

Contaminação de efluentes por amoxicilina: consequências ambientais e métodos de remoção

Valdemir Fonseca da Silva¹, Delmira Beatriz Wolff¹ & Elvis Carissimi¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

Correspondência: Valdemir Fonseca da Silva, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. E-mail: valsilverstone@hotmail.com

Recebido: Dezembro 20, 2021

Aceito: Janeiro 04, 2022

Publicado: Fevereiro 01, 2022

Resumo

A intensificação na poluição gerada pelas atividades humanas por décadas, lançando efluentes, *in natura* ou parcialmente tratados nos corpos hídricos receptores, causando sérios danos ao meio ambiente. Dentre estes efluentes, os fármacos acabam trazendo uma grande preocupação, uma vez que, podem ser resistentes inclusive aos processos convencionais de tratamento, o que acaba alertando para a problemática da falta de tratamento adequado. Objetivou-se com este trabalho, realizar uma análise dos métodos de tratamento de efluentes utilizados para remoção e degradação do antibiótico do grupo β -lactâmicos, amoxicilina. Foi realizado um levantamento bibliográfico envolta de trinta e oito artigos, com uma filtragem e seleção, resultando em apenas doze trabalhos que se enquadraram nos pré-requisitos estabelecidos. Grande parte dos estudos selecionados desenvolveu suas análises em efluentes contaminados artificialmente, utilizando técnicas de adsorção, processos oxidativos avançados (POAs), wetlands, biorreator com membranas submersas, filtro de carvão ativado e hidrólise. É importante ressaltar que cada estudo, operou com técnicas bastante particulares, sendo este o principal motivo dos diferentes resultados encontrados em métodos bastante semelhantes. A análise demonstrou que dentre os métodos observados, apenas o processo tradicional de oxidação com reagente Fenton, e o método de remoção por Hidrólise Alcalina, com pH de 12,5 em 60 minutos atingiram a excelência de 100% da remoção do antibiótico. No outro extremo observou-se que a técnica de remoção do antibiótico por meio de wetlands construídos, atingiu a remoção mínima de 15% e o POA com fotólise natural em tempo de 360 minutos com remoção de 24%. Os números encontrados apontam a importância de combinar os métodos de tratamento de esgoto para alcançar uma maior pureza do efluente que será lançado no ambiente.

Palavras-chave: Amoxicilina; Remoção; Tratamento de efluente.

Abstract

The intensification of pollution generated by human activities for decades, releasing effluents, *in natura* or partially treated, into receiving water bodies, causing serious damage to the environment. Among these effluents, drugs end up bringing a great concern, since they can be resistant even to conventional treatment processes, which ends up alerting to the problem of lack of adequate treatment. The objective of this work was to carry out an analysis of the effluent treatment methods used for the removal and degradation of the β -lactam antibiotic, amoxicillin. A bibliographic survey involving thirty-eight articles was carried out, with filtering and selection, resulting in only twelve works that met the established prerequisites. Most of the selected studies developed their analysis on artificially contaminated effluents, using adsorption techniques, advanced oxidative processes (POAs), wetlands, bioreactor with submerged membranes, activated carbon filter and hydrolysis. It is important to emphasize that each study operated with very particular techniques, which is the main reason for the different results found in very similar methods. The analysis showed that among the methods observed, only the traditional oxidation process with Fenton reagent, and the removal method by Alkaline Hydrolysis, with a pH of 12.5 in 60 minutes, reached 100% excellence in the removal of the antibiotic. At the other extreme, it was observed that the antibiotic removal technique through constructed wetlands reached a minimum removal of 15% and the POA with natural photolysis in 360 minutes with a removal of 24%. The numbers found show the importance of combining sewage treatment methods to achieve greater purity of the effluent that will be released into the environment.

Keywords: Amoxicillin; Removal; Wastewater treatment.

Resumen

La intensificación de la contaminación generada por las actividades humanas durante décadas, liberando efluentes, in natura o parcialmente tratados, a los cuerpos de agua receptores, provocando graves daños al medio ambiente. Entre estos efluentes, los medicamentos acaban por traer una gran preocupación, ya que pueden ser resistentes incluso a los procesos de tratamiento convencionales, lo que acaba alertando sobre el problema de la falta de un tratamiento adecuado. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de los métodos de tratamiento de efluentes utilizados para la remoción y degradación del antibiótico β -lactámico amoxicilina. Se realizó un relevamiento bibliográfico que involucró a treinta y ocho artículos, con filtrado y selección, dando como resultado solo doce trabajos que cumplieron con los requisitos establecidos. La mayoría de los estudios seleccionados desarrollaron su análisis sobre efluentes contaminados artificialmente, utilizando técnicas de adsorción, procesos oxidativos avanzados (POA), humedales, biorreactor con membranas sumergidas, filtro de carbón activado e hidrólisis. Es importante resaltar que cada estudio operó con técnicas muy particulares, lo cual es el principal motivo de los diferentes resultados encontrados en métodos muy similares. El análisis mostró que entre los métodos observados, solo el proceso de oxidación tradicional con reactivo de Fenton, y el método de remoción por Hidrólisis Alcalina, con un pH de 12.5 en 60 minutos, alcanzaron el 100% de excelencia en la remoción del antibiótico. En el otro extremo, se observó que la técnica de remoción de antibióticos a través de humedales artificiales alcanzó una remoción mínima del 15% y el POA con fotólisis natural en 360 minutos con una remoción del 24%. Los números encontrados muestran la importancia de combinar métodos de tratamiento de aguas residuales para lograr una mayor pureza del efluente que se liberará al medio ambiente.

Palabras clave: Amoxicilina; Eliminación; tratamiento de efluentes

1. Introdução

As atividades humanas têm gerado poluentes e causado danos ao meio ambiente, sendo um dos principais motivos de preocupação para a atual sociedade. De todos os bens ambientais disponíveis à humanidade, os recursos hídricos estão entre os principais, pois são, indispensáveis à vida, desta forma estes recursos têm recebido uma atenção especial, haja vista os inúmeros danos causados pelo lançamento de poluentes orgânicos e inorgânicos no ambiente (Kümmerer, 2001a; Kümmerer, 2001b; Khetan & Collins, 2007; Lim & Fox, 2013).

Os fármacos são fabricados para serem resistentes e preservarem sua natureza química a fim de cumprir seu propósito terapêutico, entretanto, estima-se que na dosagem utilizada, em torno de 50% a 90% é eliminado sem qualquer alteração nas suas características, persistindo desta forma no meio ambiente (Bila & Dezotti, 2003).

Os antibióticos são uma classe importante de medicamentos, e devido à sua atividade biológica específica, são causadores de um impacto ambiental significativo. A presença desses fármacos no meio ambiente, chamou atenção a partir da década de 70, mas somente em meados dos anos 90, com a intensificação do uso desses medicamentos e o desenvolvimento de novas tecnologias de análise, que a sua presença passou a causar uma certa preocupação. Isso se deu pelo fato de que vários desses compostos foram encontrados em efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e em águas superficiais e subterrâneas em concentrações na faixa de $\mu\text{g L}^{-1}$ e ng L^{-1} em vários países (Andreozzi et al., 2004; Longhin, 2008; Melo et al., 2009; Lopes, 2014; Costa Junior et al, 2014).

Considerando-se estudos de exposição ambiental, concentrações de antibióticos na faixa de $\text{ng-}\mu\text{g L}^{-1}$ foram encontrados em esgoto bruto na Itália, em estações de ETE na França, Grécia, Suécia e Suíça, em águas subterrâneas na Alemanha e águas superficiais nos Estados Unidos (Golet et al. 2001; Kolpin et al. 2002; Stalkelberg et al. 2004).

Atualmente, têm se discutido sobre os riscos e impactos dos antibióticos no meio ambiente, e a capacidade de remoção ou destruição dessas substâncias, por meio de sistemas de tratamento de efluentes, uma vez que estes fármacos apresentam alta toxicidade para bactérias ambientais, o que a longo prazo leva ao desenvolvimento de espécies bacterianas resistentes, tornando o medicamento ineficaz no tratamento de algumas doenças, além da baixa biodegradabilidade, não sendo possível ainda determinar o efeito crônico que a exposição em seres humanos e animais pode acarretar e como remover por meio dos métodos convencionais essas substâncias no tratamento de esgoto doméstico e industrial, sendo assim, o problema deixa de ser apenas ambiental, passando a ser também um problema de saúde pública (Ternes, 1998; Hernando et al., 2006; Homem, 2011; Gonzalez et al., 2013).

As principais rotas de contaminação dos antibióticos ao meio ambiente são oriundas da utilização deliberada, seja por via oral ou por meio de injeção, na qual a parcela do medicamento não aproveitada pelo organismo é eliminada por excreção, além do descarte de medicamentos vencidos ou que já não são mais utilizados no esgoto ou lixo comum (Carvalho et al., 2009).

Conforme observado na Tabela 1, os dados divulgados em 2018 no relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), apontam que o Brasil supera a média da Europa, Canadá e Japão em número de doses de antibióticos consumidos. Nesta análise foi utilizado como indicador o número de doses diárias (DD) consumidas para cada mil habitantes. No Brasil, esse índice ficou em 22 DD para cada mil habitantes, colocando o país como o 19º maior consumidor de antibióticos entre as 65 nações pesquisadas. Na Figura 1, pode ser observado que o relatório ainda conclui que a amoxicilina é o antibiótico mais utilizado na América e está entre os mais utilizados em todo o mundo.

Tabela 1. Consumo total de antibióticos de acordo com o sistema de classificação ATC / DDD*.

Classificação	Países	DDD / mil Habitantes por Dia
1º	Mongólia	64,41
2º	Irã	38,78
3º	Peru	38,18
4º	Sudão	35,29
5º	Grécia	33,85
6º	Sérvia	31,57
7º	Montenegro	29,33
8º	Romênia	28,5
9º	República da Coreia	27,68
10º	Tanzania	27,29
11º	Chipre	27,14
12º	Itália	26,62
13º	França	25,92
14º	Bélgica	25,57
15º	Georgia	24,44
16º	Eslováquia	24,34
17º	Polônia	24,3
18º	Irlanda	23,27
19º	Brasil	22,75
20º	Nova Zelândia	22,68

Fonte: Adaptado pelo autor com base na OMS (2018). *Químico Terapêutico Anatômico (ATC) e valores de dose diária definida (DDD) subjacentes ao cálculo do consumo de antimicrobianos (versão 2019 ATC / DDD).

Como a presença deste antibiótico no meio ambiente é evidente, têm-se então a busca por soluções que visem evitar a disseminação deste problema. Na literatura, é possível encontrar métodos de degradação ou remoção para o tratamento de águas contaminadas com amoxicilina, portanto o objetivou-se com trabalho, a realização de uma revisão de literatura sobre os métodos de tratamentos de efluentes contaminados pelo antibiótico amoxicilina e a eficiência de cada um deles na biodegradação do contaminante.

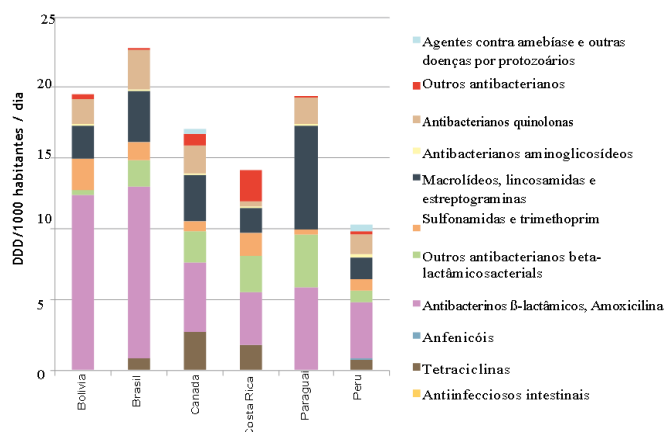


Figura 1. Consumo de antibióticos (DDD por mil habitantes por dia) por subgrupo farmacológico em seis países da Região das Américas (2015). Fonte: OMS (2018).

2. Metodologia

Para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, baseada na análise de estudos em forma de livros, artigos e periódicos acadêmicos, publicados em plataformas, disponíveis na internet e que possibilitaram que este trabalho estivesse devidamente fundamentado.

Foram utilizados como critérios de inclusão para esta revisão artigos indexados escritos na língua portuguesa e inglesa, nas bases das plataformas de pesquisa do Science Direct, Scopus e Periódicos Acadêmicos. A busca foi realizada de duas formas, primeiro utilizou-se as seguintes palavras-chave: “emerging pollutants”, “poluentes emergentes” “Amoxicillin”, “Amoxicilina”, “pharmaceuticals removal”, “remoção de fármacos”, “penicilina”, “penicillin”, “wastewater treatment”, “tratamento de água contaminada”, “industrial effluents treatment”, “Tratamento de efluentes industriais”, “ecotoxicological effects”, “efeitos ecotoxicológicos”.

Após selecionar a literatura pelas palavras chave, foi feita a triagem por meio da leitura do título, palavras chave e resumo, selecionando apenas os trabalhos que continham informações referentes ao tratamento de efluentes contendo amoxicilina. Foi realizada uma segunda avaliação, com o intuito de excluir referências em duplicata. Por fim, realizou-se a leitura dos artigos de forma integral e foram excluídos, aqueles que apresentaram informações divergentes ao tema proposto neste estudo.

3. Ocorrência dos fármacos no ambiente

Rota de contaminação

Com o crescente aumento da utilização, humana e animal, os fármacos tem ganhado maior atenção da comunidade científica, e sua destinação final, tem sido alvo recorrente de estudos científicos. Diversas pesquisas tem demonstrado que há resquícios de fármacos em estações de tratamento de efluentes e nas águas naturais. Por meio do fluxograma da Figura 2, é possível visualizar parte da rota da contaminação provocada pelos fármacos, desde sua origem, até alcançarem os recursos hídricos, nota-se que sua entrada no ambiente, ocorre a partir de fontes diversas, das quais destacam-se os esgotos hospitalares e domésticos, áreas de irrigação adubadas com lodo de ETE, produção industrial, lixiviação de aterros e resíduos sanitários.

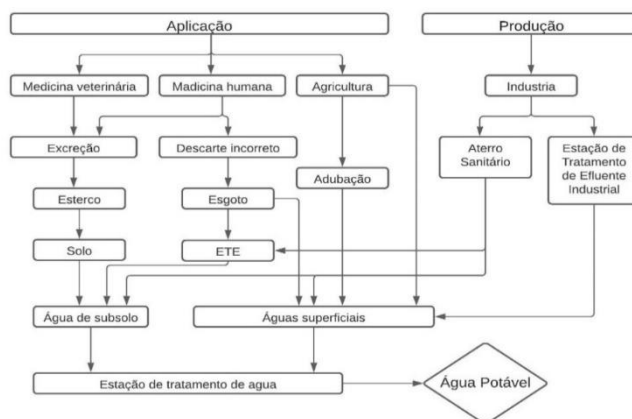


Figura 2. Fluxograma da destinação de fármacos após sua utilização e produção.

Fonte: Adaptado de Bila & Dezotti (2003).

Na Figura 2, observa-se que a rota da contaminação da água por meio dos fármacos, ocorre pelo conjunto de interações entre o resíduo contaminado e meio ambiente, onde o contaminante em muitos casos, chega até o solo sem que tenha ocorrido qualquer tipo de tratamento e posteriormente para o lençol freático, ou então passa pelo tratamento na ETE, porém de forma ineficaz para a remoção do contaminante acaba atingindo as fontes de abastecimento de água potável. Ao longo deste percurso ainda há uma exposição de inúmeros organismos aos contaminantes, acarretando na circulação dos resíduos de fármacos em diversos níveis tróficos. Na indústria farmacêutica, possui um grande potencial poluidor, seja pela ausência ou ineficiência de tratamento de efluentes, podendo desta forma destinar substâncias químicas ao meio ambiente. Estudos realizados no Brasil, Estados Unidos e Europa trazem à tona a detecção de fármacos na faixa de $\mu\text{g L}^{-1}$ e ng L^{-1} , em águas residuais municipais, águas superficiais, subterrâneas e em menor medida em água potável (Deschamps et al., 2012; Borrelly et al., 2012; Cunha et al., 2016).

Os efeitos da presença do contaminante no meio ambiente tem sido observado por meio de estudos, nos quais se apresentou a existência de bactérias que já desenvolveram resistência a maioria ou a todos os antibióticos atualmente utilizados, tais organismos sofreram mutações resultantes da exposição aos resíduos desses fármacos (OMS, 2014).

Estudos afirmam que as doses de fármacos ingeridas, uma parte pode variar de 10-20% é absorvida pelo organismo, sendo a maior parte expelida em sua composição original no meio ambiente ou metabolizado e excretado em forma de fezes e urina, que por sua vez, acabam tendo como destino as ETE. Em algumas situações diretamente aos cursos hídricos, com a possibilidade de ter a sua origem direta da indústria de farmacêutica, que por muitas vezes acabam tendo um tratamento ineficiente para remoção do poluente (Bound & Voulvoulis, 2004).

Dentre os fármacos, a classe que mais traz preocupação nas questões ambientais, é a dos antibióticos, dos quais destaca-se neste estudo, a amoxicilina, que de acordo com o OMS é um dos mais utilizados no Brasil e no mundo (OMS, 2018).

Amoxicilina

A amoxicilina é um fármaco, antibiótico, da classe dos β -lactâmicos, considerado uma penicilina semissintética, diferenciado da ampicilina pela presença da hidroxila em vez do hidrogênio, foi desenvolvido pelo laboratório Beecham em 1960 e tornou-se disponível apenas em 1972, tendo sido desenvolvido para combater as bactérias patogênicas por meio da destruição da parede celular dos micro-organismos, sendo a segunda aminopenicilina a chegar ao mercado depois da Ampicilina em 1961. Na Figura 3, observa-se a estrutura molecular da amoxicilina. Por apresentar no seu grupo amino, o espectro de ação é amplo, possuindo maior biodisponibilidade, em relação à ampicilina, possuindo uma melhor absorção após administração por via oral, atingindo concentrações duas vezes mais elevadas no sangue do que a ampicilina. Esses fatores, aliados a um baixo custo e poucos efeitos colaterais, tornou a amoxicilina um dos medicamentos mais utilizados e conhecidos, sendo um dos antibióticos mais prescritos

para crianças (Korolkovas & França, 2008; Thurow, 2015).

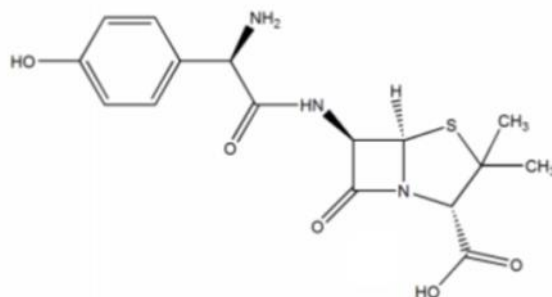


Figura 3. Fórmula molecular da amoxicilina.

Fonte: Vicentin (2019).

Pan et al. (2008) confirmaram em seu estudo, que mesmo quando há baixas incidências da amoxicilina no ambiente aquoso, são registrados danos como efeitos tóxicos para algas e micro-organismos neste meio, portanto o efeito negativo está atrelado a qualquer quantidade de contaminante presente.

Métodos de análise

Para mitigar os impactos da amoxicilina no ambiente e nos seres vivos, é importante identificar a presença do contaminante nos recursos hídricos, para permitir escolher o método mais adequado de remoção ou degradação do fármaco no efluente. A Tabela 2 traz um breve levantamento bibliográfico das metodologias utilizadas para análise e comprovação da presença destes resíduos, realizados antes de qualquer forma de tratamento.

Tabela 2. Métodos de análise da presença de amoxicilina em efluentes.

Métodos de Análise	Autores
Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detecção por Ultravioleta (HPLC- UV)	WAGNER et al. (2017)
Cromatografia Líquida com espectrômetro de massa (LC-MS/MS <i>Agilent series G1100</i>)	ABBASSI et al. (2016)
*DQO - <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (APHA, 1989)	PACHAURI et al. (2009)
Espectrofotometria UV - vis (<i>CE-7400, Cecil</i>)	GHOLAMI et al. (2012)
Cromatografia Líquida com espectrômetro de massa (LC-MS/MS <i>Agilent series G1100</i>)	ELMOLLA & CHAUDHUR. (2010)

Fonte: Elaborado pelo autor. *DQO- Demanda química de oxigênio.

4. Resultados e Discussão

Os artigos utilizados nesta pesquisa foram selecionados da seguinte maneira: na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico nas plataformas do Science Direct, Scopus e Periódicos Acadêmicos. O primeiro critério utilizado foi o uso das palavras-chave “emerging pollutants”, “poluentes emergentes” “Amoxicillin”, “Amoxicilina”, “pharmaceuticals removal”, “remoção de fármacos”, “penicilina”, “penicillin”, “wastewater treatment”, “tratamento de água contaminada”, “industrial effluents treatment”, “Tratamento de efluentes industriais”, “ecotoxicological effects”, “efeitos ecotoxicológicos”, onde foram selecionados trinta e oito artigos. Na segunda etapa, foi feita a triagem destes por meio de uma leitura rápida das palavras-chave dos artigos e do título,

aqueles que apresentassem as palavras: tratamento, antibiótico, amoxicilina ou efluente no título, seguiram para a próxima fase da seleção, destes apenas vinte e quatro seguiram para a terceira e última fase, na qual foi realizada a leitura do resumo de cada um dos artigos selecionados, sendo que os trabalhos que eram compatíveis com o propósito do presente estudo seguiram para análise de seus resultados, os artigos selecionados frente a tais critérios estão apresentados na tabela 3.

Análise dos resultados

Esta etapa teve como propósito, observar a eficiência dos diversos tipos de tratamento utilizados nos artigos acima citados. Os artigos A e F utilizaram a técnica de adsorção, esta metodologia consiste na remoção de poluente do efluente, originada em 1773, quando C.W Scheele realizou a absorção de gases em carvão e argilas (Bhatnagar & Sillanpää, 2010). O processo ocorre quando um meio sólido é colocado em contato com um meio líquido, fazendo com que parte do que compõe o fluido, tenha uma aderência ao sólido, se fixando no mesmo. Para que esse procedimento de remoção de contaminantes seja eficiente, o pesquisador deve considerar algumas informações, como o potencial hidrogeniônico (pH), a temperatura, a polaridade da substância, a pressão e a área superficial (Furlan, 2008).

O artigo B, utilizou-se de Wetland Construído (WC) para remover o antibiótico do meio aquoso, o WC é usado para clonar e otimizar processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, que são encontrados em ambientes naturais e controlado, para alcançar maior eficiência na remoção de contaminantes. Este tratamento é mais comumente utilizado em efluentes industriais, agrícolas, domésticos ou pluviais (Brasil, 2018). Kadlec & Knight (1996), afirmam que os Wetlands são empregados principalmente na busca da melhoria da qualidade da água, mas também na produção fotossintética, produção de energia, ou ainda para práticas de recreação humana, tais como esportes, pesca, lazer e turismo, sejam em clubes, piscinas ou lagos artificiais.

Os artigos C e D, utilizaram a técnica de descontaminação por biorreator com membranas submersas, chamados de MBRs. Esta técnica é consequência da junção de dois tratamentos, o tratamento biológico de efluentes e da separação por membranas. As membranas são responsáveis por reter a biomassa e são usadas como substitutas dos decantadores das estações de tratamento biológico convencionais, entregando em um tempo menor, e com número reduzido de processos um tratamento de maior qualidade do efluente, visto que as membranas realizam uma total retenção da biomassa e precisam de um lugar menor para serem instalados em comparação aos tratamentos convencionais (Holbrook, Massie & Novak, 2005).

Os artigos E, G, H, J e K utilizaram a técnica de Processos Oxidativos Avançados (POAs) para remoção dos poluentes do efluente, dentre esses, o artigo E e o artigo H, utilizaram especificamente o reagente de Fenton. Os POAs, são uma nova tecnologia de tratamento de efluente, que se baseiam no uso de espécies que promovem alto índice de oxidação, e por consequência aceleram a degradação do poluente. Esse método pode ser usado em combinação com tratamentos biológicos, alcançando uma eficiência ainda maior, e reduzindo o tempo necessário para a remoção do poluente, esse método de remoção de contaminantes tem sua eficácia baseada na geração de radicais livres, como a hidroxila (OH⁻), que promove a degradação dos poluentes em poucos minutos; Hirvonen et al., 1996; Nogueira & Jardim, 1998; Vinodgopal et al., 1998; Moraes & Peralta-Zamora, 2005; Silva, 2007; Brito & Silva, 2012).

O artigo I utilizou-se a técnica do filtro de carvão ativado para remover o contaminante. Este filtro usa um material carbonáceo com maior porosidade, o que garante uma adsorção melhor de moléculas, sejam elas líquidas ou gasosas, por fazer uso de um material granular (carvão ativado), auxiliando não só na remoção do poluente como também na remoção de sabores, cheiros, matéria orgânica, cor e fenóis, dependendo do tamanho das partículas em questão (Ergun, 1952; Noll et al., 1992; Coutinho et al., 2000).

O artigo L usa o tratamento biológico conhecido como Hidrólise, em duas formas, ácida e alcalina, a hidrólise consiste em uma decomposição pela água. De acordo com Barzca (2010), para que a haja a hidrólise completa, é necessário ocorrer o alinhamento correto dos fatores como temperatura e pressão, para que haja uma maior eficiência no processo em uma velocidade alta, porém é necessário haver a presença de um acelerador para que o processo ocorra perfeitamente, os aceleradores mais usuais são álcalis, ácidos e enzimas.

Tabela 3. Trabalhos filtrados após a seleção que atenderam os critérios deste estudo.

ID	Título	Autores	Método Remoção	de	Local
A	Estudo da remoção do antibiótico amoxicilina em meio Aquoso: utilização da perlita expandida e casca de pistache in natura como adsorventes	Vicentin (2019)	Adsorção		Pato Branco PR
B	Remoção de antibióticos de águas residuais urbanas por otimização de áreas úmidas construídas.	Hijosa-Valsero et al (2011)	CWs		León - Espanha Alemanha
C	Remoção do antibiótico amoxicilina por biorreator com Membrana operado em regime de pré-desnitrificação: Avaliação do desempenho, identificação de subprodutos e Análises ecotoxicológicas	Matsubara (2018)	Biorreator com membranas submersas	com	Santo André SP
D	Remoção do antibiótico amoxicilina por biorreatores Com membranas submersas (MBRs)	Matsubara; Coelho & Subtil (2017)	Biorreator com membranas submersas	com	Santo André - SP
E	Tecnologias Alternativas de Remoção de Antibióticos de Águas Contaminadas	Homem (2011)	POA reagente Fenton	com de	Porto
F	Utilização de bentonita como adsorvente na remoção do Antibiótico amoxicilina em efluentes	Araújo (2019)	Adsorção Bentonita	com	João Pessoa – PB
G	Aplicação de processos oxidativos Avançados para o tratamento de Efluente da produção de antibióticos	Marcelino (2014)	POAs		Belo Horizonte - MG
H	Degradação do antibiótico Amoxicilina em efluente de indústria Farmacêutica	Vasconcelos (2011)	POA com o reagente Fenton.	de	Belo Horizonte - MG
I	Remoção de ciprofloxacina, ampicilina, amoxicilina e cefalexina da água em filtros de carvão biológico em condições de laboratório.	Marques et al. (2009)	Filtro de carvão ativado		Ilha Solteira - SP
J	Estudo da degradação dos antibióticos beta-lactâmicos amoxicilina e ampicilina e avaliação da toxicidade e biodegradabilidade dos seus produtos.	Longhin (2008)	POAs		Brasília - DF
K	Ocorrência e degradação dos fármacos amoxicilina e cafeína em esgoto doméstico e águas superficiais	Wagner (2016)	POAs		Medianeira - PR
L	Métodos de remoção do Antibiótico amoxicilina em solução via hidrólises ácida e alcalina	Sá, Taynara. Neto & Ribeiro (2018)	Hidrólise		Goiânia - GO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Eficiência de Tratamento

A eficiência indicada pelos artigos ao final dos estudos, foi agrupada conforme a técnica de tratamento empregada, para uma melhor compreensão para que seja possível realizar a comparação entre as técnicas e as pesquisas observadas.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de adsorção

Artigo A: remoção foi de 35,76% e 50,89% em 50 mg L⁻¹ para a casca de pistache e perlita expandida, respectivamente.

Artigo F: A bentonita tratada termicamente apresentou os piores resultados nos ensaios realizados, com capacidade máxima de adsorção de 24,42% e capacidade de remoção no tempo de equilíbrio de 0,49 mg g⁻¹. A bentonita *in natura* e tratada quimicamente apresentaram resultados próximos, com capacidade máxima de adsorção de 70,26% e 80,20% respectivamente, e a capacidade de remoção no tempo de equilíbrio de 0,74 e 0,78 mg g⁻¹.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Wetlands construídos (WCs)

Artigo B: Os pesquisadores trabalharam com Wetlands construídos, cultivados com diversos tipos de vegetação, porém o único que removeu amoxicilina foi o CW3, cultivado com Typha -FW-SSF, com eficiência de remoção variando entre 15% a 45%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Biorreator com membranas submersas

Artigo C: A operação do sistema se deu em três fases: (1) com vazão de 1 L h⁻¹ e TDH de 40 h; (2) adicionando 100 µg L⁻¹ de amoxicilina no afluente e (3) alterando a vazão da condição (2) para 2 L h⁻¹ e TDH de 20 h. A alteração da vazão resultou numa redução da remoção do antibiótico, que caiu de 80% para 54%.

Artigo D: Encaixando em todas as etapas para seleção dos estudos, o trabalho tratou da remoção de DQO e Carbono orgânico dissolvido (COD), não da remoção do antibiótico.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Artigo E: Com este estudo concluiu-se que nas condições ótimas (concentração de peróxido de hidrogênio = 3,50 - 4,28 mg L⁻¹, concentração de Fe²⁺ = 254-350 µg L⁻¹, temperatura = 20-40°C) foi atingida a remoção total do contaminante em 30 minutos de tratamento. Mas quando complementado com a radiação microondas, o processo de remoção de Fenton tradicional, obtém 100% de remoção em 5 minutos, já sem o uso deste complemento, o mesmo resultado é atingido com cerca de 90 minutos.

Artigo G: Os processos oxidativos avançados, especificamente o processo de foto-Fenton, chegou a alcançar uma remoção de 99% da amoxicilina presente no efluente pelo processo de ozonização.

Artigo H: A degradação da amoxicilina apresentou taxa de remoção entre 60% e 75%; com tempo de reação de 60 min, 80 min e 120 min.

Artigo J: Os resultados obtidos para os diferentes POA testados neste estudo mostraram que o processo Fenton/UV a maior redução, sendo de 99,62% amoxicilina em 60 min de reação, e no caso de reagente de Fenton com o mesmo tempo de processo, obteve-se a redução de 97,13%.

Artigo K: Simulou-se um efluente contaminado para verificar a reprodução da degradação na condição ótima (pH= 4 e concentração de 6 ppm) nos tempos: 0, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 min, houve uma redução de 49% de amoxicilina na água, já na amostra de esgoto coletada, a redução foi de 75% com o uso de fotólise direta. Na fotólise natural, em 360 minutos, houve redução de 24%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Filtro de carvão ativado

Artigo I: Para a amoxicilina nos filtros CAB (carvão com atividade biológica cultivado em laboratório) de 85,25% e nos filtros CAG (filtros não colonizados) de 84,50%.

Eficiência apresentada nos estudos que empregaram a técnica de Hidrólise ácida e alcalina

Artigo L: A hidrólise ácida não foi efetiva, não conseguindo mesmo em tempos altos de hidrólise inativar as moléculas do antibiótico. A hidrólise alcalina com pH 12,5 e tempo de 60 minutos, apresentou 100% de remoção.

Resultados agrupados

A Tabela 4 apresenta a eficiência encontrada em cada método de tratamento de efluente, referente a remoção do antibiótico amoxicilina, apresentadas nos doze artigos observados:

Tabela 4. Método de remoção e eficiência do tratamento.

Método de Remoção	Eficiência do Tratamento
Adsorção	24,82% a 80,20%
Wetlands Construídos	15% a 45%
Biorreator com membranas submersas	54% a 80%
Processos Oxidativos Avançados	24% a 100%
Filtro de carvão ativado	85,25% a 84,50%
Hidrólise	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

5. Conclusão

Nesta busca pela resposta da pergunta: "qual o método mais eficaz de tratamento de efluente contaminado pelo antibiótico do grupo β -lactâmicos chamado amoxicilina?", foram usados 12 artigos com 6 técnicas diferentes de tratamento, e deve-se considerar que mesmo dentro de cada técnica, cada artigo teve suas peculiaridades frente às variáveis utilizadas.

As técnicas utilizadas foram adsorção, wetlands construídos, Biorreator com membranas submersas, processos oxidativos avançados, filtro de carvão ativado e Hidrólise, destes apenas dois apresentaram eficiência de 100% de remoção do contaminante, sendo eles os POAs, especificamente o processo tradicional de oxidação com reagente Fenton, e o método de remoção por Hidrólise Alcalina, com pH de 12,5 em 60 minutos.

A metodologia de tratamento que apresentou menor índice de eficiência foi a técnica de Wetlands construídos, atingindo a remoção mínima de 15% do contaminante, seguida do processo oxidativo avançado, com Fotólise natural no tempo de 360 minutos, atingindo redução de 24%.

Considerando os resultados apresentados pelos trabalhos analisados, o ideal para um tratamento seguro, de degradação total do antibiótico, seria a combinação de mais de uma metodologia de remoção de contaminantes do efluente, quando não houver possibilidade de fazer uso do processo de remoção empregados nos artigos L e E, seja por custo, ou por variáveis divergentes às apresentadas nestes trabalhos, para que assim, uma técnica possa complementar a outra, resultando em um índice mais elevado de pureza do efluente ao fim do tratamento.

6. Referências

- Abbassi, B., Abusaleem, M., Zytner, R., Gharabaghi, B. & Rudra, R. (2016). Antibiotics in wastewater: Their degradation and effect on wastewater treatment efficiency. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 14(3-4), 95-99.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Ciniglia, C., Champdoré, M., Giudice, R., Marotta, R. & Zuccato, E. (2004). Antibiotics in the environment: occurrence in Italian STPs, fate, and preliminary assessment on algal toxicity of amoxicillin. *Environmental Science and Technology*, 38(24), 6832-6838.
- Araújo, P. S. (2019). *Utilização de bentonita como adsorvente na remoção do antibiótico amoxicilina em efluentes*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Departamento

- de Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Barcza, M. V. (2017). *Hidrólise*. Escola de Engenharia de Lorena, EEL. USP.
- Bhatnagar, A. & Sillanpää, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*. 157, 277-296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.01.007>
- Bila, D. & Dezotti, M. (2003). Fármacos no meio ambiente. *Química Nova*. 26. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422003000400015>
- Borrelly S. I., Caminada S. M. L., Ponezi A. N., Dos Santos D. R. & Silva V. H. O (2012). Contaminação das águas por Resíduos de Medicamentos: Ênfase ao Cloridrato de Fluoxetina. *Mundo da Saude*. 36(4), 556-563. <http://dx.doi.org/10.15343/0104-7809.2012364556563>
- Bound, J. P. & Voulvoulis, N., 2004. Pharmaceuticals in the aquatic environment – a comparison on risk assessment strategies. *Chemosphere* 56, 1143-1155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.05.010>
- Bound, J. & Voulvoulis, N. (2006). Household Disposal of Pharmaceuticals as a Pathway for Aquatic Contamination in the United Kingdom. *Environmental health perspectives*. 113. 1705-11. 10. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8315>
- Brasil, (2018). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/* Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis: UFSC.
- Brito, N. N. De. & Silva, V. B. M. (2012). Processos Oxidativos Avançados e sua aplicação ambiental. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 1(3), 36-47. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v3i1.17000>
- Carvalho, E. V., Ferreira, E., Mucini, L. & Santos, C. (2009). Aspectos legais e toxicológicos do descarte de medicamentos. *Revista Brasileira de Toxicologia*, 22(1-2), 1-8.
- Coutinho, A. R., Barbieri, F. C. & Pavani, P. A. (2000). *Preparação de carvões ativados a partir de fibras de celulose*. In: 2º Encontro brasileiro de adsorção, UFSC: Florianópolis. Anais..., 139-144.
- Costa Junior, I. L., Pletsch, A. L., Torres, Y. R. (2014). Ocorrência de Fármacos Antidepressivos no Meio Ambiente – Revisão. *Revista Virtual de Química*, 6(5), 1408-1431.
- Cunha, D L., Paula, L. M., Silva, S. M. C., Bila, D. M., Fonseca, E. M., Oliveira, J. L. da M. A (2016). Regulamentação do estrogênio sintético 17 α -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 32(3), 1-13.
- Deschamps, E., Vasconcelos, O., Lange, L., Donnici, C., Silva, M. C. & Sales, J. (2012). Management of effluents and waste from pharmaceutical industry in Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 48, 727-736. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-82502012000400017>
- Elmolla, E. S. & Chaudhuri, M. (2010). Photo-fenton treatment of antibiotic wastewater. *Nature Environment and Pollution Technology*, 9(2), 365–370.
- Ergun, S. (1952). Fluid Flow Through Packed Columns. *Chemical Engineering Progress*, New York, 48, 89-94.
- Furlan F. R. (2008). *Avaliação da eficiência do processo de Coagulação-floculação e adsorção no Tratamento de efluentes têxteis*. Dissertação - UFSC, Florianópolis.
- Gholami, M., Mirzaei, R., Kalantary, R. R., Sabzali, A. & Gatei, F. (2012). Performance evaluation of reverse osmosis technology for selected antibiotics removal from synthetic pharmaceutical wastewater. *Iranian Journal of Environmental Health Science e Engineering*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-19>
- Golet, E. M., Alder, A. C., Hartmann, A., Ternes, T. A. & Giger, W. (2001). Trace determination of fluoroquinolone antibacterial agents in urban wastewater by solid-phase extraction and liquid chromatography with fluorescence detection. *Analytical Chemistry*, 73(15), 3632-3638. <http://dx.doi.org/10.1021/ac0015265>
- Halling-Sørensen, B., Lützhof, H. C. H., Andersen, H. R. & Ingerslev, F. (2000). Environmental risk assessment of antibiotics: comparison of mecillinam, trimethoprim and Ciprofloxacin. *J Antimicrob Chemother* 46, 53-58. http://dx.doi.org/10.1093/jac/46.suppl_1.53
- Hernando, M. D. et al. (2006). Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments. *Talanta*, 69, 334-342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.037>

- Hijosa-Valsero, M., Fink, G., Schlüsener M. P., Sidrach-Cardona, R., Martín-Villacorta, J., Ternes, T., Bécares, E. (2011). Removal of antibiotics from urban wastewater by constructed wetland optimization. *Chemosphere* 83, 713–719. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.004>
- Hirvonen, A., Tuhkanen, T. & Kalliokoski, P. (1996). Treatment of TCE- and PCE contaminated groundwater using UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂ oxidation processes. *Water Science and Technology*, 33, 67-73. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00330-7](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00330-7)
- Holbrook, R. D., Massie, K. A., Novak, J. T. (2005). A Comparison of Membrane Bioreactor and Conventional-Activated-Sludge Mixed Liquor and Biosolids Characteristics, *Water Environmental Research*, 77, 323–330. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1554-7531.2005.tb00291.x>
- Homem, V. M. F. C. *Tecnologias Alternativas de Remoção de Antibióticos De Águas Contaminadas*. 2011. Tese de Doutorado Em Engenharia Química. Universidade do Porto, Porto, 2011.
- Kadlec, R.H. & Knight, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Khetan, S. K. & Collins, T. J. (2007). Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry. *Chemical Review*, 107, 2319-2364. <http://dx.doi.org/10.1021/cr020441w>
- Kolpin, D. W., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Thurman, E. M., Zaugg, S. D., Barbar, L. B. & Buxton, H. T. (2002). Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U. S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance. *Environmental Science & Technology*, 36, 1202-1211. <http://dx.doi.org/10.1021/es011055j>
- Korolkovas, A. & França, F. F. de A. C. de. (2008). *Dicionário Terapêutico Guanabara*. 15 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Kümmerer, K. (2001a). Pharmaceuticals in the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 57-75. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-052809-161223>
- Kümmerer, K. (2001b). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphere*, 45, 957-969. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00144-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00144-8)
- Longhin, S. R. (2008). *Estudo de degradação dos antibióticos beta-lactâmicos amoxicilina e ampicilina e avaliação da toxicidade e biodegradabilidade dos seus produtos*. 2008. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de química. Universidade de Brasília, Brasília.
- Lopes, B. C. (2014). *Efeitos da fotólise e fotocatalise sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente*. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Marcelino, R. B. P. (2014). *Aplicação de processos oxidativos avançados para o tratamento de efluente da produção de antibióticos*. Universidade federal de minas gerais. Belo Horizonte.
- Marques, E, de M., Isique, W. D., Minillo, A. & Tangerino, E. P. (2009). *Remoção de ciprofloxacina, ampicilina, amoxicilina e cefalexina da água em filtros de carvão biológico em condições de laboratório*. FAPESP.
- Matsubara, M. E., Coelho, L. H. G. & Subtil, E. L. (2017) Remoção do antibiótico amoxicilina por biorreatores com membranas submersas (mbrs). *ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp*. Bangú,Santo André - SP. Congresso ABES, FENASAN.
- Melo, S. A. S., Trovó, A. G., Bautitz, I. R. & Nogueira, R. F. P. (2009). Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. *Química Nova*. Sociedade Brasileira de Química, 32(1), 188-197. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100034>
- Morais, J. L. de & Peralta-Zamora, P. (2005). Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1-3), 181-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.041>
- Nogueira, R. F. P. & Jardim, W. F. (1998). Heterogeneous photocatalysis and its environmental. *Química Nova*, 21(1), 69-72.
- Noll, K. E., Gounaris, V. & Hou, W. S. (1992). Adsorption technology for air and water pollution control. *Lewis Publishers, INC. USA*.
- Organização Mundial De Saúde - OMS. (2014). *Antimicrobial resistance: global report on surveillance*.

- Organização Mundial de Saúde [OMS]. Genebra: abr. 2014.
- Organização Mundial De Saúde - OMS. (2018). *report on surveillance of antibiotic consumption: 2016-2018 early implementation*.
- Pan, X., Deng, C., Zhang, D., Wang, J., Mua, G. & Chen, Y. (2008). Toxic effects of amoxicillin on the photosystem II of *Synechocystis* sp. characterized by a variety of in vivo chlorophyll fluorescence tests. *Aquatic Toxicology*, 89, 207–213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.06.018>
- Pachauri, P., Falwariya, R., Vyas, S., Maheshwari, M., Vyas, R., Gupta, A. (2009). Removal of amoxicillin in wastewater using adsorption by powdered and granular activated carbon and oxidation with hydrogen peroxide. *Nature Environment and Pollution Technology*. 8, 481-488.
- Gonzalez, M. P., Gonzalo, S., Rodea-Palomares, I., Leganes, F., Rosal, R., Boltes, K., Marco, E., Fernandez-Piñas, F. et al. (2013). Toxicity of five antibiotics and their mixture towards photosynthetic aquatic organisms: Implications for environmental risk assessment. *Water Research*, 47, 2050-2064. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.01.020>
- Rocha, A. C. L., Kligerman, D. C., Oliveira, J. L. M (2019). Panorama da pesquisa sobre tratamento e reúso de efluentes da indústria de antibióticos. *Saúde em Debate*, 43, 165-180. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S312>
- Sá, T. A. P. de, Neto, J. R. O. & Ribeiro, T. S. S. (2018). Métodos de Remoção do Antibiótico Amoxicilina em Solução via Hidrólises Ácida e Alcalina. *Revista Processos Químico*. <http://dx.doi.org/10.19142/rpq.v12i23.421>
- Scarcela, M. A. A., Munniz, J. W. A. & Cirqueira, J. Z. (2011). Investigação do uso indiscriminado de amoxicilina em crianças na faixa etária de 2 a 10 anos. *Cenarium Farmacêutico*. 4(4).
- Silva, L. P. (2007). *Modificação e imobilização de TiO₂ visando a degradação de compostos orgânicos poluentes via o processo de fotocatalise heterogênea*. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP.
- Souza, R. C. de. (2013). *Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada (h₂o₂/uv) com vistas ao Saneamento ecológico*; Dissertação- UFSC, Centro Tecnológico, Florianópolis.
- Stackelberg, P. E., Furlong, E. T., Meyer, M. T., Zaugg, S. D., Henderson, A. K. & Reissman, D. B. (2004). Persistence of pharmaceutical compounds and other organic wastewater contaminants in a conventional drinking-water treatment plant. *Science Total Environmental*. 329, 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.03.015>
- Ternes, T. A. (1998). Occurrence of drugs in german sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, 32, 3245-3260. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00099-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00099-2)
- Vasconcelos, O. M. S. R. (2011). *Degradação do antibiótico amoxicilina em efluente de indústria farmacêutica*. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação. UFMG, Belo Horizonte.
- Vicentin, B. M. (2019). *Estudo da remoção do antibiótico amoxicilina em meio aquoso: utilização da perlita expandida e casca de pistache in natura como adsorventes*. 2019. Dissertação - UTFPR, Pato Branco.
- Vinodgopal, K., Peller, J., Makogon, O. & Kamat, P. V. (1998). Ultrasonic mineralization of reactive textile azo dye, Remazol Black B. *Water Research*, 32, 3646-3650. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354\(98\)00154-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(98)00154-7)
- Wagner, M. C., Costa Junior, I. L., Mees, J. B. R. & Quitaiski, P. P. (2017). *Ocorrência dos fármacos amoxicilina e cafeína em esgoto doméstico e águas superficiais*. In: Congresso ABES/ FENASAN 2017, 2017, São Paulo. Anais do ABES/ FENASAN 2017.

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).