

Riscos associados à presença do SARS-CoV-2 em esgotos e possíveis abordagens para limitar sua propagação através de matrizes aquáticas

Risks associated with the presence of SARS-CoV-2 in sewage and possible approaches to limit its spread through aquatic matrices

RESUMO

Pedro Henrique Mainardi* 

Ederio Dino Bidoia 

Introdução: O SARS-CoV-2 é um novo tipo de coronavírus capaz de infectar humanos e causar a *Coronavirus Disease* (COVID-19), enfermidade que tem causado enormes impactos no Brasil e no mundo. A doença, devido às suas altas taxas de disseminação e letalidade, foi declarada pandêmica pela Organização Mundial da Saúde no primeiro semestre de 2020. Vários estudos têm frequentemente indicado a detecção de fragmentos de RNA do SARS-CoV-2 em amostras de redes de esgoto, estações de tratamento e águas naturais. A presença do SARS-CoV-2 nesses ambientes tem levantado a possibilidade de transmissão pelo contato com águas contaminadas e aerossóis gerados durante seus fluxos ou tratamentos. **Objetivo:** Descrever relatos de detecção do novo coronavírus em amostras obtidas em redes de esgotos, em lodos residuais de plantas de tratamento e em corpos d'água naturais, e apresentar a viabilidade desse vírus quando inoculado artificialmente nesses ambientes. **Método:** Revisão integrativa de literatura fundamentada em artigos científicos escritos em inglês ou português, indexados nas bases de dados do *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* e *MedRxiv*. **Resultados:** Foi possível destacar os riscos que o SARS-CoV-2 proporciona às populações de humanos e de animais selvagens quando presente nas águas residuais, estratégias cabíveis de serem utilizadas para limitar a propagação desse patógeno nas matrizes aquáticas, e a importância da implementação de sistemas de monitoramento epidemiológico nesses locais. **Conclusões:** A fim de reduzir os riscos de surtos emergentes e reemergentes da COVID-19 por meio de matrizes aquosas, abordagens preventivas em relação à presença do SARS-CoV-2 nesses ambientes têm sido fortemente recomendadas.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento Epidemiológico; Surtos de Doenças; Águas Residuais; Recursos Hídricos; Medicina Preventiva

ABSTRACT

Introduction: SARS-CoV-2 is a new type of coronavirus capable of infecting humans and cause the Coronavirus Disease (COVID-19), an illness that has causing enormous impacts in Brazil and worldwide. The disease, due to its high-level dissemination and lethality rates, was declared pandemic by the World Health Organization in the first half of 2020. Several studies have frequently indicated the detection of SARS-CoV-2 RNA fragments in samples from sewage networks, treatment plants and natural waters. The presence of SARS-CoV-2 in those environments has raised the possibility of transmission through the contact with contaminated waters and aerosols generated during their flow or treatment. **Objective:** Describe detection reports of the new coronavirus in samples obtained from sewage networks, from waste sludges of treatment plants and from natural water bodies, and present the viability of this virus when artificially inoculated in those environments. **Method:** Integrative literature review based on scientific articles written in English or Portuguese, indexed in the *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, *Google*

Instituto de Biociências,
Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho (Unesp), Rio
Claro, SP, Brasil

* E-mail: pedro.h.mainardi@unesp.br

Recebido: 28 jul 2021

Aprovado: 22 mar 2022



Scholar and MedRxiv databases. **Results:** It was possible to highlight the risks that the SARS-CoV-2 poses to human and wildlife populations when present in wastewater, appropriate strategies to be used to limit the spread of this pathogen in aquatic matrices, and the importance of implementing epidemiological monitoring systems in those places. **Conclusions:** In order to reduce the risks of emerging and re-emerging outbreaks of COVID-19 through aqueous matrices, precautionary approaches regarding the presence of SARS-CoV-2 in those environments have been strongly recommended.

KEYWORDS: Epidemiological Monitoring; Disease Outbreaks; Residual Waters, Water Resources; Preventive Medicine

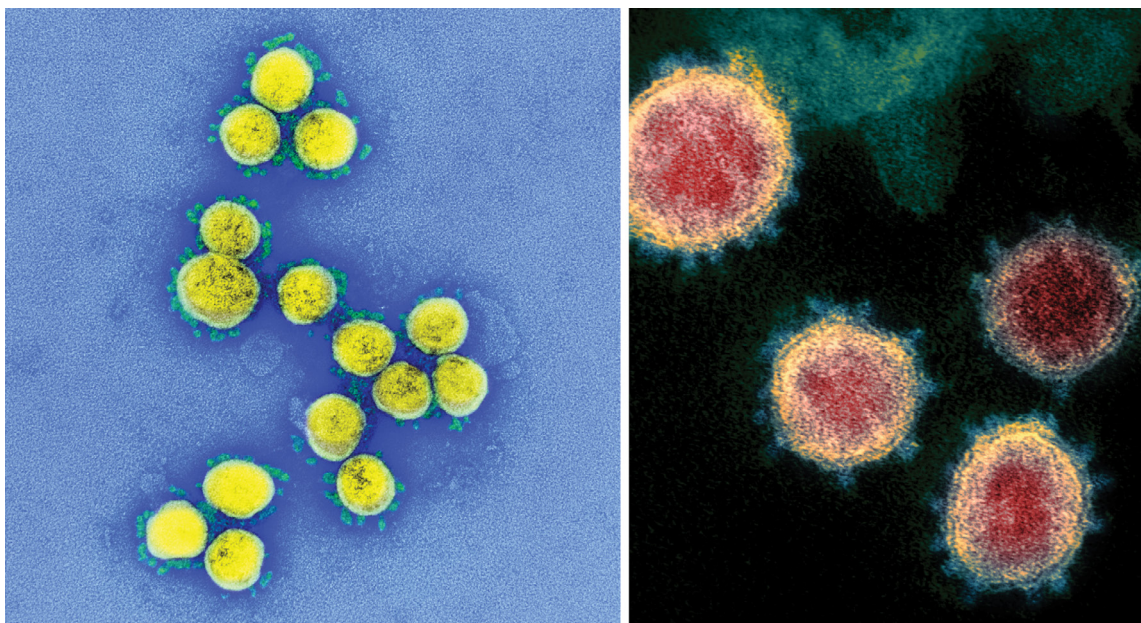
INTRODUÇÃO

O coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-CoV-2) é um novo tipo de coronavírus infeccioso aos humanos e causador da *Coronavirus Disease* (COVID-19), uma doença fatal, altamente transmissível, e responsável por enormes impactos sociais e econômicos em todo o planeta Terra¹. A COVID-19, de acordo com estudos clínicos, tem sido responsável por causar manifestações em vários sistemas humanos, incluindo o cardiovascular, renal, musculoesquelético, neurológico, imunológico, visual, gastrointestinal e principalmente o respiratório^{2,3,4,5,6,7,8}. Pacientes sintomáticos têm apresentado febre, fadiga, disfunções do paladar e olfato, rinorreia, letargia, tosse seca, dispneia, dor de cabeça, dores musculares, vômito, diarreia e pneumonia grave^{9,10}. Segundo a Organização Mundial de Saúde, no ano de 2020, houve aproximadamente 81,5 milhões de casos e 1,8 milhão de óbitos ocasionados pela COVID-19 em cerca de 222 países, áreas e/ou territórios no mundo¹¹.

O SARS-CoV-2 pertence à família Coronaviridae e ao gênero *Betacoronavirus*. O vírus detém um genoma aproximado de 30 mil nucleotídeos de fita simples de RNA de sentido positivo, e é envolto por um frágil envelope lipídico que contém em sua superfície glicoproteínas denominadas *spike*, estrutura em forma

de coroa de onde derivou seu nome (corona é a palavra latina para coroa)^{12,13} (Figura 1). O SARS-CoV-2 apresenta uma taxa de variação de sequência de aproximadamente $1,1 \times 10^{-3}$ sítios por ano, o que representa duas mutações por mês quando considerada a população mundial^{14,15}. Embora a maioria das mutações ocasionadas no genoma desse vírus tenha provavelmente sido deletéria ou neutra, uma pequena proporção originou alterações significativas em sua infectividade e interação com os hospedeiros¹⁵. As variantes mais importantes, chamadas de variantes de interesse, foram classificadas como Alpha (B.1.1.7), Beta (B.1.351, B.1.351.2, B.1.351.3), Gamma (P.1, P.1.1, P.1.2) e Delta (B.1.617.2, AY.1, AY.2, AY.3)¹⁶.

A variante Alpha, descrita pela primeira vez no Reino Unido em dezembro de 2020, foi observada por apresentar 23 mutações, 17 alterações de aminoácidos e um aumento de 46% na transmissibilidade^{16,17}. A variante Beta, relatada inicialmente na África do Sul em outubro de 2020, foi observada por apresentar 23 mutações, 17 alterações de aminoácidos e um aumento de 32% na transmissibilidade^{16,17}. A variante Gamma, relatada pela primeira vez no Brasil em janeiro de 2021, foi observada por apresentar 35 mutações, 17 alterações de aminoácidos e um aumento



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

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



de 43% na transmissibilidade^{16,17}. Já a variante Delta, descrita inicialmente em fevereiro de 2021 na Índia, foi observada por apresentar aproximadamente 15 mutações, seis alterações de aminoácidos e um notável aumento de 60% na transmissibilidade em relação à variante Alpha^{16,18}. Todas as variantes de interesse, Alpha, Beta, Gamma e Delta, demonstraram maiores propensões a causarem internações hospitalares^{19,20}. A variante Delta, além disso, apresentou um significativo aumento na carga viral e maiores riscos de progressão da doença^{21,22}.

O SARS-CoV-2 tem sido disseminado pelo contato direto com secreções contaminadas que são transportadas e dispersadas pelo ar, como gotículas respiratórias, saliva e partículas aerolizadas^{23,24}. Além disso, relatos também têm indicado a possível transmissão viral por meio do contato indireto com superfícies contaminadas²⁵. De acordo com estudos de persistência viral, partículas aerolizadas foram capazes de propiciar a infectividade do SARS-CoV-2 por até 16 horas²⁶, enquanto superfícies como o plástico, aço inoxidável e máscara cirúrgica, por até 7 dias^{27,28}. As melhores práticas para conter a transmissão da doença têm sido medidas de proteção, como higiene pessoal, uso de máscara facial, protetor ocular, distanciamento físico, ventilação adequada de espaços fechados, desinfecção de superfícies e imunização por vacinas^{29,30,31,32,33,34}.

A eliminação de partículas virais do SARS-CoV-2 por meio da urina e de fezes foi comumente observada em pacientes com COVID-19, incluindo casos leves, pré-sintomáticos e assintomáticos^{35,36,37}. A presença de partículas virais do novo coronavírus nessas amostras, infecciosas em alguns casos, tem evidenciado a possibilidade de transmissão viral pelo contato direto ou pelos aerossóis gerados pelas excretas de pacientes contaminados^{38,39,40,41}. Além disso, a excreção do SARS-CoV-2 pelas fezes e urina de pacientes com COVID-19 também trouxe a importância do monitoramento viral em esgotos e em corpos d'água naturais, que coletam e concentram os excrementos humanos, e acondicionam as águas utilizáveis para o abastecimento público, irrigação de plantações ou atividades recreativas^{42,43}.

Nesse contexto, esta revisão teve o objetivo de descrever relatos de detecção do SARS-CoV-2 em amostras obtidas em redes de esgotos, lodos de plantas de tratamento e em corpos d'água naturais, e a infectividade que esse vírus apresenta quando inoculado artificialmente nesses ambientes. A revisão destacou os riscos que o SARS-CoV-2 proporciona aos seres humanos e a animais selvagens quando presente nos esgotos, e abordagens cabíveis de serem aplicadas como forma de limitar a disseminação desse patógeno através de matrizes aquáticas, incluindo a implementação de estratégias de monitoramento epidemiológico nesses ambientes.

MÉTODO

Base de dados e critérios da busca

A revisão integrativa de literatura foi fundamentada em artigos científicos escritos em inglês ou português e disponibilizados em repositórios virtuais de acesso público ou acessados através de

instituições acadêmicas. O procedimento metodológico foi feito, primeiramente, conduzindo pesquisas eletrônicas entre os dias 22 de julho de 2020 a 21 de setembro de 2021 nas bases de dados do *Web of Science*, *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* e *MedRxiv*. Nessa etapa, as pesquisas, quando procedidas em português, foram feitas utilizando a combinação dos seguintes termos: “SARS-CoV-2”, “presença”, “detecção”, “água residual”, “esgoto”, “tratado”, “água natural”, “água de rio”, “infectividade”, “viabilidade”, “variantes”, “risco ambiental”, “vigilância” e “monitoramento”. Quando procedidas em inglês, as pesquisas foram feitas mediante a combinação dos termos: “SARS-CoV-2”, “presence”, “detection”, “wastewater”, “sewage”, “treated”, “natural water”, “river water”, “infectivity”, “viability”, “variants”, “environmental risk”, “surveillance” and “monitoring”.

Classificação e refinamento dos trabalhos científicos

Após a obtenção dos documentos, eles foram triados quanto aos seus títulos e resumos, a fim de constatar se atendiam ao tema proposto e de eliminar os duplicados. Em seguida, os trabalhos foram classificados de acordo com os seguintes temas: (i) presença e detecção do SARS-CoV-2 em águas residuais ou naturais, (ii) infectividade e viabilidade do SARS-CoV-2 em águas residuais ou naturais, (iii) riscos associados à presença do SARS-CoV-2 em águas residuais ou naturais, (iv) abordagens para limitar a propagação do SARS-CoV-2 através de matrizes aquáticas e (v) monitoramento epidemiológico do SARS-CoV-2 e de suas variantes em águas residuais e naturais. Após a classificação, os artigos foram lidos na íntegra e refinados mediante aos critérios citados abaixo com o intuito de determinar a possibilidade de inclusão como referencial teórico na construção deste trabalho:

- As amostras utilizadas nos estudos foram coletadas a partir de matrizes aquáticas ou em etapas de processos de tratamento de esgoto;
- Os estudos apresentavam descrições detalhadas referentes ao local de origem das amostras e à data da coleta das amostras;
- Os estudos apresentavam descrições detalhadas sobre os procedimentos utilizados para determinar a viabilidade do SARS-CoV-2 e detectar e/ou quantificar fragmentos do material genético desse vírus;
- Os estudos de quantificação do material genético do SARS-CoV-2 estavam com os valores expressos na forma de “cópias por volume de amostra”;
- As revisões sistemáticas, narrativas ou integrativas abordavam pesquisas inéditas e discussões relevantes referentes ao tema deste artigo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão integrativa, após busca nas bases de dados mediante a combinação das palavras-chave citadas no tópico anterior, localizou o total de 445 trabalhos científicos. Após a triagem inicial, constatou-se que 221 artigos apresentavam aderência quanto ao tema proposto nesta revisão e que 224 não apresentavam



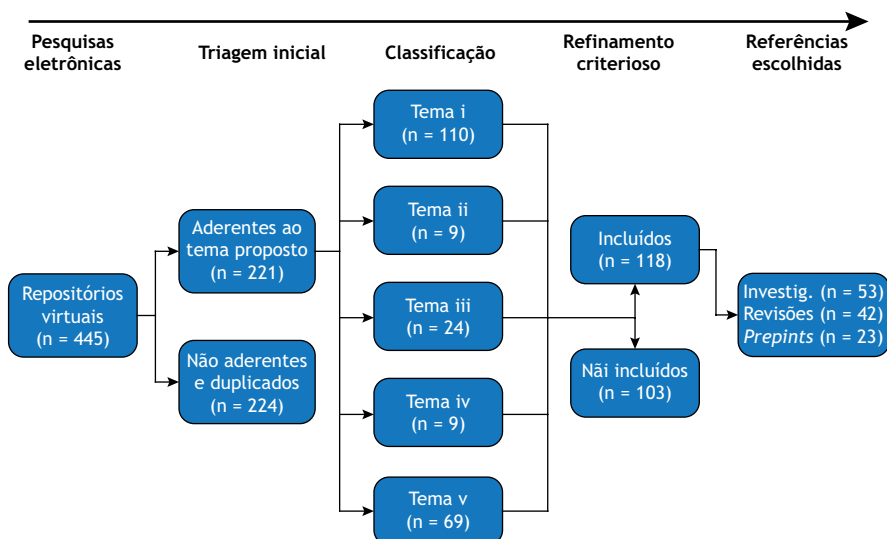
aderência ou eram duplicados. Dos 221 artigos que continham conteúdos relevantes: 110 foram classificados como pertencentes ao tema (i); nove como pertencentes ao tema (ii); 24, ao tema (iii); nove, ao tema (iv); e 69, ao tema (v). Após o refinamento dos trabalhos, feito a partir dos critérios de inclusão descritos anteriormente, 118 artigos científicos foram escolhidos para serem utilizados como base teórica na elaboração deste trabalho, enquanto 103 foram excluídos. Dos 118 trabalhos selecionados e incluídos nas referências desta revisão, 53 tratavam-se de investigações inéditas, 42 eram revisões de literatura e 23 eram *preprints*. O percurso metodológico utilizado na construção desta revisão foi ilustrado na Figura 2.

A presença do SARS-CoV-2 em esgotos e em águas naturais

O SARS-CoV-2, frequentemente presente em fluidos corpóreos expectorados, vômitos, fezes e urina de indivíduos com

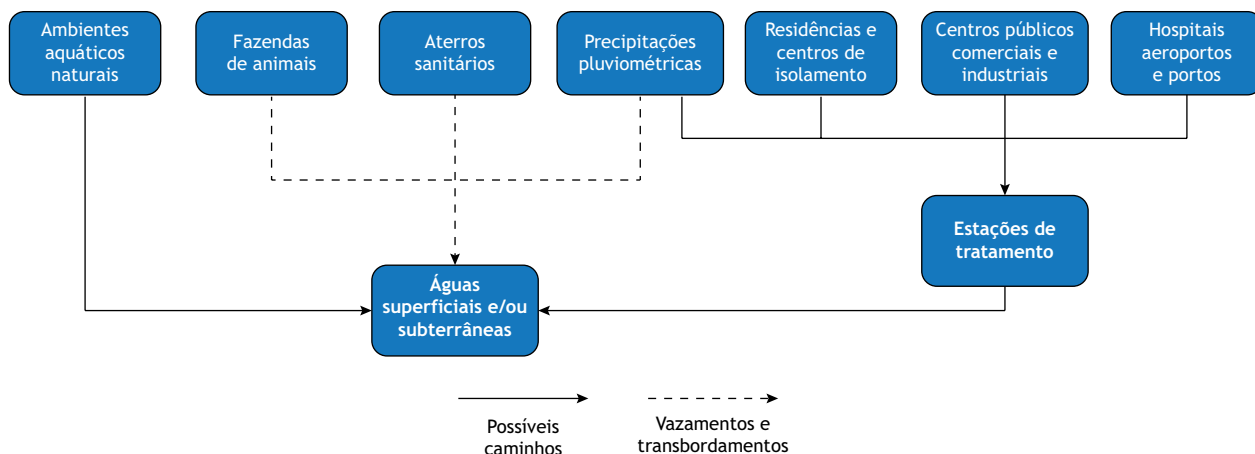
COVID-19, tem entrado nos sistemas de esgoto pelo lançamento de águas residuais providas de hospitais, centros de isolamento e residências habitadas ou frequentadas por pessoas infectadas^{44,45,46}. Através de vazamentos ocasionados por falhas na infraestrutura e/ou lançamentos de águas residuais sem tratamento, o SARS-CoV-2 tem sido capaz de contaminar corpos d'água receptores, como: córregos, rios, lagoas, estuários, lagos e lençóis freáticos^{47,48,49,50}. Além disso, transbordamentos de esgotos combinados, geralmente devido às precipitações pluviométricas, têm aumentado a possibilidade da entrada do SARS-CoV-2 nos sistemas de águas naturais^{12,46}. A Figura 3 ilustra os possíveis caminhos que o novo coronavírus pode percorrer até atingir o esgoto e as águas naturais.

A detecção do SARS-CoV-2 em amostras providas desses ambientes tem sido feita por meio de procedimentos de biologia molecular, baseados na técnica de Transcrição Reversa seguida



Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

Figura 2. Percurso metodológico empregado na elaboração desta revisão.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

Figura 3. Principais rotas que o SARS-CoV-2 pode ter para alcançar esgotos e águas naturais.



de Reação em Cadeia da Polimerase em Tempo Real (RT-qPCR). Os métodos, também chamados de PCR quantitativos, têm propiciado a cópia e a quantificação da presença de fragmentos de material genético do vírus através de replicações *in vitro*⁵¹. Os métodos de RT-qPCR têm sido considerados como padrão ouro na detecção de baixas quantidades de material genético de forma sensível e específica em diferentes tipos de matrizes⁵². Relatos indicaram que a técnica foi capaz de determinar com sucesso a diversidade e a abundância de vários patógenos virais em amostras de águas residuais e naturais, incluindo os da Hepatite A e E, Poliomavírus, Papilomavírus, Enterovírus, Rotavírus, Adenovírus, Parechovírus, Salivírus, Astrovírus e Zika^{53,54,55,56,57,58}.

As análises, embora altamente influenciáveis por diversos parâmetros físico-químico-biológicos e metodológicos, foram capazes de detectar concentrações que variaram de $5,6 \times 10^4$ a $4,6 \times 10^8$ partículas do genoma viral do SARS-CoV-2 por litro de água residual não tratada^{59,60}. Quando procedidas em amostras oriundas de águas residuais tratadas, ou seja, a partir do efluente gerado por plantas de tratamento de esgoto (ETE), foram detectadas quantidades aproximadas de até $1,09 \times 10^6$ partículas gênicas virais do novo coronavírus por litro⁶¹. Em águas naturais, como águas de rios e de córregos, os métodos analíticos foram capazes de detectar concentrações de até $3,28 \times 10^6$ partículas do genoma do SARS-CoV-2 por litro de amostra⁶². A Tabela 1 sumariza estudos que detectaram partículas do genoma viral do SARS-CoV-2 em diferentes amostras de ambientes aquáticos.

Viabilidade do SARS-CoV-2 em esgotos e águas naturais

Métodos aplicados em virologia, baseados em técnicas de cultura de células *in vitro*, têm sido utilizados para fornecer estimativas referentes ao potencial infeccioso, ou viabilidade, que o vírus SARS-CoV-2 apresenta quando presente em águas residuais ou naturais⁹⁶. Os protocolos têm sido feitos por meio de técnicas e reagentes que não interferem com a integridade da bicamada lipídica que envolve o SARS-CoV-2⁹⁷. Esses estudos têm sido utilizados para avaliar os potenciais riscos que águas residuais e naturais contaminadas apresentam aos humanos, principalmente quanto à possíveis transmissões por aerossóis e/ou via fecal-oral⁴⁶.

A avaliação dos riscos que uma amostra apresenta a hospedeiros humanos e também a animais, assim como a compreensão detalhada de como um vírus animal ultrapassou os limites das espécies para infectar humanos, como ressaltado por Andersen et al.⁹⁸, tem propiciado subsídios a estudos voltados para a prevenção de eventos zoonóticos futuros. Além disso, as pesquisas, com o intuito de fomentar modelos epidemiológicos com maiores precisões, têm considerado a influência que diversos fatores físico-químico-biológicos apresentam sobre a sobrevivência do SARS-CoV-2 em ambientes aquáticos, como a temperatura, o pH, o tempo de retenção, a quantidade de matéria orgânica, os reagentes químicos e a presença de microrganismos antagonistas^{52,99,100}.

Embora até o momento não haja estudos que tenham comprovado a existência de partículas infectantes do SARS-CoV-2 em

amostras providas de esgotos, estudos reportados na literatura indicaram que o novo coronavírus, quando inoculado artificialmente, foi capaz de permanecer viável por até 4 dias nesse ambiente na temperatura de 24°C e 17,5 dias na temperatura de 4°C¹⁰¹. Em águas naturais, foi visto que o SARS-CoV-2 foi capaz de permanecer ativo e infeccioso por até 6,4 dias em água de rio a 24°C e 18,7 dias a 4°C¹⁰¹. Além disso, a transmissão do novo coronavírus através de esgoto contaminado foi evidenciada em uma pesquisa conduzida em uma comunidade de baixa renda na China¹⁰². A Tabela 2 sumariza a viabilidade que partículas infecciosas do SARS-CoV-2 podem apresentar quando inoculadas de forma artificial em diferentes matrizes aquosas.

Riscos associados à presença do SARS-CoV-2 em esgotos e águas naturais

A presença de fragmentos do genoma viral do SARS-CoV-2 em esgotos e águas naturais tem gerado grande preocupação por parte dos pesquisadores devido aos possíveis riscos da transmissão indireta da COVID-19 via rota fecal-oral^{102,106}. Os pesquisadores têm enfatizado a possibilidade de infecção do SARS-CoV-2 por meio do contato direto com esgotos ou águas contaminadas, aerossóis gerados nos sistemas de drenagem e tratamento, na descarga de vasos sanitários e também por conexões defeituosas de ralos e canos de esgoto em residências e edifícios^{34,39,46}. A transmissão por essa rota, inclusive, foi evidenciada durante o surto de SARS-CoV-1 de 2003, no qual, estudos indicaram que gotículas aerolizadas de água contaminada com fezes foram responsáveis pela disseminação do vírus em um prédio residencial em Hong Kong^{45,107}.

A presença de partículas do genoma do SARS-CoV-2 em águas naturais, como em lagos, em rios, em mananciais e em córregos, também tem indicado a possibilidade de disseminação do novo coronavírus em humanos através de atividades de recreação e de pesca, como frequentemente ocorrido por outras doenças transmitidas por patógenos virais entéricos^{42,49,108}. A ocorrência do vírus nesses ambientes também tem levantado a possibilidade da disseminação do SARS-CoV-2 em animais domésticos e selvagens, novos hospedeiros que tenderiam a propiciar a propagação, o ressurgimento e a adaptação evolutiva do patógeno em surtos futuros por meio de infecções cruzadas^{109,110,111,112,113}. Além disso, a disseminação do SARS-CoV-2 por meio de águas residuais não tratadas tem demonstrado grande potencial em gerar consequências devastadoras em populações de espécies suscetíveis, como mamíferos terrestres e marinhos^{114,115}.

A reutilização da água tratada e do lodo ativado provindo das estações de tratamento, como na irrigação e fertilização de plantações e espaços verdes urbanos, na recarga de águas subterrâneas e na utilização em processos industriais, também tem sido considerada preocupante^{12,116,117,118,119}. Estudos, embora até o momento não tenham fornecido dados suficientes para determinar os riscos relacionados à propagação do SARS-CoV-2 por essas vias, evidenciaram a existência de partículas do genoma viral do novo coronavírus em águas residuais tratadas e no lodo ativado gerado em plantas de tratamento, ressaltando possíveis riscos associados à sua reutilização^{83,88}. Vírus semelhantes,



Tabela 1. Relatos de detecção de fragmentos do genoma viral do SARS-CoV-2 em amostras de esgotos não tratados, lodos residuais de plantas de tratamento, esgotos tratados e águas naturais.

País	Localização	Fonte da amostra	Carga viral (cópias por litro)	Referência
Austrália	Sudeste de Queensland	Esgoto não tratado	$0,19 \times 10^2 - 1,2 \times 10^2$	63
Brasil	Florianópolis, Santa Catarina	Esgoto não tratado	$5,49 \pm 0,02 \log_{10} - 6,68 \pm 0,02 \log_{10}$	64
Brasil	Niterói, Rio de Janeiro	Esgoto não tratado	30,7 - 71,2	65
China	Distrito de Dongxihu	Esgoto não tratado	$0 - 1,4 \times 10^4$	66
Espanha	Barcelona	Esgoto não tratado	$0 - 8,3 \times 10^2$	67
Espanha	Valência	Esgoto não tratado	$0 - 5,99 \log_{10}$	68
Estados Unidos da América	Sudeste da Virgínia	Esgoto não tratado	$10^2 - 10^5$	69
Estados Unidos da América	Massachusetts	Esgoto não tratado	$\sim 10^3$	70
Estados Unidos da América	Bozeman, Montana	Esgoto não tratado	0 - 1710,8	71
Estados Unidos da América	Sul da Louisiana	Esgoto não tratado	$0 - 3,2 \pm 0,4 \log_{10}$	72
Estados Unidos da América	Detroit, Michigan	Esgoto não tratado	$1,24 \times 10^4 - 2,85 \times 10^5$	73
Finlândia	Helsinque	Esgoto não tratado	$26 \pm 0,2 \log_{10} - 44 \pm 0,2 \log_{10}$	74
Holanda	Tilburgo	Esgoto não tratado	$0 - 2,2 \times 10^6$	75
Índia	Amedabade, Gujarat	Esgoto não tratado	$5,6 \times 10 - 3,5 \times 10^2$	59
Itália	Bolonha	Esgoto não tratado	$0 - 3,3 \times 10^4$	76
Japão	Prefeituras de Ishikawa e Toyama	Esgoto não tratado	$0 - 4,4 \times 10^4$	77
Japão	Prefeitura de Yamanashi	Esgoto não tratado	$0 - 2,4 \times 10^3$	78
Paquistão	Lahore, Punjab	Esgoto não tratado	$0 - 4,00 \times 10^3 \log_{10}$	79
Reino Unido	Região Sudeste	Esgoto não tratado	$0 - 5,78 \pm 0,07 \log_{10}$	80
Espanha	Ourense	Lodo primário	$0 - 24,5 \times 10^3$	81
Estados Unidos da América	New Haven, Connecticut	Lodo primário	$1,7 \times 10^6 - 4,6 \times 10^8$	60
México	Santiago de Queretaro	Lodo ativado	$0 - 10,753 \times 10^3 \log_{10}$	82
Turquia	Istambul	Lodo ativado	$1,17 \times 10^4 - 4,02 \times 10^4$	83
Alemanha	Renânia do Norte-Vestfália	Esgoto tratado	$2,7 \times 10^3 \times 37 \times 10^3$	84
Chile	Santiago	Esgoto tratado	$0 - 167 \times 10^3$	85
França	Paris	Esgoto tratado	$\sim 10^5$	86
Irã	Sul de Teerã	Esgoto tratado	Qualitativo	87
Irã	Teerã	Esgoto tratado	$7,18 \times 10^4 - 1,09 \times 10^6$	61
Israel	Jerusalém	Esgoto tratado	$> 100 \times 10^3$	88
Itália	Pádua, região de Veneto	Esgoto tratado	Qualitativo	89
Suécia	Gotemburgo	Esgoto tratado	$0,14 \log_{10} - 6,27 \log_{10}$	90
China	Wuhan	Efluente do tanque séptico de um hospital	$0 - 14,7 \times 10^3$	91
Brasil	Estado de Minas Gerais	Água de rio	$0 - 1,1 \times 10^5$	92
Brasil	Cidade de São Paulo	Água de riacho	$1,40 \times 10^4 - 3,28 \times 10^6$	62
Equador	Quito	Água de rio	$2,07 \times 10^5 - 3,19 \times 10^6$	47
Itália	Área metropolitana de Milão	Água de rio	Qualitativo	48
México	Cidade do México	Água de rio	$0 - 79 \times 10^3$	93
México	Área metropolitana de Monterrey	Água subterrânea	$0 - 38,3 \times 10^3$	94
Sérvia	Belgrado	Água de rio	$0 - 1,32 \times 10^4$	95

Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.



Tabela 2. Persistência da viabilidade do SARS-CoV-2 em diferentes amostras de esgoto e águas naturais (inoculação artificial).

País	Localização	Matriz	Temperatura	T ₉₀ (dias)*	T ₉₉ (dias)**	Tempo de sobrevivência do vírion (dias)	Referência
Brasil	Nova Lima, Minas Gerais	Água de rio	24 °C	1,9	6,4	-	101
			4 °C	7,7	18,7	-	
		Esgoto	24 °C	1,2	4,0	-	
			4 °C	5,5	17,5	-	
Irlanda	Dublin	Água de rio	4 °C	3,8	-	-	103
			20 °C	2,3	-	-	
		Água do mar	4 °C	2,2	-	-	
			20 °C	1,1	-	-	
Estados Unidos	Indiana do Norte	Esgoto	20 °C	1,6 - 2,1	3,2 - 4,3	-	104
		Água da torneira	20 °C	2,0	3,9	-	
Coreia	Inje-gun e Sokcho	Água da torneira	23 °C	-	-	6	105
		Água fresca	23 °C	-	-	2	
		Água do mar	23 °C	-	-	1	

*Tempo de redução de 90% dos vírions viáveis¹⁰⁴; **Tempo de redução de 99% dos vírions viáveis¹⁰⁴.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

como o Coronavírus humano 229E (CoV229E) e o Coronavírus bovino (BCoV), inclusive, foram capazes de permanecer infectantes por até quatro e 14 dias em folhas de alface (*Lactuca sativa*), respectivamente^{120,121}.

Limitação da propagação do SARS-CoV-2 por matrizes aquáticas

O saneamento inadequado e o lançamento de esgoto não tratado diretamente para as águas superficiais têm sido considerados possíveis fontes de contaminação das águas e solos pelo SARS-CoV-2^{12,106,122}. Consequentemente, tem sido hipotetizada a possível propagação da COVID-19 na população humana e de animais, domésticos ou selvagens, que tenham tido contato com as águas contaminadas^{45,123}. A possibilidade de transmissão secundária do SARS-CoV-2 via esgoto ou águas naturais contaminadas tem sido majoritariamente preocupante em países com poucos recursos financeiros, que frequentemente possuem infraestruturas de saneamento e saúde insatisfatórias^{124,125}. Nesses locais, onde comprovadamente tem havido uma maior chance da transmissão de patógenos de veiculação hídrica¹¹⁵, é altamente recomendada a adequação da infraestrutura de tratamento de água e esgoto existente.

Visando reduzir a carga viral e limitar a transmissão secundária, os pesquisadores têm recomendado que o tratamento de inativação do SARS-CoV-2 em águas residuais seja feito de forma descentralizada, especialmente em pontos críticos que tendem a apresentar maiores probabilidades de receber o novo coronavírus, como hospitais, clínicas comunitárias e lares de idosos^{45,50}. As estações de tratamento de águas residuais, que convencionalmente não garantem a inativação do SARS-CoV-2, têm sido recomendadas a implementarem sistemas de desinfecção eficazes, que garantam que o vírus não se espalhe por meio de descarte de águas residuais ou esquemas de reutilização^{12,117,123}.

Diante do risco relativamente alto de infecção do SARS-CoV-2 através da exposição aos aerossóis contaminados, também tem sido amplamente recomendado que os trabalhadores das ETE sigam procedimentos de precaução e segurança contra a exposição viral, como a utilização de equipamento de proteção individual (EPI) apropriados, higienizações pessoais e instalacionais constantes, e treinamentos operacionais regulares^{118,126,127,128,129}. Além disso, tem sido enfatizada a necessidade de se investigar o impacto da presença de SARS-CoV-2 na comunidade microbiana que realiza a degradação biológica dos contaminantes nas águas residuais, incluindo a possibilidade da ocorrência de eventuais transferências horizontais de genes para hospedeiros microbianos^{45,123,130}.

Monitoramento epidemiológico do SARS-CoV-2 em esgotos e águas naturais

Os pesquisadores, considerando os estudos procedidos até o momento, têm defendido uma abordagem de precaução e vigilância relacionada à disseminação do SARS-CoV-2 e de suas variantes através do esgoto e água natural contaminados. O monitoramento ambiental, considerado como uma medida econômica e eficaz na avaliação da circulação de patógenos em uma comunidade, poderia ser utilizado como uma ferramenta de diagnóstico da disseminação das partículas virais do SARS-CoV-2 em amostras coletadas em esgotos e águas naturais^{122,131}. A estratégia, chamada de Epidemiologia Baseada em Águas Residuais (EBAR), poderia ser utilizada como uma ferramenta não invasiva para alertar as comunidades sobre novas infecções por COVID-19 e, assim, promover a aplicação de melhores medidas para conter a propagação viral^{132,133,134}.

A abordagem possibilitaria a enumeração de casos leves, pré-sintomáticos e assintomáticos, de pessoas que não têm



acesso aos cuidados de saúde, que frequentemente não são detectadas por diagnósticos clínicos, mas que ainda podem disseminar a COVID-19^{135,136,137,138}. Dessa forma, as estratégias voltadas para a vigilância epidemiológica em esgotos poderiam ser utilizadas para inferir com maior precisão o número real de pessoas infectadas com SARS-CoV-2 nas comunidades e fomentar melhores práticas para coordenar esforços, alocar recursos de saúde e administrar a vacinação^{139,140,141,142}.

O monitoramento dos esgotos também poderia ser utilizado para detectar de forma rápida e simplificada as variantes virais do SARS-CoV-2 de interesse que estão circulando nas comunidades, e avaliar a dinâmica da propagação dessas variantes nas populações^{71,80,86,127,143,144,145,146,147}. Essas análises, por exemplo, foram capazes de monitorar o espectro mutacional e as tendências evolucionárias das variantes Alpha, Beta, Gamma e Delta do SARS-CoV-2 em diferentes bairros de cidades na França e nos Estados Unidos^{148,149}. Pesquisas desse tipo, mais ainda, têm demonstrado a propensão de serem procedidas em amostras de águas residuárias previamente congeladas e arquivadas e, assim, promover futuros estudos voltados para a compreensão da ancestralidade do SARS-CoV-2¹⁵⁰.

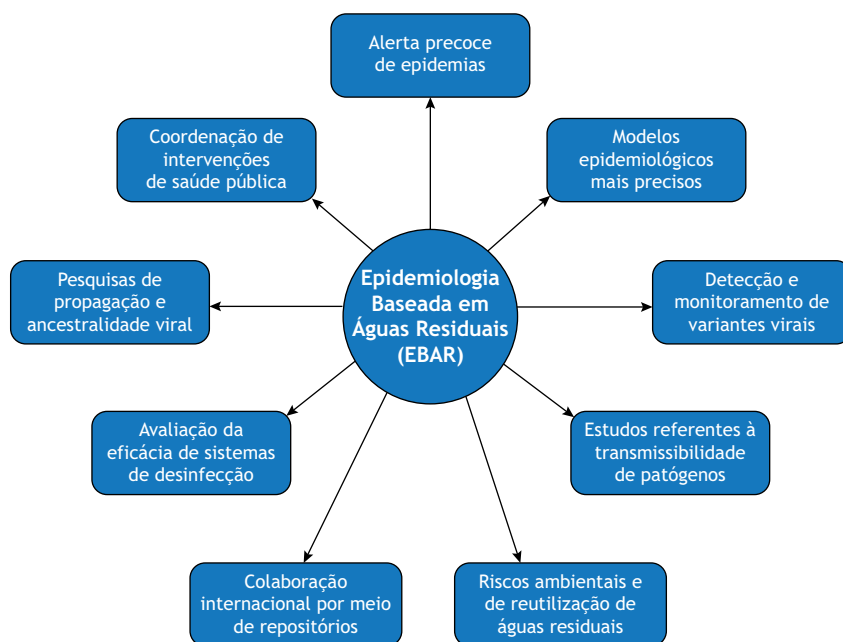
O monitoramento do SARS-CoV-2 em esgotos também poderia ser utilizado para avaliar os impactos ambientais e os riscos à saúde pública associados à transmissibilidade viral através de corpos d'água, chorume, biossólidos, partículas aerossolizadas e hospedeiros animais^{116,151,152,153}. Os estudos poderiam ser realizados para determinar a eficiência dos sistemas de desinfecção e promover estratégias quanto à adequação de estações de tratamento de água e esgoto, incluindo os procedimentos de transporte e descarga dos resíduos^{91,119}. As pesquisas, além disso, também possibilitariam a avaliação dos riscos associados às águas

naturais e reaproveitadas, por exemplo, em atividades recreativas, pesca, irrigação de lavouras e áreas urbanas, recarga de lençóis freáticos e em processos industriais^{12,42,88,118}.

Sobretudo, o monitoramento regular de esgotos e águas naturais, como ilustrado na Figura 4, possibilitaria avaliar de forma aprimorada a propagação do SARS-CoV-2 no ciclo hidrológico, seu impacto no meio ambiente e na saúde dos seres humanos^{45,96,127}. Os programas de monitoramento poderiam apoiar repositórios colaborativos internacionais de vigilância do novo coronavírus em águas residuais (www.covid19wbec.org)¹⁵⁴ para, de tal modo, propiciar a comparação dos resultados de detecção em escalas globais e aprimorar os métodos de vigilância epidemiológica nesses ambientes^{52,123,155}. Os esforços de detecção, juntamente com outros modelos epidemiológicos, como: dados sorológicos, diagnósticos rinofaríngeos, registros clínicos e internações hospitalares, poderiam ser utilizados para proporcionar maior eficácia de futuras intervenções de saúde pública^{156,157}. A abordagem tem se demonstrado uma ferramenta valiosa para as autoridades avaliarem e agirem rapidamente frente a surtos epidêmicos, seja pelo SARS-CoV-2 ou por qualquer outro patógeno no futuro^{158,159,160}.

CONCLUSÕES

Embora ainda sem comprovação científica, a possível transmissão do SARS-CoV-2 através do contato direto ou pelos aerossóis gerados durante o escoamento e tratamento de esgotos, manuseio dos lodos residuais, e também por águas naturais contaminadas com o novo coronavírus, tem gerado grande repercussão por parte dos pesquisadores. A possibilidade de haver contaminações cruzadas do novo coronavírus por meio de hospedeiros intermediários, selvagens ou domésticos, tem



Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

Figura 4. Possíveis aplicações do monitoramento epidemiológico do SARS-CoV-2 em esgotos pela Epidemiologia Baseada em Águas Residuais.



aumentado ainda mais a atenção relacionada à presença desse patógeno viral e de suas variantes nesses ambientes. A situação tende a se agravar em países com baixas disponibilidades de recursos, que notoriamente possuem infraestruturas de saneamento precárias.

Sendo assim, com o intuito de reduzir os riscos de surtos emergentes e reemergentes do SARS-CoV-2 através de matrizes aquáticas, têm sido fortemente recomendadas abordagens de precaução quanto à presença do novo coronavírus nesses locais. Nesse âmbito, tem sido enfatizada a importância da definição de novas políticas públicas na área de saneamento, principalmente em países com altos índices de infecções relacionadas às doenças de veiculação hídrica.

As recomendações, em especial, têm visado:

1. Estabelecimento de métodos eficientes para detectar e quantificar as partículas virais do SARS-CoV-2, bem como a patogenidade e as condições de sobrevivência desse vírus e de suas variantes em esgotos, em lodos residuais, em águas de reúso e em águas naturais.
2. Identificação das melhores estratégias de tratamento de efluentes, manuseio de resíduos e readequação das plantas de tratamento de água e esgoto, visando a redução da possibilidade de transmissão do SARS-CoV-2 através do sistema hídrico. Nesse contexto, recomenda-se também a consideração dos riscos que as plantas de tratamento podem oferecer a funcionários e a comunidades próximas, assim como o estudo e a implementação de medidas profiláticas.

3. Avaliação da possibilidade de implementação de métodos que inibam a disseminação do SARS-CoV-2 e de suas variantes por meio da utilização das águas de reúso ou dos resíduos sólidos gerados nas ETE na indústria e/ou na agricultura, incluindo em processos industriais, recarga de lençóis freáticos, irrigação de plantações e espaços verdes urbanos.
4. Planejamento e implementação de um sistema de vigilância baseada na análise de esgotos e águas naturais (EBAR) a fim de monitorar a dinâmica espacial e temporal do SARS-CoV-2 e propiciar um sistema de alerta precoce para futuros surtos emergentes e/ou reemergentes desse e de outros vírus patogênicos.
5. Fomento de pesquisas voltadas para a compreensão da sobrevivência e da propagação do SARS-CoV-2 e de suas variantes através de ecossistemas aquáticos, incluindo a elucidação das interações que o novo coronavírus detém com biota aquática, seus mecanismos de infecção, e os aspectos que propiciaram sua transmissão aos humanos.

Finalmente, considerando o enorme potencial prejudicial que doenças pandêmicas como a COVID-19 podem causar, e que três surtos de coronavírus já ocorreram e que possivelmente ocorrerão outros em um futuro próximo, têm sido extremamente necessários maiores investimentos nas áreas de saneamento, recursos hídricos e monitoramento ambiental. Os investimentos em água, saneamento e afins, como enfatizado por Melo et al.¹⁶¹, além de terem a capacidade de gerar uma ação impulsionadora da economia e de reestabelecer padrões de produção globalmente recomendados, têm sido capazes de impactar diretamente a saúde pública e a qualidade de vida dos seres humanos.

REFERÊNCIAS

1. Hu B, Guo H, Zhou P, Shi Z-L. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nat Rev Microbiol.* 2021;19(3):141-54. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>
2. Chen X, Laurent S, Onur OA, Kleineberg NN, Fink GR, Schweitzer F et al. A systematic review of neurological symptoms and complications of COVID-19. *J Neurol.* 2021;268(2):392-402. <https://doi.org/10.1007/s00415-020-10067-3>
3. Cipollaro L, Giordano L, Padulo J, Oliva F, Maffulli N. Musculoskeletal symptoms in SARS-CoV-2 (COVID-19) patients. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):1-7. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01702-w>
4. Diao B, Wang C, Wang R, Feng Z, Tan Y, Wang H et al. Human kidney is a target for novel severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) infection. *medRxiv.* 2020:1-17. <https://doi.org/10.1101/2020.03.04.20031120>
5. Hong N, Yu W, Xia J, Shen Y, Yap M, Han W. Evaluation of ocular symptoms and tropism of SARS-CoV-2 in patients confirmed with COVID-19. *Acta Ophthalmol.* 2020;98(5):e649-55. <https://doi.org/10.1111/aos.14445>
6. Lin L, Jiang X, Zhang Z, Huang S, Zhang Z, Fang Z et al. Gastrointestinal symptoms of 95 cases with SARS-CoV-2 infection. *Gut.* 2020;69(6):997-1001. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-321195>
7. Pontelli MC, Castro IA, Martins RB, Veras FP, Serra LL, Nascimento DC et al. Infection of human lymphomononuclear cells by SARS-CoV-2. *bioRxiv.* 2020:1-40. <https://doi.org/10.1101/2020.07.28.225912>
8. Zheng YY, Ma YT, Zhang JY, Xie X. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat Rev Cardiol.* 2020;17(5):259-60. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0360-5>
9. Eliezer M, Hautefort C, Hamel AL, Verillaud B, Herman P, Houdart E et al. Sudden and complete olfactory loss of function as a possible symptom of COVID-19. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* 2020;146(7):674-5. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.0832>
10. Sun P, Qie S, Liu Z, Ren J, Li K, Xi J. Clinical characteristics of hospitalized patients with SARS-CoV-2 infection: a single arm meta-analysis. *J Med Virol.* 2020;92(6):612-7. <https://doi.org/10.1002/jmv.25735>
11. World Health Organization - WHO. WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard. Geneva: World Health Organization; 2021[acesso 31 dez 2020]. Disponível em <https://covid19.who.int/>



12. Bogler A, Packman A, Furman A, Gross A, Kushmaro A, Ronen A et al. Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic. *Nature Sustain.* 2020;3(12):981-90. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00605-2>
13. Uzunian A. Coronavirus SARS-CoV-2 and COVID-19. *J Bras Patol Med Lab.* 2020;56:1-4. <https://doi.org/10.5935/1676-2444.20200053>
14. Duchene S, Featherstone L, Haritopoulou-Sinanidou M, Rambaut A, Lemey P, Baele G. Temporal signal and the phylodynamic threshold of SARS-CoV-2. *Virus Evol.* 2020;6(2):1-8. <https://doi.org/10.1093/ve/veaa061>
15. Harvey WT, Carabelli AM, Jackson B, Gupta RK, Thomson EC, Harrison EM et al. SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape. *Nat Rev Microbiol.* 2021;19(7):409-24. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00573-0>
16. Kirola L. Genetic emergence of B.1.617.2 in COVID-19. *New Microbes New Infect.* 2021;43:1-4. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2021.100929>
17. Yang W, Shaman J. Epidemiological characteristics of three SARS-CoV-2 variants of concern and implications for future COVID-19 pandemic outcomes. *medRxiv.* 2021;1-50. <https://doi.org/10.1101/2021.05.19.21257476>
18. Planas D, Veyer D, Baidaliuk A, Staropoli I, Guivel-Benhassine F, Rajah MM et al. Reduced sensitivity of SARS-CoV-2 variant delta to antibody neutralization. *Nature.* 2021;596(7871):276-80. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03777-9>
19. Funk T, Pharris A, Spiteri G, Bundle N, Melidou A, Carr M et al. Characteristics of SARS-CoV-2 variants of concern B.1.1.7, B.1.351 or P.1: data from seven EU/EEA countries, weeks 38/2020 to 10/2021. *Euro Surveill.* 2021;26(16):1-10.
20. Twohig KA, Nyberg T, Zaidi A, Thelwall S, Sinnathamby MA, Aliabadi S et al. Hospital admission and emergency care attendance risk for SARS-CoV-2 delta (B.1.617.2) compared with alpha (B.1.1.7) variants of concern: a cohort study. *Lancet Infect Dis.* 2021;22(1):1-8. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00475-8)
21. Liu Y, Rocklöv J. The reproductive number of the Delta variant of SARS-CoV-2 is far higher compared to the ancestral SARS-CoV-2 virus. *J Travel Med.* 2021;28(7):1-3. <https://doi.org/10.1093/jtm/taab124>
22. Wang Y, Chen R, Hu F, Lan Y, Yang Z, Zhan C et al. Transmission, viral kinetics and clinical characteristics of the emergent SARS-CoV-2 Delta VOC in Guangzhou, China. *EClinicalMedicine.* 2021;40(101129):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.101129>
23. Meselson M. Droplets and aerosols in the transmission of SARS-CoV-2. *New Eng J Med.* 2020;382(21):1. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2009324>
24. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. *Environ Int.* 2020;139:1-3. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>
25. Enyoh CE, Verla AW, Qingyue W, Yadav DK, Chowdhury MAH, Isiuku BO et al. Indirect exposure to novel coronavirus (SARS-CoV-2): an overview of current knowledge. *J Teknol Lab.* 2020;9(1):67-77. <https://doi.org/10.29238/teknolabjournal.v9i1.227>
26. Fears AC, Klimstra WB, Duprex P, Hartman A, Weaver SC, Plante KC et al. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. *medRxiv* 2020:1-12. <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063784>
27. Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen H-L, Chan MCW et al. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *medRxiv.* 2020:1-5. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
28. Aboubakr HA, Sharafeldin TA, Goyal SM. Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: a review. *Transbound Emerg Dis.* 2021;68(2):296-312. <https://doi.org/10.1111/tbed.13707>
29. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ et al. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet.* 2020;395(10242):1973-87. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9)
30. Dagotto G, Yu J, Barouch DH. Approaches and challenges in SARS-CoV-2 vaccine development. *Cell Host Microbe.* 2020;28(3):364-70. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.08.002>
31. Fathizadeh H, Maroufi P, Momen-Heravi M, Dao S, Ganbarov K, Pagliano P et al. Protection and disinfection policies against SARS-CoV-2 (COVID-19). *Infez Med.* 2020;28(2):185-91.
32. Mouchtouri VA, Koureas M, Kyritsi M, Vontas A, Kourentis L, Sapounas S et al. Environmental contamination of SARS-CoV-2 on surfaces, air-conditioner and ventilation systems. *Int J Hyg Environ Health.* 2020;230:1-3. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113599>
33. Sah R, Pokhrel N, Fathah Z, Ozaki A, Bhandari D, Kotera Y et al. SARS-CoV-2/COVID-19: salient facts and strategies to combat ongoing pandemic. *J Pure App Microbiol.* 2020;14(3):1663-74.
34. Ding Z, Qian H, Xu B, Huang Y, Miao T, Yen H-L et al. Toilets dominate environmental detection of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in a hospital. *Sci Total Environ.* 2021;753:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141710>
35. Furukawa NW, Brooks JT, Sobel J. Evidence supporting transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 while presymptomatic or asymptomatic. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(7):1-6. <https://doi.org/10.3201/eid2607.201595>
36. Li W, Su YY, Zhi SS, Huang J, Zhuang CL, Bai WZ et al. Virus shedding dynamics in asymptomatic and mildly symptomatic patients infected with SARS-CoV-2. *Clin Microbiol Infect.* 2020;26(11):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.07.008>



37. Wei WE, Li Z, Chiew CJ, Yong SE, Toh MP, Lee VJ. Presymptomatic transmission of SARS-CoV-2- Singapore, January 23-March 16, 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2020;69(14):411-5. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6914e1>
38. Jeong HW, Kim SM, Kim HS, Kim YI, Kim JH, Cho JY et al. Viable SARS-CoV-2 in various specimens from COVID-19 patients. *Clin Microbiol Infect.* 2020;26(11):1520-4. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.07.020>
39. Kang M, Wei J, Yuan J, Guo J, Zhang Y, Hang J et al. Probable evidence of fecal aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a high-rise building. *Ann Intern Med.* 2020;173(12):974-80. <https://doi.org/10.7326/M20-0928>
40. Patel J. Viability of SARS-CoV-2 in faecal bio-aerosols. *Colorectal Dis.* 2020;22(9):1-4. <https://doi.org/10.1111/codi.15181>
41. Xiao F, Sun J, Xu Y, Li F, Huang X, Li H et al. Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(8):1920-2. <https://doi.org/10.3201/eid2608.200681>
42. Cahill N, Morris D. Recreational waters: a potential transmission route for SARS-CoV-2 to humans? *Sci Total Environ.* 2020;740:1-3. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140122>
43. Mainardi PH, Bidoia ED. A importância do monitoramento do SARS-CoV-2 em redes de esgoto e estações de tratamento de águas residuárias. *Braz J Health Rev.* 2021;4(2):5051-66. <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n2-083>
44. Adelodun B, Ajibade FO, Ibrahim RG, Bakare HO, Choi K-S. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries? *Sci Total Environ.* 2020;742:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140680>
45. Naddeo V, Liu H. Editorial perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond? *Environ Science Water Res Tech.* 2020;6(5):1213-6.
46. Giacobbo A, Rodrigues MAS, Ferreira JZ, Bernardes AM, Pinho MN. A critical review on SARS-CoV-2 infectivity in water and wastewater: what do we know? *Sci Total Environ.* 2021;774:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145721>
47. Guerrero-Latorre L, Ballesteros I, Villacrés-Granda I, Granda MG, Freire-Paspuel B, Ríos-Touma B. SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. *Sci Total Environ.* 2020;743:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>
48. Rimoldi SG, Stefani F, Gigantiello A, Polesello S, Comandatore F, Mileto D et al. Presence and vitality of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. *medRxiv.* 2020:1-15. <https://doi.org/10.1101/2020.05.01.20086009>
49. Shutler JD, Zaraska K, Holding T, Machnik M, Uppuluri K, Ashton IGC et al. Rapid assessment of SARS-CoV-2 transmission risk for fecally contaminated river water. *ACS ES T Water.* 2021;1(4):949-57. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00246>
50. Ihsanullah I, Bilal M, Naushad M. Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in water environments: current status, challenges and research opportunities. *J Water Proc. Engineering.* 2021;39:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101735>
51. Corpuz MVA, Buonerba A, Vigliotta G, Zarra T, Ballesteros F Jr, Campiglia P et al. Viruses in wastewater: occurrence, abundance and detection methods. *Sci Total Environ.* 2020;745(140910):140910.
52. Hamouda M, Mustafa F, Maraqa M, Rizvi T, Aly Hassan A. Wastewater surveillance for SARS-CoV-2: Lessons learnt from recent studies to define future applications. *Sci Total Environ.* 2021;759:1-26. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140910>
53. O'Brien E, Nakyazze J, Wu H, Kiwanuka N, Cunningham W, Kaneene JB et al. Viral diversity and abundance in polluted waters in Kampala, Uganda. *Water Res.* 2017;127:41-9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.063>
54. Bisseux M, Colombet J, Mirand A, Roque-Afonso AM, Abravanel F, Izopet J et al. Monitoring human enteric viruses in wastewater and relevance to infections encountered in the clinical setting: a one-year experiment in central France, 2014 to 2015. *Euro Surveill.* 2018;23(7):1-11. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.7.17-00237>
55. Adineh M, Ghaderi M, Mousavi-Nasab SD. Occurrence of Salivirus in sewage and river water samples in Karaj, Iran. *Food Environ Virol.* 2019;11(2):193-7. <https://doi.org/10.1007/s12560-019-09377-1>
56. Ahmed NI, Elmahdy EM, Allayh AK, Mohamed ECB, Loutfy SA, Barakat A et al. Prevalence of human polyomavirus and papillomavirus in wastewater and in stool of Egyptian patients. *Egypt J Aqu Biol Fish.* 2019;23(2):29-41. <https://doi.org/10.21608/EJABF.2019.29237>
57. Randazzo W, Piqueras J, Evtoski Z, Sastre G, Sancho R, Gonzalez C et al. Interlaboratory comparative study to detect potentially infectious human Enteric viruses in influent and effluent waters. *Food Environ Virol.* 2019;11(4):350-63. <https://doi.org/10.1007/s12560-019-09392-2>
58. Muirhead A, Zhu K, Brown J, Basu M, Brinton MA, Costa F et al. Zika virus RNA persistence in sewage. *Environ Sci Technol Lett.* 2020;7(9):659-64. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00535>
59. Kumar M, Patel AK, Shah AV, Raval J, Rajpara N, Joshi M et al. First proof of the capability of wastewater surveillance for COVID-19 in India through detection of genetic material of SARS-CoV-2. *Sci Total Environ.* 2020;746:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141326>
60. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, Grubaugh ND, Kaplan EH, Casanovas-Massana A et al. Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol.* 2020;38(10):1164-7. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0684-z>



61. Tanhaei M, Mohebbi SR, Hosseini SM, Rafieepoor M, Kazemian S, Ghaemi A et al. The first detection of SARS-CoV-2 RNA in the wastewater of Tehran, Iran. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021;28(29):38629-36. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13393-9>
62. Razzolini MTP, Barbosa MRF, Araújo RS, Oliveira IF, Correa MCM, Sabino EC et al. SARS-CoV-2 in a stream running through an underprivileged, underserved, urban settlement in São Paulo, Brazil: a 7-month follow-up. *Environ Pollut.* 2021;290:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118003>
63. Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: a proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Sci Total Environ.* 2020;728:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
64. Fongaro G, Stoco PH, Souza DSM, Grisard EC, Magri ME, Rogovski P et al. The presence of SARS-CoV-2 RNA in human sewage in Santa Catarina, Brazil, November 2019. *Sci Total Environ.* 2021;778:1-4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146198>
65. Prado T, Fumian TM, Mannarino CF, Resende PC, Motta FC, Eppinghaus ALF et al. Wastewater-based epidemiology as a useful tool to track SARS-CoV-2 and support public health policies at municipal level in Brazil. *Water Res.* 2021;191:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116810>
66. Zhao L, Atoni E, Du Y, Zhang H, Donde O, Huang D et al. First study on surveillance of SARS-CoV-2 RNA in wastewater systems and related environments in Wuhan: post-lockdown. *medRxiv.* 2020:1-9. <https://doi.org/10.1101/2020.08.19.20172924>
67. Chavarria-Miró G, Anfruns-Estrada E, Guix S, Paraira M, Galofré B, Sánchez G et al. Sentinel surveillance of SARS-CoV-2 in wastewater anticipates the occurrence of COVID-19 cases. *medRxiv.* 2020:1-10. <https://doi.org/10.1101/2020.06.13.20129627>
68. Randazzo W, Cuevas-Ferrando E, Sanjuán R, Domingo-Calap P, Sánchez G. Metropolitan wastewater analysis for COVID-19 epidemiological surveillance. *Int J Hyg Environ Health.* 2020;230:1-4. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113621>
69. Gonzalez R, Curtis K, Bivins A, Bibby K, Weir MH, Yetka K et al. COVID-19 surveillance in Southeastern Virginia using wastewater-based epidemiology. *Water Res.* 2020;186:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116296>
70. Wu FQ, Xiao A, Zhang JB, Gu XQ, Lee WL, Kauffman K et al. SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *medRxiv.* 2020:1-14. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20051540>
71. Nemudryi A, Nemudraia A, Wiegand T, Surya K, Buyukyoruk M, Vanderwood KK et al. Temporal detection and phylogenetic assessment of SARS-CoV-2 in municipal wastewater. *medRxiv.* 2020:1-25. <https://doi.org/10.1101/2020.04.15.20066746>
72. Sherchan SP, Shahin S, Ward LM, Tandukar S, Aw TG, Schmitz B et al. First detection of SARS-CoV-2 RNA in wastewater in North America: a study in Louisiana, USA. *Sci Total Environ.* 2020;743:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140621>
73. Miyani B, Fonoll X, Norton J, Mehrotra A, Xagorarakis I. SARS-CoV-2 in Detroit wastewater. *J Environ Eng.* 2020;146(11):1-6.
74. Hokajärvi AM, Rytkönen A, Tiwari A, Kauppinen A, Oikarinen S, Lehto KM et al. The detection and stability of the SARS-CoV-2 RNA biomarkers in wastewater influent in Helsinki, Finland. *Sci Total Environ.* 2021;770:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145274>
75. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in the Netherlands. *Environ Sci Technol Lett.* 2020;7(7):511-6. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00357>
76. La Rosa G, Mancini P, Ferraro GB, Veneri C, Iaconelli M, Bonadonna L et al. SARS-CoV-2 has been circulating in northern Italy since December 2019: evidence from environmental monitoring. *medRxiv.* 2020:1-30. <https://doi.org/10.1101/2020.06.25.20140061>
77. Hata A, Honda R, Hara-Yamamura H, Meuchi Y. Detection of SARS-CoV-2 in wastewater in Japan by multiple molecular assays-implication for wastewater-based epidemiology (WBE). *medRxiv.* 2020:1-35. <https://doi.org/10.1101/2020.06.09.20126417>
78. 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. *medRxiv.* 2020:1-33. <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.20122747>
79. Yaqub T, Nawaz M, Shabbir MZ, Ali MA, Altaf I, Raza S et al. A longitudinal survey for genome-based identification of SARS-CoV-2 in sewage water in selected lockdown areas of Lahore city, Pakistan; a potential approach for future smart lockdown strategy. *medRxiv.* 2020:1-19. <https://doi.org/10.1101/2020.07.31.20165126>
80. Martin J, Klapsa D, Wilton T, Zambon M, Bentley E, Bujaki E et al. Tracking SARS-CoV-2 in sewage: evidence of changes in virus variant predominance during COVID-19 pandemic. *Viruses.* 2020;12(10):1-17. <https://doi.org/10.3390/v12101144>
81. Balboa S, Mauricio-Iglesias M, Rodriguez S, Martínez-Lamas L, Vassallo FJ, Regueiro B et al. The fate of SARS-CoV-2 in WWTPS points out the sludge line as a suitable spot for detection of COVID-19. *Sci Total Environ.* 2021;772:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145268>
82. Carrillo-Reyes J, Barragán-Trinidad M, Buitrón G. Surveillance of SARS-CoV-2 in sewage and wastewater treatment plants in Mexico. *J Water Proc Eng.* 2021;40:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101815>



83. Kocamemi BA, Kurt H, Sait A, Sarac F, Saatci AM, Pakdemirli B. SARS-CoV-2 detection in Istanbul wastewater treatment plant sludges. medRxiv. 2020:1-11. <https://doi.org/10.1101/2020.05.12.20099358>
84. Westhaus S, Weber FA, Schiwy S, Linnemann V, Brinkmann M, Widera M et al. Detection of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in Germany: suitability for COVID-19 surveillance and potential transmission risks. Sci Total Environ. 2021;751:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141750>
85. Ampuero M, Valenzuela S, Valiente-Echeverría F, Soto-Rifo R, Barriga GP, Chnaiderman J et al. SARS-CoV-2 detection in Sewage in Santiago, Chile: preliminary results. medRxiv. 2020:1-10. <https://doi.org/10.1101/2020.07.02.20145177>
86. Wurtzer S, Marechal V, Mouchel JM, Maday Y, Teyssou R, Richard E et al. Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. medRxiv. 2020:1-13. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>
87. Nasser S, Yavarian J, Baghani AN, Azad TM, Nejati A, Nabizadeh R et al. 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. J Environ Health Sci Eng. 2021;19(1):573-84. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00629-6>
88. Ali HA, Yaniv K, Bar-Zeev E, Chaudhury S, Shaga M, Lakkakula S et al. Tracking SARS-CoV-2 RNA through the wastewater treatment process. medRxiv. 2020:1-13. <https://doi.org/10.1101/2020.10.14.20212837>
89. Baldovin T, Amoroso I, Fonzo M, Buja A, Baldo V, Cocchio S et al. SARS-CoV-2 RNA detection and persistence in wastewater samples: an experimental network for COVID-19 environmental surveillance in Padua, Veneto Region (NE Italy). Sci Total Environ. 2021;760:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143329>
90. Saguti F, Magnil E, Enache L, Churqui MP, Johansson A, Lumley D et al. Surveillance of wastewater revealed peaks of SARS-CoV-2 preceding those of hospitalized patients with COVID-19. Water Res. 2021;189:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116620>
91. Zhang D, Ling H, Huang X, Li J, Li W, Yi C et al. 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. Sci Total Environ. 2020;741:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140445>
92. Fongaro G, Rogovski P, Savi BP, Cadamuro RD, Pereira JVF, Anna IHS et al. SARS-CoV-2 in human sewage and river water from a remote and vulnerable area as a surveillance tool in Brazil. Food Environ Virol. 2021:1-4. <https://doi.org/10.1007/s12560-021-09487-9>
93. Coronado Y, Navarro R, Mosqueda C, Valenzuela V, Pérez JP, González-Mendoza V et al. SARS-CoV-2 in wastewater from Mexico City used for irrigation in the Mezquital Valley: quantification and modeling of geographic dispersion. Environ Manage. 2021;68(4):580-90. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01516-4>
94. Mählknecht J, Padilla Reyes DA, Ramos E, Reyes LM, Álvarez MM. The presence of SARS-CoV-2 RNA in different freshwater environments in urban settings determined by RT-qPCR: implications for water safety. Sci Total Environ. 2021;784:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147183>
95. Kolarević S, Micsinai A, Szántó-Egész R, Lukács A, Kračun-Kolarević M, Lundy L et al. Detection of SARS-CoV-2 RNA in the Danube River in Serbia associated with the discharge of untreated wastewaters. Sci Total Environ. 2021;783:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146967>
96. Maal-Bared R, Brisolará K, Munakata N, Bibby K, Gerba C, Sobsey M et al. Implications of SARS-CoV-2 on current and future operation and management of wastewater systems. Water Environ Res. 2021;93(4):502-15. <https://doi.org/10.1002/wer.1446>
97. Ye Y, Ellenberg RM, Graham KE, Wigginton KR. Survivability, partitioning, and recovery of enveloped viruses in untreated municipal wastewater. Environ Sci Technol. 2016;50(10):5077-85. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00876>
98. Andersen KG, Rambaut A, Lipkin WI, Holmes EC, Garry RF. The proximal origin of SARS-CoV-2. Nat Med. 2020;26(4):450-2. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
99. Hart OE, Halden RU. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: feasibility, economy, opportunities and challenges. Sci Total Environ. 2020;730:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>
100. Polo D, Quintela-Baluja M, Corbishley A, Jones DL, Singer AC, Graham DW, et al. Making waves: wastewater-based epidemiology for COVID-19 - approaches and challenges for surveillance and prediction. Water Res. 2020;186:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116404>
101. Oliveira LC, Torres-Franco AF, Lopes BC, Santos BSÁS, Costa EA, Costa MS et al. Viability of SARS-CoV-2 in river water and wastewater at different temperatures and solids content. Water Res. 2021;195:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117002>
102. Yuan J, Chen Z, Gong C, Liu H, Li B, Li K et al. Coronavirus disease 2019 outbreak likely caused by sewage exposure in a low-income community: Guangzhou, China, April 2020. SSRN. 2020:1-22. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3618204>
103. Sala-Comorera L, Reynolds LJ, Martin NA, O'Sullivan JJ, Meijer WG, Fletcher NF. Decay of infectious SARS-CoV-2 and surrogates in aquatic environments. Water Res. 2021;201:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117090>
104. Bivins A, Greaves J, Fischer R, Yinda KC, Ahmed W, Kitajima M et al. Persistence of SARS-CoV-2 in water and wastewater. Environ Sci Technol Lett. 2020;7(12):937-42. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00730>
105. Lee YJ, Kim JH, Choi BS, Choi JH, Jeong YI. Characterization of severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 stability in multiple water matrices. J Korean Med Sci. 2020;35(36):1-5. <https://doi.org/10.3346/jkms.2020.35.e330>



106. Elsamadony M, Fujii M, Miura T, Watanabe T. Possible transmission of viruses from contaminated human feces and sewage: implications for SARS-CoV-2. *Sci Total Environ.* 2021;755(Part 1):1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142575>
107. Yu IT, Li Y, Wong TW, Tam W, Chan AT, Lee JH, Leung DY et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med.* 2004;350(17):1731-9. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa032867>
108. Okoh AI, Sibanda T, Gusha SS. Inadequately treated wastewater as a source of human enteric viruses in the environment. *Int J Environ Res Public Health.* 2010;7(6):2620-37. <https://doi.org/10.3390/ijerph7062620>
109. Abdel-Moneim AS, Abdelwhab EM. Evidence for SARS-CoV-2 infection of animal hosts. *Pathogens.* 2020;9(7):1-22. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070529>
110. Franklin AB, Bevins SN. Spillover of SARS-CoV-2 into novel wild hosts in North America: a conceptual model for perpetuation of the pathogen. *Sci Total Environ.* 2020;733:1-4. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139358>
111. Jo WK, Oliveira Filho EF, Rasche A, Greenwood AD, Osterrieder K, Drexler JF. Potential zoonotic sources of SARS-CoV-2 infections. *Transbound Emerg Dis.* 2021;68(4):1824-34. <https://doi.org/10.1111/tbed.13872>
112. Wartecki A, Rzymiski P. On the coronaviruses and their associations with the aquatic environment and wastewater. *Water.* 2020;12(6):1-27. <https://doi.org/10.3390/w12061598>
113. Delahay RJ, Fuente J, Smith GC, Sharun K, Snary EL, Flores Girón L et al. Assessing the risks of SARS-CoV-2 in wildlife. *One Health Outlook.* 2021;3(1):1-14. <https://doi.org/10.1186/s42522-021-00039-6>
114. Olival KJ, Cryan PM, Amman BR, Baric RS, Blehert DS, Brook CE et al. Possibility for reverse zoonotic transmission of SARS-CoV-2 to free-ranging wildlife: a case study of bats. *PLoS Pathog.* 2020;16(9):1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008758>
115. Mathavarajah S, Stoddart AK, Gagnon GA, Dellaire G. Pandemic danger to the deep: the risk of marine mammals contracting SARS-CoV-2 from wastewater. *Sci Total Environ.* 2021;760:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143346>
116. Carducci A, Federigi I, Liu D, Thompson JR, Verani M. Making waves: coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: state of the art and knowledge needs for public health. *Water Res.* 2020;179:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>
117. Collivignarelli MC, Collivignarelli C, Carnevale Miino M, Abbà A, Pedrazzani R, Bertanza G. SARS-CoV-2 in sewer systems and connected facilities. *Process Saf Environ Prot.* 2020;143:196-203. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.049>
118. Jha AK, Semwal N, Gargava P. Issues and opportunities associated with SARS-CoV-2 (COVID-19) virus detection in sewage. *J Indian Assoc Environ Manag.* 2020;40(2):49-51.
119. Patel M, Chaubey AK, Pittman Jr CU, Mlsna T, Mohan D. Coronavirus (SARS-CoV-2) in the environment: Occurrence, persistence, analysis in aquatic systems and possible management. *Sci Total Environ.* 2021;765:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142698>
120. Mullis L, Saif LJ, Zhang Y, Zhang X, Azevedo MSP. Stability of bovine coronavirus on lettuce surfaces under household refrigeration conditions. *Food Microbiol.* 2012;30(1):180-6. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.009>
121. Yépez-Gómez MS, Gerba CP, Bright KR. Survival of respiratory viruses on fresh produce. *Food Environ Virol.* 2013;5(3):150-6. <https://doi.org/10.1007/s12560-013-9114-4>
122. Foladori P, Cutrupi F, Segata N, Manara S, Pinto F, Malpei F et al. SARS-CoV-2 from faeces to wastewater treatment: what do we know? A review. *Sci Total Environ.* 2020;743:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140444>
123. Michael-Kordatou I, Karaolia P, Fatta-Kassinos D. Sewage analysis as a tool for the COVID-19 pandemic response and management: the urgent need for optimised protocols for SARS-CoV-2 detection and quantification. *J Environ Chem Eng.* 2020;8(5):1-24. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104306>
124. Liu D, Thompson JR, Carducci A, Bi X. Potential secondary transmission of SARS-CoV-2 via wastewater. *Sci Total Environ.* 2020;749:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142358>
125. Usman M, Farooq M, Hanna K. Existence of SARS-CoV-2 in wastewater: implications for its environmental transmission in developing communities. *Environ Sci Technol.* 2020;54(13):7758-9. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02777>
126. Carraturo F, Del Giudice C, Morelli M, Cerullo V, Libralato G, Galdiero E et al. Persistence of SARS-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces. *Environ Pollut.* 2020;265(Pt B):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115010>
127. Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA et al. SARS-CoV-2 in wastewater: state of the knowledge and research needs. *Sci Total Environ.* 2020;739:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>
128. Brisolara KF, Maal-Bared R, Sobsey MD, Reimers RS, Rubin A, Bastian RK et al. Assessing and managing SARS-CoV-2 occupational health risk to workers handling residuals and biosolids. *Sci Total Environ.* 2021;774:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145732>
129. Gholipour S, Mohammadi F, Nikaeen M, Shamsizadeh Z, Khazeni A, Sahbaei Z et al. COVID-19 infection risk from exposure to aerosols of wastewater treatment plants. *Chemosphere.* 2021;273:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129701>
130. Vammen K, Guillen SM. Water resources of Nicaragua and COVID-19: between panic and apathy? *Braz J Biol.* 2020;80(3):690-6. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.237891>



131. Sims N, Kasprzyk-Hordern B. Future perspectives of wastewater-based epidemiology: monitoring infectious disease spread and resistance to the community level. *Environ Int.* 2020;139:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105689>
132. Mao K, Zhang K, Du W, Ali W, Feng X, Zhang H. The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks. *Curr Opin Environ Sci Health.* 2020;17:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.04.006>
133. Thompson JR, Nanchaiah YV, Gu X, Lee WL, Rajal VB, Haines MB et al. Making waves: wastewater surveillance of SARS-CoV-2 for population-based health management. *Water Res.* 2020;184:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116181>
134. Mainardi PH, Bidoia ED. Early detections of SARS-CoV-2 in wastewater and their use in COVID-19 epidemiological control. *Res Soc Dev.* 2021;10(5):1-15. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15219>
135. La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci Total Environ.* 2020;736:1-5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652>
136. Larsen DA, Wigginton KR. Tracking COVID-19 with wastewater. *Nat Biotechnol.* 2020;38(10):1151-3. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0690-1>
137. Lee S, Kim T, Lee E, Lee C, Kim H, Rhee H et al. Clinical course and molecular viral shedding among asymptomatic and symptomatic patients with SARS-CoV-2 infection in a community treatment center in the Republic of Korea. *JAMA Intern Med.* 2020;180(11):1447-52. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.3862>
138. Lesimple A, Jasim SY, Johnson DJ, Hilal N. The role of wastewater treatment plants as tools for SARS-CoV-2 early detection and removal. *J Water Proc Eng.* 2020;38:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101544>
139. Curtis K, Keeling D, Yetka K, Larson A, Gonzalez R. Wastewater SARS-CoV-2 RNA concentration and loading variability from grab and 24-hour composite samples. *medRxiv.* 2020:1-23. <https://doi.org/10.1101/2020.07.10.20150607>
140. Stadler LB, Ensor KB, Clark JR, Kalvapalle P, LaTurner ZW, Mojica L et al. Wastewater analysis of SARS-CoV-2 as a predictive metric of positivity rate for a major metropolis. *medRxiv.* 2020:1-36. <https://doi.org/10.1101/2020.11.04.20226191>
141. Vallejo JA, Rumbo-Feal S, Conde-Pérez K, López-Oriona Á, Tarrio J, Reif R et al. Highly predictive regression model of active cases of COVID-19 in a population by screening wastewater viral load. *medRxiv.* 2020:1-36. <https://doi.org/10.1101/2020.07.02.20144865>
142. Pecson BM, Darby E, Haas CN, Amha Y, Bartolo M, Danielson R et al. Reproducibility and sensitivity of 36 methods to quantify the SARS-CoV-2 genetic signal in raw wastewater: findings from an interlaboratory methods evaluation in the U.S. *medRxiv.* 2020:1-27. <https://doi.org/10.1101/2020.11.02.20221622>
143. Izquierdo-Lara R, Elsinga G, Heijnen L, Oude Munnink BB, Schapendonk CME, Nieuwenhuijse D et al. Monitoring SARS-CoV-2 circulation and diversity through community wastewater sequencing. *medRxiv.* 2020:1-25. <https://doi.org/10.1101/2020.09.21.20198838>
144. Crits-Christoph A, Kantor RS, Olm MR, Whitney ON, Al-Shayeb B, Lou YC et al. Genome sequencing of sewage detects regionally prevalent SARS-CoV-2 variants. *medRxiv.* 2020:1-27. <https://doi.org/10.1101/2020.09.13.20193805>
145. Jahn K, Dreifuss D, Topolsky I, Kull A, Ganesanandamoorthy P, Fernandez-Cassi X et al. Detection and surveillance of SARS-CoV-2 genomic variants in wastewater. *medRxiv.* 2021:1-13. <https://doi.org/10.1101/2021.01.08.21249379>
146. Joshi M, Kumar M, Srivastava V, Kumar D, Rathore D, Pandit R et al. First detection of SARS-CoV-2 Delta variant (B.1.617.2) in the wastewater of (Ahmedabad), India. *medRxiv.* 2021:1-15. <https://doi.org/10.1101/2021.07.07.21260142>
147. Pérez-Cataluña A, Chiner-Oms Á, Cuevas-Ferrando E, Díaz-Reolid A, Falcó I, Randazzo W et al. Detection of genomic variants of SARS-CoV-2 circulating in wastewater by high-throughput sequencing. *medRxiv.* 2021:1-14. <https://doi.org/10.1101/2021.02.08.21251355>
148. Rios G, Lacoux C, Leclercq V, Diamant A, Lebrigand K, Lazuka A et al. Monitoring SARS-CoV-2 variants alterations in Nice neighborhoods by wastewater nanopore sequencing. *Lancet Reg Health Eur.* 2021:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2021.100202>
149. Swift CL, Isanovic M, Correa Velez KE, Norman RS. Community-level SARS-CoV-2 sequence diversity revealed by wastewater sampling. *Sci Total Environ.* 2021;801:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149691>
150. Dolfing J. The importance of sewage archiving in Coronavirus epidemiology and beyond. *Environ Sci Technol.* 2020;54(13):7740-1. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02972>
151. Fernández-de-Mera IG, Rodríguez Del-Río FJ, de la Fuente J, Pérez-Sancho M, Hervás D, Moreno I et al. Detection of environmental SARS-CoV-2 RNA in a high prevalence setting in Spain. *Transbound Emerg Dis.* 2021;68(3):1487-92. <https://doi.org/10.1111/tbed.13817>
152. Quilliam RS, Weidmann M, Moresco V, Purshouse H, O'Hara Z, Oliver DM. COVID-19: the environmental implications of shedding SARS-CoV-2 in human faeces. *Environ Int.* 2020;140:1-2. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105790>
153. Zhang D, Yang Y, Huang X, Jiang J, Li M, Zhang X et al. SARS-CoV-2 spillover into hospital outdoor environments. *medRxiv.* 2020:1-17. <https://doi.org/10.1101/2020.05.12.20097105>



154. Bivins A, North D, Ahmad A, Ahmed W, Alm E, Been F et al. Wastewater-based epidemiology: global collaborative to maximize contributions in the fight against COVID-19. *Environ Sci Technol*. 2020;54(13):7754-7. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02388>
155. Nabi G, Siddique R, Khan S. Detecting viral outbreaks in future using enhanced environmental surveillance. *Environ Res*. 2020;188:1-2. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109731>
156. Kaplan EH, Wang D, Wang M, Malik AA, Zulli A, Peccia J. Aligning SARS-CoV-2 indicators via an epidemic model: application to hospital admissions and RNA detection in sewage sludge. *medRxiv*. 2020:1-32. <https://doi.org/10.1101/2020.06.27.20141739>
157. Medema G, Been F, Heijnen L, Pettersen S. Implementation of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus to support public health decisions: opportunities and challenges. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2020;17:49-71. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.09.006>
158. Daughton CG. Wastewater surveillance for population-wide COVID-19: the present and future. *Sci Total Environ*. 2020;736:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139631>
159. Farkas K, Hillary LS, Malham SK, McDonald JE, Jones DL. Wastewater and public health: the potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2020;17:14-20. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.06.001>
160. Weidhaas J, Aanderud ZT, Roper DK, VanDerslice J, Gaddis EB, Ostermiller J et al. Correlation of SARS-CoV-2 RNA in wastewater with COVID-19 disease burden in sewersheds. *Sci Total Environ*. 2021;775:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145790>
161. Melo MC, Santos AS, Vieira JMP. A nova centralidade da água e do saneamento pós COVID-19. *Rev Augustus*. 2020;25(51):294-315. <https://doi.org/10.15202/1981896.2020v25n51p294>

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à CAPES pelo auxílio financeiro e à Universidade Estadual Paulista (Unesp) pelo suporte. O autor Pedro Henrique agradece à Camila, à Gabriela, à Carmem Tomotani e ao José Francisco Mainardi pela incondicional colaboração e pelo suporte.

Contribuição dos Autores

Mainardi PH - Concepção, planejamento (desenho do estudo), aquisição, análise, interpretação dos dados e redação do trabalho. Bidoia ED - Concepção, planejamento (desenho do estudo) e redação do trabalho. Todos os autores aprovaram a versão final do trabalho.

Conflito de Interesse

Os autores informam não haver qualquer potencial conflito de interesse com pares e instituições, políticos ou financeiros deste estudo.



Licença CC BY-NC atribuição não comercial. Com essa licença é permitido acessar, baixar (download), copiar, imprimir, compartilhar, reutilizar e distribuir os artigos, desde que para uso não comercial e com a citação da fonte, conferindo os devidos créditos de autoria e menção à Visa em Debate. Nesses casos, nenhuma permissão é necessária por parte dos autores ou dos editores.



Disponível em:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=570580071010>

Como citar este artigo

Número completo

Mais informações do artigo

Site da revista em redalyc.org

Sistema de Informação Científica Redalyc
Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe,
Espanha e Portugal
Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no
âmbito da iniciativa acesso aberto

Pedro Henrique Mainardi, Ederio Dino Bidoia

**Riscos associados à presença do SARS-CoV-2 em esgotos e
possíveis abordagens para limitar sua propagação
através de matrizes aquáticas**

**Risks associated with the presence of SARS-CoV-2 in
sewage and possible approaches to limit its spread
through aquatic matrices**

*Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência &
Tecnologia*

vol. 10, núm. 2, p. 77 - 92, 2022

INCQS-FIOCRUZ,

ISSN-E: 2317-269X

DOI: <https://doi.org/10.22239/2317-269X.01966>