

FACULDADE NOVA ESPERANÇA DE MOSSORÓ – FACENE/RN
BACHARELADO EM FARMÁCIA

INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO

**ATUAÇÃO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO
DAS FLUORQUINOLONAS: UMA REVISÃO NARRATIVA.**

MOSSORÓ/RN

2019

INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO

**ATUAÇÃO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO
DAS FLUORQUINOLONAS: UMA REVISÃO NARRATIVA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade Nova Esperança de Mossoró – FACENE/RN, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Farmácia.

Orientadora: Prof. Dra. Karoline Rachel Teodósio de Melo

MOSSORÓ/RN

2019

C268a Cardoso, Ingrid Lidyane da Silva.
Atuação dos processos oxidativos avançados na
degradação das fluorquinolonas: uma revisão narrativa /
Ingrid Lidyane da Silva Cardoso. – Mossoró, 2020.
50f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Karoline Rachel Teodósio de
Melo.

Monografia (Graduação em Farmácia) – Faculdade Nova
Esperança de Mossoró.

1. Antibióticos. 2. Fluorquinolonas. 3. Processos
oxidativos avançados. 4. Poluentes ambientais. 5.
Tratamento de efluentes. I. Melo, Karoline Rachel Teodósio
de. II. Título.

CDU 66.094.3

INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO

**ATUAÇÃO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO
DAS FLUORQUINOLONAS: UMA REVISÃO NARRATIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado pela aluna INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO ao Curso de Graduação em Farmácia pela Faculdade Nova Esperança de Mossoró como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia, tendo obtido o conceito de _____, conforme a apreciação da Banca Examinadora, constituída pelos professores:

Aprovado em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA:

Karoline Rachel Teodósio de Melo

Prof. Dra. Karoline Rachel Teodósio de Melo
(Membro – FACENE/RN)

Andreza Rochelle do Vale Moraes

Prof. Dra. Andreza Rochelle do Vale Moraes
(Membro – FACENE/RN)

Ana Beatriz R. f. Passos

Prof. Dra Ana Beatriz Rocha de Jesus Passos
(Membro – FACENE/RN)

INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO

**ATUAÇÃO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO
DAS FLUORQUINOLONAS: UMA REVISÃO NARRATIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado pela aluna INGRID LIDYANE DA SILVA CARDOSO ao Curso de Graduação em Farmácia pela Faculdade Nova Esperança de Mossoró como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Farmácia, tendo obtido o conceito de _____, conforme a apreciação da Banca Examinadora, constituída pelos professores:

Aprovado em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Karoline Rachel Teodósio de Melo
(Membro – FACENE/RN)

Prof. Dra. Andreza Rochelle do Vale Morais
(Membro – FACENE/RN)

Prof. Dra Ana Beatriz Rocha de Jesus Passos
(Membro – FACENE/RN)

RESUMO

Os avanços tecnológicos na área farmacêutica trazem consigo algumas desvantagens, como por exemplo a produção de resíduos químicos advindos tanto da atividade industrial, como do próprio ser humano, após seu consumo. Os processos oxidativos avançados são tecnologias baseadas na combinação de processos físicos e químicos capazes de alterar as estruturas químicas dos contaminantes, compostos orgânicos e/ou inorgânicos, e inativar os microrganismos. O objetivo deste trabalho é avaliar a literatura no tocante a utilização de processos oxidativos avançados na degradação de fluorquinolonas. Trata-se de uma revisão narrativa e a seleção dos artigos foi realizada com base no portal de periódicos Capes, sobre os critérios de inclusão: produções científicas disponíveis em textos completos que versem sobre a temática atuação dos processos oxidativos avançados na degradação das fluorquinolonas; produções científicas disponíveis em forma de artigo original; produções científicas disponíveis no idioma inglês. E critérios de exclusão: artigos que não abordam a temática relevante para o alcance da pesquisa; Artigos que não englobam processos oxidativos avançados como forma de tratamento; Artigos que abordam estudo de caso; Artigos que estão em formato de revisão de literatura; Artigos encontrados repetidamente. Foram selecionados 26 artigos e dentre eles notou-se que a fluorquinolona mais estudada foi o ciprofloxacino, os processos oxidativos mais utilizados foram os processos UV e os híbridos, porém o processo que se mostrou mais eficiente nas pesquisas foi o que utiliza persulfato. Nos últimos anos, a utilização de sulfato e a produção de nanopartículas são a nova linha de pesquisa dos processos oxidativos avançados, e que de fato, apresentam melhores taxas de remoção e degradação.

PALAVRAS-CHAVES: Antibióticos, fluorquinolonas, processos oxidativos avançados, poluentes ambientais, tratamento de efluentes.

ABSTRACT

Technological advances in the pharmaceutical area bring with it some disadvantages, such as, for example, the production of chemical residues, both in the industrial activity and in the human being, after consumption. Advanced oxidative processes are technologies based on the combination of physical and chemical processes capable of altering the chemical structures of contaminants, organic and / or inorganic compounds, and inactivating microorganisms. The objective of this work is to evaluate the literature regarding the use of advanced oxidative processes in the degradation of fluoroquinolones. It is a narrative review and the selection of articles was carried out based on the portal of Capes journals, on the inclusion criteria: scientific productions available in full texts dealing with the theme of advanced oxidative processes in the degradation of fluoroquinolones; scientific productions available in the form of an original article; scientific productions available in the English language. And exclusion criteria: articles that do not address the topic relevant to the scope of the research; Articles that do not include advanced oxidative processes as a form of treatment; Articles addressing case study; Articles that are in a literature review format; Articles found repeatedly. 26 articles were selected and among them it was noted that the most studied fluorquinolone was ciprofloxacin, the most used oxidative processes were the UV and hybrid processes, but the process that proved to be most efficient in research was the one that uses persulfate. In recent years, the use of sulfate and the production of nanoparticles are the new line of research on advanced oxidative processes, and which, in fact, have better rates of removal and degradation.

KEYWORDS: Antibiotics, fluoroquinolones, advanced oxidative processes, environmental pollutants, effluent treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química da quinolona.....	17
Figura 2: Tipos de revisão de literatura.	23
Figura 3: Caracterização dos processos oxidativos avançados mais utilizados na degradação das fluorquinolonas.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos Processos Oxidativos Avançados.....	21
Tabela 2: - Caracterização dos estudos da revisão narrativa segundo os autores, ano de publicação, título do artigo e a influência a utilização de processos oxidativos avançados na degradação de fluoroquinolonas.....	25

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	21
Equação 2	21
Equação 3	21

LISTA DE ABREVIACÕES

CG: Cromatografia Gasosa

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

COT: Carbono Orgânico Total

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

OD: Oxigênio Dissolvido

POAs: Processos Oxidativos Avançados

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

UV: Ultra Violeta

ANVISA: Agencia Nacional de Vigilância Sanitária

FDA: Food and Drug Administration (Agência federal do departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos)

RDC: Resolução da Diretoria Colegiada

PGRSS: Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DeCS: Descritores em Ciências da Saúde

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1.	PROBLEMATIZAÇÃO	11
1.2.	JUSTIFICATIVA	12
1.3.	HIPOTESES	13
1.4.	OBJETIVOS	14
1.4.1.	Objetivo geral	14
1.4.2.	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1.	POLUENTES EMERGENTES	15
2.2.	FÁRMACOS RESIDUAIS	15
2.3.	FLUORQUINOLONAS	16
2.4.	LEGISLAÇÕES	18
2.5.	TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ETES E ETA	19
2.6.	PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS	20
3	CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS	23
3.1.	TIPO DE PESQUISA	23
3.2.	PESQUISA NA LITERATURA CIENTÍFICA	24
3.3.	CATEGORIZAÇÃO DOS ESTUDOS	24
3.4.	AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO NARRATIVA	24
4	RESULTADOS E DISCURSÕES	25
4.1.	A FLUORQUINOLONA MAIS ESTUDADA	37
4.2.	OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS MAIS UTILIZADOS	38
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMATIZAÇÃO

O crescimento populacional ligado à busca incessável pela comodidade e pela qualidade de vida, acarretaram no desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias destinadas a esse fim. Destaca-se, dentre elas, a área farmacêutica no que refere-se ao desenvolvimento de novas drogas cada vez mais potentes e de baixo custo, dispondo ao consumidor novas substâncias químicas, matérias e produtos (WALSH et al, 2012).

Essa ascensão tecnológica em contra partida traz consigo alguns pontos negativos ao meio ambiente, principalmente quando não é levado em consideração o acúmulo de rejeitos tóxicos sem tratamentos adequados, que na maioria das vezes tem como destino final os recursos hídricos tornando a poluição química um fato crescente neste habitat (NASCIMENTO et al, 2015).

Tendo em vista que a água é um recurso natural imprescindível a uma enorme gama de atividades humanas, como, por exemplo, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica, as atividades de lazer e recreação e a preservação da vida aquática, questões relacionadas a qualidade desta tem sido cada vez mais discutidas e avaliadas, quer seja para o seu reuso, quer seja para o descarte apropriado após um tratamento adequado. (MELO et al, 2009).

Para Araújo et al (2016), o descarte incorreto de efluentes industriais e águas residuais no meio ambiente causa preocupação pública e ainda possíveis sanções legais, de acordo com a legislação vigente. Além do mais, este problema caracteriza um importante desafio técnico para a comunidade científica envolvida na resolução de problemas ambientais.

Silva e Collins (2011) descrevem poluentes orgânicos emergentes como qualquer composto químico presente numa variedade de produtos comerciais como medicamentos, embalagens em geral, produtos de higiene, agrotóxicos e ainda qualquer microorganismo encontrado em matrizes ambientais e biológicas, que não são usualmente monitorados ou que ainda não possuem legislação regulatória correspondente, mas que apresentam risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente.

Ueda et al (2009) frisa que é importante lembrar que muitos medicamentos causam impacto ambiental mesmo quando utilizados, pois cerca de 50% a 90% dos

seus componentes são excretados pelas fezes e urina sem sofrer quaisquer alterações e persistem no meio ambiente.

O uso incontrolado de antibióticos acarreta sérios problemas ambientais como a contaminação dos recursos hídricos e o fato de que alguns microrganismos desenvolvem resistência a tais fármacos, ou seja, uma bactéria presente no rio que contenha traços de antibióticos pode adquirir resistências a essas substâncias (OLIVEIRA E MUNARETTO, 2010).

Para Boucenna et al (2019), é muito importante desenvolver processos eficientes e ecológicos para eliminar esses produtos da água. Recentemente foram descobertas tecnologias com essas características, chamadas de Processos Oxidativos Avançados (POAs). Essas tecnologias são baseadas na produção e geração de radicais hidroxilas (OH^{\bullet}), considerados espécies altamente oxidantes, que reagem de maneira não seletiva aos compostos orgânicos mais persistentes e convertendo-os em dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e produtos finais biodegradáveis.

Diante do que foi visto na literatura a respeito da importância dos processos oxidativos avançados, esse trabalho busca responder ao seguinte questionamento: Quais os processos oxidativos avançados encontrados na literatura que foram mais utilizados na degradação da classe de antibióticos fluorquinolonas?

1.2. JUSTIFICATIVA

A maioria das estações de tratamento de água (ETAs) utilizam sistemas de tratamento convencionais para a remoção de resíduos, entretanto esses sistemas podem não remover efetivamente os contaminantes emergentes devido a sua baixa biodegradabilidade, mostrando a deficiência na remoção desses compostos (FREITAS, 2018).

Para Brandit et al (2013) fica evidente que embora boa parte das águas residuais receba algum tipo de tratamento antes do seu despejo nos corpos receptores, muitas vezes esse processo é insuficiente, pois em sua maioria, as estações de tratamento de águas residuais foram inicialmente projetadas apenas para a remoção de matéria orgânica e dissolvida, especialmente de gorduras e nutrientes.

A principal fonte de entrada dessas substâncias no meio são principalmente as águas residuais não tratadas e os efluentes procedentes de estações de esgoto de águas residuais que não estão atualmente desenhadas para tratar esse tipo de

substância. Ele ainda relata que, a tecnologia necessária para evitar a presença desses poluentes nos recursos hídricos existe e é cada dia mais eficiente (NASCIMENTO, 2015).

O aperfeiçoamento dessas tecnologias de tratamento de efluentes é um campo de pesquisa em ascensão, desta forma, os processos oxidativos avançados (POAs) tem se destacado como uma alternativa eficaz na degradação de poluentes emergentes presentes em esgotos e águas residuais, por se tratar de métodos químicos eficientes que reduzem os impactos ambientais (ARAÚJO et al, 2014).

Esses impactos ambientais quando não são reduzidos, podem causar uma série de problemas aos seres humanos e aos animais, como por exemplo a redução da quantidade de esperma em homens e a feminização de peixes machos, além de vários tipos de câncer (SOUZA, 2016).

Nesta perspectiva, os processos oxidativos avançados surgem como uma possibilidade promissora no tratamento de efluentes contendo essa classe de contaminantes emergentes a exemplo da classe de fármacos chamada de fluorquinolonas (QUITAIKI, 2018).

1.3. HIPOTHESES

H1: É possível avaliar na literatura quais os processos oxidativos avançados mais utilizados, mais eficientes e a fluorquinolona mais utilizada para objeto de estudo.

H0: Não é possível avaliar na literatura quais os processos oxidativos avançados mais utilizados, mais eficientes e a fluorquinolona mais utilizada para objeto de estudo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo geral

Avaliar a literatura no tocante a utilização de processos oxidativos avançados na degradação de fluorquinolonas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Avaliar quais as fluorquinolonas mais utilizadas nos últimos anos para objeto de estudo;
- Avaliar quais os processos oxidativos avançados mais utilizados na degradação das fluorquinolonas nos últimos anos;
- Investigar qual o processo oxidativo avançado mais eficiente para a degradação das fluorquinolonas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. POLUENTES EMERGENTES

Segundo Nascimento et al. (2015), os poluentes emergentes são classificados como grupos de substâncias, de origem natural ou sintética, que fazem parte de uma classe de compostos novos ainda sem regulamentação e, devido a isso, não exigem monitoramento ou relatórios sanitários acusando a sua presença nos esgotos ou na água de consumo. São encontrados em baixas concentrações no meio ambiente, e podem aparecer no mesmo pela própria excreção humana e animal.

Os poluentes emergentes começaram a ser estudados na década de 80 e desde então, já alertaram sobre o possível risco tóxico, mesmo quando se apresentam em baixas concentrações. Com a evolução tecnológica de metodologias e equipamentos, foi possível alcançar níveis de detecção em $\eta\text{g L}^{-1}$ e pg L^{-1} (FONSECA, 2013).

Quando relacionado com sua origem, existem mais de 20 classes de poluentes emergentes e as que mais se destacam são: farmacêutica, pesticida, subprodutos de desinfecção, preservação de madeira e produtos químicos industriais. Eles podem ser liberados de fontes pontuais de poluição (estações de tratamento de águas residuais) ou de fontes difusas (produção agrícola e animal) (GEISSEN et al, 2015).

Os contaminantes emergentes estão distribuídos nos mais diversos compartimentos ambientais como solos, sedimentos, águas superficiais e subterrâneas e provém predominantemente de fontes antrópicas (FERREIRA, 2015).

Nos últimos anos, centenas de substâncias foram categorizados como poluentes emergentes e estão presentes no meio ambiente, estimulando a comunidade científica a identificar a sua ocorrência nos compartimentos ambientais e procurar entender sua rota de inserção e seu destino no meio ambiente, avaliando a sua toxicidade (GROSSELI, 2016).

2.2. FÁRMACOS RESIDUAIS

Dentre os contaminantes emergentes, os resíduos farmacêuticos merecem atenção por apresentarem potencial de interação com os organismos e que, mesmo em baixíssimas concentrações, podem provocar efeitos nos seres vivos relacionados ao aumento da resistência de microrganismos patogênicos. A introdução destes fármacos no meio ambiente se dá por dois meios, pelo descarte direto da indústria

farmacêutica e pela excreção metabólica dos indivíduos sujeitos a tratamento medicamentoso (JUNIOR et al, 2014).

Desde a década de 70, nos Estados Unidos da América (EUA), a população científica tem tomado conhecimento da presença de produtos farmacêuticos no ambiente, onde se verificou que o ácido clofíbrico, metabólito ativo do clofibrato, estava presente em águas residuais (JEANTON et al., 2014 apud FREITAS, 2018).

Alguns efeitos negativos estão associados à exposição de diversas espécies aos poluentes emergentes, principalmente compostos farmacêuticos, como por exemplo a diminuição na eclosão de ovos de pássaros, peixes e tartarugas, feminização de peixes machos, problemas no sistema reprodutivo de peixes, répteis, pássaros e mamíferos e alterações no sistema imunológico de mamíferos marinhos. Os efeitos nos seres humanos podem incluir a redução da quantidade de esperma, o aumento da incidência de câncer de mama, de testículo e de próstata e a endometriose (SOUZA, 2016).

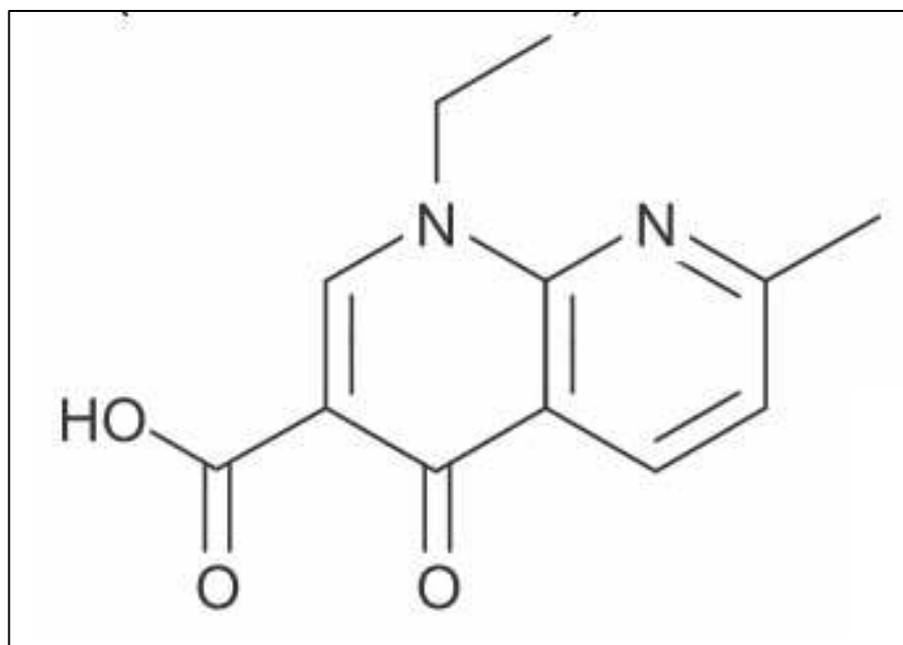
As estações de tratamento de esgotos (ETEs) têm sido apontadas como as principais fontes de produtos farmacêuticos para o meio ambiente, porém fontes como indústrias farmacêuticas e produtos veterinários vindos de resíduos de fazendas também contribuem significativamente para essa contaminação que está associada com o grande consumo desses produtos por parte da população (KRAMER, 2016).

Para Posser (2016), a presença de fármacos residuais no meio aquático representa um grave problema ambiental, pois esses compostos estão presentes em concentrações muito pequenas, exigindo um aparato analítico muito maior para a sua detecção precisa, além do mais, são extremamente resistentes a processos de degradação biológica, escapando intactos de tratamentos convencionais.

2.3. FLUORQUINOLONAS

As fluorquinolonas nada mais são de que uma classe de medicamentos sintéticos que foram desenvolvidas devido a sua capacidade quelante e sua ação antimicrobiana, antituberculose e antitumoral. O ácido nalidíxico foi a primeira quinolona aprovada pela Food and Drug Administration (FDA), em 1963, para o tratamento de infecções urinárias. A estrutura básica de uma quinolona contém um grupo carboxílico na posição 3, e um grupo carbonila na posição 4 (SOUZA, 2011) (Figura 1).

Figura 1: estrutura química da quinolona.



Fonte: Autoria própria.

Freitas (2013) afirma que com o passar dos anos, essa molécula sofreu várias modificações que alteraram a atividade antimicrobiana, a farmacocinética e o espectro de ação contra grupos específicos de microrganismos. Dessa forma, as quinolonas disponíveis para uso clínico foram classificadas em quatro gerações e sua evolução seguiu dois caminhos paralelos, as naftiridinas, que mantiveram o núcleo original do ácido nalidíxico e as fluorquinolonas, que se diferenciam por possuírem um átomo de flúor na posição R-6 e a substituição do nitrogênio por um carbono na posição R-8.

As quinolonas de primeira geração foram as primeiras sintetizadas e não são fluoradas, com exceção da flumequina. A adição de um átomo de flúor na posição R-6 e a substituição do nitrogênio por um carbono na posição R-8 conferiu a segunda geração destes fármacos um aumento na atividade, mostrando-se mais potentes contra bactérias gram-negativas (GOUVEA, 2013).

A terceira geração de moléculas é caracterizada pela presença de uma piperazina alquil-substituído ou pirrolidina na posição 7 e de um metoxi na posição 8. A quarta geração tem a garenoxacina como seu primeiro representante, esse composto não apresenta o flúor na posição 6 e é denominado des-fluorquinolonas (MARTINS, 2011).

2.4. LEGISLAÇÕES

O Art. 225, no capítulo VI da Constituição da República Federativa do Brasil, define que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

A classificação dos corpos d’água no Brasil é realizada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que constitui normas, critérios e padrões relativos ao controle e manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, dentre estes os recursos hídricos (FAGUNDES et al, 2016)

A Resolução CONAMA 358/2005, complementada anos à frente pela Resolução 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, classificando as águas em treze classes. Segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes as águas doces e salobras podem ser subdivididas em cinco classes, e as salinas em quatro classes (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA 430/2011, explana que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. De acordo com Artigo 27º, as fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e à melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, deve-se proceder a reutilização (BRASIL, 2011).

No Brasil, a principal norma sobre o tema é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010), de caráter geral, seguida pela Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) RDC 222/2018 que regulamenta as boas práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (GRSS), com foco principal nas condutas intra–estabelecimento de saúde (LIMA et al, 2020).

A RDC nº 222/2018 determina que todo serviço gerador de resíduos de serviços de saúde deve elaborar um PGRSS, o que inclui as instituições de ensino e pesquisa na área de saúde, observando as regulamentações federais, estaduais,

municipais ou do Distrito Federal. A Resolução também estabelece que o PGRSS deve ser monitorado e mantido atualizado regularmente pelo responsável por sua elaboração e implantação (Anvisa, 2018).

O aumento da conscientização e a necessidade de cuidar dos recursos naturais está motivando esforços para que os problemas causados pela contaminação fossem diminuídos. As legislações mais restritivas, que visam reduzir a quantidade e toxicidade das emissões; reciclagem e reuso de resíduos; a adaptação e otimização de processos de produção e; substituição de matérias-primas tóxicas são exemplos a ser citados. Deste modo, torna-se importante a utilização de métodos de tratamento de efluentes e a recuperação de ambientes já contaminados, que satisfaçam às restrições estabelecidas (CORRÊA, 2017).

2.5. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ETES E ETA

Os processos de tratamento de ETES e ETA podem ser qualificados de acordo com os fenômenos de remoção ou transformação e ainda pelo grau de eficiência alcançado por um ou mais dispositivos de tratamento (CHIES, 2016). No tocante a classificação com base no grau de eficiência de acordo com Silva e Eyng (2013) são discriminados da seguinte forma:

- Processos preliminares: Resume-se na remoção de sólidos grosseiros, de gorduras e de areia.

- Processos primários: processos físicos, os quais envolvem fenômeno da natureza física em seu funcionamento e concepção, sendo os mais utilizados: peneiramento, caixa de areia, gradeamento, caixa de gordura, equalização, filtração e sedimentação.

- Processos Secundários: processos de reações bioquímicas, tornando-se responsável pela remediação de determinado resíduo, tendo como forma mais comum: a lagoa de estabilização, reator de lodos, biodigestores e filtro biológico.

- Processos terciários: processos físico-químicos, onde para proporcionar o tratamento desejado, desencadeiam-se reações de natureza não biológicas. São eles: precipitação, flotação, absorção, floculação/coagulação, processos oxidativos e filtração por membranas.

- A remoção de contaminantes presentes em efluentes industriais se dá através de métodos físicos, químicos e biológicos envolvendo processos e operações unitárias de natureza física, química e biológica, utilizadas isoladamente ou em uma multiplicidade de combinações (CAVALVANTI, 2009 apud TEIXEIRA, 2017).

Deste modo, Stein (2012) designa as técnicas como:

- Processos Físicos: São os processos em que há predominância dos fenômenos físicos de um sistema ou dispositivo de tratamento. Basicamente, têm por função a remoção das substâncias em suspensão no esgoto (sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis e remoção de sólidos flutuantes).

- Processos Biológicos: São considerados processos biológicos de tratamento de esgotos os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos, procurando reproduzir, em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos observados na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis.

- Processos Químicos: São os processos em que há a utilização de produtos químicos, sendo raramente adotados isoladamente. Em geral, este processo é utilizado quando o emprego de processos físicos e biológicos não atendem, ou não atuam eficientemente nas características que se deseja reduzir ou remover, ou pode ter sua eficiência melhorada.

2.6. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

O constante interesse da comunidade científica na busca por soluções eficientes e economicamente viáveis no que diz respeito ao tratamento dos resíduos orgânicos tóxicos e recalcitrantes tem despertado grande interesse pelo estudo dos processos oxidativos avançados (POA), os quais estão associados à geração do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$). Esses processos caracterizam-se, entre outros fatores, por apresentarem elevada velocidade de reação, podendo subsidiar ou substituir processos convencionais que não satisfaçam às exigências de limites de tempo (DALBOSCO, 2012).

Processos oxidativos avançados são tecnologias baseadas na combinação de processos físicos e químicos capazes de alterar as estruturas químicas dos contaminantes, compostos orgânicos e/ou inorgânicos, e inativar os microrganismos.

O radical hidroxila gerado neste processo se caracteriza por ser altamente oxidante e não seletivo (GUIMARÃES, 2013).

Silva (2015) afirma que há três mecanismos gerais por onde ocorrem a oxidação de um composto orgânico: a remoção de hidrogênio, a transferência de elétrons e a adição de radical a uma ligação insaturada e. Segundo Posser (2016), esses mecanismos são caracterizados como:

- Abstração de átomos de hidrogênio - Radicais hidroxila formados são capazes de oxidar compostos orgânicos por abstração de hidrogênio, gerando radicais orgânicos (equação 1). A reação por abstração de hidrogênio ocorre geralmente com hidrocarbonetos alifáticos.



- Adição eletrofílica - Adição eletrofílica do radical hidroxila ocorre em compostos que contêm ligações π e resulta na formação de radicais orgânicos (equação 2). Esse mecanismo ocorre, geralmente, com hidrocarbonetos insaturados ou aromáticos.



- Transferência eletrônica – A reação de transferência eletrônica, ocorre quando os mecanismos adição eletrofílica e abstração de hidrogênio são desfavorecidos, como no caso de hidrocarbonetos clorados (equação 3).



Os processos oxidativos avançados comuns são divididos em sistemas homogêneos (tabela 1), onde o composto e o reagente estão na mesma fase, e heterogêneo, o composto e o reagente estão em fases diferentes, o que acontece bastante com o emprego de catalisadores sólidos, com ou sem o emprego de radiação (luz ultravioleta - UV) (BARROS, 2014).

Tabela 1: Classificação dos Processos Oxidativos Avançados.

Processos oxidativos avançados	Homogêneo	O^3/UV	Processos com irradiação	
		H_2O_2/UV		
		$F^{2+}/H_2O_2/UV$		
			$O_3/H_2O_2/UV$	Processos sem irradiação
		O_3/H_2O_2		
		O_3/HO^-		
			F^{2+}/H_2O_2	
		Heterogêneo	TiO_2/UV	Processos com irradiação
			$TiO_2/H_2O_2/UV$	
	Eletro-Fenton		Processos sem irradiação	

Fonte: SILVA 2015.

De acordo com Oliveira (2015), todos os POAs têm em comum a geração do radical hidroxila como um forte agente oxidante. Porém as reações de geração ocorrem de maneiras diferentes e alguns processos se apresentam mais eficientes que outros, devido a maior geração destes radicais.

Os POA apresentam vantagens quanto a sua utilização e algumas delas são:

- Mineralização de micro poluentes em baixas concentrações;
- Tendência a não formação de produtos de degradação se utilizado oxidante suficiente, ou a formação desses compostos em baixas concentrações;
- Degradação de compostos a fim de transformá-los em biodegradáveis, ou reduzir a toxicidade;
- Possuir um forte poder oxidante;
- Melhorar as qualidades organolépticas da água.

Nas reações de degradação envolvendo os POAs ocorre não apenas o desaparecimento dos contaminantes principais, mais a conversão de carbono orgânico para o inorgânico, para isso, é necessária assegurar a eficácia do processo, monitorando-o com análises e conferindo a degradação completa. O monitoramento pode ser feito pela determinação da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono orgânico total (COT), oxigênio dissolvido (OD), cromatografia gasosa (CG), entre outros (VIEIRA, 2006).

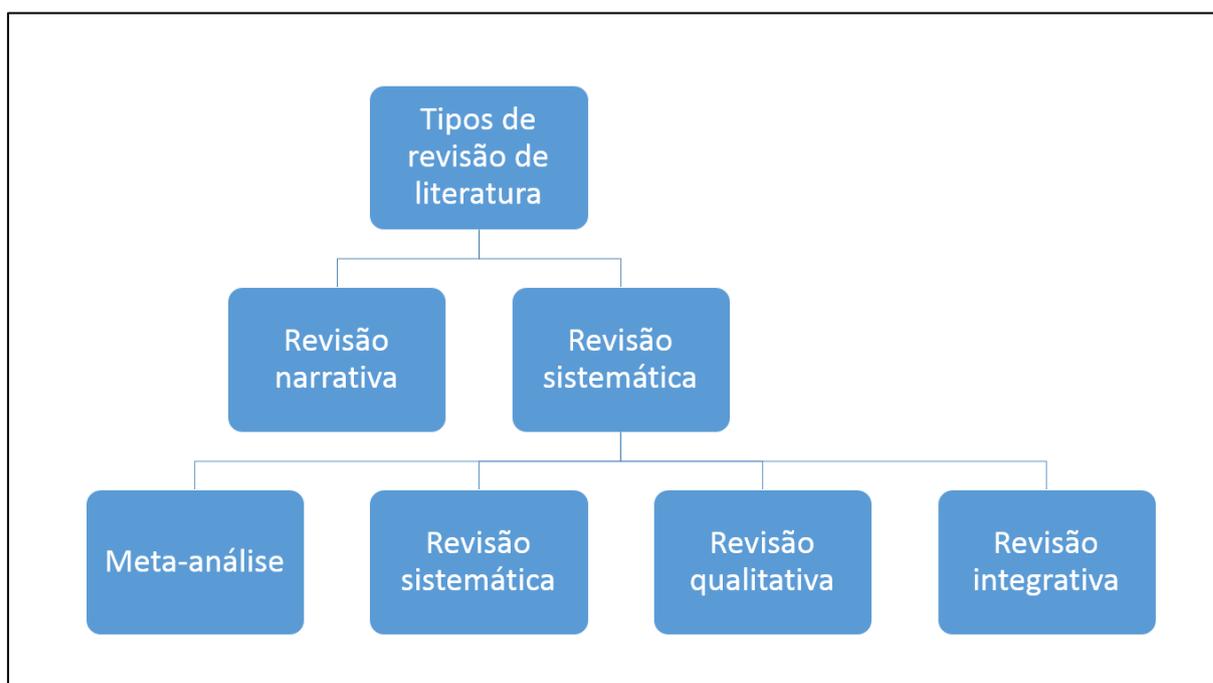
3 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

3.1. TIPO DE PESQUISA

Trata-se de uma revisão narrativa. Para Mariano e Santos (2017) a revisão da literatura é responsável por traçar um panorama da literatura profundo a respeito do tema escolhido, apresentando as principais abordagens e o corpus da teoria acumulada sobre uma temática. Ferenhof e Fernandes (2016) afirmam que a revisão da literatura serve para reconhecer a unidade e a diversidade interpretativa existente no eixo temático em que se insere o problema em estudo, para ampliar, ramificar a análise interpretativa, bem como para compor as abstrações e sínteses que qualquer pesquisa requer, colaborando para a coerência nas argumentações do pesquisador.

Existem duas categorias de artigos de revisão, que apesar de serem denominadas assim, possuem características e objetivos diferentes: as revisões narrativas e as revisões sistemáticas, esta última se subdivide em quatro outros métodos: meta-análise, revisão sistemática, revisão qualitativa e revisão integrativa (Figura 2) (ROTHER, 2007).

Figura 2: Tipos de revisão de literatura.



Fonte: Própria.

A revisão narrativa é utilizada para descrever o estado da arte de um assunto específico, sob o ponto de vista teórico ou contextual. Esse tipo de revisão constitui-se, basicamente, da análise da literatura, da interpretação e análise crítica pessoal do pesquisador. A revisão narrativa possibilita a aquisição e atualização de conhecimento sobre um determinado tema em curto período de tempo; no entanto, não possui metodologia que viabilize a reprodução dos dados e nem traz respostas quantitativas para determinados questionamentos (BOTELHO et al, 2011).

3.2. PESQUISA NA LITERATURA CIENTÍFICA

A seleção dos artigos foi realizada com base no portal de periódicos Capes, sendo selecionados estudos realizados entre os anos de 2015 a 2020. Durante a busca foram usados os descritores: antibiotics, fluoroquinolones, pollutants, environmental, industrial effluent treatment, encontrados nos Descritores em Ciências da Saúde - DeCS.

A busca pelos artigos aconteceu nos meses de dezembro de 2019 a fevereiro de 2020, conforme os seguintes critérios de inclusão: produções científicas disponíveis em textos completos que versem sobre a temática atuação dos processos oxidativos avançados na degradação das fluorquinolonas; produções científicas disponíveis em forma de artigo original; produções científicas disponíveis no idioma inglês.

Foram excluídos os artigos que não abordam a temática relevante para o alcance da pesquisa; artigos que não englobam processos oxidativos avançados como forma de tratamento; artigos que abordam estudo de caso; artigos que estão em formato de revisão de literatura; artigos encontrados repetidamente;

3.3. CATEGORIZAÇÃO DOS ESTUDOS

As informações extraídas dos artigos selecionados de acordo com os autores, ano de publicação, título, e com as informações relacionadas ao estudo.

3.4. AVALIAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO NARRATIVA

Foram realizadas buscas iniciais pelos títulos dos artigos que respondiam aos descritores adotados, e selecionados aqueles que estavam de acordo com a temática.

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

Nesta pesquisa, foram encontrados um total de 75 artigos, que após um processo de triagem a partir da leitura do título e do resumo, foram selecionados 26 artigos que obedecem os critérios de inclusão e exclusão.

Os resultados do presente estudo serão apresentados descritivamente, segundo os autores correspondentes a cada artigo analisado, ano de publicação, título do estudo e o aspecto relacionado com a utilização de processos oxidativos avançados na degradação de fluoroquinolonas, conforme demonstrado na tabela 02.

Tabela 2: - Caracterização dos estudos da revisão narrativa segundo os autores, ano de publicação, título do artigo e a influência a utilização de processos oxidativos avançados na degradação de fluoroquinolonas.

AUTORES	ANO DE PUBLICAÇÃO	TÍTULO DO ARTIGO	UTILIZAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE FLUOROQUINOLONAS
CHENG, X. et al.,	2020	Persulfato heterogeneamente catalisado com carvão ativado revestido com hidróxido duplo em camada de CoFe (AC@CoFe-LDH) para a degradação da lomefloxacina.	Os resultados desses estudos mostraram que os nanocompósitos (AC@CoFe-LDH) exibiram uma atividade muito alta para a ativação do persulfato, onde 93,2% da lomefloxacina poderia ser removido em 60 min.
Jiang, J. et al.,	2020	Estudo do mecanismo de degradação de fluoroquinolonas em UV/	Nesse trabalho, o processo de degradação foi monitorado <i>in situ</i> e em tempo real por espectrometria de massa

		Fe ₂₊ /peroxidissulfato por espectrometria de massa on-line.	por ionização e por pulverização de gotas assistida por iluminação. Comparado com o processo de fotólise, a desfluoração dos fluorquinolonas não foi observada neste sistema.
ALSULTAN, N. et al.,	2019	Oxidação de flumequina em solução aquosa por peroximonossulfato ativado por UV: cinética, efeitos na matriz de água, produtos de degradação e vias de reação.	Esse artigo aborda a degradação da flumequina, que sob condições específicas, teve sua remoção completa após 60 min. Observou-se que quanto maior a dosagem, e menor o ph, maior a degradação e que essa tecnologia é viável para o tratamento de flumequina em águas e águas residuais.
COULIBALY, G. N. et al.,	2019	Remoção aprimorada de antibióticos em águas residuais hospitalares pela oxidação de persulfato ativada por FeZnO.	Esse estudo visou a degradação de flumequina e ciprofloxacino utilizando óxido de zinco dopado com Fe (Fe – ZnO) e irradiação com UV-A. Seu resultado nos mostra que a adição de uma baixa concentração de persulfato melhorou consideravelmente a extensão da degradação e que os constituintes presentes nas águas

			residuais afetaram a remoção.
IAKOVIDES, I. C. et al.,	2019	Ozonização contínua de águas residuais urbanas: remoção de antibióticos, genes de resistência a antibióticos de <i>Escherichia coli</i> e resistência a antibióticos e fitotoxicidade.	Este trabalho avaliou a remoção de uma mistura de oito antibióticos das águas residuais urbanas, por ozonização operada em modo contínuo em diferentes tempos de retenção hidráulica e doses específicas de ozônio. Como esperado, a eficiência da ozonização foi altamente dependente da dose e do tempo de contato com o ozônio. A remoção dos compostos originais dos antibióticos foi alcançada em 40 min.
ZUSSBLATT, N. P. et al.,	2019	Avaliação de tratamentos fotoassistidos para remoção de norfloxacina em água usando materiais mesoporosos de $Fe_2O_3-TiO_2$.	Esse trabalho utilizou dois mesoporosos, o TiO_2 e o $Fe_2O_3-TiO_2$ na degradação de norfloxacina, com isso observou-se que a carga de ferro melhorou a atividade fotocatalítica para degradação da norfloxacina, observando uma remoção de 90% em 120 min.
SUN, Y. et al.,	2019	Degradação de antibióticos por processos baseados em UV-	Neste trabalho, a degradação da cefalexina, norfloxacina e ofloxacina foi examinada através de

		vácuo modificados: consequências mecanicistas de H_2O_2 e $K_2S_2O_8$ na presença de íons halogenetos.	vários processos avançados de oxidação (POAs). Observou-se que tanto o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) quanto o persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$) ajudaram o processo UV/VUV a melhorar significativamente a degradação das fluoroquinolonas, sendo quase 100% em 3 minutos.
ATA, R. et al.,	2019	Caracterização e remoção de resíduos de antibióticos por oxidação fotocatalítica dopada com NFC de águas residuais secundárias domésticas e industriais na bacia do Meric-Ergene e avaliação de reutilização para irrigação	Esse estudo utilizou, para a oxidação fotocatalítica, um fotocatalisador de dióxido de titânio dopado com NFC (nitrogênio-flúor-carbono), que nunca foi estudado na literatura antes. Por meio de experimentação, descobriu-se que com 7 horas, além de aproximadamente 62% a 79% de remoção de DQO e 62% a 86% de TOC, foi fornecida a remoção de 99 a% 100% de resíduos de antibióticos.
CHEN, Y. et al.,	2019	Degradação da ciprofloxacina pelo ultravioleta a vácuo de 185/254 nm: cinética,	Esse estudo selecionou a ciprofloxacina como representante das fluoroquinolonas, e o modo de tratamento utilizado foi o

		mecanismo e toxicologia.	ultravioleta a vácuo. Os subprodutos gerados se mostraram menos tóxicos que o produto inicial, porém o ph variável e os ânions orgânicos naturais afetaram a eficiência de degradação, contudo esse método de tratamento será uma promessa para remover o ciprofloxacino da água.
DENG, J. et al.,	2019	Degradação do ciprofloxacino no processo de oxidação avançada por UV/cloro: fatores, mecanismos e vias de degradação.	Neste estudo, a degradação do ciprofloxacino no processo UV/cloro (POAs) foi investigada. Apenas 41,2% do ciprofloxacino foi degradado por fotólise UV e 30,5% por cloração escura em 30 minutos, enquanto 98,5% do ciprofloxacino foi degradado pelo processo UV/cloro em 9 minutos.
PIRSAHEB, M. et al.,	2019	Um novo composto de ferro nano zero-valente encapsulado em pontos de carbono para remoção oxidativa de antibióticos bio-refratários da água.	Neste artigo foi utilizado uma metodologia experimental de projeto e superfície de resposta, em condições ótimas de processo e tempo de 60min, um desempenho catalítico superior dos compósitos foi confirmado pela remoção da taxa de amoxicilina e

			ciprofloxacino igual a 90% e 51%, respectivamente.
WACHTER, N. et al.,	2019	Otimização do processo de degradação eletroquímica do antibiótico ciprofloxacino usando um ânodo β -PbO ₂ de dupla face em um reator de fluxo: cinética, identificação de intermediários de oxidação e avaliação de toxicidade.	Nessa pesquisa, a degradação eletroquímica do ciprofloxacino foi estudada. Os resultados mostraram que o ciprofloxacino foi removido dentro de 2 horas, enquanto em torno de 75% da concentração total de carbono orgânico foi removida após 5 horas e, em seguida, a solução deixou de apresentar atividade antimicrobiana.
RICHARD R. et al.,	2018	Aprimoramento da degradação da ciprofloxacina em sistema aquoso por ozonização catalítica heterogênea.	Este estudo avaliou a aplicação de ozonização catalítica heterogênea para eliminar o ciprofloxacino. Foram testados dois tipos de ozonização e os estudos mostraram que o melhor resultado aparece quando a ozonização é feita em duas etapas, na primeira etapa, é aplicada uma ozonização instantânea e em seguida, uma etapa de ozonização catalítica é conduzida, adicionando o catalisador

			Fe/MFI ao reator, levando a 52% da remoção do TOC.
ZHOU, Y. et al,.	2018	Mecanismo sinérgico baseado na estrutura para a degradação de antibióticos no processo eletro-Fenton usando catalisador modelo Pd-Fe ₃ O ₄ : estudo teórico e experimental.	Esse estudo avaliou a degradação oxidativa dos antibióticos levofloxacino e trimetoprima. O uso de Pd-Fe ₃ O ₄ em vez de Fe ₃ O ₄ mostrou superioridade evidente para a degradação do levofloxacino, enquanto praticamente inalterado para a trimetoprima. Além disso, a redução total de carbono orgânico após 8 h de tratamento confirmou a superioridade do Pd-Fe ₃ O ₄ em atingir a mineralização quase completa do levofloxacino.
WANGA, F. et al,.	2018	Degradação fotocatalítica de antibióticos da fluoroquinolona usando g-C ₃ N ₄ mesoporoso ordenado sob irradiação simulada da luz solar: cinética, mecanismo e eliminação da atividade antibacteriana.	Neste estudo, a cinética de degradação fotocatalítica e o mecanismo do ciprofloxacino foram investigados no mesoporoso ordenado g-C ₃ N ₄ (ompg-C ₃ N ₄). A degradação fotocatalítica suficiente do ciprofloxacino na água ambiente revelou que um processo fotocatalítico ompg-C ₃ N ₄ movido à luz do sol pode ser aplicado eficientemente

			para a remediação de águas naturais contaminadas pelo ciprofloxacino.
ZHANG, L. et al.,	2018	Remoção aprimorada de fósforo e ciprofloxacino em um sistema BAF modificado, configurando a micro eletrólise Fe-C: Investigação sobre mecanismos de remoção e degradação de poluentes.	Nesse estudo, um micro-eletrólise Fe-C configurada com filtro aerado biológico modificado (BAF) foi aplicada para melhorar a remoção de fósforo e ciprofloxacino. As eficiências de remoção da demanda química de oxigênio, amônia, fósforo total e ciprofloxacino atingiram cerca de 95%, 95%, 80% e 85% no processo combinado, respectivamente.
HOFER, F. et al.,	2017	Papel dos ânions sulfato, cloreto e nitrato na degradação de antibióticos fluoroquinolona por foto-eleto-fenton.	Tomando a ciprofloxacina como modelo antibiótico da fluoroquinolona, este trabalho explora o papel dos ânions comuns (sulfato, nitrato e cloreto) durante a aplicação do foto-eleto-fenton (PEF) a pH natural para degradar esse tipo de composto na água. Promovido por ações individuais e sinérgicas desse processo, o sistema foto-eleto-fenton leva a

			<p>uma completa eliminação do ciprofloxacino, com a remoção total da atividade antibiótica contra <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i> e mineralização significativa.</p>
<p>SERNA-GALVIS, E. A.</p>	<p>2017</p>	<p>Tratamento eletroquímico de antibióticos penicilina, cefalosporina e fluoroquinolona via cloro ativo: avaliação da atividade antimicrobiana, toxicidade, matriz e sua correlação com as vias de degradação.</p>	<p>Neste trabalho, seis antibióticos altamente utilizados pertencentes a três classes diferentes (penicilinas, cefalosporinas e fluoroquinolonas) foram tratados usando um sistema eletroquímico com um ânodo Ti/IrO₂ e um cátodo Zr na presença de NaCl. Após apenas 20 minutos de tratamento, o processo diminuiu mais de 90% da concentração inicial de antibióticos, seguindo a ordem de degradação: fluoroquinolonas > penicilinas > cefalosporinas.</p>
<p>DAOUD, F. et al.,</p>	<p>2017</p>	<p>Pré-tratamento de ozônio das águas residuais do processo geradas no decorrer da produção de fluoroquinolona.</p>	<p>Esse estudo mostra o uso de ozonização como complemento no tratamento de águas residuais que contenham antibióticos do grupo fluoroquinolonas, Os resultados obtidos demonstraram que a</p>

			<p>concentração de moxifloxacino e seus metabólitos pode ser efetivamente reduzida (> 99,7%) antes da entrada na água receptora. Pelo contrário, a concentração de ciprofloxacino e seus metabólitos permaneceu muito alta para uma descarga segura, necessitando da aplicação de ozonização prolongada para sua degradação adicional.</p>
<p>NOGUEIRA, A. A. et al.,</p>	<p>2017</p>	<p>Complexos de ferrioxalato como estratégia para conduzir uma reação foto-FENTON em condições de pH moderado: um estudo de caso sobre a oxidação da levofloxacina.</p>	<p>Esse estudo descreve sobre a degradação do levofloxacino por foto-fenton. Os resultados mostraram que os complexos de ferrioxalato exibiram maior fotoatividade na remoção do levofloxacino do que o ferricitrato e o ferrimalato. Ao final, observou-se que a presença de íons fosfato afetou negativamente a taxa de reação.</p>
<p>GUZMAN, P. V. et al.,</p>	<p>2017</p>	<p>Avaliação comparativa de POAs fotoquímicos para</p>	<p>Neste trabalho, a degradação do ciprofloxacino é investigada usando diferentes</p>

		<p>a degradação do ciprofloxacino: eliminação em águas naturais e análise do efeito do pH, subprodutos de degradação primária e a relação com a atividade antibiótica.</p>	<p>processos de oxidação fotoquímicos avançados (POAs). A eliminação do antibiótico foi promovida por todos os processos, sugerindo a formação de subprodutos com caráter não antibiótico.</p>
<p>BEQQAL, N. et al.,</p>	<p>2017</p>	<p>Degradação e mineralização do antibiótico moxifloxacino em meio aquoso pelo processo eletro-Fenton: avaliação cinética e oxidação produtos.</p>	<p>Esse artigo nos fala sobre a oxidação do moxifloxacino pelo processo eletro-Fenton em meio ácido. Os resultados obtidos revelam a eficiência significativa do processo eletro-Fenton na degradação da moxifloxacina na solução aquosa.</p>
<p>JIANG, C. et al.,</p>	<p>2016</p>	<p>Oxidação baseada em radicais de sulfato de antibióticos fluoroquinolona: Cinética, mecanismos e efeitos de matrizes naturais de água.</p>	<p>Neste estudo, a cinética de degradação, os mecanismos e os efeitos de matrizes naturais de água na oxidação de persulfato ativado por calor de fluorquinolonas foram sistematicamente investigados. Os resultados experimentais demonstraram claramente</p>

			que 92% do ciprofloxacino foi removido dentro de 180 minutos. Esse estudo finalizou mostrando que temperaturas mais altas e pH mais baixo facilitaram a degradação do ciprofloxacino.
SALMA, A. et al.,	2016	Dependência da formação do produto de transformação no pH durante a degradação fotolítica e fotocatalítica da ciprofloxacina.	Este trabalho avaliou a influência do pH na degradação do ciprofloxacino. Percebeu-se claramente que, em condições ácidas, a ciprofloxacina não pode ser facilmente excitada por irradiação UV. Pode-se confirmar que o primeiro passo da reação para ambos os processos de tratamento oxidativo é principalmente a desfloração, seguido pela degradação no anel de piperazina do ciprofloxacino.
EPOLD, I. et al.,	2015	Degradação da levofloxacina em soluções aquosas por Fenton, persulfato ativado por íons ferroso e sistemas	Entre os processos estudados nessa pesquisa, o sistema Fenton apresentou o melhor desempenho tanto na degradação quanto na mineralização do

		combinados de Fenton/persulfato.	levofloxacino, seguido pelo processo de Fenton/persulfato combinado, porém as três técnicas se mostram promissoras para o tratamento de águas residuais e subterrâneas in situ contendo levofloxacino.
SANTOS, L. V. S. et al.,	2015	Degradação de antibióticos norfloxacina por Fenton, UV e UV/H ₂ O ₂ .	Nesse trabalho, foram avaliados os três tipos de processos oxidativos avançados e observou-se que os mais eficientes foram a oxidação de Fenton e UV/H ₂ O ₂ podem ser utilizados para remoção de norfloxacina, atingindo respectivamente taxas de degradação de 100% e 60% e taxas de mineralização de 55% e 32%.

4.1. A FLUORQUINOLONA MAIS ESTUDADA

Com base nesta pesquisa, é possível observar que o antibiótico mais utilizado como objeto de análise é o ciprofloxacino. Para Meyagusku (2014) a sua baixa toxicidade e o seu amplo espectro de ação fazem com que esse fármaco seja bastante utilizado na profilaxia e no tratamento de doenças oculares.

Este fármaco pertence à terceira geração das fluorquinolonas e foi desenvolvido por pesquisadores da Bayer na Alemanha, apresenta amplo espectro mas sua ação é mais eficaz contra bactérias gram-negativas e é muito utilizada em tratamentos de diversos tipos de infecções, geralmente: urinárias, respiratórias, gastrointestinais, pele, ossos e articulações (SOUZA, 2017).

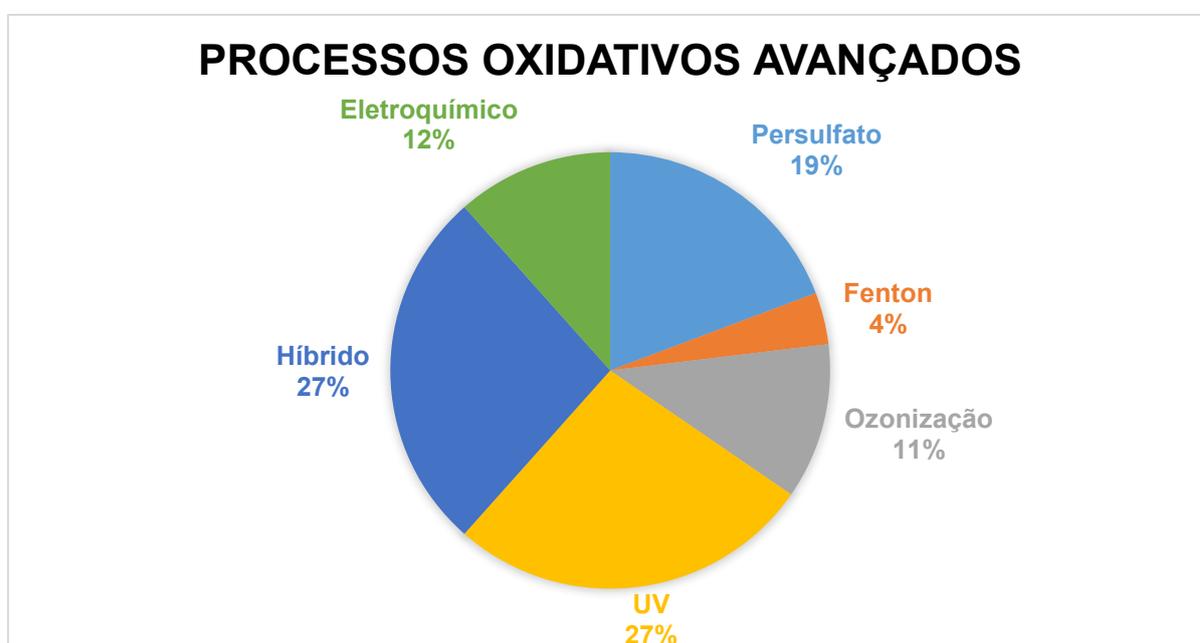
Segundo Almeida (2019) o ciprofloxacino é a fluorquinolona mais amplamente prescrita no mundo, aumentando em 30% seu consumo nos últimos anos, seguida da ofloxacino, e ele apresenta rápida ação bactericida porque afeta as enzimas DNA-girase (topoisomerase II) e topoisomerase IV, impedindo a replicação do DNA e levando a morte celular bacteriana.

Os outros fármacos citados na pesquisa, foram o lomefloxacino, norfloxacino, flumequina, ofloxacino, levofloxacino e moxifloxacino, porém, em um número bem menor que o ciprofloxacino.

4.2. OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS MAIS UTILIZADOS

No que diz respeito aos processos oxidativos avançados, podemos observar que os artigos estudados utilizaram 5 modos de degradação de fármacos através dos POAs, e em alguns, é possível observar que utiliza-se de forma híbrida, dois ou mais processos. Na figura a seguir, podemos observar essa caracterização:

Figura 3: Caracterização dos processos oxidativos avançados mais utilizados na degradação das fluorquinolonas.



Fonte: Autoria própria.

O processo oxidativo avançado Fenton é fundamentado na geração de radicais hidroxila a partir da decomposição de peróxido de hidrogênio catalisada por íons

ferrosos (Fe^{2+}) em meio ácido. Essa reação de Fenton é conhecida desde 1894, quando Henry J. Fenton observou a oxidação do ácido tartárico na presença de H_2O_2 e íons ferrosos. No entanto, relatos na literatura mencionaram que a aplicação do reagente Fenton como processo de oxidação para destruição de compostos orgânicos tóxicos só começou a ser utilizado na década de 60 (BARBOSA, 2012).

No estudo de Pirsaeheb e colaboradores (2019), o único dessa pesquisa que utilizou esse processo, com a introdução do ferro zero valente como fonte de Fe^{2+} , o processo de Fenton foi aprimorado. Nesse caso, após a oxidação do ferro zero valente por prótons através de uma transferência de dois elétrons, o Fe^{2+} é formado e reage com H_2O_2 para gerar $\cdot\text{OH}$.

Três dos artigos estudados usaram a ozonização como processo de degradação dos antibióticos. A ozonização pode ser identificada como um dos métodos mais seguros e mais eficientes de tratamento de água no mundo. Dentre as substâncias químicas, somente o flúor possui um potencial de oxidação maior que o ozônio. Assim, na última década, equipes multidisciplinares, contando com pesquisadores de diversos ramos, têm realizado e publicado estudos sobre a desinfecção de águas e efluentes com ozônio (MOCHI, 2010).

Os processos eletroquímicos de oxidação avançada têm como princípio a geração de um campo elétrico através da aplicação de uma diferença de potencial ou densidade de corrente em uma célula eletrolítica composta por um ou mais pares de eletrodos. O fluxo de cargas gerado é responsável por causar a polarização dos eletrodos, e então, as reações de oxidação passam a ocorrer no ânodo, enquanto que reações de redução acontecem no cátodo (HEBERLE, 2016). Em sistemas convencionais de eletrólise, que fazem uso de eletrodos usuais, não há geração de radicais $\cdot\text{OH}$, portanto com a utilização de materiais especiais pode-se atingir potenciais de descarga da molécula de água sem que haja corrosão e perda de massa, então produzindo $\cdot\text{OH}$ (XAVIER, 2012).

Como mostra a figura 3, processos oxidativos que usam o sulfato (SO_4^{2+}) ficaram na segunda posição. De acordo com Cheng (2020) esse processo recebeu atenção crescente para a decomposição e mineralização de contaminantes refratários, pois em comparação com o radical hidroxila ($\text{HO}\cdot$), o SO_4 possui maior potencial redox, vida útil mais longa e maior seletividade de poluentes em alguns casos. De acordo com estudos anteriores o SO_4 geralmente é obtido pela ativação do persulfato e peroximonosulfato de várias maneiras como calor, luz, pH e catalizadores.

Dentre os processos oxidativos avançados encontrados na literatura, os processos UV e os híbridos são os mais utilizados. Os processos UV em geral consistem na excitação de um semicondutor quando absorve a luz incidente de energia suficiente para gerar pares de elétrons. Esses pares subsequentemente geram radicais livres (por exemplo, radicais hidroxilas) que sofrem reações secundárias contaminantes que levam à sua degradação e, na maioria das vezes, à sua completa mineralização. Nesse sentido, diversas fontes de radiação que apresentam espectros amplos de luz visível UV ou comprimentos de onda discretos podem ser empregados (ZUSSBLATT, 2019).

Para Zanata (2019), os processos híbridos são um tipo de processo oxidativo avançado que mistura os processos fotoquímicos e os processos não fotoquímicos, afim de degradar compostos orgânicos em meio aquoso. Nos artigos deste estudo em que foram usados esses métodos, eles variaram entre UV/Fe²⁺/peroxidissulfato, eletro-Fenton usando catalizador, foto-eletro-Fenton, foto-Fenton, Fenton/persulfato e UV/H₂O₂.

Dos processos oxidativos avançados utilizados nos artigos presentes nesse estudo, observou-se que o processo que apresentou mais eficiência no que diz respeito a degradação e eliminação de antibióticos da classe fluorquinolonas das águas residuais foi o persulfato, apresentando taxas de 92% a 100% de sucesso em seus experimentos.

5 CONCLUSÃO

Os contaminantes emergentes estão cada vez mais presentes no nosso dia-a-dia e a principal forma de contato destes com o meio ambiente são as águas residuais, pois as técnicas de tratamento convencionais se mostram incapazes de removê-los, contaminando assim os recursos hídricos. Os processos oxidativos avançados tem se tornado a alternativa mais segura e eficaz de eliminação dessas substâncias, reduzindo assim os impactos ambientais.

Percebe-se então que, com o passar dos anos, os estudiosos se empenharam cada vez mais para que se chegue em alternativas de POAs cada vez mais eficientes e menos agressivas de degradação de fármacos residuais em meio aquoso, visto que, quando *in situ*, existem vários fatores que por vezes, atrapalham o desempenho de remoção.

A fluorquinolona mais utilizada como objeto de estudo de degradação por processos oxidativos avançados é o ciprofloxacino, o processo oxidativo avançado mais utilizado nesses estudos foram os processos UV e os processos híbridos, quando se utilizam dois ou mais processos, porém o processo que mais se destacou em termos de eficiência de remoção foi o que utiliza persulfato, com taxas de remoção de 92% a 100%.

Nos últimos anos, a utilização de sulfato e a produção de nanopartículas são a nova linha de pesquisa dos processos oxidativos avançados, e que de fato, apresentam melhores taxas de remoção e degradação.

REFERÊNCIAS

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 mai. 2011. p. 89.

ALMEIDA, A. C. **Alguns cocristais de ciprofloxacino: síntese mecanoquímica, caracterização e ensaio de solubilidade**. 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara/SP, 2019.

ALSULTAN, N.; QI, Y.; QU, R.; LIU, J.; CHEN, J.; AL-BASHER, G.; WANG, Z.; HUO, Z. Oxidation of flumequine in aqueous solution by UV-activated peroxymonosulfate: Kinetics, water matrix effects, degradation products and reaction pathways. **Chemosphere**. [S.I.], v. 237, p. 1-10, 2020.

ARAÚJO, K. S.; MALPASS, G. R. P.; URIAS, P. M.; CUNHA, P. C. R. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL BELO HORIZONTE/MG, 2014, Belo Horizonte/MG. **Artigo**. Belo Horizonte/MG: IBEAS, 2014. p. 1-9.

ARAÚJO, R. T.; NASCIMENTO, L. X.; ALVAREZ, L. D.; NOGUERA-OVIEDO, K.; AGA, D. S. Lessons Learned from more than Two Decades of Research on Emerging Contaminants in the Environment. **Journal of Hazardous Materials**, [S.I.], v. 316, pág. 242–251, abr. 2016.

ATA, R.; GÜNAY, Y. T. Characterization and removal of antibiotic residues by NFC-doped photocatalytic oxidation from domestic and industrial secondary treated wastewaters in Meric-Ergene Basin and reuse assessment for irrigation. **Journal of Environmental Management**. [S.I.], v. 233, p. 673-680, 2019.

BARBOSA, I. M. **Degradação de abamectina por processos oxidativos avançados** 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2012.

BARROS, F. C. F. **Processos oxidativos avançados assistidos por microondas aplicados na remoção de pesticidas em meio aquoso**. 2014. 92 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BEQQAL, N.; YAHYA, M. S.; GUESSOUS, A.; ARHOUTANE, M. R.; KACEMI, K. Degradation and mineralization of moxifloxacin antibiotic in aqueous medium by electro-Fenton process: Kinetic assessment and oxidation products. **Cogent Chemistry**. [S.l.], v. 3, p. 1-11, 2017.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M.; o método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Revista eletrônica gestão e sociedade**. [S.l.], v. 5, p. 121-136, 2011.

BOUCENNA, A.; OTURAN, N.; CHABANI, M.; BOUAFIA-CHERGUI, S.; OTURAN, M. A. Degradation of Nystatin in aqueous medium by coupling UV-C irradiation, H₂O₂ photolysis, and photo-Fenton processes. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 26, [n. 22](#), pág. 23149–23161. Agosto – 2019.

BRANDIT, E. M. F.; de QUEIROZ, F. B.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C. A. L. Behaviour of pharmaceuticals and endocrine disrupting chemicals in simplified sewage treatment systems. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 128, p. 718-726, junho - 2013.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

CHEN, Y.; HU, H.; YE, J.; ZHUANG, L.; ZHANG, H.; OU, H. Degradation of ciprofloxacin by 185/254 nm vacuum ultraviolet: kinetics, mechanism and toxicology. **Environmental Science: Water Research & Technology**. [S.l.], v. 5, p.564-576. 2019.

CHENG, X.; MAA, Q.; NENGZIB, L.; LI, B.; WANG, Z.; LIU, L. Heterogeneously catalyzed persulfate with activated carbon coated with CoFe layered double hydroxide (AC@CoFe-LDH) for the degradation of lomefloxacin. **Separation and Purification Technology**, [S.l.], v. 235, p. 1-10, 2020.

CHIES, A. C. **Avaliação de coagulantes a base de ferro na remoção de fósforo total no tratamento de esgoto**. 2016. 51 f. Monografia (Grau de Químico Industrial) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre/RS, 2016.

CORRÊA, C. F. **Degradação do herbicida Atrazina utilizando os processos foto-Fenton solar e Fenton**. 2017. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

COULIBALY, G. N.; BAE, S.; KIM, J.; ASSADI, A. A.; HANNA, K. Enhanced removal of antibiotics in hospital wastewater by FeZnO activated persulfate oxidation. **Environmental Science: Water Research & Technology**, [S.l.], v. 5(12), p. 2193-2201, 2019.

DALBOSCO, S. M. **Degradação de ivermectina por peroxidação, fotólise e processos oxidativos avançados**. 2012. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2012.

DAOUD, F.; PELZER, D.; ZUEHLKE, S.; SPITELLER, M.; KAYSER, O. Ozone pretreatment of process waste water generated in course of fluoroquinolone production. **Chemosphere**. [S.l.], v. 185, p. 953-963, 2017.

DENG, J.; WU, G.; YUAN, S.; ZHAN, X.; WANG, W.; HU, Z. Ciprofloxacin degradation in UV/chlorine advanced oxidation process: Influencing factors, mechanisms and degradation pathways. **Journal of Photochemistry & Photobiology**. [S.l.], v. 371, p.151-158. 2019.

EPOLD, I.; TRAPIDO, M.; DULOVA, N. Degradation of levofloxacin in aqueous solutions by Fenton, ferrous ion-activated persulfate and combined Fenton/persulfate systems. **Chemical Engineering Journal**. [S.l.], v. 279, p. 452-462, 2015.

FAGUNDES, A. K. B.; MENDES, T. A.; PEREIRA, T. S. R.; Classificação preliminar de corpos d'água com base na resolução CONAMA nº 357/2005: Caso do rio Meia Ponte – GO. **Ciência e Natura**, Santa Maria/RS, v.38, n.3, pág. 1382-1393, Set./Dez. 2016.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SSF. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, Florianópolis, SC, v. 21, n. 3, p. 550-563, ago./nov., 2016.

FERREIRA, A. P. **Degradação do fármaco cloridrato de tetraciclina via processos oxidativos avançados**. 2015. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE, 2015.

FONSECA, Y. V. P. **Estudo sobre a ocorrência de poluentes emergentes na água do rio meia ponte na cidade de Goiânia-GO.** 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia/GO, 2013.

FREITAS, D. L. **Análise molecular de resistência a quinolonas e fluorquinolonas em *Escherichia coli* uropatogênica.** 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

FREITAS, Michele Daros. **Análise de contaminantes emergentes no município de Criciúma, SC.** 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma/SC, 2018.

GEISSEN, V.; MOL, H.; KLUMPP, E.; UMLAUF, G.; NADAL, M.; POEG, M.; ZEE, S. E.; RITSEMA, C. J. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research 3.** [S.l.], [v. 3, n. 1](#), pág. 57-651, março - 2015.

GOUVEA, L. R. **Complexos metálicos de fluorquinolonas: síntese, atividade biológica e estudos do mecanismo de ação.** 2013. 128 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

GROSSELI, G. M. **Contaminantes emergentes em estações de tratamento de esgoto aeróbia e anaeróbia.** 2016. 119 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2016.

GUIMARÃES, J. R. Processos Oxidativos Avançados. **Revista TAE**, São Paulo/SP, v. 01, p. 32-36, fev. - 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/5465-noticias>>. Acesso em: 27/11/19.

GUZMAN, P. V.; OPPENHEIMER-BARROT, S.; SILVA-AGREDO, J.; TORRES-PALMA, R. Comparative Evaluation of Photo-Chemical AOPs for Ciprofoxacin Degradation: Elimination in Natural Waters and Analysis of pH Effect, Primary Degradation By-Products, and the Relationship with the Antibiotic Activity. **Water Air Soil Pollut.** [S.l.], v. 228, p. 1-15, 2017.

HEBERLE, Alan Nelson Arenhart. **Processos oxidativos avançados aplicados na degradação do retardante de chama 2,4,6-tribromofenol.** 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre/RS, 2016.

HOFER, F.; VILLEGAS-GUZMAN, P.; SILVA-AGREDO J.; TORRES-PALMA R. A. Role of sulfate, chloride, and nitrate anions on the degradation of fluoroquinolone antibiotics by photoelectro-Fenton. **Environ Sci Pollut Res.** [S.l.], v. 24, p. 28175–28189. 2017.

IAKOVIDES, I.C.; MICHAEL-KORDATOU, I.; MOREIRA, N.F.F.; RIBEIRO, A.R.; FERNANDES, T.; PEREIRA, M.F.R.; NUNES, O.C.; MANAIA, C.M.; SILVA, A.M.T.; FATTA-KASSINOS, D. Continuous ozonation of urban wastewater: Removal of antibiotics, antibiotic-resistant *Escherichia coli* and antibiotic resistance genes and phytotoxicity. **Water Research.** [S.l.], v. 159, p. 333-347, 2019.

Jiang, C.; Ji, Y.; Shi, Y.; Chen, J.; Cai, T. Sulfate radical-based oxidation of fluoroquinolone antibiotics: Kinetics, mechanisms and effects of natural water matrices. **Water Research.** [S.l.], v. 10, p. 507-517, 2016.

JIANG, J.; ZHANG, D.; ZHANG, H.; YU, K.; LI, N.; ZHENG, G.; Degradation mechanism study of fluoroquinolones in UV/Fe²⁺/peroxydisulfate by on-line mass spectrometry. **Chemosphere**, [S.l.], v. 239, p. 1-10, 2020.

JUNIOR, I. L. C.; PLETSCH, A. L.; TORRESA, Y. R.; Ocorrência de Fármacos Antidepressivos no Meio Ambiente – Revisão. **Rev. Virtual Quim.** [S.l.], v. 6, n. 5, pag. 1408-1431, Set.-Out. 2014.

KRAMER, R. D. **Avaliação do desempenho ambiental de uma ETE considerando a presença dos contaminantes emergentes.** 2016. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2016.

LIMA, W. S.; OLIVEIRA, J. C. S.; PENA, F. P. S.; FERREIRA, C. R. S. Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde em um hospital público na MARIANO, A. M.; SANTOS, M. R. Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. In: XXVI CONGRESSO INTERNACIONAL AEDEM | 2017 AEDEM INTERNATIONAL, Reggio Calabria (Italia), 2017, p. 427-443.

MARTINS, D. A. **Complexos de Cu(II) de algumas fluorquinolonas: sínteses, atividade anti-*T.cruzi* e investigação do mecanismo de ação.** 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MELO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Quim. Nova**, São Paulo/SP, v. 32, n. 1, pág. 188-197, jan. 2009.

Meyagusku, V. M. **Desenvolvimento e caracterização de nanopartículas lipídicas sólidas contendo ciprofloxacino**. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências farmacêuticas) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo/SP, 2014.

MOCHI, V. T. **Montagem e desenvolvimento experimental de uma unidade de ozonização**. 2010. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010.

NASCIMENTO, L. X.; ARAÚJO, R. T.; ALVAREZ, L. D. G. Poluentes Orgânicos Emergentes: Impactos e Soluções para a Saúde Humana e o Meio Ambiente. **Revista de ciencia y tecnología**. [S.l.], v. 1, n. 24, pág. 28-34, 2015.

NOGUEIRA, A. A.; SOUZA, B. M.; DEZOTTI, M. W. C.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Ferrioxalate complexes as strategy to drive a photo-FENTON reaction at mild pH conditions: A case study on levofloxacin oxidation. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**. [S.l.], v. 345, p. 109–123, 2017.

OLIVEIRA, A. M. D. **Degradação da lomefloxacina por processos oxidativos avançados**. 2015. 131 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. 2015.

OLIVEIRA, K. R.; MUNARETTO, P. USO RACIONAL DE ANTIBIÓTICOS: Responsabilidade de Prescritores, Usuários e Dispensadores. **REVISTA CONTEXTO & SAÚDE**. Ijuí/RS. v. 9, n. 18, pág. 43-51, jan./jun. 2010.

PIRSAHEB, M.; MORADI, S.; SHAHLAEI, M.; WANG, X.; FARHADIAN, N. A new composite of nano zero-valent iron encapsulated in carbon dots for oxidative removal of bio-refractory antibiotics from water. **Journal of Cleaner Production**. [S.l.], v. 209, p. 1523-1532, 2019.

POSSER, Y. M. **Degradação Da Cafeína Através Dos Processos Oxidativos Avançados Fenton e Foto-Fenton**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal Do Rio Grande De Sul, Porto Alegre/RS, 2016.

QUITAISKI, P. P. **Processos oxidativos avançados empregados na degradação de antibióticos em água residuária sintética**. 2018. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

RICHARD, R.; GONZÁLEZ-LABRADA, K.; ANDRIANTSIFERANA, C.; VALDÉS, H.; JÁUREGUI-HAZA, U.; MANERO, M. Enhancement of ciprofloxacin degradation in aqueous system by heterogeneous catalytic ozonation. **Environmental Science and Pollution Research**. [S.l.], [S.V.], p. 1-10, 2018.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. v-vi, jun. 2007.

SALMA, A.; THORÖE-BOVELETH, S.; SCHMIDT, T. C.; TUERK, J. Dependence of transformation product formation on pH during photolytic and photocatalytic degradation of ciprofloxacin. **Journal of Hazardous Materials**. [S.l.], v. 313, p. 49-59, 2016.

SANTOS, L. V. S.; MEIRELES, A. M.; LANGE, L. C. Degradation of antibiotics norfloxacin by Fenton, UV and UV/H₂O₂. **Journal of Environmental Management**. [S.l.], v. 154, p. 8-12, 2015.

SERNA-GALVIS, E.; BERRIO-PERLAZA, K.; TORRES-PALMA, R. Electrochemical treatment of penicillin, cephalosporin, and fluoroquinolone antibiotics via active chlorine: evaluation of antimicrobial activity, toxicity, matrix, and their correlation with the degradation pathways. **Environ Sci Pollut Res**. [S.l.], v. 24, p. 23771–23782, 2017.

SILVA, C. G. A.; COLLINS, C. H. Aplicações de cromatografia líquida de alta eficiência para o estudo de poluentes orgânicos emergentes. **Quim. Nova**, São Paulo/SP, v. 34, n. 4, pág. 665-676, fev. 2011.

SILVA, F. K.; EYNG, J. O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: Um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e Com o sistema convencional de lagoas. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis/SC, v. 1, n. 2, p.4– 22, mar. 2013.

SILVA, R. F. **Degradação de Corante de Efluente Têxtil por Processo Oxidativo Avançado**. 2015. 105 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2015.

SOUZA, F. S. **Degradação de poluentes emergentes por processos oxidativos avançados (o₃, o₃/uv, o₃/fe²⁺, o₃/uv/fe²⁺) visando o tratamento de efluentes hospitalares**. 2016. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 2016.

SOUZA, P. H. M. **Estudos eletroquímicos de complexos de Cu(II) de antibióticos da classe das fluorquinolonas**. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

STEIN, R. T. **Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso**. 2012. 83 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Centro Universitário UNIVATES. Lajeado/RS, 2012.

SUN, Y.; CHO, D.; GRAHAM, N. J. D.; HOU, D.; YIP, A. C. K.; KHAN, E.; SONG, H.; LI, Y.; TSANG, D. C. W. Degradation of antibiotics by modified vacuum-UV based processes: Mechanistic consequences of H₂O₂ and K₂S₂O₈ in the presence of halide ions. **Science of the Total Environment**. [S.l.], v. 664, p. 312-321, 2019.

TEIXEIRA, Natália da Veiga Bonavita. **Avaliação da Adequação da Operação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários de uma Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias**. 2017. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2017.

UEDA, J.; TAVERNARO, R.; MAROSTEGA, V.; PAVAN, W. Impacto ambiental do descarte de fármacos e estudo da conscientização da população a respeito do problema. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**. [S.l.] v. 5, n. 1, pág. 1-6, Jul. 2009.

VIEIRA, A. J. R. **Aplicação de processos oxidativos avançados em resíduos contendo hidroquinona**. 2006. 63 f. Dissertação (Doutorado em Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2006.

WACHTER, N.; AQUINO, J.; DENADAI, M.; BARREIRO, J.; SILVA, A.; CASS, Q.; ROCHA-FILHO, R.; BOCCHI, N. Optimization of the electrochemical degradation process of the antibiotic ciprofloxacin using a double-sided β -PbO₂ anode in a flow reactor: kinetics, identification of oxidation intermediates and toxicity evaluation. **Environmental Science and Pollution Research**. [S.l.], v. 26, p. 4438–4449, 2019.

WALSH, C.J.; FLETCHER, T.D.; BURNS, E.M.J. Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem. **PLoS ONE**. [S.l.], v. 7, n. 9, pág. 1-10. Set. 2012.

WANG, F.; FENG, Y.; CHEN, P.; WANG, Y.; SU, Y.; ZHANG, Q.; ZENG, Y.; XIE, Z.; LIU, H.; LIU, Y.; LV, W.; LIU, G. Photocatalytic degradation of fluoroquinolone antibiotics using ordered mesoporous g-C₃N₄ under simulated sunlight irradiation: Kinetics, mechanism, and antibacterial activity elimination. **Applied Catalysis B: Environmental**. [S.l.], v. 227, p. 114-122, 2018.

XAVIER, J. L. N. **Aplicação de técnicas eletroquímicas na degradação de poluentes orgânicos aromáticos refratários**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS 2012.

ZANATA, L. **Degradação do fármaco diclofenaco em águas urbanas servidas por processos oxidativos avançados combinados**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal do ABC, Santo André/SP, 2019.

ZHANG, L.; YUE, Q.; YANG, K.; ZHAO, P.; GAO, B. Enhanced phosphorus and ciprofloxacin removal in a modified BAF system by configuring Fe-C micro electrolysis: Investigation on pollutants removal and degradation mechanisms. **Journal of Hazardous Materials**. [S.l.], v. 342, p. 705-714, 2018.

ZHOU, Y.; LIU, X.; ZHAO, Y.; LUO, S.; WANG, L.; YANG, Y.; OTURAN, M. A.; MU, Y. Structure-based synergistic mechanism for the degradation of typical antibiotics in electro-Fenton process using Pd-Fe₃O₄ model catalyst: Theoretical and experimental study. **Journal of Catalysis**. [S.l.], v. 356, p. 184-194. 2018.

ZUSSBLATT, N. P.; GARCÍA-MUÑOZ, P.; PLIEGO, G.; ZAZO, J. A.; FRESNO, F.; CHMELKA, B. F.; CASAS, J. Evaluation of photoassisted treatments for norfloxacin removal in water using mesoporous Fe₂O₃-TiO₂ materials. **Journal of Environmental Management**. [S.l.], v. 238, p. 243-250, 2019.