

ESTUDO TEÓRICO SOBRE A CONSTRUÇÃO DE UM REATOR DE BANCADA PARA TRATAMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA PROVENIENTE DA ÁGUA PRODUZIDA UTILIZANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Glaíce Oliveira Araújo¹, Suelen Saraiva de Sá², Andréa Francisca Fernandes Barbosa³, Jardel Dantas da Cunha⁴, Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado⁵

Resumo: Os processos de oxidação avançada (POA) são empregados na degradação da matéria orgânica presente em águas residuárias, é composta por substâncias tóxicas e de baixa degradabilidade. Esse processo é utilizado para auxiliar no tratamento de água, degradando os resíduos que não são removidos pelo sistema tradicional, no qual utilizam de oxidantes fortes, como a hidroxila. Os radicais livres são altamente oxidantes e ao atacar as cadeias carbônicas, facilitando a degradação desses compostos. Por eles possuírem alto poder de redução, poderá causar um favorecimento termodinâmico e cinético para as reações de degradação, aumentando a eficiência na remoção e acelerando a velocidade de reações radiculares. Os processos de oxidação avançada vêm aos poucos se destacando no setor industrial, apresentando como principal vantagem a não geração de resíduos, o que pode ser uma alternativa para solucionar problemas ambientais atualmente enfrentados pela indústria. Para acelerar o processo de degradação, pode ser usado a radiação como um dos métodos, com isso pode-se elevar os custos e ser julgado como uma desvantagem. Como alternativa deste trabalho, será feito a construção de um reator de bancada que contará com uma lâmpada UV visível e tubos de borossilicato onde o fluido será tratado, como também uma superfície refletora para aumentar a incidência da luz e promover maior eficiência na geração dos agentes oxidantes.

Palavras-chave: Processos Oxidativos Avançados; Água produzida; Reator.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, a América do Sul e Central correspondem a 5,3% do consumo mundial de petróleo e apesar de uma queda no consumo de seus derivados em 2020, correspondendo a 4,3%, 112,5 milhões de m³, menos em comparação com 2019.

A utilização de processos convencionais de tratamento de efluentes industriais (processos biológicos e físico-químicos) tem-se mostrado inviável. Além de demandarem longo tempo e grande área para que o efluente atinja aos padrões de lançamento, eles geralmente não provocam a degradação dos contaminantes, mas apenas a transferência de fase dos mesmos [6].

À vista disso, com um consumo em larga escala em nossa sociedade, o petróleo e seus derivados geram muitos resíduos que acabam por se acumular pela velocidade de produção. Esse acúmulo de matéria vem se tornando motivo de preocupação em relação à redução da concentração dos contaminantes sem solo e água, e a ineficiência dos processos de conversão. Em virtude disso, processos oxidativos avançados (POA) surgem como uma alternativa de auxílio ao tratamento de águas residuárias.

O campo das Ciências Exatas e Engenharias dirige evidente interesse para os variados métodos de tratamento de águas residuais, tendo como alvos específicos a eficiência na remoção e na degradação dos compostos prejudiciais – cumprindo os limites legais estabelecidos e a redução dos custos de instalação e operação para atrair os setores industriais [2].

Nesse contexto, o presente trabalho mostra o estudo dos processos oxidativos avançados, cujo objetivo principal é a degradação da matéria orgânica por meio da aplicação de alguns desses métodos oxidativos utilizando um reator de bancada com uma lâmpada de radiação ultravioleta do tipo C, com potência de 80 W e um painel solar para tornar seu uso sustentável.

2. DESENVOLVIMENTO

Para determinar a efetividade do reator solar na degradação da matéria orgânica através dos processos oxidativos avançados, será necessário o estudo de diversas variáveis operacionais como forma de obter um melhor resultado para combater o empecilho da decomposição dos derivados do petróleo. As variáveis operacionais são a radiação ultravioleta, os reagentes que servirão para contribuir na oxidação e otimização do arranjo do reator para contribuir numa exposição mais efetiva.

2.1. O uso do petróleo no mundo

O petróleo ainda é a principal fonte de energia utilizada em larga escala mundial. Seus derivados são empregados em diversos setores e dão forma a infinitos objetos. “Ele se caracteriza por ser uma matéria-prima e/ou constituinte de diversos produtos como plásticos, calçados e cosméticos. Apresenta também grande potencial energético, já que grande parte da produção de energia global é baseada nesse combustível.” [15].

Sua composição é complexa, sendo uma mistura de diversas substâncias orgânicas, ofensivas ao meio ambiente.

Um líquido viscoso, em geral de coloração escura, que ocorre naturalmente, cuja composição química varia de lugar para lugar. Em geral, contém compostos de enxofre, oxigênio, nitrogênio, metais e outros elementos. É formado por uma mistura de diferentes hidrocarbonetos com diferentes pontos de ebulição, sendo matéria-prima de grande importância para a economia [17,15].

Muitos problemas relacionados ao meio ambiente, tiveram início após o desenvolvimento tecnológico proveniente da Revolução Industrial. Houve uma intensificação na exploração ambiental devido a evolução dos processos industriais e a busca por diversos produtos para necessidades básicas. Segundo GUIMARÃES, BRITO NETO E GALVÃO, com o decorrer do tempo, como um dos produtos dos processos industriais, os resíduos são formados por compostos gasosos, líquidos e sólidos nocivos ao meio ambiente, principalmente quando é agregado a corpos de água, já que a ausência de sistemas de tratamento de efluentes líquidos, contribui para a contaminação.

A atividade industrial costuma ser responsabilizada, e muitas vezes com justa razão, pelo fenômeno de contaminação ambiental, principalmente graças a dois fatores de extrema importância: a) o acúmulo de matérias primas e insumos, que envolve sérios riscos de contaminação por transporte e disposição inadequada; e b) ineficiência dos processos de conversão, o que necessariamente implica a geração de resíduos [10,12].

A fim de suprir as necessidades da indústria em busca de métodos de tratamentos eficazes, têm-se pesquisado para que meios alternativos sejam viáveis para garantir um processo mais limpo, com menor quantidade de resíduos e/ou menos tóxicos.

2.2. Processos Oxidativos Avançados

Nos últimos anos tem sido investigado o uso dos Processos Oxidativos Avançados, onde há mineralização da grande maioria dos contaminantes orgânicos, isto é, o composto não é apenas transferido de fase, mas destruído e transformado em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos (não tóxicos, ou de menor potencial tóxico, visto que se sabe como tratá-los) [24].

Os processos oxidativos avançados (POA) têm atraído grande interesse por ser um novo método alternativo de tratamento terciário de efluentes. Os POA são processos baseados na geração de radicais a base de oxigênio, como os radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), agentes altamente oxidantes. Devido ao seu alto potencial padrão de redução, o radical hidroxila é capaz de oxidar uma variedade de compostos orgânicos a CO_2 , H_2O e íons inorgânicos [19,6].

Para melhorar no gerenciamento dos resíduos da indústria petrolífera, deve-se inicialmente se preocupar

como minimizar a geração desses substratos, para assim, poder reciclar ou reusar o restante no mesmo processo. Caso essas técnicas não possuam aproveitamento, é aplicado o tratamento e disposição final [24].

Os Processos Oxidativos Avançados utilizam do radical hidroxila com o intuito de degradar componentes, nesse caso, ele será utilizado para reagir com cadeias carbônicas presentes na água produzida, através da reação entre cadeias carbônicas e oxidantes fortes. Assim, como observado na Tabela 1 a hidroxila possui um potencial de oxidação elevado, o caracterizando como um oxidante forte.

Tabela 1. Potenciais oxidativos de alguns oxidantes [24].

Espécie	Potencial redox (V)
Flúor	3,03
Radical hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Permanganato	1,68
Dióxido de cloro	1,57
Cloro	1,36
Iodo	0,54

Portanto, ao ocorrer a quebra da cadeia carbônica, esse oxidante irá mineralizar os compostos da reação e o produto restante são substâncias pouco tóxicas e biodegradáveis, mostrando ser um modelo de sistema promissor.

Com isso, a Tabela 2 mostra os sistemas mais usados dos POA com os reagentes mais oxidativos visto na tabela anterior, radical hidroxila e ozônio. Dessa forma, utilizando o reator de bancada serão executadas as reações homogêneas com irradiação e peróxido de oxigênio e Foto-Fenton.

Tabela 2. Sistemas típicos de Processos Oxidativos Avançados [14, 24].

SISTEMAS HOMOGÊNEOS	COM IRRADIAÇÃO
	O ₃ /UV
	H ₂ O ₂ /UV
	FEIXE DE ELÉTRONS
	US
	H ₂ O ₂ /US
	UV/US
	SEM IRRADIAÇÃO
	O ₃ /H ₂ O ₂
	O ₃ /OH ⁻
SISTEMAS HETEROGÊNEOS	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ (FENTON)
	COM IRRADIAÇÃO
	TiO ₂ /O ₂ /UV
	TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV
	SEM IRRADIAÇÃO
	ELETRO-FENTON

2.2.1. Mecanismos das reações

Os compostos orgânicos a serem degradados podem ser oxidados pelo radical hidroxila através de alguns mecanismos básicos. De acordo com BRITO E SILVA, estes mecanismos dependem da estrutura do contaminante orgânico, sendo estes:

- **Abstração de átomo de hidrogênio:** no qual os radicais orgânicos são formados a partir da oxidação dos compostos através da abstração de hidrogênio, causada pelos radicais hidroxila, e como exibido na Equação 1, o RH representa o componente degradante. E em seguida o radical peróxido é formado pela adição com oxigênio, Equação 2.



- **Transferência eletrônica:** essa relação ocorre quando a adição eletrofílica e abstração de hidrogênio são comprometidas [5]. Esse mecanismo ocorre em compostos clorados e como mostrado na Equação 3 o RX simboliza os componentes orgânicos.



- **Adição eletrofílica:** é utilizado esse método para ligar os compostos orgânicos com ligação π (dupla ou tripla ligação) à hidroxila, resultando em outros compostos orgânicos, isso é visto na Equação 4.



2.2.2. Peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$)

No processo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, o radical hidroxila é gerado a partir da fissão homolítica que ocorre entre o peróxido de hidrogênio e a radiação UV, Equação 5. No entanto, o peróxido de hidrogênio por ser incolor, absorve pouca radiação ultravioleta com comprimento de onda acima de 280 nm. Assim, para a ativação do peróxido de hidrogênio é necessário a radiação UV-C, com comprimento de onda entre 100 e 280 nm, por possuir a característica de ondas mais curtas [24,5].



O tratamento fotoquímico em questão é utilizado como um aperfeiçoamento, tendo em vista que uma reação direta entre o H_2O_2 e o composto orgânico pode ocorrer falhas mais frequentemente, já que o potencial de oxidação o peróxido de hidrogênio é $E_o = +1.78\text{V}$, como visto anteriormente na Tabela 1. Todavia, com a introdução da radiação UV ocorrerá a reação com o H_2O_2 , e assim, ao gerar o radical hidroxila com potencial de oxidação mais elevado, $E_o = +2.80\text{V}$, podendo reagir mais energeticamente conforme observado na Equação 6 [5].



2.2.3. FOTO-FENTON

Dessa forma, a reação Fenton é constituída pela decomposição do H_2O_2 catalisada por Fe^{2+} através do processo redox, em meio ácido, gerando um radical hidroxila para cada mol de peróxido de hidrogênio presente no meio, Equação 7 [13,8].



A partir disso, o processo Foto-Fenton ocorre quando os raios UV influenciam na reação do peróxido de hidrogênio e Fe^{2+} e ela resulta em uma foto redução dos íons Fe^{3+} e gera mais um mol de hidroxila, Equação 8 [8]. Assim, o radical hidroxila é formado através do ciclo fotocatalítico do $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ [8], podendo atuar com o composto orgânico de várias maneiras, representado na Equação 9 [22,8].



Uma vez que os processos Fenton e Foto-Fenton são catalisados por íons $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ e considerando que estes íons são hidrolisados formando hidróxidos insolúveis, o pH do meio tem papel importante nas reações envolvidas, o que consequentemente afeta a velocidade de degradação do composto orgânico [19]. É observado que uma pequena faixa de pH, entre 2,5 e 3,0, proporciona a máxima eficiência de degradação [20,21]. Esta estreita faixa de pH é decorrência da precipitação de Fe(III) em valores de pH acima de 3,0, diminuindo drasticamente sua interação com o peróxido de hidrogênio e, consequentemente, a produção de $\cdot\text{OH}$ [19]. Abaixo do pH 2,5, a velocidade de degradação também é afetada, apesar das espécies de Fe permanecerem solúveis, pois as altas concentrações de H^+ podem sequestrar radicais hidroxil [23,9].

2.3. Planejamento e construção do reator

Sabe-se que o petróleo e seus derivados possuem composição bastante ofensiva ao meio ambiente e são de difícil tratamento. Atualmente, técnicas mais avançadas vêm sendo pesquisadas para sanar este problema, sendo os POA uma dessas alternativas, um exemplo disso será:

A fotocatalise solar não só proporciona uma economia de insumos por utilizar uma energia limpa e abundante, mas pode possibilitar, também, a eliminação de compostos tóxicos e/ou recalcitrantes e a desinfecção por microrganismos [16]. Tanto os processos de fotocatalise como os processos oxidativos avançados solares podem ser economicamente viabilizados se combinados com os processos de tratamento de efluentes e águas já existentes, possibilitando sua utilização por pequenas empresas [6].

O estudo em relação ao reator é fundamental, pois a partir de sua viabilidade, será possível realizar a construção e dar início a testes. Como forma de aproveitar os efeitos fotocatalíticos, tem-se desenvolvido reatores solares capazes de ajudar na aceleração da degradação destes contaminantes. Nesse estudo é focado desenvolver um reator do tipo bancada, como forma de auxiliar no tratamento, possuindo ainda um painel solar para fins econômicos durante o processo.

O reator de bancada será dividido em duas partes, a interna da cabine e externa. A área interna da cabine contará com um revestimento de uma manta de alumínio, um sistema de tubos de borossilicato, onde ocorrerá o processo de tratamento através da reação dos reagentes misturados com os derivados de petróleo mediante a radiação UV-C emitida por uma lâmpada de 80W. Como pode ser visto na Figura 1, 2 e 3, na parte externa ficarão dois reservatórios, de saída e entrada da água, e uma bomba centrífuga para gerar movimento no fluido. Outros equipamentos que contribuirão no processo são: radiômetro para detectar o comprimento de onda da radiação incidente e válvulas *by-pass* para o controle de entrada e saída da quantidade mássica no sistema dentro da cabine e seus reservatórios.

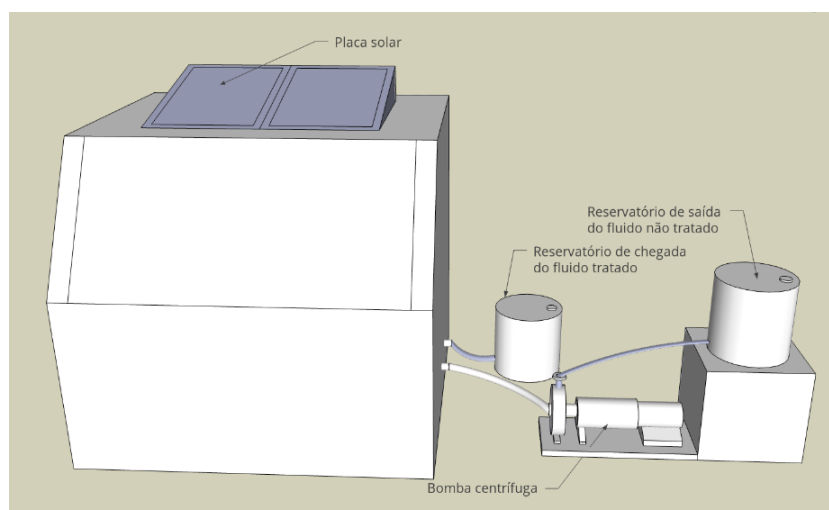


Figura 1. Reator de bancada fechado com uma tampa de proteção. (Autoria própria).

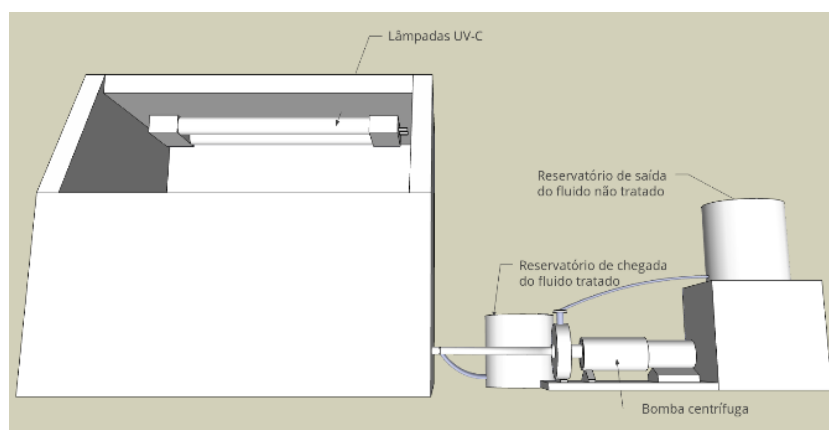


Figura 2. Reator de bancada aberto com visão inferior. (Autoria própria).

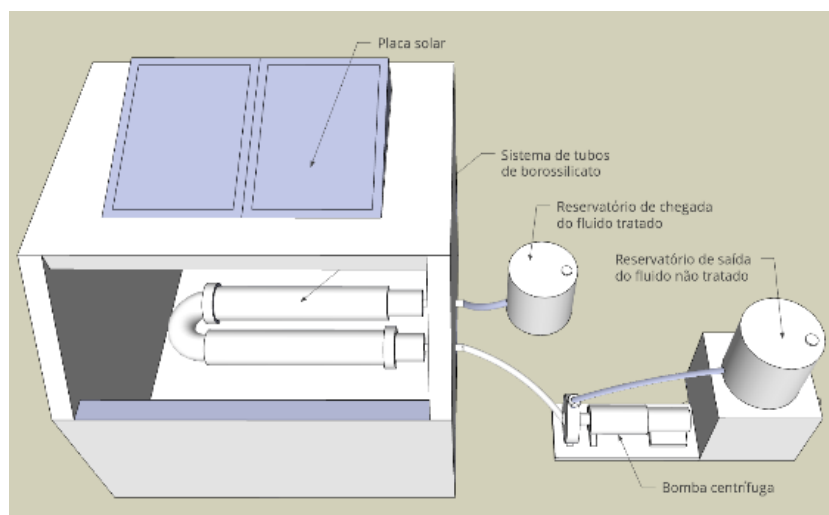


Figura 3. Reator de bancada aberto com visão inferior. (Autoria própria).

2.4. Análise de eficácia

Para verificar a eficácia dos processos utilizados, como também a estruturação do reator será feita análises laboratoriais. A Tabela 4 mostra como serão feitos os testes para observar, de acordo com as leis de cada órgão ambiental, qual tipo de água produzida o reator terá uma maior eficiência em tratar.

Tabela 4. Divisão dos tipos de água produzida sintética que serão preparadas e testadas. (Autoria própria)

Número da água produzida sintética	Salinidade da salmoura utilizada na água produzida sintética	Grau API do óleo
1	Baixa	X
2		Y
3		Z
4	Alta	A
5		B
6		C

Nota: Os componentes X, Y, Z, A, B e C representam um número referente ao grau API do óleo.

2.4.1. Teor de óleos e graxas

Conforme BRITO, o Teor de Óleos e Graxas (TOG) tem como função caracterizar os componentes orgânicos presente na água produzida sintética.

De acordo com GABARDO, estes contaminantes orgânicos são difíceis de serem removidos, mesmo em pequenas quantidades, pois são estáveis a luz, ao calor e muitas vezes biologicamente não degradáveis, diminuem a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo assim a transferência de oxigênio [4].

Conforme a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 393/07, artigo cinco, o descarte contínuo de água produzida deve atender uma concentração média de TOG mensal de até 29 mg/L e máximo diário de 42 mg/L, onde a indústria deverá planejar métodos para atender aos valores limites.

2.4.2. Demanda química de oxigênio

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO), descrita por VALENTE, PADILHA E SILVA, mostra a quantidade de oxigênio necessário para oxidar todo o composto orgânico presente na água produzida sintética usando agente oxidante forte (OH^-), em meio ácido ($\text{pH} < 7$) e com condições energéticas, esse parecer leva poucas horas para ser desempenhada e concluída.

2.4.3. Demanda bioquímica de oxigênio

A análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), descrita por VALENTE, PADILHA E SILVA,

mostra a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos para oxidar todo o composto orgânico através de um meio aeróbio, essa avaliação leva cerca de cinco dias para ser completamente executada.

A relação DQO/DBO, de acordo com VON SPERLING, representa a fração biodegradável dos compostos. Dessa forma, para resíduos industriais pode variar entre baixa concentração (menor do que 2,5), intermediária (entre 2,5 e 4) e alta (maior do que 4).

2.4.4. Espectrofotometria ultravioleta visível

Segundo CANASSA, LAMONATO E RIBEIRO, a lei de Lambert-Beer demonstra a partir de uma expressão matemática que um material absorvente de luz, contendo n átomos em sua composição é atingido por uma quantidade de luz. Essa lei tem como intenção descobrir a quantidade de radiação que o composto pode absorver. Assim, na Equação 11 mostra que a absorção da solução com o parâmetro de um certo comprimento de onda é igual a constante da absorvidade molar (ϵ), o caminho óptico (b), e a concentração da espécie que absorveu a luz (c).

$$Abs = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (11)$$

2.4.5. Concentração de cloretos

Para determinar a concentração de íons cloretos presente na água tratada será feito através de titulometria de precipitação, no qual se baseia na formação de compostos pouco solúveis. Dentro desse grupo encontra-se o método argentimétrico, caracterizado por reações de precipitação onde é usado como reagente o nitrato de prata ($AgNO_3$), sendo um exemplo disso o método de Mohr que será o procedimento a seguir.

De acordo com MOTA, o método de Mohr usa o cromato de praga (Ag_2CrO_4) como indicador e é titulado com nitrato de prata ($AgNO_3$) onde o ponto de virada acontece quando a solução e seu precipitado adquirir uma cor vermelho alaranjada.

Para determinar a concentração de cloretos presente na água em mg/L, é usado a expressão matemática na Equação 12. Nela a incógnita A e B representa respectivamente o volume da solução de nitrato de prata consumido na titulação da amostra e do branco, em mL, N é a concentração da solução de nitrato de prata, em mol/L e C configura o volume da amostra de água tratada, em mL.

$$C_{Cl^-} = [(A-B) \cdot N \cdot 35450]/C \quad (12)$$

Conforme expresso na Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990 do Ministério da Saúde, para que a água esteja habilitada para o uso humano o valor máximo permitido da concentração de cloretos é de 250 mg/L. Assim, caso atenda esse requisito poderá ser aplicada para irrigação, entre outras atividades humanas.

2.5. Resultados e discussões

Para determinar a efetividade dos reatores solares na degradação da matéria orgânica através dos processos oxidativos avançados, será necessário o estudo de diversas variáveis operacionais como forma de obter um melhor resultado para combater o empecilho da decomposição dos derivados do petróleo. As variáveis operacionais são os reagentes que servirão para contribuir na oxidação e degradação, e a logística do reator para contribuir numa exposição mais efetiva.

3. CONCLUSÕES

De acordo com as pesquisas de referências realizadas bibliograficamente, estima-se que os resultados serão promissores. O reator de bancada, possui logística de construção e materiais que serão aplicados para uma melhor degradação, pois a estrutura do reator também contribui para ocorrer um contato mais eficiente de degradação e resultados promissores, tendo em vista que também será utilizado placa solar para diminuir o consumo energético do processo, tornando o projeto mais sustentável.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2021. Rio de Janeiro, 2021, ISSN 1983-5884. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2021/anuario-2021.pdf>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [2] ARAÚJO, K. S. *et al.* Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science*, janeiro de 2016, p. 388. Disponível em:

- <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XjBbHvFYf4bXbDxYnX3xR3r/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [3] Brasil. Portaria no 36, de 19 de janeiro de 1990. Ministério da Saúde. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1990/prt0036_19_01_1990.html>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [4] BRITO, E. Avaliação do teor de óleos e graxas sob a perspectiva da resolução CONAMA nº 393/2007 para o descarte de água produzida em plataformas de petróleo na costa do Espírito Santo, p. 18, 2015. Disponível em: <https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_teor_de_oleos_e_graxas_sob_a_perspectiva_da_resolucao_conama_n_393_2007_para_o_descarte_de_agua_produzida_em_plataformas_de_petroleo_na_costa_do_espirito_santo_-_emilia_brito.pdf>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [5] BRITO, N. N.; SILVA, V. B. M. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC), janeiro, 2012. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/reec/article/view/17000/10840>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [6] CASTRO, L. A. S. *et al.* Foto reator solar para remoção de poluentes e desinfecção de água: critérios de projeto e montagem. Santa Catarina, p. 9441-9449, 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1918-16889-181028.pdf>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [7] CANASSA, T.A.; LAMONATO, A.L.; RIBEIRO, A.V. Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation. 2018, v.1, n.2, p. 26-27. DOI: 10.30609/JETI.2018-2.5930. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [8] CUNHA, G. M. de A. Uso do processo foto-fenton no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo. 4º PDPETRO, São Paulo, outubro 2007. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0443-1.pdf>. Acesso em: 28 novembro 2022.
- [9] FIOREZE, M.; DOS SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET, Santa Maria, RS, Brasil, v. 18, ed. 1, p. 79-91, 1 abr. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/10662/pdf>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [10] FREIRE, R. S. *et al.* Novas tendências para o tratamentos de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Química Nova, v. 23(4), p. 504-511, 2000.
- [11] GABARDO, I. T. Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- [12] GUIMARÃES, S. G.; BRITO NETO, F. A.; GALVÃO, P. F. C. Tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel utilizando os processos oxidativos avançados - foto-fenton- em luz artificial. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 13 de maio de 2015, p. 1. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [13] HENLE, E. S.; LUO, Y.; LINN, S. Fe²⁺, Fe³⁺, and oxygen react with DNA-derived radicals formed during ironmediated fenton reactions. Biochemistry, v.35, p.12212-12219. 1996.
- [14] Huang, C. P.; Dong, C.; Tang, Z. Advanced chemical oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment. Waste Manage., v.13, p.361- 377, 1993.
- [15] MARTINS, S. S. S. *et al.* Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. Holos, 6, 54-76. 10.15628/holos.2015.2201, 1 de janeiro de 2015, p. 55. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2201/1212>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [16] MICHAEL, I. *et al.* Solar photo-Fenton process on the abatement of antibiotics at a pilot scale: Degradation kinetics, ecotoxicity and phytotoxicity assessment and removal of antibiotic resistant enterococci. Water Research, v. 46, p. 5621-5634, 2012.
- [17] MILLIOLLI, V. S. Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008, p. 29.
- [18] MOTA, A. L. N. Desenvolvimento de um sistema foto-oxidativo visando aplicação no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo. TESE DE DOUTORADO. 2010, p. 60. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [19] NOGUEIRA, R. F. P. *et al.* Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton. Química Nova, v. 30, p. 400-408, 2007.
- [20] NOGUEIRA, R. F. P.; GUIMARÃES, S. J. R. Photodegradation of dichloroacetic acid and 2,4-dichlorophenol by ferrioxalate/H₂O₂ system. Water Research, v.34, p.895-901, 2000.
- [21] PIGNATELLO, J. J. Dark and photoassisted Fe³⁺-catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide. Environ. Sci. Technol. v.26, p.944-951, 1992.
- [22] ROSSETTI, G. H.; ALBIZZATI, E. D.; ALFANO, O. M. Decomposition of formic acid in a water solution employing the photo-Fenton reaction. Industrial Engineering Chemical Research, v.41, p.1436-1444, 2002.
- [23] SPINKS, J. W. T.; WOODS, R. J. An Introduction to Radiation Chemistry, 3rded. John Wiley & Sons: Nova York, 1990.

-
- [24] TEIXEIRA, C. P. de A. B.; JARDIM, W. de F. Caderno temático: Processos Oxidativos Avançados – Conceitos teóricos. Campinas: UNICAMP, 2004. 3v. Disponível em: <<https://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>>. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [25] VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. Eclética Química [online]. 1997, v. 22, p. 49-66. Acesso em: 15 novembro 2022.
- [26] VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4a edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Engenharias – CE

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:30 horas do dia treze de agosto de dois mil e dezenove, no laboratório de simulação de engenharia de petróleo, no – Centro de Engenharia da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **GLÁICE OLIVEIRA ARAÚJO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2014020130**, com o título **“ESTUDO TEÓRICO SOBRE A CONSTRUÇÃO DE UM REATOR DE BANCADA PARA TRATAMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA PROVENIENTE DA ÁGUA PRODUZIDA UTILIZANDO PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dra. ANDRÉA FRANCISCA FERNANDES BARBOSA, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. ANDRÉ LUIS NOVAIS MOTA e Prof. Dr. JARDEL DANTAS DA CUNHA, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno APROVADO. E para constar, eu, ANDRÉA FRANCISCA FERNANDES BARBOSA, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 24 de NOVEMBRO de 2022.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dra. ANDRÉA FRANCISCA FERNANDES BARBOSA - UFERSA
Presidente e orientador

Prof. Dr. ANDRÉ LUIS NOVAIS MOTA – UFERSA
Primeiro Membro

Prof. Dr. JARDEL DANTAS DA CUNHA – UFERSA
Segundo Membro