

Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento**Emerging contaminants in waters intended for human consumption: occurrence, implications and treatment technologies**

DOI:10.34117/bjdv6n8-559

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação:25/08/2020

Amanda da Silva Barbosa Cartaxo

Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
E-mail: amandaeupbbio@hotmail.com

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque

Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
E-mail: virginia.albuquerque@yahoo.com.br

Maria Célia Cavalcante de Paula e Silva

Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
E-mail: celia_romulo@hotmail.com

Roberta Milena Moura Rodrigues

Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB
E-mail: robertamilena_rm@hotmail.com

Railson de Oliveira Ramos

Doutorando em Química Analítica pela Universidade Federal da Paraíba– UFPB
E-mail: railson_uepb@outlook.com

Josivaldo Rodrigues Sátiro

Mestrando em Engenharia Civil com ênfase em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco– UFPE
E-mail: josivaldosatiroo@gmail.com

Wilton Silva Lopes

Doutor em Química pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Professor Associado B do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB
E-mail: wiltonuepb@gmail.com

Valderi Duarte Leite

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela USP, Professor Associado B do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

E-mail: mangabeiraleite@gmail.com

RESUMO

Os contaminantes emergentes são compostos que apresentam potencial danoso ao meio ambiente e à saúde, mesmo em baixas concentrações. É considerado um novo desafio para a comunidade científica, que vem conduzindo pesquisas mundialmente para subsidiar o desenvolvimento de padrões de qualidade da água para consumo humano, visto que o tratamento do tipo convencional utilizado pela maioria das ETAs é ineficiente para remoção de tais contaminantes. Visando ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática, o presente trabalho apresenta através de pesquisa bibliográfica, uma revisão sobre contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. Os resultados apontam que os contaminantes emergentes são oriundos principalmente das águas residuárias lançadas sem tratamento nas águas superficiais. Uma vez contaminadas, as águas superficiais tornam-se fonte de contaminação a curto e longo prazo, ocasionando danos a biota aquática e aos seres humanos. Por não serem removidos no tratamento convencional de água, se faz necessário a utilização de tecnologias avançadas para remover contaminantes emergentes de águas destinadas ao consumo humano. Todas as tecnologias estudadas mostraram-se promissoras podendo ser utilizadas em escala real nas ETAs do país. Pesquisas relacionadas a contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano são de extrema importância ambiental, através delas será possível identificar possíveis contaminantes e desenvolver tecnologias apropriadas para sua eliminação evitando danos a saúde pública.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes, Tratamento de água, Tratamento avançado de água.

ABSTRACT

Emerging contaminants are compounds that have a harmful potential for the environment and health, even at low levels. It is considered a new challenge for the scientific community, which has been conducting research worldwide to support the development of water quality standards for human consumption, since the conventional type treatment used by most ETAs is inefficient for removing such contaminants. Aiming to expand and contribute to the studies that are being carried out on the theme, the present work presents, through bibliographic research, a review of treatment technologies that remove emerging contaminants. Among the technologies covered, the following stand out: activated carbon, advanced oxidative processes (POAs) and filter membranes. The results show that all the technologies studied are necessary, promising and can be used on a real scale, however membrane filtration, as it has a high cost, becomes difficult to implement in the country's WTPs. Research related to emerging contaminants present in water destroyed for human consumption is of extreme environmental importance, through which it will be possible to identify possible contaminants and develop appropriate technologies for their elimination, avoiding damage to health.

Keywords: Emerging contaminants, Water treatment, Advanced water treatment.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a fragilidade das políticas públicas e a precariedade dos serviços de saneamento, somadas ao crescimento populacional desordenado nas grandes cidades têm sido considerados os principais responsáveis pela diminuição da qualidade dos recursos hídricos. Além disso, a escassez na alocação de recursos financeiros e a inexistência de um planejamento baseado em critérios toxicológicos e ambientais conduziram a um quadro onde o lançamento de esgoto doméstico não tratado, em conjunto com cargas industriais remanescentes, vêm causando impactos negativos aos sistemas de águas superficiais, necessitando de padrões mais exigentes de qualidade de água, devido a grande quantidade de contaminantes que podem estar presentes.

Até um pouco mais de duas décadas atrás, a preocupação com a qualidade da água concentrava-se nos contaminantes que causavam cor, odor, turbidez e microrganismos como bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos, considerados os principais vilões que poderiam alterar a qualidade da água. Hoje, a preocupação é ainda maior, visto que mesmo quando submetida a tratamento pode conter outros contaminantes tão prejudiciais quanto os citados, a exemplo dos contaminantes emergentes, que mesmo em baixas concentrações, podem causar sérios danos a biota aquática (MONTAGNER et al., 2017).

Os contaminantes emergentes são compostos que têm sido detectados no solo, água e ar, sendo eles tanto de origem antrópica (presentes em efluentes domésticos, industriais, hospitalares e aqueles provenientes das atividades agrícolas e pecuária), quanto de ocorrência natural (cianotoxinas) (LUO et al., 2014; PAL et al., 2014). Estes compostos podem apresentar riscos ao ecossistema causando alterações na qualidade da água e do solo, comprometendo sua fauna e flora. Em muitos casos, não estão incluídos nos programas de monitoramento de rotina e quando estão incluídos, em alguns casos precisam ser revistos. Assim, serão candidatos a uma futura regulamentação dependendo dos resultados obtidos em estudos de ecotoxicidade, efeitos à saúde humana, potencial de bioacumulação, transporte e destino nos diferentes compartimentos ambientais, além da quantidade em que são lançados e, portanto, da concentração no ambiente (SANTOS et al., 2013; ALVES et al., 2017).

Conhecer os riscos associados à exposição por centenas de novos contaminantes permite antecipar e mitigar sérios danos para as gerações futuras. Muitos dos efeitos tóxicos são atribuídos à exposição crônica a esses compostos que ocorrem em concentrações extremamente baixas, principalmente em matrizes aquáticas, na ordem de nanograma a picograma por litro (PETRIE et al., 2014), o que torna ainda mais complexa a análise de avaliação de risco, seja considerando a preservação da vida aquática, dessedentação de animais, recreação ou à saúde humana.

Vários contaminantes emergentes têm sido identificados na água submetida ao tratamento do tipo convencional de potabilização (coagulação química, floculação, sedimentação e filtração rápida seguida de cloração) (LIMA et al., 2017) que é aplicado na maioria das Estações de Tratamento de Água do Brasil, sendo necessárias etapas adicionais para sua eliminação ou uso de novas tecnologias que promovam sua remoção total ou pelo menos que permitam atingir facilmente e com baixo custo a concentração máxima permitida pelo padrão de potabilidade, quando este estiver estabelecido na portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, que dispõe do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.

Nesse contexto, estudos que realizam o monitoramento dos recursos hídricos em relação à presença de contaminantes emergentes e, como esses afetam os seres vivos são de fundamental importância para o meio ambiente, saúde pública, sociedade e aos gestores de recursos hídricos, trazendo informações de grande relevância sobre a qualidade da água. Dessa forma, visando ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática, o presente trabalho objetiva apresentar através de pesquisa bibliográfica, uma revisão sobre tecnologias de tratamento que removam contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano.

2 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica realizado de janeiro a junho de 2019 sobre a temática “Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet (Science Direct, Web of Science, SciELO, PubMed e Scopus) e contempla trabalhos acadêmicos e livros-texto especializados publicados nos últimos anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONTAMINANTES EMERGENTES: ASPECTOS GERAIS, ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO

Nas últimas décadas, a ocorrência de micropoluentes no meio aquático tornou-se uma questão mundial de crescente preocupação ambiental. Micropoluentes, também denominados contaminantes emergentes, consistem em um vasto e crescente conjunto de compostos químicos naturais ou sintéticos. Estas substâncias são constantemente introduzidas no ambiente em larga escala e ocasionam impactos negativos à saúde ambiental por um período de tempo relativamente longo (PETRIE et al. 2015). Apresentam propriedades físicas e químicas como persistência, volatilidade ou lipofilicidade e que podem afetar tanto o ecossistema quanto a saúde e a qualidade de vida dos seres humanos. Estão comumente presentes em águas em baixas concentrações,

variando de ng/L a µg/L. A "baixa concentração" e diversidade de micropoluentes não só dificulta os procedimentos de detecção e análise associados, mas também cria desafios para processos de tratamento de água e esgoto (RODRIGUEZ et al. 2011).

Diversos grupos de substâncias têm sido considerados contaminantes emergentes, incluindo, agrotóxicos, drogas ilícitas, fármacos, produtos de higiene pessoal, protetores solares, estrogênios, alquilfenóis e seus derivados, alguns sub-produtos provenientes de processos de desinfecção de água, retardantes de chama bromados, compostos perfluorados, siloxanos, benzotriazóis, ácidos naftênicos, percloratos, líquidos iônicos, dioxinas, o antimônio, dentre os adoçantes a sucralose, além dos nanomateriais e alguns microrganismos e cianotoxinas (RICHARDSON; TERNES, 2011; SOARES; LEÃO, 2015). Na Tabela 1 são apresentados alguns micropoluentes emergentes presentes em ambientes aquáticos, acompanhados de suas subclasses e suas fontes.

Tabela 1 - Micropoluentes orgânicos com suas subclasses e fontes

Categoria	Subclasse	Fonte
Fármacos	Drogas (anti-inflamatórios, anticonvulsivos, antibióticos, estimulantes, analgésicos e outros)	Esgotos domésticos, efluentes de hospital, clínicas veterinárias, escoamento CAC*, agricultura
Produtos de cuidado pessoal	Fragrâncias, desinfetantes, filtros solares, repelentes de insetos e outros	Esgoto doméstico
Hormônios esteróides	Estrogênios	Esgoto doméstico, escoamento CAC
Surfactantes	Surfactantes não iônicos	Esgoto doméstico, efluente industrial
Químicos industriais	Retardantes de chama	Esgoto doméstico, efluentes industriais
Agrotóxicos	Inseticidas, herbicidas, fungicidas e outros	Esgoto doméstico, escoamento superficial em áreas agrícolas

Fonte: Luo et al. (2014).

*CAC: Criadouros de animais confinados

Segundo Luo et al. (2014) os efluentes das ETEs têm sido identificados como as principais fontes de contaminantes emergentes no ambiente aquático. Usualmente as ETEs são projetadas para remover contaminantes convencionais tais como sólidos e matéria orgânica biodegradável, e não para remover contaminantes emergentes que muitas vezes não possuem valores máximos permitidos nas legislações vigentes. O grau de contaminação do manancial dependerá de vários fatores como o fator de diluição, a existência ou não de outros pontos de contaminação e a qualidade do efluente final da ETE. Ressalta-se ainda a tendência de que as águas dos rios, devido à maior diluição, apresentam concentrações inferiores à dos efluentes de ETEs. Apesar de apresentarem menores concentrações de microcontaminantes emergentes, mananciais podem ser fontes de água para consumo humano e sua contaminação pode representar um risco maior à saúde da população (MOMPELAT et al., 2009).

3.2 PRINCIPAIS CONTAMINANTES EMERGENTES PRESENTES EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

Do extenso rol de microcontaminantes comumente detectados nos corpos d'água superficiais, destacam-se os desreguladores endócrinos, fármacos, agrotóxicos e cianotoxinas, que a despeito da sua baixa concentração ambiental, têm o potencial de causar significativos efeitos adversos. Os mesmos apresentam de pequena a moderada biodegradabilidade no meio ambiente, o que contribui para aumentar a prevalência ambiental desses contaminantes e o impacto sobre os organismos aquáticos e a saúde humana (BERGMAN et al., 2012).

Os agrotóxicos, também denominados pesticidas, defensivos agrícolas ou agroquímicos, são compostos destinados à agricultura e que têm como ação a prevenção ou redução dos efeitos causados por pragas, doenças, ervas daninhas, entre outros. Essas substâncias são compostos orgânicos sintéticos com baixo peso molecular, geralmente com baixa solubilidade em água e alta atividade biológica. O termo inclui todos os inseticidas, fungicidas, herbicidas, fumigantes e outros compostos orgânicos ou substâncias utilizadas como reguladores de crescimento, desfolhantes ou dissecentes (ALVES et al., 2017).

Segundo Carneiro et al. (2015), os dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), divulgados durante o II Seminário sobre Mercado de Agrotóxicos e Regulação, realizado em Brasília, Distrito Federal, em abril de 2012, enquanto, nos últimos 10 anos, o mercado mundial de agrotóxicos cresceu 93%, o mercado brasileiro cresceu 190%. O uso excessivo e descontrolado dos agrotóxicos nas lavouras tem sido considerado um importante agente de contaminação do solo e da água. Devido à toxicidade dos agrotóxicos, sua permanência e o crescente aumento de seus teores encontrados em diversos compartimentos ambientais, o consumo de águas contaminadas ou suas reutilizações na agricultura podem resultar em riscos à saúde pública (SILVÉRIO et al., 2012).

Outro contaminante de águas superficiais são os fármacos que constituem substâncias químicas biologicamente ativas sintetizadas com o intuito de produzir respostas fisiológicas em humanos, animais e plantas. É comprovado que os fármacos pode acarretar diversos efeitos prejudiciais à fauna aquática, podendo propiciar diversos danos morfológicos, metabólicos e até alterações sexuais (WHO, 2011). A preocupação especial relaciona-se aos antibióticos como, por exemplo, o sulfametoxazol e a trimetoprima, presentes em formulações antibióticas de largo espectro. Pesquisas mostraram que esses contaminantes, quando descartados no meio ambiente, podem causar toxicidade biológica, indução da resistência a antibióticos em bactérias patogênicas e genotoxicidade, que pode ser definida como a capacidade de algumas substâncias químicas produzirem alterações genéticas.

Considerada um contaminante de origem natural, as cianotoxinas são metabólitos secundários das cianobactérias, cujas florações ou “blooms” se agravam devido ao lançamento de esgotos domésticos e industriais em corpos hídricos que elevam a carga de nutrientes como fósforo e nitrogênio aumentando consideravelmente a reprodução celular das cianobactérias. As cianotoxinas conhecidas apresentam três alvos principais nos animais e no homem: o fígado (hepatotoxinas), o sistema nervoso (neurotoxinas) e a pele (dermatotoxinas). Dentre as cianobactérias toxigênicas, *Microcystis aeruginosa* produtora de microcistinas hepatóxica foi a primeira espécie dominante observada nos reservatórios nordestinos, em particular cepas produtoras de microcistina-LR, uma das 90 variantes dessa toxina conhecidas até o presente (CORAL *et al.*, 2014).

As hepatotoxinas causam as intoxicações mais frequentes em seres humanos e apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte em um intervalo de horas a dias ou meses causando necrose do fígado e hemorragia hepática (FALCONER, HUMPAGUE, 2005. MOLICA; AZEVEDO, 2009). Quando dissolvidas na água, não são eliminadas no tratamento de água do tipo convencional, necessitando de um tratamento avançado para sua remoção, evitando assim, possíveis problemas de saúde pública (DI BERNARDO *et al.*, 2010).

Uma vez que a poluição das águas representa uma ameaça aos ambientes aquáticos, com diversos efeitos negativos às espécies que habitam os corpos hídricos ou que ingerem a água proveniente dos mesmos (inclui-se o ser humano), uma série de dispositivos legais e normativos tem sido criada em alguns países para estabelecer limites às concentrações desses poluentes em matrizes aquáticas (LIMA *et al.*, 2017).

Se tratando de Brasil, o país ainda não superou o desafio do saneamento, não conseguindo levar água tratada a todos (atende a 83,5% dos brasileiros) e, uma situação ainda mais alarmante é que 52,3% da população tem seus esgotos coletados, mas apenas 46% de todo esgoto produzido é tratado antes de ser lançado nos corpos hídricos (SINIS, 2018). Em face disso, torna-se necessário a realização de pesquisas envolvendo fármacos, pesticidas e cianotoxinas em águas superficiais brutas e tratadas, analisando seus possíveis impactos no ecossistema e na saúde ambiental, oferecendo dados essenciais para aumentar o rigor da legislação brasileira sobre os valores máximos permitidos de micrcontaminantes presentes nas águas residuárias lançadas em corpos hídricos e, nas águas superficiais, utilizadas para consumo humano, além do mais, darão suporte para ampliar o tratamento de água e esgoto, oferecendo padrões de qualidade para população.

3.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS PRESENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS

As tecnologias de tratamento das águas de abastecimento abarcam conjuntos de processos e operações físico-químicas que visam à remoção de matéria orgânica, partículas suspensas e coloidais, microrganismos e outras substâncias deletérias à saúde humana, porventura presentes nas águas naturais. Dentre as alternativas, vinculadas à tecnologia convencional de potabilização, para a remoção de microcontaminantes de águas contaminadas são os processos de adsorção com carvão ativado pulverizado (CAP) e carvão ativado granular (CAG), Processos oxidativos avançados (POAs) e filtração por membrana.

3.4 ADSORÇÃO POR CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado em pó é considerado como um adsorvente eficaz para o tratamento de compostos orgânicos persistentes, não biodegradáveis. Uma vantagem do seu emprego é o fornecimento contínuo, podendo ser utilizado sazonalmente ou, ocasionalmente, quando há risco de micropoluentes orgânicos estarem presentes em concentrações elevadas (AKTAS e ÇEÇEN, 2007).

GUERRA *et al.*, (2015) avaliaram em escala de bancada a remoção de microcistina-LR em colunas de CAG de casca de coco de dendê de diferentes granulometrias (0,42 - 1,40 e 0,60 - 2,36 mm) usando água bruta de manancial coletada na entrada da ETA e adicionada de cianotoxina obtida por lise celular de cultura toxigênicas. A água de estudo foi previamente tratada por sistema convencional utilizando-se Jar Test; o efluente final decantado foi aduzido aos filtros de areia cujo efluente foi distribuído nas duas colunas de carvão ativado granular. Todas as etapas do tratamento convencional foram pouco eficientes na remoção da microcistina-LR, já o CAG removeu entre 80 a 100%, com a maior eficiência daquele com menor granulometria que conseguiu remover a toxina até níveis inferior ao estabelecido pela Portaria de consolidação 05/2017–MS.

Bacar *et al* (2012) utilizaram carvão ativado, proveniente da azeitona para investigar sua atuação na adsorção dos fármacos ibuprofeno, cetoprofeno e naproxeno. As concentrações iniciais foram: 19,78, 19,28, e 10,04 mgL⁻¹ para naproxeno, cetoprofeno, e ibuprofeno, respectivamente. Os fármacos foram misturados em 500 ml de água destilada e conduzidos ao sistema experimental. Os resultados indicaram que o processo de adsorção seguiu o modelo cinético de pseudo-segunda ordem para os quatro fármacos testados. O efeito do pH e da temperatura na absorção do fármaco pelo adsorvente também foi investigado. O aumento do pH reduziu gradualmente a absorção das quatro drogas, e esse efeito foi mais perceptível quando o pH tornou-se alcalino. A porcentagem de remoção dos fármacos foram: Naproxeno 90,45%, Cetoprofeno 88,40% e Ibuprofeno 70,07%.

O carvão ativado proveniente da azeitona, mostrou-se com grande capacidade adsorvente, removendo consideravelmente os fármacos estudados.

Santana *et al* (2017) utilizaram carvão ativado (CA) proveniente do bambu para remover os pesticidas metribuzin, 2,4-diclorofenoxiacético e furadan presentes em matrizes aquáticas. O bambu foi coletado, transformado em carvão ativado mediante ativação química e física simultânea, apresentou área superficial de $1196,30 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. Os resultados mostraram elevada capacidade de adsorção dos pesticidas estudados. A taxa de contaminantes removidos foi aumentada com o tempo de contato pesticida/carvão ativado. O equilíbrio foi alcançado em diferentes momentos, mas, em 24 horas de reação, verificou-se as maiores taxas de remoção, 2,4-Diclorofenoxiacético (96,69%), Metribuzin (92,90%) e Furadan (92,27%). Ao carvão ativado proveniente do bambu mostrou-se eficiente para uma série de agrotóxicos presentes em corpos d'água contaminados.

3.5 PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO (POA)

A aplicação de processos oxidativos avançados (POAs) a efluentes que contém micropoluentes orgânicos como uma alternativa de remoção é descrita por Oller et al. (2011). Os POAs são reconhecidos como uma das mais eficazes alternativas para a degradação de substratos de relevância ambiental. Os POAs são baseados na geração do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) que tem alto poder oxidante e pode promover a degradação de vários compostos poluentes, em tempos relativamente pequenos (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Kassinis et al. (2009), obtiveram resultados satisfatórios na remoção do agrotóxico Atrazina, utilizando POA Foto Fenton, obtendo remoção de até 100% em tempos de reação de 30 min, pH de 3 e 2,5 na água após tratamento do tipo convencional. Nesse caso a desvantagem ocorre devido ao pH baixo o qual não é comumente utilizado em ETAs. Yixin et al. (2014), utilizando POA dióxido de Titânio após tratamento convencional da água, a eficiência de remoção variou aproximadamente 40 e 98% em função do pH, sendo o aumento desse acarretou no aumento da remoção de atrazina presente em água após tratamento convencional.

He *et al* (2012), mostraram que sob influência de radiação UV de $80 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ e uma concentração de H_2O_2 inicial de 882 mM a toxina MC-LR em concentração inicial de 1 mM em águas contaminadas com MC-LR pode ter remoção de 93,9%. Os experimentos foram realizados em um aparelho fotoquímico de escala de bancada com baixa pressão de mercúrio e lâmpadas germicidas que emitiam ondas de 253,7 nm. Com uma concentração inicial MC-LR de 1 mM houve remoção de 93,9%, sob influência de radiação UV de $80 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ e uma concentração de H_2O_2 inicial de 882 mM. Quando aumentado a concentração de MC-LR, a velocidade de reação baseada na radiação UV diminuiu, o que provavelmente ocorreu devido à concorrência entre subprodutos e

MC-LR para radicais hidroxila. Um aumento na concentração de H_2O_2 levou a uma maior eficiência de remoção.

Albuquerque (2017) estudou a remoção de MC-LR em sistema convencional de tratamento de água seguido de fotocatalise homogênea (UV/ H_2O_2) considerando a eficiência de um reator fotocatalítico de baixo custo. O experimento seguiu três etapas sequenciais. Na primeira etapa foi definida a melhor condição de coagulação. Na segunda foi realizado o tratamento convencional (coagulação, floculação, sedimentação e filtração). Após o tratamento convencional, a terceira etapa foi a condução da água para o reator fotocatalítico, para execução dos ensaios de oxidação da MC-LR. No reator fotocatalítico foram realizados 6 ensaios, adicionando-se diferentes dosagens de 5 a 1000mM de H_2O_2 , e tempos de exposição de 0 a 60 min. Com uma concentração de 1000 mM (UV/ H_2O_2) aos 60 minutos do processo houve uma Remoção de 83,3% da MC-LR. A concentração de MC-LR passou de $3,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ para $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ atendendo o limite da portaria de consolidação nº 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, de $1\mu\text{g.L}^{-1}$.

3.6 FILTRAÇÃO EM MEMBRANA

A utilização de processos de filtração, com membranas filtrantes como microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR), tem sido observada como uma opção promissora para a remoção de micropoluentes orgânicos em água (NGHIEM et al., 2004). A remoção por membranas ocorre em uma combinação de processos, dos quais adsorção, exclusão por tamanho e repulsão de cargas são os mais importantes (BOLONG et al., 2009). As membranas de osmose reversa e nanofiltração são muito estudadas para remoção de contaminantes em água. Sua eficiência de remoção é dependente das propriedades físico-químicas dos compostos-alvo, como massa molar, solubilidade e propriedades eletrostáticas, assim como das condições de operação das membranas (fluxo, qualidade de alimentação), das propriedades das membranas (permeabilidade, porosidade, cargas superficiais, hidrofobicidade/ hidrofiliicidade), incrustações nas membranas e parâmetros como pH, temperatura e salinidade (LIU et al., 2009).

Utilizando membrana de nanofiltração NF 90 e NF 270 Foureaux et al., 2013 realizaram avaliação da retenção do fármaco ibuprofeno presentes em água bruta e tratada, ambas as membranas apresentaram 100% de retenção dos fármaco detectado na água. Dessa forma, as membranas NF 90 e NF 270 podem ser utilizadas para o tratamento de água visando a retenção desses fármacos analisados. Mas destaca-se o emprego da membrana NF 270 por apresentar maior fluxo e, portanto, maior capacidade de tratar elevados volumes de água. Resultados semelhantes, porém para o microcontaminante atrazina foram obtidos por Caus *et al.* (2009) que obtiveram

remoções superiores a 98% com o processo de nanofiltração com e sem recirculação, utilizando dois tipos diferentes de membranas (Desa I51HL e NF270).

Lee *et al* (2008) investigaram a aplicação da ultrafiltração (UF) para a remoção da cianotoxina, microcistina-LR. Foram utilizadas membranas de polissulfona e de acetato de celulose. Os resultados mostraram que ocorreu remoção de 91% microcistina-LR na membrana de polissulfona, enquanto que as membranas de acetato de celulose adsorvem pouca ou nenhuma microcistina-LR. Sendo assim, as membranas de polissulfona se mostraram atraentes para o tratamento de águas contaminadas com MC-LR.

Todas as tecnologias apresentadas favorece seu uso em escala real, garantindo efluente que atende aos parametros estabelecidos pela Portaria de consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, obtendo água de melhor qualidade, mostrando-se excelentes resultados para remoção de micropoluentes, evidenciando-se como alternativas para o tratamento de água destinada ao consumo humano. No entanto, devido aos custos elevados a tecnologia por membranas torna-se mais inacessível seu uso em escala real.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Traços de contaminantes emergente em água potável (como fármacos, agrotóxicos e cianotoxinas) têm se tornado uma crescente causa de preocupação em todo o mundo para os governos e autoridades relacionadas à água, pois os impactos da exposição prolongada de baixo nível – no ambiente e na saúde humana – ainda não são claramente compreendidos. Portanto, a mitigação da contaminação dos mananciais faz-se imperiosa, a fim de que seja diminuído qualquer risco potencial à saúde humana, relacionado ao consumo da água.

Os métodos convencionais de tratamento de água não são eficientes na remoção de contaminates emergentes, necessitando unificar-se a um tratamento avançado para sua eliminação. Dentre as alternativas existentes destaca-se: carvão ativado, processo oxidativos avançados e filtração por membrana. Todos mostra-se como tecnologias promissoras podendo ser utilizadas em escala real, no entanto a filtração por membrana, por possuir um elevado custo, torna-se de difícil implantação nas ETAs do país. Pesquisas relacionadas a contaminates emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano são de extrema importância ambiental, através delas será possível identificar possíveis contaminates e desenvolver tecnologias apropriadas para sua eliminação evitando possíveis danos a saúde.

REFERÊNCIAS

AKTAS, O; ÇEÇEN, F. Bioregeneratio no factivated carbon: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. v.59. p. 257–272, 2007.

ALBUQUERQUE, M.V.C; Avaliação da degradação de microcistina – LR no tratamento de água de abastecimento em sistema convencional seguido por Processo Oxidativo Avançado (POA). Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA. *UEPB. Campina Grande*. 2017.

ALVES T.C.; GIRARDI R.; PINHEIRO A. Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. *REGA*, Porto Alegre, v. 14, e1, 2017.

BERGMAN, Å.; HEINDEL, J.J.; JOBLING, S.; KIDD, K.A.; ZOELLER, R.T. State of the science of endocrine disrupting chemicals. Suíça: United Nations Environment Programme and the World Health Organization. 260p. 2012.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria de Consolidação nº 05/2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consume humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.

CARNEIRO, F.F.; AUGUSTO, L.G.S.; RIGOTTO, R.M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A.C. Dossiê ABRASO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Vol. 1. São Paulo: Expressão Popular. 2015.

CORAL, L.A.; LAPOLLI, F.R.; RECIO, L.A.M. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. *DAE*. 2014.

DI BERNARDO. L; MINILLO, A.; DANTAS. A.D.B. Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento, São Carlos: LDIBE, 2010.

FALCONER, I.R. Humpage. Cyanobacterial (blue-greenalgal) toxins in water supplies: *Cylindrospermopsis*. *Environmental Toxicology* 21. 2006.

GREGÓRIO MATEUS SANTANA, ROBERTO CARLOS COSTA LELIS, EMERSON FREITAS JAGUARIBE, RAYSSA DE MEDEIROS MORAIS, JUAREZ BENIGNO PAES, PAULO FERNANDO TRUGILHO. DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON FROM BAMBOO (*Bambusa vulgaris*) FOR PESTICIDE REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS. CERNE vol.23 no.1 Lavras Jan./Mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201723012256>.

GUERRA, A.B; TONUCCI, M.C; CEBALLOS, B.S.O; GUIMARÃES, H.R.C; LOPES, W.S; ‘AQUINO, S.F. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v20, p. 603-612, 2015.

HE, X.; PELAEZ, M.; WESTRICK, J.A.; O’SHEA, K.E.; HISKIA, A.; TRIANTIS, T.; KALOUDIS, T.; STEFAN, M.I.; DE LA CRUZ, A.A.; DIONYSIOU, D.D. Efficient removal of microcystin-LR by UV-C/H₂O₂ in synthetic and natural water samples. *Water research*, v.46 p.1501-1510, 2012.

KASSINOS, D.; VARNAVA, N; MICHAEL, C.; PIERA, P. Homogeneous oxidation of aqueous solutions of atrazine and fenitrothion through dark and photo-Fenton reactions. *Chemosphere*, v. 74, n. 6, p. 866-872, 2009.

LEE., J. HAROLD W. WALKER. Mechanisms and factors influencing the removal of microcystin-LR by ultrafiltration membranes. Journal of Membrane Science. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2008.04.007>.

LIMA, D.R.S.; TONUCCI, M.C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S.F. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. Eng Sanit Ambient.v.22 n.6. 2017.

LIMA, D.R.S.; TONUCCI, M.C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S.F. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. Eng Sanit Ambient.v.22 n.6. 2017.

LIU, Z. HUA; KANJO, Y.; MIZUTANI, S. Removal mechanisms for endocrine disrupting compounds (EDCs) in wastewater treatment - physical means, biodegradation, and chemical advanced oxidation: A review. Science of the Total Environment, v. 407, n. 2, p. 731–748, 2009.

LUO, Y. GUO, H. NGO, H. HAI, I.F. Science of the Total Environment A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Science of the Total Environment, The, v. 473-474, p. 619–641, 2014.

LUO, Y. GUO, H. NGO, H. HAI, I.F. Science of the Total Environment A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Science of the Total Environment, The, v. 473-474, p. 619–641, 2014.

MOLICA, R.; AZEVEDO, S. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. *Oecologia Brasiliensis*, vol. 13, no. 2, p. 229-246.2009.

MONPELAT, S.; LE BOT, B.; THOMAS, O. Occurrence and fate of pharmaceutical products and by-products, from resource to drinking water. Environment International, v. 35 p. 803–814, 2009.

MONTAGNER, C.C.; VIDAL, C ; ACAYABA, RAPHAEL, D.; JARDIM, W; JARDIM. Trace analysis of pesticides and an assessment of their occurrence in Brazilian surface and drinking waters. Analytical Methods (Print) , v. 6, p. 6668-6677, 2014.

PAL, A.; HE, Y.; JEKEL, M.; REINHARD, M.; GIN, K. Y. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle Untreated water Sewer system. Environment International, v. 71, p. 46–62, 2014.

PETRIE, B. BARDEN, R. HORDERN, B.K. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, under studied areas and recommendations for future monitoring. Water research. 2015.

BACCAR, M. SARR, J. BOUZID, M. *Fekip. Blanquez*, Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product, Chem. Eng. J. 211–212 (2012) 310–317, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.09.099>.

RODRIGUEZ, S., SANTOS, A. ROMERO, A. Effectiveness of AOP's on abatement of emerging pollutants and their oxidation intermediates: Nicotine removal with Fenton's Reagent. Desalination, 2011.

SANTOS, L. H. M. L. M.; GROS, M.; RODRIGUEZ-MOZAZ, S.; et al. Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: identification of ecologically relevant pharmaceuticals. The Science of the total environment, v. 461-462, p. 302–16, 2013.

SILVÉRIO, F.O.; SILVA, J.G.S.; AGUIAR, M.C.S.; CACIQUE, A.P.; PINHO, G.P. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta eficiência. *Química Nova*, v. 35, n. 10, p. 2052-2056. 2012.

SOARES J, COIMBRA AM, REIS-HENRIQUES MA, MONTEIRO NM, VIEIRA MN, OLIVEIRA JM. Disruption of zebrafish (*Danio rerio*) embryonic development after full life-cycle parental exposure to low levels of ethinylestradiol. *AquatToxicol* 2009.

TEIXEIRA, C.P. E JARDIM, W.F. Caderno Temático volume 03 – Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.

WHO - World Health Organization. Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance specifications. World Health Organization. 2011.

YIXIN, Y.; HONGBIN, C.; PAI, P.; HONGMIAO, B. Degradation and transformation of atrazine under catalyzed ozonation process with TiO_2 as catalyst. *Journal of Hazardous Materials*, v. 279, p.444-451, 2014.