (MAAL-BARED et al., 2021). A filtração por membranas, outra tecnologia apresentada como promissora, foi descrita no último tópico. Esse método tem se baseado na remoção do novo coronavírus por meio da utilização de estruturas físicas que funcionam como barreiras responsáveis por interceptar e atrair as partículas virais das águas contaminadas (CHEN et al., 2021). O princípio de cada uma dessas tecnologia de tratamento, incluindo seus mecanismos de ação e breves recomendações quanto a suas utilizações foram detalhadas nos tópicos subsequentes.

### 4.2.1. Ozonização

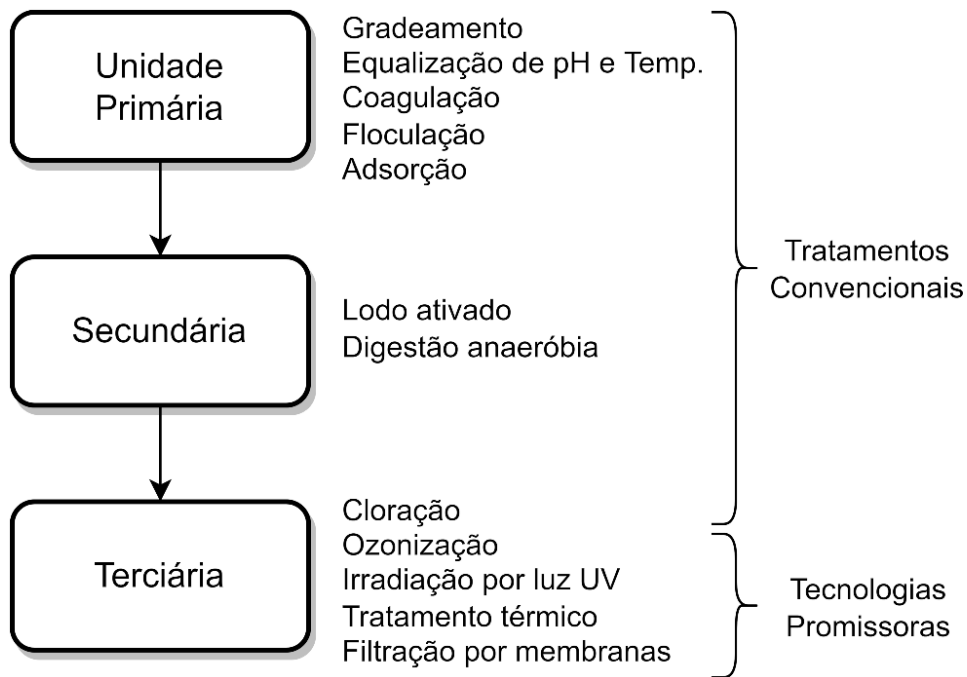
O método de ozonização de tratamento de esgoto se consiste na injeção de moléculas de ozônio (O<sub>3</sub>) na forma de gás em um processo terciário de desinfecção. A adição dessas moléculas, que apresentam um alto potencial de oxidação de 2,07 V, leva à formação de oxidantes secundários, chamados de radicais hidroxila, que notoriamente ocasionam a inativação de inúmeros microrganismos patogênicos, como protozoários, bactérias e também vírus (LESIMPLE et al., 2020; MOHAN et al., 2021; TEYMOORIAN et al., 2021). Tem se acreditado que o ozônio reaja com as partículas virais por meio de um mecanismo de



reação direta com ozônio molecular e/ou indiretamente por meio de espécies reativas de oxigênio (ERO) produzidas na decomposição do ozônio, como o  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{O}_2\cdot^-$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (TIZAOUI, 2020). A reação tende a destruir as biomoléculas que constituem as estruturas essenciais dos vírus, tanto externas quanto internas do organismo alvo, como por exemplo, lipídios, proteínas e ácidos

nucléicos virais (TIZAOUI, 2020; BAYARRI et al., 2021). Além disso, as reações entre o ozônio e suas ERO com os constituintes das estruturas virais podem levar à formação de outras ERO, incluindo radicais reativos como o  $\text{RCOO}\cdot$ , que propiciam a propagação da oxidação por meio de uma reação em cadeia (TIZAOUI, 2020).

**Figura 3. Unidades e métodos convencionais e promissores de tratamento de esgoto.**



Fonte: Autores

De acordo com pesquisas, a desinfecção de esgoto doméstico com doses de 6 mg/L de ozônio por um período médio de 46 minutos, procedida em uma etapa posterior ao tratamento convencional por métodos biológicos de lodo ativado e químicos de coagulação, propiciou a redução da quantidade de Picovírus, Picobirnavírus e Gokushovírus para níveis indetectáveis, e reduziu a concentração de Adenovírus em 55% a 91%, Norovírus GII em 85% a 100%, Astrovírus 4 e Parvovírus em 99% a 100% (WANG et al., 2018). Tempos de contato de 10 minutos com doses de 0,05 mg/L de ozônio, além disso, foram capazes de reduzir em mais de 99,9% a presença dos vírus infecciosos Herpes Simplex, Rhinovírus, Poliovírus, Influenza, Adenovírus III e XI, e com doses de 25 mg/L de inativar o Murine Coronavírus em superfícies contaminadas (HUDSON et al., 2009; BLANCO et al., 2021).

Se tratando do SARS-CoV-2, exposições ao ozônio por 30 segundos a 10 000 mg/L, 5 min a 4 000 mg/L e 10 min a 2 000 mg/L, foram

responsáveis por inibir por completo a detecção do material genético viral em vestimentas de proteção individual (EPIs) e máscaras faciais (CLAVO et al., 2020). A exposição ao gás ozônio na concentração de 6 mg/L por tempo de contato de 55 min também foi responsável por inativar quantidades significativas do vírus SARS-CoV-2 quando depositados em placas de aço inoxidável (YANO et al., 2020). Além disso, evidenciou-se que uma solução aquosa contendo a presença de 0,6 mg/L de ozônio foi responsável por reduzir de forma significativa a viabilidade de SARS-CoV-2 em 1 min de exposição (MARTINS et al., 2021). Ressalta-se, entretanto, que ainda existem desafios práticos consideráveis quanto à utilização de métodos de ozonização quando empregados no tratamento de águas residuais (KUZNIEWSKI, 2021). Sobretudo, têm sido necessárias pesquisas relacionadas à confirmação da eficácia do método, seu custo-benefício, além da definição de protocolos otimizados para desinfecção dos patógenos existentes em águas residuais,

incluindo o SARS-CoV-2 (MORRISON et al., 2021). Os pesquisadores, mais ainda, com o intuito de fomentar aplicações de formas seguras e eficazes dessa técnica, têm recomentado a avaliação da formação de subprodutos associados ao uso de ozônio no tratamento de águas residuais e o desenvolvimento de protocolos de segurança (MORRISON et al., 2021).

#### 4.2.2. Irradiação por luz ultravioleta

O processo de desinfecção por irradiação de luz ultravioleta (UV) se baseia em um sistema que envolve a passagem da água contaminada em tubos que emitem ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda que variam de 200 nm a 400 nm, tradicionalmente dividido em três regiões denominadas de UV-A (315 a 400 nm), UV-B (280 a 315 nm) e UV-C (200 a 280 nm) (SANGKHAM, 2021). Luzes nesses comprimentos de onda, especialmente na região do UV-C, comprometem a estabilidade das ligações C-C de algumas moléculas, como pirimidinas, purinas e flavinas (KONG et al., 2021), causam o rompimento das ligações fosfodiéster e ligações cruzadas no DNA/RNA viral (KUZNIEWSKI, 2021), e ocasionam a formação de dímeros de pirimidina (timina e citosina no DNA, uracila e citosina no RNA) (KONG et al., 2021). A utilização desse método, sendo assim, tende a danificar diretamente os ácidos nucleicos virais, sejam eles constituídos de DNA ou RNA (CHEN et al., 2021), e alterar uma série de processos bioquímicos como replicação de DNA, transcrição de RNA e tradução de proteínas (KONG et al., 2021). Os efeitos incluem a inibição da capacidade de replicação dos vírus devido à destruição de seus genomas e proteínas (SANGKHAM, 2021), e consequentemente a interrupção da propagação dos mesmos no ambiente (KUZNIEWSKI, 2021).

A irradiação por luz UV foi vista por controlar de forma efetiva o crescimento de microorganismos em qualquer matriz, como ar, água e superfícies (TEYMOORIAN et al., 2021). Quando aplicado em plantas de tratamento de esgotos reais, em uma etapa posterior ao processo de lodo ativado, doses maiores que 20 000  $\mu\text{W cm}^{-2}$  de radiação UV-C ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) foram capazes de reduzir de forma significativa a concentração de Rotavírus e Adenovírus Humano, além de inibir por completo a detecção do Norovírus II e Astrovírus Humano (LIZASOAIN et al., 2018). Em amostras obtidas de esgotos combinados, doses superiores a 124 900  $\mu\text{W cm}^{-2}$  de radiação UV nesse mesmo

comprimento de onda também foram responsáveis por reduzir 1,0 $\pm$ 3,3  $\log_{10}$  de Adenovírus Humano, 1,5 $\pm$ 3,9  $\log_{10}$  de Poliomavírus Humano, 1,3 $\pm$ 2,6  $\log_{10}$  de Enterovírus, 0,8 $\pm$ 2,4  $\log_{10}$  de Norovírus II, e reduzir à níveis abaixo dos limites de detecção o Rotavírus (TONDERA et al., 2015). Se tratando de linhagens de coronavírus, estudos indicaram que 15 minutos de exposição à 4016  $\mu\text{W cm}^{-2}$  de radiação UV-C ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) foi capaz de inativar por completo o SARS-CoV-1 (DARNELL et al., 2004), 5 minutos de exposição à UV-C de reduzir por completo a detecção do MERS-CoV-2 (BEDELL et al., 2016), e 9 minutos de exposição à doses de 1940  $\mu\text{W cm}^{-2}$  de radiação UV-C ( $\lambda = 254 \text{ nm}$ ) de inativar por completo o SARS-CoV-2 (HEILINGLOH et al., 2020).

Ressalta-se, entretanto, que os vírus, em especial, foram vistos por serem mais persistentes frente à irradiação UV do que outros organismos patógenos, como bactérias e protozoários (HIJNEN et al., 2006). Além disso, a eficiência de desinfecção por irradiação UV foi vista por ser reduzida drasticamente através da bioincrustação da lâmpada pelo crescimento de microorganismos, e da existência ou formação de substâncias coloridas que fornecem uma forma de proteção aos patógenos (TEYMOORIAN et al., 2021). Dessa forma, com o intuito de diminuir os efeitos de blindagem microbiana ocasionada pelas partículas coloidais suspensas, tem sido recomendado que a desinfecção por irradiação UV seja feita após o tratamento secundário, quando a água residual em tratamento apresenta menores valores de turbidez (TEYMOORIAN et al., 2021). Além disso, tem sido fortemente recomendado que sejam feitas otimizações do processo que propiciem uma devida eficiência de inativação do SARS-CoV-2 e de outros vírus patogênicos (IBRAHIM et al., 2021).

#### 4.2.3. Tratamento térmico

A temperatura é considerada um dos parâmetros mais influentes para a inativação de partículas virais (BUONERBA et al., 2021). O aumento da temperatura ocasiona alterações estruturais nas proteínas do vírus devido à expansão diferencial das suas partes constituintes sob a ação do calor (Bozkurt et al., 2015), e induz a desnaturação das proteínas da membrana e do capsídeo viral, que são altamente sensíveis quanto à ação promovida pelo calor (BUONERBA et al., 2021; MOHAN et al., 2021). Acredita-se que temperaturas elevadas também ocasionam danos

aos ácidos nucleicos virais (WOESE, 1960), e propiciam o crescimento e aumento da atividade de enzimas extracelulares produzidas por microrganismos antagônicos (HURST et al., 1980; JOHN & ROSE, 2005; GUNDY et al., 2009). Dessa forma, métodos de inativação que empregam temperaturas elevadas, chamados de tratamentos térmicos, têm sido cogitados para a desinfecção de vírus patógenos no tratamento de matrizes aquosas (BHATT et al., 2020; PATEL et al., 2021). Estudos referentes ao tema indicaram que a temperatura de 47°C por 20 min foi capaz de reduzir a infectividade do vírus TGEV (Coronavírus da Gastroenterite Transmissível) em 4,2 log<sub>10</sub>, e a temperatura de 60°C por 15 minutos de reduzir a infectividade do vírus MHV (Coronavírus Murino) em índices acima de 3,9 log<sub>10</sub> (KAMPF et al., 2020).

Se tratando de linhagens de coronavírus, pesquisas indicaram que a temperatura de 75°C por 30 minutos foi capaz de inativar por completo o SARS-CoV-1, e a temperatura de 65°C por 15 minutos de inativar o MERS-CoV-2 (SAADATPOUR & MOHAMMADIPANAH, 2020). O SARS-CoV-2, por sua vez, foi completamente inativado quando exposto à temperatura de 56°C pelo período de 30 minutos (SAADATPOUR & MOHAMMADIPANAH, 2020; XILING et al., 2021), ou quando exposto a temperatura de 60°C por 15 minutos (PATEL et al., 2021). Ressalta-se, entretanto, que matrizes aquosas com alto conteúdo de proteínas foram vistas por tornar o vírus mais resistente quanto aos tratamentos térmicos, podendo reduzir de forma considerável a eficiência do método (ABRAHAM et al., 2020; XILING et al., 2021). Dessa forma, caso o tratamento térmico seja implementado como método de desinfecção do SARS-CoV-2 de águas contaminadas, tem sido sugerido a adição de um fator de segurança (ABRAHAM et al., 2020). As recomendações têm sido de aplicações de temperaturas acima de 75°C por 3 minutos, temperaturas acima de 65°C por 5 minutos, ou temperaturas acima de 60°C por 20 minutos (ABRAHAM et al., 2020).

#### 4.2.4. Filtração por membranas

O processo de desinfecção por membranas se baseia na separação dos patógenos da matriz aquosa por meio de uma barreira física (MOHAN et al., 2021), geralmente uma estrutura porosa na qual a água tratada passa e as partículas sólidas são interceptadas e atraídas (CHEN et al., 2021).

Esse tipo de tecnologia, chamada também de filtração por membranas ou desinfecção por membranas, tem sido considerada uma técnica robusta, não invasiva, não tóxica (THAKUR et al., 2021), e ganhado vasta atenção nas últimas décadas devido à sua compactação, modularidade e eficácia (BOGLER et al., 2020; IBRAHIM et al., 2021). Diferentes tipos de membranas podem ser utilizadas nesse tipo de tratamento, classificadas de acordo com o tamanho de seus poros (LESIMPLE et al., 2020). A microfiltração se utiliza de membranas com tamanho de poros que variam de 50 a 500 nm, a ultrafiltração de membranas com tamanho de poros de 2-50 nm, e a nanofiltração de membranas com poros menores que 2 nm (PENDERGAST & HOEK, 2011). Partículas virais, que apresentam tamanhos de 5 a 300 nm, têm sido removidas através de métodos que se utilizam de membranas de ultrafiltração e nanofiltração (SIDDIQUI et al., 2020). Como o SARS-CoV-2 tem aproximadamente 125 nm, o uso de filtros de ultrafiltração ou nanofiltração também tem sido considerado como eficazes na remoção desse patógeno (SIDDIQUI et al., 2020). Além disso, a capacidade de filtração foi vista por poder ser melhorada através da utilização de membrana de filtração com características específicas, por exemplo, com regiões hidrofóbicas e eletrostaticamente carregadas, que atraem os envelopes virais devido às suas interações físico-químicas (CHAUDHRY et al., 2015; THAKUR et al., 2021).

De acordo com estudos, o método de microfiltração com membranas hidrofóbicas, com um tamanho de poro nominal de 0,22 µm, foi capaz de remover concentrações acima de 91% do vírus da Poliomielite (MADAENI et al., 1995; KWARCIK-KOZLOWSKA & WLODARCZYK, 2020), enquanto a ultrafiltração foi capaz de remover concentrações acima de 4 log<sub>10</sub> de cepas de Adenovírus, Cocksackievírus, Hepatite A e Murine Norovírus (SHIRASAKI et al., 2017). Embora até o presente momento nenhuma pesquisa tenha sido desenvolvida envolvendo a remoção do SARS-CoV-2 de águas residuais, o novo coronavírus foi removido do ar em taxas acima de 90% através de filtros de nanofibra carregados eletrostaticamente, que propiciavam a interação com a superfície carregada negativamente do novo coronavírus (LEUNG & SUN, 2020; NORRAHIM et al., 2021). A tecnologia por filtração por membranas, de acordo com (BODZEK et al., 2019; THAKUR et al., 2021), também poderia ser utilizada juntamente com tipos

específicos de biorreatores, chamados de biorreatores de membrana. Nesse sistema, a capacidade de remoção de vírus tem sido feita através da combinação de três mecanismos diferentes, chamados de remoção estérica, adsorção e inativação durante o tratamento. Ressalta-se, entretanto, que a utilização da tecnologia de remoção de vírus usando membranas requer a otimização de vários parâmetros que influenciam a eficiência do sistema, como a concentração de sais, fluxo de água residual, temperatura e pH (KWARCIAK-KOZLOWSKA & WLODARCZYK, 2020; SABA et al., 2021).

## 5. CONCLUSÕES

Diversos estudos promovidos ao redor do mundo constataram a presença de fragmentos do genoma viral do SARS-CoV-2 em esgotos, o vírus responsável por causar a COVID-19, uma doença que tem causado enormes impactos sociais e econômicos em todo o planeta Terra. A presença do novo coronavírus nesses ambientes, embora sem comprovação, além de apresentar o potencial de oferecer riscos à saúde de seres humanos através de contaminações indiretas, poderia também gerar consequências devastadoras em populações de espécies suscetíveis, e também disseminar o SARS-CoV-2 em animais domesticados e selvagens, hospedeiros que poderiam propiciar a propagação e adaptação evolutiva desse patógeno por meio de infecções cruzadas. Dessa forma, limitar a propagação desse vírus através de matrizes aquáticas tem sido considerada extremamente importante como forma de controlar a disseminação da COVID-19.

Como descrito neste artigo de revisão, embora as ETEs convencionais, constituídas de unidades de sedimentação primária, processos biológicos secundários e terciários de cloração tenham apresentado resultados significativos quanto a inativação ou remoção do SARS-CoV-2, em alguns casos, os tratamentos têm se demonstrado insuficientes em remover por completo as partículas do genoma desse vírus. Sendo assim, a implementação de novas tecnologias aos sistemas de tratamento de águas residuárias atuais, que apresentam a capacidade de melhorar os processos de inativação ou remoção o novo coronavírus de esgotos contaminados, tem sido cogitada.

Dos métodos considerados como promissores, foram destacados a ozonificação,

irradiação por luz UV, tratamento térmico e filtração por membranas. Os métodos, de acordo com estudos promovidos por diversos pesquisadores, têm apresentado grande potencial de serem implementados em escalas reais de tratamento e poderiam ser utilizados em etapas terciárias ou complementares ao de tratamento por cloração. A implementação das tecnologias em ETEs reais, entretanto, ainda carece de pesquisas relacionadas principalmente à otimização de processos, visando eficiências consideráveis e bons custos-benefícios, além de, sobretudo, maior segurança quanto à saúde de operários, consumidores e também ao meio ambiente.

## 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, J. P.; PLOURDE, B. D.; CHENG, L. Using heat to kill SARS-CoV-2. **Reviews in medical virology**, vol. 30, no. 5, p. e2115, 2020. <http://dx.doi.org/10.1002/rmv.2115>.
- ALI, H. A.; YANIV, K.; BAR-ZEEV, E.; CHAUDHURY, S.; SHAGA, M.; LAKKAKULA, S.; RONEN, Z.; KUSHMARO, A.; NIR, O. Tracking SARS-CoV-2 RNA through the wastewater treatment process. **bioRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.10.14.20212837>
- AMPUERO, M.; VALENZUELA, S.; VALIENTE-ECHEVERRÍA, F.; SOTO-RIFO, R.; BARRIGA, G. P.; CHNAIDERMAN, J.; ROJAS, C.; GUAJARDO-LEIVA, S.; DÍEZ, B.; GAGGERO, A. SARS-CoV-2 Detection in Sewage in Santiago, Chile - Preliminary results. **bioRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.07.02.20145177>
- AUDINO, T.; GRATTAROLA, C.; CENTELLEGGHE, C.; PELETTI, S.; GIORDA, F.; FLORIO, C. L.; CARAMELLI, M.; BOZZETTA, E.; MAZZARIOL, S.; DI GUARDO, G.; LAURIANO, G.; CASALONE, C. SARS-CoV-2, a threat to marine mammals? A study from Italian seawaters. **Animals: an open access journal from MDPI**, vol. 11, no. 6, p. 1663, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11061663>
- BABU, B. V. Effluent Treatment: Basics & A Case Study. **Water Digest**, vol. 2, no. 4, p. 14-26, 2007.
- BALBOA, S.; MAURICIO-IGLESIAS, M.; RODRIGUEZ, S.; MARTÍNEZ-LAMAS, L.; VASALLO, F. J.; REGUEIRO, B.; LEMA, J. M. The fate of SARS-COV-2 in WWTPS points out the sludge line as a suitable spot for detection of COVID-19. **The Science of the total environment**, vol. 772, no. 145268, p. 145268, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145268>

- BAYARRI, B.; CRUZ-ALCALDE, A.; LÓPEZ-VINENT, N.; MICÓ, M. M.; SANS, C. Can ozone inactivate SARS-CoV-2? A review of mechanisms and performance on viruses. **Journal of hazardous materials**, vol. 415, no. 125658, p. 125658, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125658>
- BEDELL, K.; BUCHAKLIAN, A. H.; PERLMAN, S. Efficacy of an automated multiple emitter whole-room ultraviolet-C disinfection system against coronaviruses MHV and MERS-CoV. **Infection control and hospital epidemiology: the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America**, vol. 37, no. 5, p. 598–599, 2016. <http://dx.doi.org/10.1017/ice.2015.348>
- BHATT, A.; ARORA, P.; PRAJAPATI, S. K. Occurrence, fates and potential treatment approaches for removal of viruses from wastewater: A review with emphasis on SARS-CoV-2. **Journal of environmental chemical engineering**, vol. 8, no. 5, p. 104429, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104429>
- BHATTARAI, B.; SAHULKA, S. Q.; PODDER, A.; HONG, S.; LI, H.; GILCREASE, E.; BEAMS, A.; STEED, R.; GOEL, R. Prevalence of SARS-CoV-2 genes in water reclamation facilities: From influent to anaerobic digester. **The Science of the total environment**, vol. 796, no. 148905, p. 148905, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148905>
- BLANCO, A.; OJEMBARRENA, F. de B.; CLAVO, B.; NEGRO, C. Ozone potential to fight against SAR-COV-2 pandemic: facts and research needs. **Environmental science and pollution research international**, vol. 28, no. 13, p. 16517–16531, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-12036-9>
- BODZEK, M.; KONIECZNY, K.; RAJCA, M. Archives of Environmental Protection. **Arch. Environ. Prot.**, vol. 45, no. 1, 2019. <http://dx.doi.org/10.24425/aep.2019.126419>
- BOGLER, A.; PACKMAN, A.; FURMAN, A.; GROSS, A.; KUSHMARO, A.; RONEN, A.; DAGOT, C.; HILL, C.; VAIZEL-OHAYON, D.; MORGENROTH, E.; BERTUZZO, E.; WELLS, G.; KIPERWAS, H. R.; HORN, H.; NEGEV, I.; ZUCKER, I.; BAR-OR, I.; MORAN-GILAD, J.; BALCAZAR, J. L.; ... BAR-ZEEV, E. Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic. **Nature sustainability**, vol. 3, no. 12, p. 981–990, 2020. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-020-00605-2>
- BORSA, M.; MAZET, J. M. Attacking the defence: SARS-CoV-2 can infect immune cells. **Nature reviews. Immunology**, vol. 20, no. 10, p. 592, 2020. <http://dx.doi.org/10.1038/s41577-020-00439-1>
- BOSCH, A.; LUCENA, F.; JOFRE, J. Fate of human Enteric viruses (rotaviruses and Enteroviruses) in sewage after primary sedimentation. **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, vol. 18, no. 10, p. 47–52, 1986. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.1986.0110>
- BRISOLARA, K. F.; MAAL-BARED, R.; SOBSEY, M. D.; REIMERS, R. S.; RUBIN, A.; BASTIAN, R. K.; GERBA, C.; SMITH, J. E.; BIBBY, K.; KESTER, G.; BROWN, S. Assessing and managing SARS-CoV-2 occupational health risk to workers handling residuals and biosolids. **The Science of the total environment**, vol. 774, no. 145732, p. 145732, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145732>
- BUECKERT, M.; GUPTA, R.; GUPTA, A.; GARG, M.; MAZUMDER, A. Infectivity of SARS-CoV-2 and other coronaviruses on dry surfaces: Potential for indirect transmission. **Materials**, vol. 13, no. 22, p. 5211, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/ma13225211>
- BUONERBA, A.; CORPUZ, M. V. A.; BALLESTEROS, F.; CHOO, K.-H.; HASAN, S. W.; KORSHIN, G. V.; BELGIORNO, V.; BARCELÓ, D.; NADDEO, V. Coronavirus in water media: Analysis, fate, disinfection and epidemiological applications. **Journal of hazardous materials**, vol. 415, no. 125580, p. 125580, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125580>
- CAHILL, N.; MORRIS, D. Recreational waters - A potential transmission route for SARS-CoV-2 to humans? **The Science of the total environment**, vol. 740, no. 140122, p. 140122, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140122>
- CARDUCCI, A.; FEDERIGI, I.; LIU, D.; THOMPSON, J. R.; VERANI, M. Making Waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health. **Water research**, vol. 179, no. 115907, p. 115907, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>
- CARRASCOSA, J. M.; MORILLAS, V.; BIELSA, I.; MUNERA-CAMPOS, M. Cutaneous manifestations in the context of SARS-CoV-2 infection (COVID-19). **Actas dermo-sifilograficas**, vol. 111, no. 9, p. 734–742, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.adengl.2020.10.001>
- CHAN, K.-H.; SRIDHAR, S.; ZHANG, R. R.; CHU, H.; FUNG, A. Y.-F.; CHAN, G.; CHAN, J. F.-W.; TO, K. K.-W.; HUNG, I. F.-N.; CHENG, V. C.-C.; YUEN, K.-Y. Factors affecting stability and infectivity of SARS-CoV-2. **The journal of hospital infection**, vol. 106, no. 2, p. 226–231, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2020.07.009>
- CHAUDHRY, R. M.; NELSON, K. L.; DREWES, J. E. Mechanisms of pathogenic virus removal in a full-scale membrane bioreactor. **Environmental science & technology**, vol. 49, no. 5, p. 2815–2822, 2015. <http://dx.doi.org/10.1021/es505332n>
- CHEN, L.; DENG, Y.; DONG, S.; WANG, H.; LI, P.; ZHANG, H.; CHU, W. The occurrence and control of waterborne viruses in drinking water treatment: A review. **Chemosphere**, vol. 281, no. 130728, p. 130728, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130728>
- CHIN, A. W. H.; CHU, J. T. S.; PERERA, M. R. A.; HUI, K. P. Y.; YEN, H.-L.; CHAN, M. C. W.; PEIRIS, M.; POON, L. L. M. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. **bioRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.03.15.20036673>
- CLARKE, N. A.; STEVENSON, R. E.; CHANG, S. L.; KABLER, P. W. Removal of enteric viruses from sewage by activated sludge treatment. **American journal of public health and the nation's health**, vol. 51, no. 8, p.

- 1118–1129, 1961.  
<http://dx.doi.org/10.2105/ajph.51.8.1118>
- CLAVO, B.; CÓRDOBA-LANÚS, E.; RODRÍGUEZ-ESPARRAGÓN, F.; CAZORLA-RIVERO, S. E.; GARCÍA-PÉREZ, O.; PIÑERO, J. E.; VILLAR, J.; BLANCO, A.; TORRES-ASCENSIÓN, C.; MARTÍN-BARRASA, J. L.; GONZÁLEZ-MARTÍN, J. M.; SERRANO-AGUILAR, P.; LORENZO-MORALES, J. Effects of ozone treatment on personal protective equipment contaminated with SARS-CoV-2. **Antioxidants (Basel, Switzerland)**, vol. 9, no. 12, p. 1222, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9121222>
- CORPUZ, M. V. A., BUONERBA, A., VIGLIOTTA, G., ZARRA, T., BALLESTEROS, F., JR, CAMPIGLIA, P., BELGIORNO, V., KORSHIN, G., & NADDEO, V. Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods. **Science of the Total Environment**, vol. 745, p. 140910, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140910>
- CRETA, M.; SAGNELLI, C.; CELENTANO, G.; NAPOLITANO, L.; LA ROCCA, R.; CAPECE, M.; CALIFANO, G.; CALOGERO, A.; SICA, A.; MANGIAPIA, F.; CICCOCCHI, M.; FUSCO, F.; MIRONE, V.; SAGNELLI, E.; LONGO, N. SARS-CoV-2 infection affects the lower urinary tract and male genital system: A systematic review. **Journal of medical virology**, vol. 93, no. 5, p. 3133–3142, 2021. <http://dx.doi.org/10.1002/jmv.26883>
- DA SILVA, L. D.; DANTAS, P. R.; NETO, L. M. P.; ARRUDA, V. C. M. de; TAVARES, R. G.; SILVA, V. de P. Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista Geama**, vol. 5, no. 1, p. 36–40, 2019.
- DARNELL, M. E. R.; SUBBARAO, K.; FEINSTONE, S. M.; TAYLOR, D. R. Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. **Journal of virological methods**, vol. 121, no. 1, p. 85–91, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.06.006>
- DE GIORGIO, M. R.; DI NOIA, S.; MORCIANO, C.; CONTE, D. The impact of SARS-CoV-2 on skeletal muscles. **Acta myologica: myopathies and cardiomyopathies**, vol. 39, no. 4, p. 307–312, 2020. <http://dx.doi.org/10.36185/2532-1900-034>
- DE GISI, S.; LOFRANO, G.; GRASSI, M.; NOTARNICOLA, M. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, vol. 9, p. 10–40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>
- DELAHAY, R. J.; DE LA FUENTE, J.; SMITH, G. C.; SHARUN, K.; SNARY, E. L.; FLORES GIRÓN, L.; NZIZA, J.; FOOKS, A. R.; BROOKES, S. M.; LEAN, F. Z. X.; BREED, A. C.; GORTAZAR, C. Assessing the risks of SARS-CoV-2 in wildlife. **One health outlook**, vol. 3, no. 1, p. 7, 2021. <http://dx.doi.org/10.1186/s42522-021-00039-6>
- DEMIRBAS, A.; EDRIS, G.; ALALAYAH, W. M. Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, vol. 39, no. 10, p. 999–1006, 2017. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1283551>
- ELSAMADONY, M.; FUJII, M.; MIURA, T.; WATANABE, T. Possible transmission of viruses from contaminated human feces and sewage: Implications for SARS-CoV-2. **The Science of the total environment**, vol. 755, no. Pt 1, p. 142575, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142575>
- FAGRE, A.; LEWIS, J.; ECKLEY, M.; ZHAN, S.; ROCHA, S. M.; SEXTON, N. R.; BURKE, B.; GEISS, B.; PEERSEN, O.; KADING, R.; ROVNAK, J.; EBEL, G. D.; TJALKENS, R. B.; ABOELLAIL, T.; SCHOUNTZ, T. SARS-CoV-2 infection, neuropathogenesis and transmission among deer mice: Implications for reverse zoonosis to New World rodents. **bioRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.08.07.241810>
- FEICHTMAYER, J.; DENG, L.; GRIEBLER, C. Antagonistic microbial interactions: Contributions and potential applications for controlling pathogens in the aquatic systems. **Frontiers in microbiology**, vol. 8, 2017. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2017.02192>
- GARCÍA-ÁVILA, F.; AVILÉS-AÑAZCO, A.; ORDOÑEZ-JARA, J.; GUANUCHI-QUEZADA, C.; FLORES DEL PINO, L.; RAMOS-FERNÁNDEZ, L. Modeling of residual chlorine in a drinking water network in times of pandemic of the SARS-CoV-2 (COVID-19). **Sustainable environment research**, vol. 31, no. 1, 2021. <http://dx.doi.org/10.1186/s42834-021-00084-w>
- GIACOBBO, A.; RODRIGUES, M. A. S.; ZOPPAS FERREIRA, J.; BERNARDES, A. M.; DE PINHO, M. N. A critical review on SARS-CoV-2 infectivity in water and wastewater. What do we know? **The Science of the total environment**, vol. 774, no. 145721, p. 145721, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145721>
- GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, vol. 4, no. 76, 2004.
- GUNDY, P. M.; GERBA, C. P.; PEPPER, I. L. Survival of coronaviruses in water and wastewater. **Food and environmental virology**, vol. 1, no. 1, p. 10–14, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-008-9001-6>
- HARAMOTO, E.; MALLA, B.; THAKALI, O.; KITAJIMA, M. First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. **bioRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.06.04.20122747>
- HEFFRON, J.; MAYER, B. K. Emerging investigators series: virus mitigation by coagulation: recent discoveries and future directions. **Environmental science: water research & technology**, vol. 2, no. 3, p. 443–459, 2016. <http://dx.doi.org/10.1039/c6ew00060f>
- HEILINGLOH, C. S.; AUFDERHORST, U. W.; SCHIPPER, L.; DITTMER, U.; WITZKE, O.; YANG, D.; ZHENG, X.; SUTTER, K.; TRILLING, M.; ALT, M.; STEINMANN, E.; KRAWCZYK, A. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. **American journal of infection control**, vol. 48, no. 10, p. 1273–1275, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajic.2020.07.031>

- HEMALATHA, M.; KIRAN, U.; KUNCHA, S. K.; KOPPERI, H.; GOKULAN, C. G.; MOHAN, S. V.; MISHRA, R. K. Surveillance of SARS-CoV-2 spread using wastewater-based epidemiology: Comprehensive study. **The Science of the total environment**, vol. 768, no. 144704, p. 144704, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144704>
- HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. **Water research**, vol. 40, no. 1, p. 3–22, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>
- HU, H.; XU, K. Physicochemical technologies for HRP and risk control. **High-Risk Pollutants in Wastewater**: Elsevier, 2020. p. 169–207. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816448-8.00008-3>
- HUDSON, J. B.; SHARMA, M.; VIMALANATHAN, S. Development of a practical method for using ozone gas as a virus decontaminating agent. **Ozone: science & engineering**, vol. 31, no. 3, p. 216–223, 2009. <http://dx.doi.org/10.1080/01919510902747969>
- HURST, C. J.; GERBA, C. P.; CECH, I. Effects of environmental variables and soil characteristics on virus survival in soil. **Applied and environmental microbiology**, vol. 40, no. 6, p. 1067–1079, 1980. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.40.6.1067-1079.1980>
- IBRAHIM, Y.; OUDA, M.; KADADOU, D.; BANAT, F.; NADDEO, V.; ALSAFAR, H.; YOUSEF, A. F.; BARCELÓ, D.; HASAN, S. W. Detection and removal of waterborne enteric viruses from wastewater: A comprehensive review. **Journal of environmental chemical engineering**, vol. 9, no. 4, p. 105613, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2021.105613>
- JEONG, H. W.; KIM, S.-M.; KIM, H.-S.; KIM, Y.-I.; KIM, J. H.; CHO, J. Y.; KIM, S.-H.; KANG, H.; KIM, S.-G.; PARK, S.-J.; KIM, E.-H.; CHOI, Y. K. Viable SARS-CoV-2 in various specimens from COVID-19 patients. **Clinical microbiology and infection: the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases**, vol. 26, no. 11, p. 1520–1524, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmi.2020.07.020>
- JOHN, D. E.; ROSE, J. B. Review of factors affecting microbial survival in groundwater. **Environmental science & technology**, vol. 39, no. 19, p. 7345–7356, 2005. <http://dx.doi.org/10.1021/es047995w>
- JOO, S. H.; CHOI, H. Field grand challenge with emerging superbugs and the novel coronavirus (SARS-CoV-2) on plastics and in water. **Journal of environmental chemical engineering**, vol. 9, no. 1, p. 104721, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104721>
- JORDÃO, E. P. É possível economizar energia nas estações de tratamento de esgoto. **Revista DAE**, vol. 63, no. 200, p. 6-12, 2015. <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2015.001>
- KAMPF, G.; VOSS, A.; SCHEITHAUER, S. Inactivation of coronaviruses by heat. **The journal of hospital infection**, vol. 105, no. 2, p. 348–349, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2020.03.025>
- KANG, M.; WEI, J.; YUAN, J.; GUO, J.; ZHANG, Y.; HANG, J.; QU, Y.; QIAN, H.; ZHUANG, Y.; CHEN, X.; PENG, X.; SHI, T.; WANG, J.; WU, J.; SONG, T.; HE, J.; LI, Y.; ZHONG, N. Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building. **Annals of internal medicine**, vol. 173, no. 12, p. 974–980, 2020. <http://dx.doi.org/10.7326/M20-0928>
- KONG, J.; LU, Y.; REN, Y.; CHEN, Z.; CHEN, M. The virus removal in UV irradiation, ozonation and chlorination. **Water Cycle**, vol. 2, p. 23–31, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watcyc.2021.05.001>
- KUMAR, M.; KURODA, K.; JOSHI, M.; BHATTACHARYA, P.; BARCELO, D. First comparison of conventional activated sludge versus root-zone treatment for SARS-CoV-2 RNA removal from wastewaters: Statistical and temporal significance. **Chemical engineering journal**, vol. 425, no. 130635, p. 130635, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2021.130635>
- KUZNIEWSKI, S. Prevalence, environmental fate, treatment strategies, and future challenges for wastewater contaminated with SARS-CoV-2. **Remediation**, vol. 31, no. 4, p. 97–110, 2021. <http://dx.doi.org/10.1002/rem.21691>
- KWARCIAK-KOZLOWSKA, A.; WLODARCZYK, R. Treatment of waterborne pathogens by microfiltration. **Waterborne Pathogens**: Elsevier, 2020. p. 81–103
- KWEINOR TETTEH, E.; OPOKU AMANKWA, M.; ARMAH, E. K.; RATHILAL, S. Fate of COVID-19 occurrences in wastewater systems: Emerging detection and treatment technologies—A review. **Water**, vol. 12, no. 10, p. 2680, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/w12102680>
- LA ROSA, G.; BONADONNA, L.; LUCENTINI, L.; KENMOE, S.; SUFFREDINI, E. Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods - A scoping review. **Water research**, vol. 179, no. 115899, p. 115899, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115899>
- LAHRICH, S.; LAGHRIB, F.; FARAH, A.; BAKASSE, M.; SAQRANE, S.; EL MHAMMEDI, M. A. Review on the contamination of wastewater by COVID-19 virus: Impact and treatment. **The Science of the total environment**, vol. 751, no. 142325, p. 142325, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142325>
- LESIMPLE, A.; JASIM, S. Y.; JOHNSON, D. J.; HILAL, N. The role of wastewater treatment plants as tools for SARS-CoV-2 early detection and removal. **Journal of water process engineering**, vol. 38, no. 101544, p. 101544, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101544>
- LEUNG, W. W. F.; SUN, Q. Electrostatic charged nanofiber filter for filtering airborne novel coronavirus (COVID-19) and nano-aerosols. **Separation and purification technology**, vol. 250, no. 116886, p. 116886, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116886>
- LI, H.; XUE, Q.; XU, X. Involvement of the nervous system in SARS-CoV-2 infection. **Neurotoxicity**

research, vol. 38, no. 1, p. 1–7, 2020a. <http://dx.doi.org/10.1007/s12640-020-00219-8>

LI, R.; YIN, T.; FANG, F.; LI, Q.; CHEN, J.; WANG, Y.; HAO, Y.; WU, G.; DUAN, P.; WANG, Y.; CHENG, D.; ZHOU, Q.; ZAFAR, M. I.; XIONG, C.; LI, H.; YANG, J.; QIAO, J. Potential risks of SARS-CoV-2 infection on reproductive health. **Reproductive biomedicine online**, vol. 41, no. 1, p. 89–95, 2020b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbmo.2020.04.018>

LIZASOAIN, A.; TORT, L. F. L.; GARCÍA, M.; GILLMAN, L.; ALBERTI, A.; LEITE, J. P. G.; MIAGOSTOVICH, M. P.; POU, S. A.; CAGIAO, A.; RAZSAP, A.; HUERTAS, J.; BEROIS, M.; VICTORIA, M.; COLINA, R. Human enteric viruses in a wastewater treatment plant: evaluation of activated sludge combined with UV disinfection process reveals different removal performances for viruses with different features. **Letters in applied microbiology**, vol. 66, no. 3, p. 215–221, 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/lam.12839>

LOVATO, A.; DE FILIPPIS, C. Clinical presentation of COVID-19: A systematic review focusing on upper airway symptoms. **Ear, nose, & throat journal**, vol. 99, no. 9, p. 569–576, 2020. <http://dx.doi.org/10.1177/0145561320920762>.

MAAL-BARED, R.; BRISOLARA, K.; MUNAKATA, N.; BIBBY, K.; GERBA, C.; SOBSEY, M.; SCHAEFER, S.; SWIFT, J.; GARY, L.; SHERCHAN, S.; BABATOLA, A.; BASTIAN, R.; OLABODE, L.; REIMERS, R.; RUBIN, A. Implications of SARS-CoV-2 on current and future operation and management of wastewater systems. **Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation**, vol. 93, no. 4, p. 502–515, 2021. <http://dx.doi.org/10.1002/wer.1446>

MADAENI, S. S.; FANE, A. G.; GROHMANN, G. S. Virus removal from water and wastewater using membranes. **Journal of membrane science**, vol. 102, p. 65–75, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0376-7388\(94\)00252-t](http://dx.doi.org/10.1016/0376-7388(94)00252-t)

MAINARDI, P. H.; BIDOIA, E. D. Challenges and emerging perspectives of an international SARS-CoV-2 epidemiological surveillance in wastewater. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 93, no. suppl 4, 2021. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120210163>

MAINARDI, P. H.; BIDOIA, E. D. Poluentes industriais: Conceitos e tendências de tratamento. **Revista de ciências agro-ambientais**, vol. 18, no. 2, p. 124–135, 2020. <http://hdl.handle.net/11449/215690>

MARTINS, R. B.; CASTRO, I. A.; PONTELLI, M.; SOUZA, J. P.; LIMA, T. M.; MELO, S. R.; SIQUEIRA, J. P. Z.; CAETANO, M. H.; ARRUDA, E.; DE ALMEIDA, M. T. G. SARS-CoV-2 inactivation by ozonated water: A preliminary alternative for environmental disinfection. **Ozone: science & engineering**, vol. 43, no. 2, p. 108–111, 2021. <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2020.1842998>

MATHAVARAJAH, S.; STODDART, A. K.; GAGNON, G. A.; DELLAIRE, G. Pandemic danger to the deep: The risk of marine mammals contracting SARS-CoV-2 from wastewater. **The Science of the total environment**, vol. 760, no. 143346, p. 143346, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143346>

MOHAMMADI, M.; MESKINI, M.; DO NASCIMENTO PINTO, A. L. 2019 Novel coronavirus (COVID-19) overview. **Zeitschrift für Gesundheitswissenschaften [Journal of public health]**, vol. 30, no. 1, p. 1–9, 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s10389-020-01258-3>

MOHAN, S. V.; HEMALATHA, M.; KOPPERI, H.; RANJITH, I.; KUMAR, A. K. SARS-CoV-2 in environmental perspective: Occurrence, persistence, surveillance, inactivation and challenges. **Chemical engineering journal**, vol. 405, no. 126893, p. 126893, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2020.126893>

MOHAPATRA, S.; MENON, N. G.; MOHAPATRA, G.; PISHARODY, L.; PATNAIK, A.; MENON, N. G.; BHUKYA, P. L.; SRIVASTAVA, M.; SINGH, M.; BARMAN, M. K.; GIN, K. Y.-H.; MUKHERJI, S. The novel SARS-CoV-2 pandemic: Possible environmental transmission, detection, persistence and fate during wastewater and water treatment. **The Science of the total environment**, vol. 765, no. 142746, p. 142746, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142746>

MORRISON, C.; ATKINSON, A.; ZAMYADI, A.; KIBUYE, F.; MCKIE, M.; HOGARD, S.; MOLLICA, P.; JASIM, S.; WERT, E. C. Critical review and research needs of ozone applications related to virus inactivation: Potential implications for SARS-CoV-2. **Ozone: science & engineering**, vol. 43, no. 1, p. 2–20, 2021. <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2020.1839739>

MURATA, T.; SAKURAI, A.; SUZUKI, M.; KOMOTO, S.; IDE, T.; ISHIHARA, T.; DOI, Y. Shedding of viable virus in asymptomatic SARS-CoV-2 carriers. **mSphere**, vol. 6, no. 3, 2021. <http://dx.doi.org/10.1128/mSphere.00019-21>

NASSERI, S.; YAVARIAN, J.; BAGHANI, A. N.; AZAD, T. M.; NEJATI, A.; NABIZADEH, R.; HADI, M.; JANDAGHI, N. Z. S.; VAKILI, B.; VAGHEFI, S. K. A.; BAGHBAN, M.; YOUSEFI, S.; NAZMARA, S.; ALIMOHAMMADI, M. The presence of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in 3 cities of Iran: Tehran, Qom and Anzali during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak. **Journal of environmental health science & engineering**, vol. 19, no. 1, p. 1–12, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s40201-021-00629-6>

NAVEL, V.; CHIAMBARETTA, F.; DUTHEIL, F. Haemorrhagic conjunctivitis with pseudomembranous related to SARS-CoV-2. **American journal of ophthalmology case reports**, vol. 19, no. 100735, p. 100735, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajoc.2020.100735>

NORRRAHIM, M. N. F.; MOHD KASIM, N. A.; KNIGHT, V. F.; ONG, K. K.; MOHD NOOR, S. A.; ABDUL HALIM, N.; AHMAD SHAH, N. A.; JAMAL, S. H.; JANUDIN, N.; MISENAN, M. S. M.; AHMAD, M. Z.; YAACOB, M. H.; WAN YUNUS, W. M. Z. Emerging developments regarding nanocellulose-based membrane filtration material against microbes. **Polymers**, vol. 13, no. 19, p. 3249, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/polym13193249>

OKOH, A. I.; SIBANDA, T.; GUSHA, S. S. Inadequately treated wastewater as a source of human enteric viruses in the environment. **International journal of environmental research and public health**, vol. 7, no.



6, p. 2620–2637, 2010.  
<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph7062620>

Organização Mundial da Saúde, 2020a. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-11 March 2020. Disponível em <<https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>>. Acessado em 06 de janeiro de 2022.

Organização Mundial da Saúde, 2020b. Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19: interim guidance. Disponível em <<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC-WASH-2020.4>>. Acessado em 06 de janeiro de 2022.

Organização Mundial da Saúde, 2022. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Disponível em <<https://covid19.who.int/>>. Acessado em 06 de janeiro de 2022.

PATEL, M.; CHAUBEY, A. K.; PITTMAN, C. U., Jr; MLSNA, T.; MOHAN, D. Coronavirus (SARS-CoV-2) in the environment: Occurrence, persistence, analysis in aquatic systems and possible management. **The Science of the total environment**, vol. 765, no. 142698, p. 142698, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142698>

PENDERGAST, M. M.; HOEK, E. M. V. A review of water treatment membrane nanotechnologies. **Energy & environmental science**, vol. 4, no. 6, p. 1946–1971, 2011.  
<https://www.scilit.net/article/db7a7c7ab3d5a97a8b9b2acef94fd32e>

POLO, D., QUINTELA-BALUJA, M., CORBISHLEY, A., JONES, D. L., SINGER, A. C., GRAHAM, D. W., & ROMALDE, J. L. Making waves: Wastewater-based epidemiology for COVID-19—approaches and challenges for surveillance and prediction. **Water Research**, vol. 186, p. 116404, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116404>

PRATHER, K. A.; MARR, L. C.; SCHOOLEY, R. T.; MCDIARMID, M. A.; WILSON, M. E.; MILTON, D. K. Airborne transmission of SARS-CoV-2. **Science (New York, N.Y.)**, vol. 370, no. 6514, p. 303–304, 2020. DOI 10.1126/science.abf0521. Available at: <http://dx.doi.org/10.1126/science.abf0521>.

RANDAZZO, W.; TRUCHADO, P.; CUEVAS-FERRANDO, E.; SIMÓN, P.; ALLENDE, A.; SÁNCHEZ, G. SARS-CoV-2 RNA titers in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. **bioRxiv**, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1101/2020.04.22.20075200>

RANZANI, O. T.; HITCHINGS, M. D. T.; DORION, M.; D'AGOSTINI, T. L.; DE PAULA, R. C.; DE PAULA, O. F. P.; VILLELA, E. F. de M.; TORRES, M. S. S.; DE OLIVEIRA, S. B.; SCHULZ, W.; ALMIRON, M.; SAID, R.; DE OLIVEIRA, R. D.; VIEIRA DA SILVA, P.; DE ARAÚJO, W. N.; GORINCHTEYN, J. C.; ANDREWS, J. R.; CUMMINGS, D. A. T.; KO, A. I.; CRODA, J. Effectiveness of the CoronaVac vaccine in older adults

during a gamma variant associated epidemic of covid-19 in Brazil: test negative case-control study. **BMJ (Clinical research ed.)**, vol. 374, p. n2015, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n2015>

REVILLA PACHECO, C.; TERÁN HILARES, R.; COLINA ANDRADE, G.; MOGROVEJO-VALDIVIA, A.; PACHECO TANAKA, D. A. Emerging contaminants, SARS-COV-2 and wastewater treatment plants, new challenges to confront: A short review. **Bioresource technology reports**, vol. 15, no. 100731, p. 100731, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100731>

SAADATPOUR, F.; MOHAMMADIPANAH, F. Physicochemical susceptibility of SARS-CoV-2 to disinfection and physical approach of prophylaxis. **Health science reports**, vol. 3, no. 4, p. e213, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1002/hsr2.213>

SABA, B.; HASAN, S. W.; KJELLERUP, B. V.; CHRISTY, A. D. Capacity of existing wastewater treatment plants to treat SARS-CoV-2. A review. **Bioresource technology reports**, vol. 15, no. 100737, p. 100737, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100737>

SANGKHAM, S. A review on detection of SARS-CoV-2 RNA in wastewater in light of the current knowledge of treatment process for removal of viral fragments. **Journal of environmental management**, vol. 299, no. 113563, p. 113563, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113563>

SERRA-COMPTE, A.; GONZÁLEZ, S.; ARNALDOS, M.; BERLENDIS, S.; COURTOIS, S.; LORET, J. F.; SCHLOSSER, O.; YÁÑEZ, A. M.; SORIA-SORIA, E.; FITTIPALDI, M.; SAUCEDO, G.; PINAR-MÉNDEZ, A.; PARAIRA, M.; GALOFRÉ, B.; LEMA, J. M.; BALBOA, S.; MAURICIO-IGLESIAS, M.; BOSCH, A.; PINTÓ, R. M.; ... LITRICO, X. Elimination of SARS-CoV-2 along wastewater and sludge treatment processes. **Water research**, vol. 202, no. 117435, p. 117435, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2021.117435>

SHARMA, P.; TRIPATHI, S.; PATEL, S. K.; DHAMA, K.; CHANDRA, R. SARS-CoV-2 / COVID-19 and its transmission, prevention, treatment and control - an update. **Journal of pure & applied microbiology**, vol. 14, no. suppl 1, p. 945–956, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.22207/jpam.14.spl1.32>

SHIN, G.-A.; SOBSEY, M. D. Removal of norovirus from water by coagulation, flocculation and sedimentation processes. **Water Science & Technology: Water Supply**, vol. 15, no. 1, p. 158–163, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.2166/ws.2014.100>

SHIRASAKI, N.; MATSUSHITA, T.; MATSUI, Y.; MARUBAYASHI, T. Effect of aluminum hydrolyte species on human enterovirus removal from water during the coagulation process. **Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)**, vol. 284, p. 786–793, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.09.045>

SHIRASAKI, N.; MATSUSHITA, T.; MATSUI, Y.; MURAI, K. Assessment of the efficacy of membrane filtration processes to remove human enteric viruses and the suitability of bacteriophages and a plant virus as surrogates for those viruses. **Water research**, vol. 115,

p. 29–39, 2017.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.054>

SHUTLER, J. D.; ZARASKA, K.; HOLDING, T.; MACHNIK, M.; UPPULURI, K.; ASHTON, I. G. C.; MIGDAL, Ł.; DAHIYA, R. S. Rapid assessment of SARS-CoV-2 transmission risk for fecally contaminated river water. **ACS ES&T water**, vol. 1, no. 4, p. 949–957, 2021. <http://dx.doi.org/10.1021/acsestwater.0c00246>

SIDDIQUI, R.; KHAMIS, M.; IBRAHIM, T.; KHAN, N. A. SARS-CoV-2: The increasing importance of water filtration against highly pathogenic microbes. **ACS chemical neuroscience**, vol. 11, no. 17, p. 2482–2484, 2020. <http://dx.doi.org/10.1021/acscchemneuro.0c00468>

SMET, J.; STYLEMANS, D.; HANON, S.; ILSSEN, B.; VERBANCK, S.; VANDERHELST, E. Clinical status and lung function 10 weeks after severe SARS-CoV-2 infection. **Respiratory medicine**, vol. 176, no. 106276, p. 106276, 2021. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmed.2020.106276>

SONUNE, A.; GHATE, R. Developments in wastewater treatment methods. **Desalination**, vol. 167, p. 55-63, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>

SOOD, S.; AGGARWAL, V.; AGGARWAL, D.; UPADHYAY, S. K.; SAK, K.; TULI, H. S.; KUMAR, M.; KUMAR, J.; TALWAR, S. COVID-19 pandemic: From molecular biology, pathogenesis, detection, and treatment to global societal impact. **Current pharmacology reports**, vol. 6, no. 5, p. 1–16, 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s40495-020-00229-2>

TAKEDA, Y.; UCHIUMI, H.; MATSUDA, S.; OGAWA, H. Acidic electrolyzed water potentially inactivates SARS-CoV-2 depending on the amount of free available chlorine contacting with the virus. **Biochemical and biophysical research communications**, vol. 530, no. 1, p. 1–3, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.07.029>

TANG, S.; MAO, Y.; JONES, R. M.; TAN, Q.; JI, J. S.; LI, N.; SHEN, J.; LV, Y.; PAN, L.; DING, P.; WANG, X.; WANG, Y.; MACINTYRE, C. R.; SHI, X. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. **Environment international**, vol. 144, no. 106039, p. 106039, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106039>

TEYMOORIAN, T.; TEYMOURIAN, T.; KOWSARI, E.; RAMAKRISHNA, S. Direct and indirect effects of SARS-CoV-2 on wastewater treatment. **Journal of water process engineering**, vol. 42, no. 102193, p. 102193, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102193>

THAKUR, A. K.; SATHYAMURTHY, R.; VELRAJ, R.; LYNCH, I.; SAIDUR, R.; PANDEY, A. K.; SHARSHIR, S. W.; KABEEL, A. E.; HWANG, J.-Y.; GANESHKUMAR, P. Secondary transmission of SARS-CoV-2 through wastewater: Concerns and tactics for treatment to effectively control the pandemic. **Journal of environmental management**, vol. 290, no. 112668, p. 112668, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112668>

THOMPSON, M. G.; STENEHJEM, E.; GRANNIS, S.; BALL, S. W.; NALEWAY, A. L.; ONG, T. C.; DESILVA,

M. B.; NATARAJAN, K.; BOZIO, C. H.; LEWIS, N.; DASCOMB, K.; DIXON, B. E.; BIRCH, R. J.; IRVING, S. A.; RAO, S.; KHARBANDA, E.; HAN, J.; REYNOLDS, S.; GODDARD, K.; KLEIN, N. P. Effectiveness of Covid-19 vaccines in ambulatory and inpatient care settings. **The New England journal of medicine**, vol. 385, no. 15, p. 1355–1371, 2021. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa2110362>

TIZAOUI, C. Ozone: A potential oxidant for COVID-19 virus (SARS-CoV-2). **Ozone: science & engineering**, vol. 42, no. 5, p. 378–385, 2020. <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2020.1795614>

TONDERA, K.; KLAER, K.; GEBHARDT, J.; WINGENDER, J.; KOCH, C.; HORSTKOTT, M.; STRATHMANN, M.; JURZIK, L.; HAMZA, I. A.; PINNEKAMP, J. Reducing pathogens in combined sewer overflows using ozonation or UV irradiation. **International journal of hygiene and environmental health**, vol. 218, no. 8, p. 731–741, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.09.002>

TOPARE, N. S.; ATTAR, S. J.; MANFE, M. M. Sewage/wastewater treatment technologies: a review. **Sci. Revs. Chem. Commun**, vol. 1, no. 1, p. 18-24, 2011.

UZUNIAN, A. Coronavírus SARS-CoV-2 e COVID-19. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, vol. 56, p. 2020. <https://doi.org/10.5935/1676-2444.20200053>

VAN DOORN, A. S.; MEIJER, B.; FRAMPTON, C. M. A.; BARCLAY, M. L.; DE BOER, N. K. H. Systematic review with meta-analysis: SARS-CoV-2 stool testing and the potential for faecal-oral transmission. **Alimentary pharmacology & therapeutics**, vol. 52, no. 8, p. 1276–1288, 2020. <http://dx.doi.org/10.1111/apt.16036>

VINER, R. M.; WARD, J. L.; HUDSON, L. D.; ASHE, M.; PATEL, S. V.; HARGREAVES, D.; WHITTAKER, E. Systematic review of reviews of symptoms and signs of COVID-19 in children and adolescents. **Archives of disease in childhood**, vol. 106, no. 8, p. 802–807, 2020. <http://dx.doi.org/10.1136/archdischild-2020-320972>

WANG, H.; SIKORA, P.; RUTGERSSON, C.; LINDH, M.; BRODIN, T.; BJÖRLENIUS, B.; LARSSON, D. G. J.; NORDER, H. Differential removal of human pathogenic viruses from sewage by conventional and ozone treatments. **International journal of hygiene and environmental health**, vol. 221, no. 3, p. 479–488, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.012>

WANG, J.; SHEN, J.; YE, D.; YAN, X.; ZHANG, Y.; YANG, W.; LI, X.; WANG, J.; ZHANG, L.; PAN, L. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. **Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)**, vol. 262, no. 114665, p. 114665, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114665>

WANG, X.-W.; LI, J.-S.; JIN, M.; ZHEN, B.; KONG, Q.-X.; SONG, N.; XIAO, W.-J.; YIN, J.; WEI, W.; WANG, G.-J.; SI, B.-Y.; GUO, B.-Z.; LIU, C.; OU, G.-R.; WANG, M.-N.; FANG, T.-Y.; CHAO, F.-H.; LI, J.-W. Study on the resistance of severe acute respiratory syndrome-

associated coronavirus. **Journal of virological methods**, vol. 126, no. 1–2, p. 171–177, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2005.02.005>

WARTECKI, A.; RZYMSKI, P. On the coronaviruses and their associations with the aquatic environment and wastewater. **Water**, vol. 12, no. 6, p. 1598, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/w12061598>

WOESE, C. Thermal inactivation of animal viruses. **Annals of the New York Academy of Sciences**, vol. 83, no. 4, p. 741–751, 1960. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1960.tb40943.x>

WU, L.; O'KANE, A. M.; PENG, H.; BI, Y.; MOTRIUK-SMITH, D.; REN, J. SARS-CoV-2 and cardiovascular complications: From molecular mechanisms to pharmaceutical management. **Biochemical pharmacology**, vol. 178, no. 114114, p. 114114, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114114>

WURTZER, S., WALDMAN, P., FERRIER-REMBERT, A., FRENOIS-VEYRAT, G., MOUCHEL, J. M., BONI, M., MADAY, Y., MARECHAL, V., & MOULIN, L. Several forms of SARS-CoV-2 RNA can be detected in wastewaters: implication for wastewater-based epidemiology and risk assessment. **Water Research**, vol. 198, p. 117183, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117183>

WURTZER, S.; MARECHAL, V.; MOUCHEL, J. M.; MADAY, Y.; TEYSSOU, R.; RICHARD, E.; ALMAYRAC, J. L.; MOULIN, L. Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. **medRxiv**, 2020. <http://dx.doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>

XIAO, F.; SUN, J.; XU, Y.; LI, F.; HUANG, X.; LI, H.; ZHAO, J.; HUANG, J.; ZHAO, J. Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19. **Emerging infectious diseases**, vol. 26, no. 8, p. 1920–1922, 2020. <http://dx.doi.org/10.3201/eid2608.200681>

XIE, C.; ZHAO, H.; LI, K.; ZHANG, Z.; LU, X.; PENG, H.; WANG, D.; CHEN, J.; ZHANG, X.; WU, D.; GU, Y.; YUAN, J.; ZHANG, L.; LU, J. The evidence of indirect transmission of SARS-CoV-2 reported in Guangzhou, China. **BMC public health**, vol. 20, no. 1, p. 1202, 2020. <http://dx.doi.org/10.1186/s12889-020-09296-y>

XILING, G.; YIN, C.; LING, W.; XIAOSONG, W.; JINGJING, F.; FANG, L.; XIAOYAN, Z.; YIYUE, G.; YING, C.; LUNBIAO, C.; LIUBO, Z.; HONG, S.; YAN, X. In vitro inactivation of SARS-CoV-2 by commonly used

disinfection products and methods. **Scientific reports**, vol. 11, no. 1, p. 2418, 2021. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-82148-w>

YANG, L.; TU, L. Implications of gastrointestinal manifestations of COVID-19. **The lancet. Gastroenterology & hepatology**, vol. 5, no. 7, p. 629–630, 2020. [http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30132-1](http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30132-1)

YANG, W.; CAI, C.; DAI, X. The potential exposure and transmission risk of SARS-CoV-2 through sludge treatment and disposal. **Resources, conservation, and recycling**, vol. 162, no. 105043, p. 105043, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105043>

YANO, H.; NAKANO, R.; SUZUKI, Y.; NAKANO, A.; KASAHARA, K.; HOSOI, H. Inactivation of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) by gaseous ozone treatment. **The journal of hospital infection**, vol. 106, no. 4, p. 837–838, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2020.10.004>

YE, Y.; ELLENBERG, R. M.; GRAHAM, K. E.; WIGGINTON, K. R. Survivability, partitioning, and recovery of enveloped viruses in untreated municipal wastewater. **Environmental science & technology**, vol. 50, no. 10, p. 5077–5085, 2016. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b00876>

YU, I. T. S.; LI, Y.; WONG, T. W.; TAM, W.; CHAN, A. T.; LEE, J. H. W.; LEUNG, D. Y. C.; HO, T. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. **The New England journal of medicine**, vol. 350, no. 17, p. 1731–1739, 2004. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa032867>

YUAN, J.; CHEN, Z.; GONG, C.; LIU, H.; LI, B.; LI, K.; CHEN, X.; XU, C.; JING, Q.; LIU, G.; QIN, P.; LIU, Y.; ZHONG, Y.; HUANG, L.; ZHU, B.-P.; YANG, Z. Coronavirus disease 2019 outbreak likely caused by sewage exposure in a low-income community: Guangzhou, China, April 2020. **SSRN Electronic Journal**, 2020. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3618204>

ZHANG, D.; LING, H.; HUANG, X.; LI, J.; LI, W.; YI, C.; ZHANG, T.; JIANG, Y.; HE, Y.; DENG, S.; ZHANG, X.; WANG, X.; LIU, Y.; LI, G.; QU, J. Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of Fangcang Hospital. **The Science of the total environment**, vol. 741, no. 140445, p. 140445, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140445>