

EFICIÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS ADOTADAS PARA REMOÇÃO VIRAL EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

EFFICIENCY OF STRATEGIES ADOPTED FOR VIRAL REMOVAL IN WATER TREATMENT STATION

¹Laize Nalli de Freitas

²Eduardo Magno Romano Oliosia

³Júlia Durão Dadalto

⁴Caroline de Brito Fardin

⁵Mariângela Dutra de Oliveira

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: laizenalli@gmail.com.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: eduardomagnor@gmail.com.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: juliadadalto96@gmail.com.

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: carolinebfardin@gmail.com.

⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: maridutrao@gmail.com.*

*Autor de correspondência

Artigo submetido em 04/05/2020, aceito em 19/05/2020 e publicado em 15/06/2020.

Resumo: O tratamento de água é postulado em grande parte do mundo como um importante processo que visa, principalmente, à saúde da população, uma vez que elimina diversos microrganismos patogênicos. No entanto, a maioria dos sistemas de tratamento não possuem uma preocupação na detecção e remoção de partículas virais, que são causas de diversas doenças. Dessa forma, este estudo se propôs em revisar os artigos acadêmicos que abordam este tema e determinar qual a melhor técnica para a remoção da carga vital. Para isto, utilizou-se a plataforma CAPES na busca desses artigos, usando as palavras chaves: vírus, tratamento de água e doenças de veiculação hídrica. Os artigos pesquisados datam de 2010 a 2020 e foram excluídos os que abordavam os temas animais, bactérias, tratamento de esgoto e esgoto. Essa exclusão permitiu a coleta de 12 artigos, dos quais 75% apresentaram alguma técnica de tratamento de remoção de vírus na água. A estratégia mais eficiente foi a de pré-tratamento convencional seguido de membranas de ultrafiltração e a menos eficiente foi a de uso de filtro de carvão ativado granular.

Palavras-chave: Tratamento de água; Remoção de vírus; Detecção de vírus na água.

Abstract: Water treatment is an important process that mainly aims at the health of the population, because it eliminates several pathogenic microorganisms. However, most treatment systems are not concerned with the detection and removal of viral particles. They are the cause of various diseases. Thus, the objective of this study was to review academic articles on this topic and to determine which technique is the best for viral removal. Thus, CAPES platform was used in the search for these articles, by using the keywords: viruses, water treatment and waterborne diseases. The researched articles were from 2010 to 2020 and the ones about the topics animal, bacteria, sewage and sewage treatment were excluded. This exclusion allowed the collection of 12 articles; from which 75% presented some techniques for treating virus removal in water. The most efficient one was the conventional pre-treatment followed by ultrafiltration membranes and the least efficient was the use of granular activated carbon filter.

Keywords: Water treatment; Virus removal; Virus detection in water.

1 INTRODUÇÃO

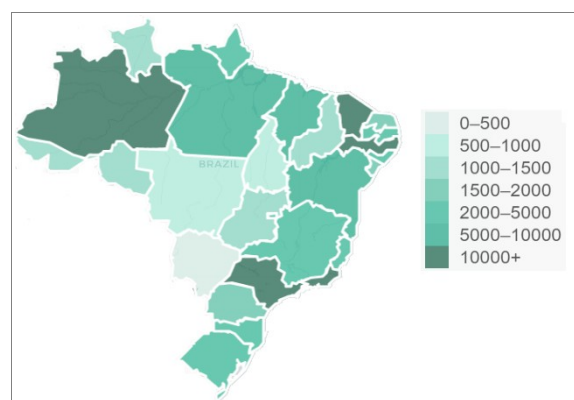
A pandemia do novo coronavírus (SARS-CoV-2) alterou a dinâmica social em praticamente todo o mundo e ascendeu discussões e questionamentos diversos na área acadêmica. Uma dessas indagações é a eficiência de tratamento da água em remoção de partículas virais, uma vez que o grande foco do tratamento no Brasil - e no mundo - consiste na remoção de microrganismos (HIJNEN *et al.*, 2010). Nesse contexto questiona-se: qual a técnica de tratamento mais eficiente para esse tipo de situação? qual sua eficiência na remoção de vírus? e qual a importância e o método de detecção dos tipos de vírus?

De acordo com o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (Funasa), os vírus são agentes patogênicos de suma importância no saneamento, uma vez que uma de suas formas de transmissão ocorre por veiculação hídrica (BRASIL, 2015). Mais de 140 tipos de vírus entéricos podem ser transmitidos ao homem pela água, quando são eliminados através de fezes e excretas de pessoas infectadas. Desses, os mais comuns são vírus que causam gastroenterites (adenovírus, norovírus, rotavírus) e o vírus causador da Hepatite A (ARCOS *et al.*, 2005).

Este fato serve de alerta para as autoridades de saúde pública nacionais, uma vez que parte da população brasileira não é contemplada pelas redes de água e esgoto. Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios do ano de 2018 expressam números sobre a cobertura nacional de abastecimento de água e coleta de esgoto ou fossa ligada à rede, 85,8% e 66,3% respectivamente (BRASIL, 2018). Salienta-se que essas porcentagens não refletem uma homogeneidade da situação brasileira, pois regiões pobres sofrem mais com a falta de investimentos em saneamento básico. No Brasil, isso é se destaca nas regiões Norte e Nordeste com baixos indicadores desse serviço básico.

A região Norte apresenta um total de 58,9% da população que é contemplada pela rede geral de distribuição de água e 21,8% de domicílios com rede geral ou fossa ligada à rede coletora de esgoto. O Nordeste apresentou uma cobertura de 80,2% para rede geral de distribuição de água e 44,6% de domicílios com rede geral ou fossa ligada à rede geral coletora de esgoto (BRASIL, 2018). Os baixos índices de saneamento nessas regiões demonstram uma vulnerabilidade da população a eventuais contaminações por agentes patogênicos de veiculação hídrica.

Figura 1: Casos de COVID-19 por Unidade Federativa de notificação



Fonte: Brasil (2020a).

Esta vulnerabilidade é evidenciada pelo número de casos e mortes do novo coronavírus nos estados brasileiros. No ranking dos 10 estados que mais apresentam número de casos do SARS-CoV-2, seis pertencem às regiões norte e nordeste, como mostrado da Figura 1 (BRASIL, 2020a). Quanto à taxa de mortalidade, sete estados apresentam a taxa maior do que a média nacional, sendo que o estado o Amazonas apresenta o maior coeficiente de mortalidade do Brasil (25,0 por 1000) (BRASIL, 2020b).

Relacionando a vulnerabilidade social a doenças devido à falta de saneamento, algumas pesquisas estão levantando a preocupação de infecção pelo novo coro-

navírus através da água. Embora a literatura ainda não possua um vasto acervo sobre esse tema, algumas publicações recentes mostram esta associação (NADDEO & LIU, 2020). Esse patógeno entra no ciclo urbano da água, principalmente através do esgoto proveniente de hospitais e de casas com pessoas infectadas, entrando assim nos cursos d'água principalmente em locais mais carentes de saneamento básico.

A falta de uma metodologia padronizada para a detecção de vírus nas águas para abastecimento se deve à alta variabilidade da concentração dos mesmos na água e a variação de diâmetro das partículas virais. Além disso, são necessários laboratórios especializados e um tempo significativo para se obter o resultado (GERBA *et al.*, 2018).

O SARS-CoV-2 é um vírus que pertence a subfamília *Orthocoronavirinae*, da família *Coronaviridae*, da ordem *Nidovirales*. Seu material genético consiste em uma fita simples de RNA de sentido positivo. Esta característica permite a síntese proteica direta, o que confere ao vírus um tempo menor para sua replicação dentro da célula hospedeira (MURRAY, 2018). Outra característica morfológica é o envelope que o envolve, composto por uma bicamada lipídica. Isto torna o vírus muito suscetível a ataques de agentes oxidantes, como cloro, ozônio e raios ultravioleta. A Organização Mundial da Saúde divulgou que não há relatos da transmissão desse vírus por veiculação hídrica e que ainda não foram encontradas partículas virais viáveis na água e no esgoto. Entretanto, não se tem ao certo o tempo que a partícula viral pode permanecer infecciosa em superfícies (AUSTRALIA, 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011, 2020).

Diante do exposto, o presente artigo visa elucidar metodologias e técnicas de detecção da carga viral na água e do tratamento de água e determinar a capacidade dessas estratégias na remoção da carga viral presente na água.

2 PROCESSOS METODOLÓGICOS

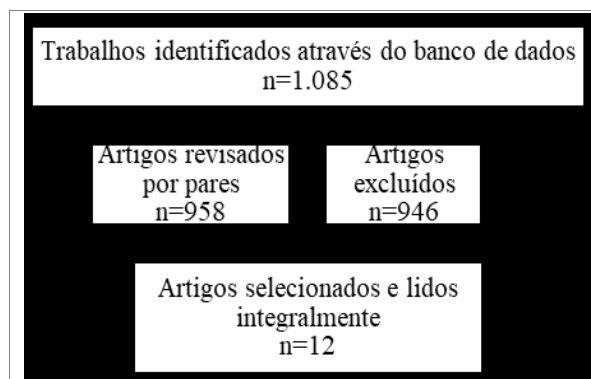
Este estudo consistiu em uma revisão sistemática. Esta é definida como uma inquirição científica em uma base de dados, acerca de um determinado tema e com seleção dos trabalhos mais relevantes encontrados. Estes trabalhos são analisados e comparados, a fim de se obter uma análise crítica e conclusiva (MARCONI & LAKATOS, 2017).

Sendo assim, para a seleção dos artigos deste estudo, foi utilizado a plataforma de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). As palavras-chaves utilizadas, contidas nos descritores em ciências da saúde (DeCS), foram virologia, tratamento de água e doenças de veiculação hídrica. Nesta primeira fase, foram obtidos 1.085 artigos. Depois, foi escolhido o filtro de artigos revisados por pares, totalizando de 958 artigos. Em seguida, foram selecionados os tópicos: água potável, epidemiologia, saúde pública, viroses e humanos, excluindo o tópico animais, dando um total de 473 artigos. Posteriormente, esses artigos passaram por um novo refinamento, que incluiu a periodicidade de publicação (que foi estabelecido de 2010 a 2020), além de outros tópicos foram excluídos, como tratamento de esgoto, esgoto e bactéria, com esse refinamento, foram obtidos 12 artigos.

A próxima etapa consistiu na leitura dos resumos desses artigos. Estes foram divididos em dois grupos: um grupo cujo tema abordado era a detecção do vírus, no qual foram três artigos ao todo; e o outro grupo consistiu na remoção do vírus no tratamento da água potável, que forma nove artigos. Todos eles foram lidos integralmente.

Por fim, esses artigos foram analisados e comparados de acordo com a metodologia utilizada, eficiência encontrada e viabilidade de aplicação nas Estações de Tratamento de Água. A Figura 2 esquematiza a metodologia usada.

Figura 2: Esquema representativo da metodologia usada neste artigo

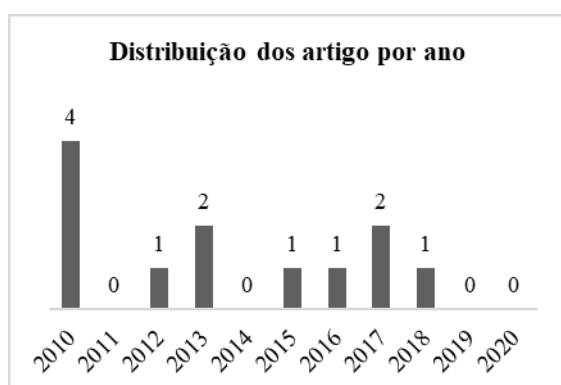


Fonte autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a seleção minuciosa dos artigos durante o período estudado, o ano de 2010 foi aquele que apresentou maior quantidade de publicações relacionadas a vírus e tratamento de água, 33,3% no total, seguido dos anos de 2013 e 2017, ambos com 16,7% das publicações. Os anos de 2012, 2015, 2016 e 2018 apresentaram igualmente a menor quantidade de publicações com 8,3% (Figura 3).

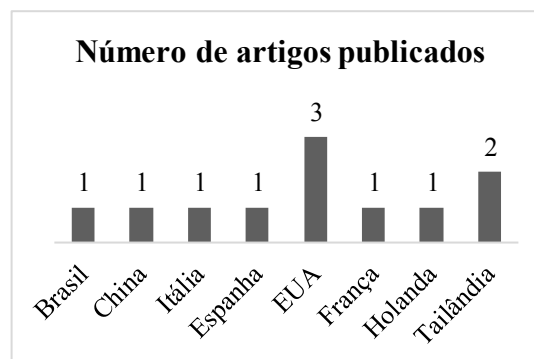
Figura 3: Quantidade de artigos encontrados nas bases de dados pesquisada no recorte temporal do ano de 2010 a 2020



Fonte: Autores.

Quanto aos países cujos artigos foram publicados, os que mais apresentaram publicação sobre o tema foram: Estados Unidos, com 3 artigos e Tailândia, com 2. A quantidade de artigos por país de publicação apresenta-se na Figura 4.

Figura 4: Distribuição dos artigos analisados de acordo com o país de origem



Fonte: Autores.

3.1 TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO E DETECÇÃO DE VÍRUS NA ÁGUA

Alguns artigos selecionados trouxeram à tona metodologias empregadas para a detecção de vírus e microrganismos na água. A literatura diz que é importante a detecção e determinação dos tipos de vírus e microrganismos presentes na água, pois dessa forma é possível determinar o tratamento a ser feito (RAMÍREZ-CASTILLO *et al.*, 2015). Além da detecção dos tipos de vírus presentes, Gerba *et al.* (2018) afirmam a necessidade de conhecer sua concentração, bem como o grau de remoção por cada processo de tratamento, pois é fundamental que as incertezas relacionadas a esses fatores sejam entendidas para melhorar as estimativas e identificar as necessidades de pesquisas nas diferentes técnicas utilizadas.

Para avaliar a concentração de vírus na água, tratando-se de águas residuárias não tratadas, é necessário apenas um litro da amostra. Mas ao avaliar processos de tratamento de água, volumes de dez a mil litros são frequentemente processados para atingir volumes de amostra necessárias para a avaliação. O tipo de vírus e suas propriedades físico-químicas desempenham um papel na avaliação da eficiência do processo de concentração. A manipulação envolvida no processo, como alterações no pH, adição de adsorventes e eluen-

tes, tem efeitos diferentes em cada tipo de vírus (GERBA *et al.*, 2018). Diante do exposto, a detecção de vírus em água tratada traz maior incerteza, devido as alterações ocorridas no processo de tratamento e a necessidade de um volume de amostra maior para a avaliação.

Uma técnica bastante utilizada na detecção e determinação do tipo viral é a Reação da Cadeia em Polimerase (PCR) que possibilita a identificação do tipo de patógeno presente na água através da codificação do seu material genético (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *et al.*, 2019; RAMÍREZ-CASTILLO *et al.*, 2015). No entanto, também é verdade que os resultados obtidos do PCR são considerados limitados devido às incertezas introduzidas por uma variedade de fatores ambientais e à variabilidade do método, portanto a técnica apresenta fragilidades (GERBA *et al.*, 2018).

Em seu estudo de detecção, Allmann *et al.* (2013) analisaram 3 lagos, na região de Wuhan, China, onde foram coletadas amostras para identificação de vírus na água. Foram feitos testes para quatro grupos de vírus: Enterovírus, Genogrupos I e II do Norovírus e Colifago FRNA específico do sexo masculino. A técnica usada para identificação desses vírus na água foi a Transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase (RT-PCR) e, a partir da análise, o grupo mais encontrado foi o Grupo dos Enterovírus, presentes em 56% das amostras que testaram positivo. Por meio dos dados apresentados, esses grupos de vírus podem ser fortes indicadores de contaminação fecal nesses lagos de recreação e norteadores na escolha do tratamento da água.

Outro estudo, realizado ao longo do rio Tibre, Itália, analisou a ocorrência de vírus entéricos presentes na água em áreas com diferentes ocupações. A concentração de vírus entéricos nas águas superficiais pode variar significativamente, dependendo, dentre outras coisas, se a fonte de poluição é contínua ou é resultado de um influ-

xo repentino de contaminação fecal (LA ROSA *et al.*, 2017). Os resultados obtidos mostram a influência que as pressões antropogênicas exercem na detecção de vírus.

De acordo com La Rosa *et al.* (2017), as áreas urbanas e industriais foram as mais contaminadas (100% e 75%, respectivamente, das amostras foram positivas para pelo menos um vírus). A área agrícola foi menos contaminada, com 50% das amostras positivas e nenhuma das amostras coletadas em uma área intocada foi positiva para vírus.

Em uma análise da qualidade da água em áreas de recreação de Taiwan, foi utilizado o método indicado pela associação Americana de Saúde Pública, no qual uma “amostra de água foi filtrada a vácuo usando filtros de disco de membrana de pacotes estéreis de ésteres de celulose misturados Metrical® GN-6 Metrical® de 47 mm com tamanho de poro de 0,45 μm ” (SHIH *et al.*, p.18393, 2017). Depois, o DNA foi extraído utilizando o sistema de purificação de ácido nucleico automatizado e, por fim, foi utilizada a técnica de PCR para identificação dos vírus presentes.

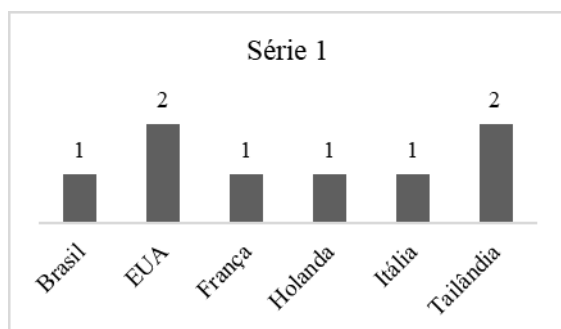
Duas técnicas de detecção são apresentadas nos artigos, PCR, que consiste na cópia do DNA e sua amplificação, e a RT-PCR, que, além disso, permite monitorar o processo de amplificação em tempo real. A técnica RT-PCR se sobressai pelo fato de permitir um resultado em menor tempo, ser uma técnica sensível e quantificar a carga viral. Entretanto uma de suas limitações é susceptibilidade a contaminação por compostos presentes na amostra que podem inibir o processo (VALASEK; REPA, 2005).

Embora os artigos lidos não apresentem a detecção do SARS-CoV-2, na pesquisa realizada, observou-se que a técnica RT-PCR é a mais utilizada na detecção deste patógeno na água e no esgoto (AUSTRALIA, 2020; MEDEMA *et al.*, 2020).

3.2 TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE PARTÍCULAS VIRAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

Quanto aos artigos de remoção, nove deles apresentaram técnicas de tratamento de remoção de partículas virais no tratamento de água. Após leitura integral desses textos, estabelecemos algumas análises. A primeira foi a divisão por local de publicação, como apresentado na Figura 3. O continente europeu foi o que aparentou maior número de artigos publicados (38%), seguido pelo continente asiático (25%), América do Norte (25%) e, por último, América do Sul (12%).

Figura 5: Distribuição dos artigos que tratam sobre remoção da carga viral de acordo com o país de publicação



Fonte: Autores.

Este dado pode simbolizar uma preocupação maior dessas regiões no tratamento de partículas virais em estações de potabilização da água. A legislação brasileira não possui nenhum parâmetro específico para esse tipo de contaminação (BRASIL, 2011).

Em relação aos processos de remoção de vírus, a desinfecção e a remoção física, por processos de filtração com membranas, apresentam limitações no que diz respeito à eficiência. Para os desinfetantes, além do tipo e de sua concentração (dose), vários fatores intrínsecos à natureza e comportamento dos vírus afetam sua eficácia. Grande parte do nosso conheci-

mento sobre concentração de desinfetantes para inativar vírus baseia-se em estudos de laboratório sob condições altamente controladas (GERBA *et al.*, 2018).

Para os processos de filtração com membranas, estudos demonstraram que, apesar de eficazes, nenhum dos métodos de filtragem são barreiras absolutas a todos os vírus. Embora o tamanho da maioria dos poros (ou seja, tamanho nominal dos poros) seja menor que a maioria dos vírus, ainda podem existir caminhos pelos quais os vírus possam passar, incluindo quebras do anel e perfurações da membrana (GERBA *et al.*, 2018).

A técnica de filtros de adsorção de carvão ativado não apresentou eficiência na remoção de vírus na água. Tal técnica consistiu no uso de dois filtros de carvão ativado ligados em série, com uma amostra de água do rio que anteriormente havia passado por uma filtração simples. As análises posteriores mostraram que esta técnica não teve eficácia nenhuma contra o bacteriófago MS2 (HIJNEN *et al.*, 2010). No entanto, um estudo mostrou que a adição de nitrato de prata (AgNO_3) no filtro de carvão ativado pode aumentar a eficiência do processo de remoção de partícula viral em 94,86% (SHIMABUKU *et al.*, 2015).

Segundo Nascimento *et al.* (2015), o adenovírus humano pode ser facilmente inativado pela desinfecção por cloro. Os autores testaram amostras coletadas em 2 pontos da Universidade Federal de Santa Catarina que são abastecidos por 2 sistemas distintos (Lagoa do Peri e Morro dos Quadros). Nessas amostras de água filtrada e tratadas previamente com Tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) foram analisadas a resistência do vírus a adição de Cloro em 2 concentrações diferentes, 0,2 mg/L e 0,5 mg/L, e 2 valores diferentes de pH que foram 6,9 e 8, e 2 valores de temperatura (15°C e 20°C). Após inoculação de quantidades controladas de vírus na amostra, foi analisada a sua resistência a combinações variadas de concentração de Cloro, pH e temperatura.

A temperatura não influenciou significativamente no valor de concentração final da carga viral e a desinfecção se mostrou 10 vezes mais eficiente com o pH 8,0 em relação ao pH 6,9. Entretanto, o artigo conclui que eventuais contaminações na rede de distribuição podem comprometer a qualidade da água, visto que a concentração de Cloro Residual Livre pode não ser suficiente para inativar o vírus (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Em outro estudo considerou-se o emprego de um fotocatalisador altamente eficiente, no caso foi utilizado nano partículas de dióxido de titânio (TiO_2) dopado com prata, pois é resistente à corrosão e não tóxico quando ingerido, para a inativação eficaz do vírus na água potável, já que o cloro pode resultar na formação de subprodutos prejudiciais da desinfecção (DBPs) quando compostos orgânicos estão presentes na água. O bacteriófago MS2 foi utilizado como vírus modelo. Fizeram vários testes com elementos diferentes como, por exemplo, com apenas titânio na água, somente com a prata, com a junção dos dois e lâmpadas com radiação ultravioleta, para verificar qual opção era mais eficaz para remoção do vírus (LIGA *et al.*, 2011).

Os experimentos que usaram soluções contendo apenas prata (Ag) lixiviada resultaram em nenhuma inativação fotocatalítica notável. Isso sugere que a alta inativação do vírus por $n\text{Ag}/\text{TiO}_2$ ocorreu pelo aumento da atividade fotocatalítica do TiO_2 em vez da propriedade antimicrobiana da prata. Verificou-se, também, que a taxa de inativação aumenta juntamente com o teor de prata no TiO_2 até a quantidade máxima testada (5,95%) constatando que o método é eficiente.

A rápida cinética de inativação de vírus demonstrada no estudo sugere que a inativação pode ser feita usando um pequeno fotorreator e a desinfecção fotocatalítica da água potável nos pontos de uso e em escalas maiores poderia ser feita com a aplicação dos materiais de $n\text{Ag}/\text{TiO}_2$ dire-

tamente no tratamento. Há ressalvas, pois não se sabe ainda sobre questões como incrustações de fotocatalisadores, impacto da qualidade da água, perda de prata e necessidade de regeneração de catalisadores para tecnologia ser mais sustentável (LIGA *et al.*, 2011).

Asami *et al.* (2016) coletaram amostras de uma estação de tratamento de água potável em Bangkok, Tailândia, para avaliar a eficiência da remoção de microrganismos nos processos de coagulação-sedimentação e filtração rápida de areia. Para a quantificação do vírus, foi primeiramente feita a concentração de vírus em amostras de água por dois métodos de eluição por adsorção usando filtros de membrana eletronegativos, sendo como eluente utilizado o hidróxido de sódio (NaOH). Com os vírus capturados, foi realizada a quantificação por meio de ensaios de RT-PCR para Genogrupos I e II do Norovírus, Aichivírus, Enterovírus, Adenovírus entéricos, Poliomavírus JC, Poliomavírus BK e Tobamovirus (pepper mild mottle vírus).

Nesse estudo, apenas o Tobamovírus e o Poliomavírus JC, que são vírus altamente prevalentes em ambientes aquáticos, foram encontrados com resultados positivos suficientes para serem avaliados como indicadores de destino viral. Na estação seca, a eficiência do tratamento para remoção de ambos os vírus se mostrou predominante no processo de coagulação-sedimentação. Já na estação chuvosa, essa eficiência variou dependendo do vírus, por exemplo, o processo de coagulação-sedimentação removeu menos Tobamovírus do que o Poliomavírus JC, enquanto que para o filtro de areia ocorreu o inverso. Essa diferença entre as eficiências de remoção pode ter sido causada por características físico-químicas e o formato dos vírus distintas (ASAMI *et al.*, 2016).

O estudo concluiu que a remoção de vírus pelo método de coagulação-sedimentação e filtração rápida de areia apresentado foi eficaz, mas verificou-se que a eficiência do mesmo varia com base

na qualidade da água bruta e no tipo de vírus alvo, portanto ainda são necessárias mais pesquisas para avaliar se a remoção de Poliomavírus JC e Tobamovírus é comparável à dos vírus entéricos patogênicos (ASAMI *et al.*, 2016).

Vários grupos de bacteriófagos também têm sido usados classicamente como indicadores fecais e virais, e como modelos para avaliar a eficiência da cloração de águas potáveis. Os colifagos somáticos são vírus específicos de *E. coli* e têm sido comumente usados como indicadores de poluição fecal e / ou esgoto em vários tipos de água para identificar fontes de poluição em águas superficiais e aquíferos. Além disso, eles também podem servir como indicadores para avaliar a eficiência da remoção durante o tratamento de estações de tratamento de água e efluentes (FIGUERAS & BORREGO, 2010).

O artigo de Boudaud *et al.* (2012) investigou a eficiência da implantação de uma etapa adicional a um sistema convencional de tratamento de água para a retirada de Bacteriófagos da água, em especial MS2, Q β e GA. O sistema convencional se consiste na coagulação, floculação, sedimentação e uma filtração simples, após o sistema convencional a água passaria por membranas de ultra filtração (UF). Amostras para análise foram coletas posterior às membranas, com a finalidade de avaliar a eficiência.

Os testes ocorreram nesse sistema experimental de escala 1:100. A avaliação de remoção de bacteriófagos se fez após a estabilização hidráulica da escala piloto (240 minutos). Foram testados 3 tipos de membranas de UF A e B apresentaram apenas uma diferença no nível de corte, enquanto a membrana C de UF apresentou diferenças quanto ao material, modo de filtração, ponto de corte e permeabilidade. Os resultados mostraram que o bacteriófago MS2 infeccioso residual foi removido precocemente na membrana A de UF, enquanto pouquíssimos bacteriófagos GA infecciosos foram retidos pela mesma

membrana de UF. Quanto aos bacteriófagos Q β infecciosos, eles foram totalmente inativados após a conclusão do pré-tratamento. Para a membrana B de UF, as concentrações de bacteriófagos infecciosos e totais diminuíram de 5,6 para 6,2-log e 4,6 para 6,8-log, de MS2 e GA, respectivamente. A mesma abordagem foi aplicada com a membrana C de UF e mostrou inativação de 4.2 para 5.2-log e remoção de 4.9 para 6.0-log, de GA e MS2, respectivamente (BOUDAUD *et al.*, 2012).

Após as membranas UF, foi aplicado 1,5 mg/L de Cloro com a finalidade de gerar uma concentração residual e relacionar a sensibilidade dos bacteriófagos com o tempo de contato deles com o Cloro. Os pesquisadores constataram que a cinética de inativação mostrou uma rápida diminuição de concentrações de bacteriófagos de GA e MS2 durante os primeiros 2 minutos de tempo de contato. O MS2 parecia mais sensível ao cloro residual do que o bacteriófago GA em tempos de contato equivalentes (BOUDAUD *et al.*, 2012).

O MS2 e Q β tiveram o mesmo comportamento durante a aplicação das barreiras físicas do tratamento enquanto GA apresentou características distintas. O artigo conclui que o bacteriófago GA pode ser considerado referência por apresentar maior volatilidade na sua interação com as membranas do estudo (BOUDAUD *et al.*, 2012).

Ainda sobre a técnica de membranas, Chiemchaisri *et al.* (2010) investigaram a capacidade de retenção microbiana de um sistema composto por pré-filtro (PP) de meio flutuante e uma membrana de microfiltração (MF) que foram desenvolvidos para remoção de microrganismos, como algas, coliformes totais, coliformes fecais e colifagos, sendo este último um indicador de vírus entéricos humanos. Primeiro estudaram as eficiências dos coagulantes nas remoções de turbidez e microrganismos pelo teste de jarro. Os coagulantes testados foram alúmen, cloreto férrico (FeCl₃) e cloreto de polialumínio (PACl). Foi obser-

vado que, para o colifago, nenhum dos coagulantes apresentou alta eficiência em sua remoção possivelmente pelo menor tamanho de sua célula.

Sobre os testes com o pré-filtro de meio flutuante, observaram que ele operando sozinho com uma taxa de filtração de $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, as remoções de todos os microrganismos tendem a aumentar com o tempo. Já para uma taxa de filtração mais alta (10 e $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) sem coagulante, a eficiência de remoção do colifago foi alta e para os outros microrganismos foi baixa, concluindo que uma maior taxa de filtração é melhor para a retenção de partículas menores como vírus. (CHIEMCHAI SRI *et al.*, 2010).

Depois combinou-se em um sistema, com ou sem coagulante, o pré-filtro (PP) e a membrana de microfiltração (MF). Sem coagulante, a unidade PP funcionou bem a uma taxa de filtração baixa de $5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$. Para a MF, as taxas de filtração de $0,6$ e $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ não mostrou diferença na eficiência da remoção dos poluentes, mas foi observada uma eficiência média mais baixa para remoção de vírus (68%) em comparação aos coliformes totais (99%) e coliformes fecais (99%) e turbidez (95%). Quando à coagulação química foi empregada a unidade PP, operada com filtração mais alta de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ e a unidade MF foi operada a $0,6$ ou $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. A coagulação de FeCl_3 na unidade PP forneceu uma eficiência de remoção maior para turbidez e colifagos (CHIEMCHAI SRI *et al.*, 2010).

Concluiu-se que os coagulantes e as taxas de filtração usados no pré-filtro de meio flutuante afetaram o desempenho do sistema em termos de remoção de microrganismos. Neste estudo, a combinação do pré-filtro com coagulação e a membrana de microfiltração foi eficaz na remoção de partículas e bactérias coliformes e parcialmente eficaz na remoção dos colifagos (CHIEMCHAI SRI *et al.*, 2010).

Os estudos analisados apresentaram forma de detecção e remoção de diversos

tipos virais, que apresentam algum grau de patogenicidade. Entretanto nenhum artigo desta revisão apresentou uma metodologia específica para detecção e remoção do SARS-COV-2. Alguns estudos apontam que o tratamento convencional de água potável, associado a métodos de desinfecção e filtração, são eficazes na remoção do coronavírus. Como já mencionado, pela estrutura molecular, o vírus mostra-se mais suscetível a ações de agentes oxidantes, como cloro, ozônio e raios ultra violeta (AUSTRALIA, 2020; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Alguns desses agentes são integrantes do processo de tratamento de água convencional realizado no Brasil (FERREIRA FILHO, 2017).

Deve-se salientar que esses estudos foram realizados em países cujas instalações hidrossanitárias atendem praticamente toda população, que é diferente da realidade de muitos países subdesenvolvidos, inclusive a América do Sul. Em muitas localidades não há nenhum tipo de tratamento, o que pode deixar partículas virais viáveis no esgoto e na água (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018).

Em seu estudo, Xiao *et al.* (2020) relatou uma possível contaminação gastrointestinal por SARS-CoV-2. Embora a literatura mostra-se não conclusiva a respeito desse tema (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020), não se pode negar a urgência de investimentos na área de saneamento no Brasil, principalmente neste momento de pandemia.

5 CONCLUSÕES

A presente revisão bibliográfica apresentou doze artigos acerca do tema pesquisado. A técnica de detecção de vírus na água mais utilizada é a PCR, podendo esta ser combinada com outra, como discutido. Dentre os tratamentos para remoção do vírus, elencou-se um ranking de eficiência dentre as técnicas apresentadas. Em primeiro lugar foi o pré-tratamento conven-

cional seguido de membranas de ultrafiltração. O segundo com melhor desempenho foi a fotocatalise com titânio dopado com nano-prata; o terceiro foi o uso de cloro residual livre; o quarto foi o sistema de pré-filtro-microfiltração de meio flutuante; o quinto foi a técnica de coagulação-sedimentação e filtragem rápida da areia; o sexto foi o uso de filtro de carvão ativado com adição de nitrato de prata; e por último filtro de carvão ativado.

Em relação ao SARS-CoV-2, ainda não há qualquer registro de infecção do vírus por veiculação hídrica e ele mostra-se menos estável no ambiente e mais suscetível a oxidantes. Diante do discutido, novas pesquisas devem ser desenvolvidas para ampliar e melhorar as técnicas utilizadas na detecção da carga viral e nas técnicas de tratamento e sua eficiência na remoção de vírus. Espera-se que este artigo possa servir como literatura de base para futuros estudos acerca deste tema.

REFERÊNCIAS

ALLMANN, E. *et al.* Presence of enteroviruses in recreational water in Wuhan, China. **Journal of Virological Methods**, v. 193, n. 2, p. 327–331, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166093413002425?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 maio 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *ET AL.* **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23 ed, 2019. v. 53.

ARCOS, M. *et al.* Indicadores Microbiológicos De Contaminación De Las Fuentes. **NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas**, v. 3, n. 4, p. 69–79, 2005. Disponível em: <<http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/nova/article/view/338>>. Acesso em: 04 maio 2020.

ASAMI, T. *et al.* Evaluation of virus

removal efficiency of coagulation-sedimentation and rapid sand filtration processes in a drinking water treatment plant in Bangkok, Thailand. **Water Research**, v. 101, p. 84–94, 2016.

Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.012>>. Acesso em: 04 maio 2020.

AUSTRALIA. SARS-CoV-2 - Water and Sanitation SARS-CoV-2 - **Water and Sanitation Working around wastewater**. n. March, p. 2019–2021, 2020. Disponível em:

<https://www.waterra.com.au/_r9550/media/system/attrib/file/2200/WaterRA_FS_Coronavirus_V11.pdf>. Acesso em: 04 maio 2020.

BOUDAUD, N. *et al.* Removal of MS2, Q β and GA bacteriophages during drinking water treatment at pilot scale. **Water Research**. [S.l: s.n.], 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313541201236>>. Acesso em: 04 maio 2020.

BRASIL. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2018**. [S.l.]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/>>. Acesso em: 04 maio 2020.

_____. **Casos de COVID-19 por UF de notificação**. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 04 maio 2020a.

_____. **Coefficiente de Mortalidade por COVID-19 por UF de notificação**. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 04 maio 2020b.

_____. **Manual de Saneamento-Fundação Nacional de Saúde**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015.

_____. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. . Brasil: [s.n.].

Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 04 maio 2020.

CHIEMCHAI SRI, W. *et al.* Removal of water-borne microorganisms in floating media filter-microfiltration system for water treatment. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 9, p. 5438–5443, 2010.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410020043>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

FERREIRA FILHO, S. S. F. **Tratamento de Água: Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FIGUERAS, J. M.; BORREGO, J. J. New perspectives in monitoring drinking water microbial quality. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 12, p. 4179–4202, 2010.

Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/7/12/4179/htm>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

GERBA, C. P. *et al.* Reducing uncertainty in estimating virus reduction by advanced water treatment processes. **Water Research**, v. 133, p. 282–288, 2018.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.044>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

HIJNEN, W. A. M. *et al.* GAC adsorption filters as barriers for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water treatment. **Water Research**, v. 44, n. 4, p. 1224–1234, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.011>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

LA ROSA, G. *et al.* The impact of anthropogenic pressure on the virological quality of water from the Tiber River, Italy. **Letters in Applied Microbiology**, v.

65, n. 4, p. 298–305, 2017. Disponível em: <<https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/lam.12774>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

LIGA, M. V. *et al.* Virus inactivation by silver doped titanium dioxide nanoparticles for drinking water treatment. **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 535–544, 2011.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.012>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MEDEMA, G. *et al.* Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage . Methods Sewage samples. **Medrxiv**, p. 9, 2020.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

MURRAY, P. R. **Basic medical microbiology**. Philadelphia: Elsevier, 2018. v. 53.

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? **Environmental Science: Water Research & Technology**, 2020. Disponível em: <<https://pubs-rsc-org.ez120.periodicos.capes.gov.br/en/content/articlelanding/2020/EW/D0EW90015J#!divAbstract>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

NASCIMENTO, M. A. *et al.* Recombinant adenovirus as a model to evaluate the efficiency of free chlorine disinfection in filtered water samples. **Virology Journal**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 2015. Disponível em: <<https://virologyj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12985-015-0259-7>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

RAMÍREZ-CASTILLO, F. Y. *et al.*

Waterborne pathogens: Detection methods and challenges. **Pathogens**, v. 4, n. 2, p. 307–334, 2015. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-0817/4/2/307/htm>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

SHIH, Y. J. *et al.* First detection of enteric adenoviruses genotype 41 in recreation spring areas of Taiwan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 22, p. 18392–18399, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-017-9513-4>>. Acesso em: 04 de maio 2020.

SHIMABUKU, Q. L. *et al.* Modificação do carvão ativado com AgNO₃ e sua utilização na remoção do indicador viral bacteriófago T4. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 7136-7142, fev. 2015. Editora Edgard Blücher. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300655481_modificacao_do_carvao_ativado_com_agno3_e_sua_utilizacao_na_remocao_do_indicador_viral_bacteriofago_t4. Acesso em: 04 maio 2020.

REPA, J. J. The power of real-time PCR. **Adv Physiol Educ**, v. 29, p. 151–159, 2005. Disponível em: <<https://journals.physiology.org/doi/pdf/10.1152/advan.00019.2005>>. Acesso em: 04 maio 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance, **World Health Organization**, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/water-sanitation-hygiene-and-waste-management-for-the-covid-19-virus-interim-guidance>>. Acesso em: 04 maio 2020.

XIAO, F. *et al.* Evidence for Gastrointestinal Infection of SARS-CoV-2. **Gastroenterology**, v. 158, n. 6, p. 1831-

1833.e3, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.055>>. Acesso em: 04 maio 2020.