

TRATAMENTO E REMOÇÃO DE ESTRADIOL PROVENIENTE DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

SANCHEZ, Mariana; ALVES, Bruna; AGUIAR, Murilo Jeronimo; CORREIA, Guilherme Barros; JÚNIOR, José Antônio de Souza; QUINÁGLIA, Gilson Alves
msanchezautomec@gmail.com

Faculdade de Tecnologia Oswaldo Cruz

Resumo: *O Estradiol é um hormônio presente em fármacos e no corpo feminino que, ao atingir um corpo hídrico, pode causar feminização de espécies e poluição das águas. Por conta da ineficiência dos sistemas de tratamento, a remoção de interferentes endócrinos é um assunto que vem ganhando grande proporção. Sendo assim, novas alternativas estão sendo estudadas para a total eliminação desse hormônio. Alguns métodos estão sendo desenvolvidos com acessibilidades e eficiências diferentes. O trabalho em questão apresenta meios de tratamentos que visam melhorar a qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, sua biota.*

Palavras-chave: *Estradiol. Tratamentos. Interferente endócrino.*

Abstract: *Estradiol is a hormone found in pharmaceutical known as a EDC (endocrine disrupting chemicals) and female body which may cause feminization of aquatic wild life and water pollution. Due to the inefficiency of the treatment systems, the removal of EDC is a topic that has been gaining great proportions. Therefore, new alternatives are being studied for the total elimination of this class of hormone. Some methods are being developed with different accessibilities and efficiencies. This paper presents different technologies of treatment aimed at improving the quality of water resources and, consequently, their biota.*

Keywords: *Estradiol. Pharmaceuticals. Endocrine Disruptors.*

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa abordar as técnicas de tratamento e remoção de estradiol proveniente de indústria farmacêutica. Este composto fármaco é considerado um interferente endócrino (EDC, endocrine disrupting chemicals), que, mesmo em pequenas concentrações em ambientes aquáticos, pode interferir nas funções do sistema endócrino de organismos que vivem nesse meio (LIMA; BERGAMASCO, 2017).

O objetivo deste estudo está voltado para Estradiol e suas conseqüências nos corpos hídricos. É o composto que tem maior responsabilidade na interferência dos sistemas endócrinos de organismos aquáticos, motivos esses que preocupam grupos científicos. Muitos interferentes endócrinos (IE) são encontrados em águas superficiais devido à ineficiência de remoção na maioria dos sistemas de tratamento. Portanto, buscam-se novas alternativas de tratamento de efluentes e esgotos que podem conter este IE na sua mistura. Os métodos de tratamento mais empregados são aqueles que operam em processos de adsorção e processos oxidativos avançados de alta eficiência. A literatura tem mostrado que os processos oxidativos avançados têm sido os mais eficientes na remoção destes contaminantes,

entretanto, podem gerar inúmeros subprodutos após a oxidação, tais como compostos orgânicos halogenados, que podem ser formados nos processos oxidativos que utilizam cloro e ozônio. Os processos de tratamento por adsorção não resultam em subprodutos de oxidação, mas podem levar a elevados consumos nas altas quantidades de carvão ativado, material geralmente empregado em estações de tratamento de efluentes e de esgotos, para remoção de contaminantes orgânicos, bem como a um aumento dos custos no tratamento (FERNANDES *et al.*, 2011).

2 ESTRADIOL

A preocupação sobre o despejo de estrogênios em corpos hídricos tem crescido durante os anos, uma vez que estas substâncias químicas podem causar danos à saúde de organismos aquáticos, como a desregulação em seus sistemas endócrinos. Um exemplo de interferente endócrino (IE) é o fármaco "Estradiol" ou "17- beta-estradiol", hormônio sexual feminino, cujo composto sintético, o "Ethinilestradiol", é utilizado como anticoncepcional e regulador hormonal (FONSECA *et al.*, 2014).

O descarte desse fármaco tem sido objeto de estudo, visto que sua função pode acarretar em efeitos prejudiciais à saúde da vida aquática. Esse estrogênio pode interferir, em concentrações da ordem de 1 ng/L, no sistema endócrino dos organismos que vivem em ambientes aquáticos.

Com base na literatura, esse estrogênio, mesmo em pequenas quantidades pode interferir no sistema endócrino de organismos aquáticos, afetando sua saúde e reprodução. (FERNANDES *et al.*, 2011).

O motivo de ser sempre encontrado em grandes concentrações, é o descontrole de despejos de esgotos domésticos e industriais, além da ineficiência das estações de tratamento de esgoto (ETE), pois, no Brasil, ainda há um serviço falho da coleta de esgoto sanitário e os tratamentos convencionais de água e esgotos não são suficientes para a remoção total dessas substâncias. A entrada deste hormônio em corpos hídricos ocorre pela urina e fezes. Devido à ineficiência ou ausência de tratamento de esgoto para remoção dessas substâncias, surge a problematização da qualidade da água em mananciais, que servem de captação para o abastecimento público (IBGE, 2002; SODRÉ, 2007).

3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE EFLUENTES

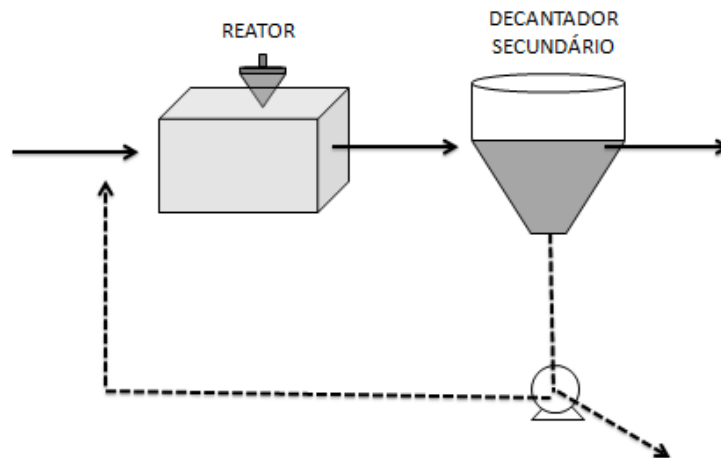
Métodos biológicos são mais constantes no tratamento de efluentes de fármacos. Diferentemente dos outros, o tratamento biológico consegue remover um bom percentual de material orgânico em esgotos e não possui um custo alto. Porém, alguns compostos presentes podem ser tóxicos aos microorganismos. No processo de lodos ativados, a taxa de remoção de efluentes industriais atinge a ordem de 50%. Os processos químicos também são bastante utilizados nos tratamentos. Eles estão ligados diretamente à oxidação dos contaminantes pela reação de um oxidante forte, entre eles estão: peróxido de hidrogênio (H_2O_2), cloro (Cl_2), ozônio (O_3), entre outros. Nesse processo de oxidação, a mineração dos contaminantes geralmente é liberada na forma de gás carbônico (CO_2), porém, o que não é liberado gera sub-produtos de degradação, podendo eles serem mais tóxicos que os contaminantes iniciais (MELO *et al.*, 2009).

3.1 Tratamento com Lodos ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, para o tratamento de despejos domésticos e industriais (SPERLING, 2002). O que distingue o sistema de lodo ativado dos

demais sistemas de tratamentos é seu alto consumo de energia e sua operação mecanizada, como mostra a Figura 1.

Figura 1 Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados.

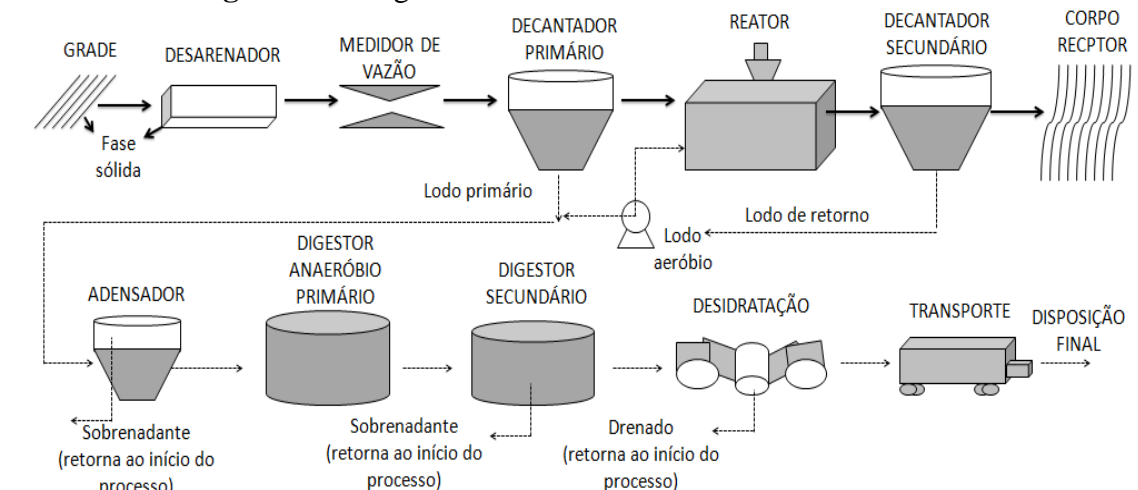


Fonte: Sperling, 2002

Na parte do reator, ou tanque de aerção, a remoção da matéria orgânica, ou nitrogenada, ocorre por meio de reações bioquímicas, onde a biomassa faz uso da substância presente no esgoto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos contaminantes sólidos, permitindo que o efluente saia classificado e que os sólidos no fundo do decantador voltem para o reator, aumentando a concentração da biomassa e a eficiência do sistema.

O método convencional de lodo ativado é o mais usado, possui baixo volume no reator onde parte da matéria orgânica é descartada antes do tanque de aerção por meio do decantador primário (Figura 2).

Figura 2 Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional.



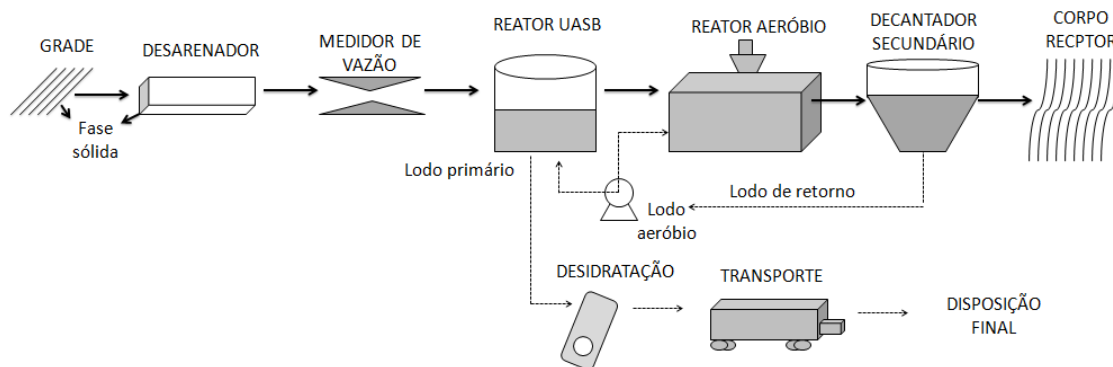
Fonte: Sperling, 2002

A parte superior da figura corresponde ao tratamento do esgoto na fase líquida, enquanto na parte inferior da Figura 2, são apresentadas as etapas do tratamento com lodos na fase sólida. O lodo utilizado têm entre 4 e 10 dias, e o tempo de detenção hidráulica no reator

é de 6 a 8 horas. Após o tratamento do lodo, há ainda uma elevada quantidade de biomassa retirada com um alto teor de matéria orgânica. Com isso, é necessário passar por um processo de estabilização nos digestores primário e secundário. Para reduzir o volume de lodo nos digestores, ele é submetido a uma etapa de adensamento, na qual parte de sua umidade é removida.

No tratamento de efluentes, o lodo ativado utiliza reatores anaeróbios, ao invés de manusear o decantador primário, que trabalha com bactérias que não dependem de oxigênio para sobreviver. O lodo aeróbio gerado no sistema de lodos ativados ainda não estabilizado é enviado para o reator UASB, que é um reator de fluxo ascendente com alta eficiência, onde sofre concentração e digestão (SPERLING, 2002). O tratamento desse lodo é representado pela Figura 3.

Figura 3 Fluxograma de um sistema composto por reator UASB seguido por lodos ativados.



Fonte: Sperling, 2002

3.2 Ozonização

O gás ozônio (O_3) é um alótropo do gás oxigênio (O_2), com massa molar de 48 g.mol^{-1} . É um forte oxidante que oxida quase todos os compostos orgânicos. Quando em alta concentração, transforma-se em um gás altamente tóxico, com o odor semelhante ao do cloro (Cl_2). A estabilidade no meio ambiente é diretamente relacionada ao pH, podendo aumentar após a decomposição pela hidroxila (OH^-), ou pela adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (KUNZ *et al.*, 2002).

O processo de ozonização atua direta ou indiretamente na oxidação dos contaminantes; a reação direta do ozônio molecular (O_3) é predominante em meios ácidos, ocorrendo o ataque eletrolítico a átomos com uma densidade de carga negativa ou a insaturações, e a reação indireta envolve a produção do radical hidroxila (OH^-) no meio alcalino; essa produção aumenta a absorvidade molar do gás ozônio (O_3) podendo reagir no tratamento de efluentes de fármacos com alta absorção. Os efluentes fármacos são constituídos por substâncias orgânicas de difícil decomposição. O processo de ozonização é favorável para esses tipos de compostos refratários, pois, em meio ácido, os elementos orgânicos que absorvem a radiação ultravioleta são removidos rapidamente devido ao ataque seletivo do ozônio aos aromáticos e as duplas ligações dos alifáticos (ALMEIDA *et al.*, 2004).

O processo de ozonização também envolve desvantagens, como o alto custo de produção de O_3 , o limite por transferência de massa do O_3 gasoso à fase aquosa e à formação de bromatos (LLANES *et al.*, 2011).

O Estradiol, ao ser tratado pelo processo de ozonização, obtém um resultado de remoção superior a 99%. Apesar da alta remoção, o que não foi repelido ainda pode apresentar atividade estrogênica (FERREIRA, 2008).

4 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Os Processos Oxidativos Avançados (POA) baseiam-se na capacidade de anular substâncias com baixa composição e de difícil degradação; esse processo combina a irradiação ultravioleta (UV) com catalisadores e reagentes oxidantes (O_3 e H_2O_2). Os mais frequentes usados são: O_3/H_2O_2 , O_3/UV , H_2O_2/UV (FERREIRA, 2008).

A degradação pelo processo oxidativo avançado depende da absorção de cada composto, formando diferentes produtos, que podem ter maior ou menor toxicidade em relação ao fármaco inicial. Os produtos gerados da reação podem manter a atividade do contaminante original, assim, podem ser expostos ao meio ambiente.

O mecanismo de reação presente em todos os POAs é o radical hidroxila (OH^\cdot), sendo uma ferramenta altamente reativa, não seletiva e um ponto essencial no tratamento de resíduos, com a capacidade de oxidar e decompor diversas espécies tóxicas ou recalcitrantes (SANTOS *et al.*, 2014).

Algumas vantagens dos POAs consistem em redução de custos de tratamento por combinação com pré ou pós-tratamento, forte poder de oxidação, eficiência, pois vários poluentes podem ser totalmente mineralizados, inclusive os de difícil biodegradação e menor custo em energia utilizada no processo de tratamento.

Apesar de o POA ser muito utilizado para tratamento de efluentes que estejam contaminados, esse método costuma ser mais caro se comparado aos tratamentos biológicos. Porém, por ter uma alta eficiência e rapidez, é bastante utilizado para a degradação de compostos. Ele pode, até mesmo, servir como um pré-tratamento para processos biológicos, com a finalidade de remover contaminantes ou após o tratamento biológico, para melhorar a qualidade do efluente final, antes de ser descartado em corpos receptores (WANG *et al.*, 2001).

4.1 POAs Químicos

O processo Fenton é um dos enfoques de estudo dentre os POAs. Nele, há reações que envolvem peróxido de hidrogênio, dissolvido em íons de ferro, que tem por finalidade gerar espécies capazes de degradar os poluentes orgânicos. Nesse processo, utiliza-se, como catalisadores, íons ferrosos (Fe^{2+}) ou férricos (Fe^{3+}) para que, no meio ácido, eles possam decompor H_2O_2 e gerar radicais hidroxila (equações 1 e 2) (BRILLAS; SIREs; OTURAN, 2009).



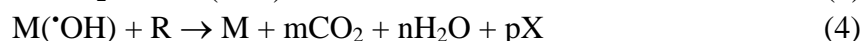
Apesar de o processo Fenton possuir vantagens, também podem ser apontadas as desvantagens, pois, ainda que seja uma operação simples e fácil, seu custo é elevado. Adicionalmente, não há um alto consumo de energia, porém necessita de uma grande quantidade de produtos químicos que possam neutralizar as soluções tratadas antes que sejam descartadas (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Segundo estudo desenvolvido por Durigan *et al.*, (2012) a degradação do estradiol, em quantidades de $50 \mu g. L^{-1}$, foi analisada por meio do processo de Fenton. O resultado obtido foi uma degradação efetiva nos primeiros 10 minutos de reação. Sua estabilização foi concluída em um curto período pelo fato de consumir rapidamente íons ferrosos.

4.2 Processos Eletroquímicos (POAEs)

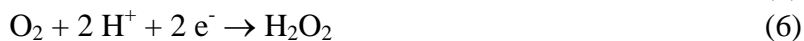
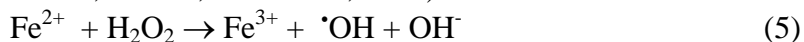
O processo Eletroquímicos (POAEs) é considerado uma técnica limpa e eficiente, que se baseia na troca de elétrons. Nele, é possível a produção do radical hidroxila (OH[•]) que degrada poluentes orgânicos e tóxicos. O processo pode ser dividido em duas tecnologias: o processo de oxidação anódica, que ocorre diretamente e o método indireto conhecido como eletro-Fenton.

A oxidação anódica (OA) é a técnica cuja degradação do poluente é feita pela transferência de elétron, que ocorre na superfície do eletrodo. Os radicais hidroxila, formados diretamente na superfície do ânodo, são obtidos pela oxidação das moléculas de água. Esse método pode ser representado pela equação:



Na equação 3 está representado um mecanismo catalítico e a geração de radicais hidroxila heterogêneos (OH[•]) pela eletrólise da água e a equação 4 retrata a oxidação de espécies orgânicas (MARSELLI *et al.*, 2003).

A degradação no processo eletro-Fenton (EF) é realizada por um agente oxidante que migra da superfície do eletrodo e que reage na solução. Nesse método, os radicais de hidroxila (OH[•]) são gerados eletroquimicamente na reação de Fenton e auxiliado pelo reagente (mistura de H₂O₂ e íons ferrosos) no meio homogêneo, como mostra a equação 5. Este processo inclui a geração de H₂O₂, com a redução de dois elétrons de O₂ que são dissolvidos pelo meio ácido na presença de uma quantidade de íons ferrosos, representado pela equação 6. A equação 7 explica que os íons ferrosos (Fe²⁺) são eletroregenerados e os íons férricos (Fe³⁺), que foram formados na reação de Fenton, foram reduzidos eletroquimicamente no cátodo para, assim, regenerar os íons Fe²⁺ (BRILLAS; SIREs; OTURAN, 2009).



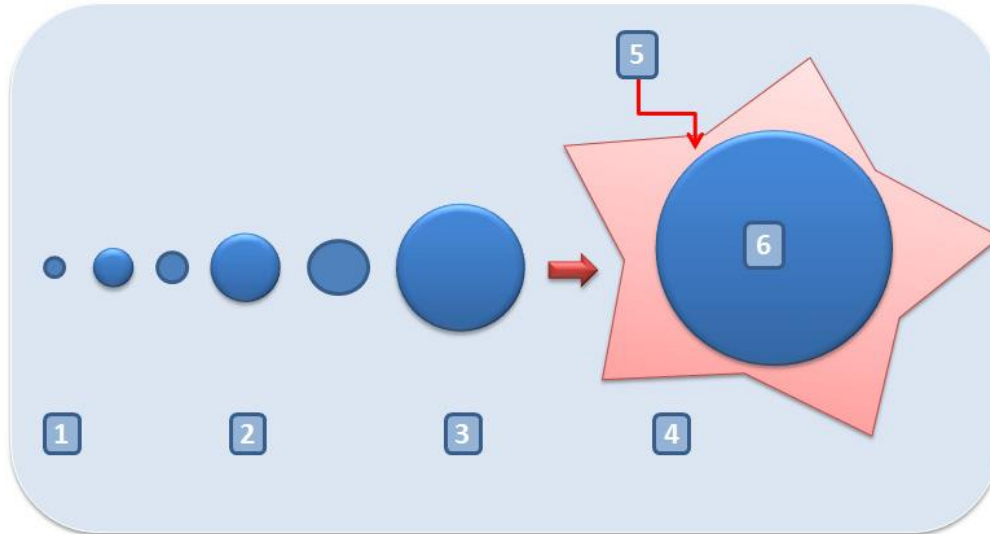
A remoção de poluentes por processos indiretos são melhores pelo fato de evitarem problemas como a transferência de massa e envenenamento da superfície do eletrodo (BRILLAS; SIREs; OTURAN, 2009).

Segundo Sires e Brillas (2012), os POAEs apresentam vantagens para a descontaminação da água, como a rápida eficiência na degradação dos poluentes e com isso, evitar que novas espécies tóxicas sejam formadas; não há adição de reagentes químicos, permitindo que esses efluentes sejam lançados diretamente em águas. Porém, esse método também possui desvantagens, dentre elas, o alto consumo de energia, o alto custo e a formação de subprodutos.

4.3 POAs Sonoquímicos

O processo sonoquímico utiliza a irradiação ultrassom (US) com a finalidade de criar um ambiente oxidativo. Os radicais hidroxila, que estão sob essa irradiação, são formados na presença de diferentes gases e na junção de outros processos diferentes (O₃/US, H₂O₂/US e fotocatalise/US) (ADEWUYI, 2001). Nesse processo temos a formação, crescimento e a implosão de bolhas dentro de um líquido, conforme a Figura 4.

Figura 4 Processo Sonoquímico.



Fonte: Adewuyi 2001

No momento em que as ondas ultrassônicas incidem na solução que será tratada, as bolhas são formadas (1), crescem (2 e 3) para, assim, no final entrarem em colapso (4). Quando estouram, elas criam forças de quebra que possuem elevadas temperaturas (de 2000 a 5000 K) e uma pressão de 6×10^4 kPa, como mostra o esquema (5 e 6). Por conta dessas situações extremas, ocorre a sonólise de moléculas de água e, com isso, surgem radicais muito ativos com elevada capacidade de degradar-se em espécies químicas orgânicas (ADEWUYI, 2001).

4.4 POA Fotoquímico

Comparado aos POAs químicos, o Fotoquímico tem uma maior eficiência e um menor custo de operação. Ele tem a capacidade de desinfetar águas e degradar os poluentes quase que 100%. Essa técnica utiliza a radiação ultravioleta junto à agentes oxidantes fortes, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ozônio (O_3), mais a catálise com dióxido de titânio (TiO_2).

A fotólise do peróxido de hidrogênio por irradiação ultravioleta (H_2O_2/UV) acontece de um modo natural, cujo objetivo é degradar compostos orgânicos tóxicos. A molécula de H_2O_2 é fotolisada pela irradiação UV em comprimento de onda que varia de 200 a 300 nanômetros (nm), resultando na quebra da ligação O-O da molécula de H_2O_2 , gerando, assim, os radicais hidroxila (OH^\cdot) que são responsáveis pela degradação de espécies orgânicas. A equação seguinte representa o processo: $H_2O_2 + hv \rightarrow 2 OH$ (HERNANDEZ et al., 2002).

No processo de ozônio com a radiação ultravioleta (O_3/UV), temos a produção indireta e direta dos radicais de hidroxila (OH^\cdot), aumentando, assim, a degradação da matéria orgânica. Nas soluções aquosas, temos o O_3 absorvendo as radiações UV 200 e 360 nm, gerando radicais hidroxila (equação 8) (HERNANDEZ *et al.*, 2002).



Em uma tecnologia de foto-indução, atuando sobre o catalisador sólido (em superfície e em suspensão) semicondutor, que é, geralmente, o dióxido de titânio (TiO_2), sob a irradiação UV ou luz visível.

No catalisador, temos uma descontinuidade de energia entre a banda de valência (BV), região que possui a energia mais baixa e a banda de condução (BC), região de mais alta energia. Quando a energia de irradiação é igual ou ultrapassa a diferença entre essas duas bandas, os elétrons são promovidos da BV para a BC, deixando, assim, buracos que originam pares de elétrons que recombinam-se diretamente ou que migram da superfície do semicondutor, induzindo reações de oxidação-redução. As reações de oxidação podem ocorrer entre a lacuna da BV, os grupos de hidroxila ou água, foram radicais hidroxila (ANGELO *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÃO

O descarte incorreto de fármacos e até o tratamento ineficiente dos efluentes industriais e domésticos que possuímos atualmente, acabam ocasionando problemas ambientais nos corpos hídricos e, conseqüentemente, na biota aquática.

Dentre os fármacos descartados, os hormônios são o de maior destaque, pois estão presentes em anticoncepcionais e no corpo feminino. Dentre eles, o Estradiol, que atua como interferente endócrino nas espécies aquáticas, causando feminização de peixes e dificultando a reprodução deles. Para a remoção do Estradiol nos efluentes, foram estudados diversos tratamentos: entre eles, temos as formas convencionais (lodos ativados, ozonização) e avançadas (POAs). Cada tratamento possui um nível de eficiência que varia pelo conjunto de métodos utilizados e pelas características de cada efluente. Além disso, não são encontrados métodos específicos para remoção somente do Estradiol, tendo em vista que existem inúmeros poluentes atrelados a ele dentro de um esgoto industrial ou doméstico.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) possuem altas taxas de eficiência na remoção de poluentes por obter, como mecanismo de reação em seus tipos de tratamento (químico, eletroquímico, sonoquímico e fotoquímico), o radical hidroxila (OH), um forte oxidante de espécies tóxicas, porém dentro dessa cadeia de processos, o fotoquímico é o que se mostra mais eficiente, com quase 100% de degradação dos poluentes.

Mesmo com altas taxas de eficiência, os POAs ainda estão sendo desenvolvidos para melhoria da qualidade dos efluentes e precisam apresentar um menor custo, seja ele relacionado a energia ou a produtos químicos utilizados.

REFERÊNCIAS

ADEWUYI, Y. G. Sonochemistry: Environmental science and engineering applications. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 40, p. 4681-4715, 2001.

ALMEIDA, E., REGINA, M., ROSA, M. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Quim. Nova**, v.27, n 5, p. 821, 2004.

ANGELO, J.; ANDRADE, L.; MADEIRA, L. M.; MENDES, A. An overview of photocatalysis phenomena applied to NO_x abatement. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 522-539, 2013.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. In: **Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, MG, Brasil. 2014.

BRILLAS, E.; SIRES, I.; OTURAN, M. A. Electro-Fenton process and related electrochemical technologies based on Fenton's reaction chemistry. **Chemical Reviews**, v. 109, p. 6570-6631, 2009.

FERNANDES, A. N.; GIOVANELA, M.; ALMEIDA, C. A. P.; ESTEVES, V. I.; SIERRA, M. M. D.; GRASSI, M. T. **Remoção dos hormônios 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol de soluções aquosas empregando turfa decomposta como material adsorvente**. 2011.

FERREIRA, M. G. M. **Remoção da atividade estrogênica de 17 β -estradiol e de 17 α -etinilestradiol pelos processos de ozonização e O₃/H₂O₂**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

FONSECA, A. P.; CARDOSO, M.; ESTEVES, V. Determination of Estrogens in Raw and Treated Wastewater by High-Performance Liquid Chromatography-Ultraviolet Detection. **Journal of Environmental & Analytical Toxicology**, v. 4, n. 1, p. 1, 2014.

HERNANDEZ, R.; ZAPPI, M.; COLLUCI, F.; JONES, R. Comparing the performance of various advanced oxidation process for treatment of acetone contaminated water. **Journal Hazardous Materials**, v. 92, p. 33-50, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA; ESTATÍSTICA. DEPARTAMENTO DE POPULAÇÃO; INDICADORES SOCIAIS. **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2000**. IBGE, 2002

KUNZ A.; PERALTA-ZAMORA P.; MORAES S.;G., DURÁN N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, v.25, n.1, p. 78-82, 2002.

LIMA, P. R.; BERGAMASCO, R. Efeitos da contaminação da água pelo fármaco 17 α -etinilestradiol, detecção e tipos de tratamento. **Evidência-Ciência e Biotecnologia**, v. 17, n. 2, p. 119-134, 2017.

LLANES, G.; YANETH, C.; MERA BENAVIDES, A. C. Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v. 10, n. 19, p. 79-88, 2011.

DURIGAN, M. A. B.; VAZ, S. R.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradation of emergent pollutants by Fenton and photo-Fenton processes. **Química Nova**. v.35. 2012.

MARSELLI, B.; GARCIA-GOMEZ, J.; MICHAUD, P. A.; RODRIGO, M. A.; COMNINELLIS, C. Electrogenation of hydroxyl radicals on boron-doped diamond electrodes. **Journal of the Electrochemical Society**, v.150, p. 79-83, 2003.

MELO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Química nova**, p. 188-197, 2009.

SANTOS, K.; ROGER, G.; MOISÉS, P. CORDEIRO, P. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais e efluentes industriais**. p. 2-8, 2014.

SIRÉS, I.; BRILLAS, E. Remediation of water pollution caused by pharmaceutical residues based on electrochemical separation and degradation technologies: **a review**. *Environment international*, v. 40, p. 212-229, 2012.

SODRÉ, F. F.; MONTAGNER, C. C.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos em águas superficiais da região de Campinas (SP, Brasil). *J. Braz. Soc. Ecotoxicol*, v. 2, n. 2, p. 187-196, 2007.

SPERLING, V. M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. *Lodos ativados*, v.4, ed 2, p. 11-25, 2002.

WANG, G. S.; CHEN, H. W.; KANG, S. F. Catalyzed UV oxidation of organic pollutants in biologically treated wastewater effluents. *Science of the total environment*, v. 277, n. 1-3, p. 87-94, 2001.