

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Bruno Velasco Soares Moreira dos Santos

Débora Pittella Maia

Henrique Sales Neves

**PROPOSTA DE DEGRADAÇÃO DO FÁRMACO OMEPRAZOL ATRAVÉS DO
PROCESSO FOTO-FENTON**

Belo Horizonte

2022

Bruno Velasco Soares Moreira dos Santos

Débora Pittella Maia

Henrique Sales Neves

**PROPOSTA DE DEGRADAÇÃO DO FÁRMACO OMEPRAZOL ATRAVÉS DO
PROCESSO FOTO-FENTON**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora:

Profa Dra Lucilaine Valéria de Souza Santos e
Profa Dra Raquel Sampaio Jacob

Belo Horizonte

2022

RESUMO

O mercado farmacêutico tem passado por intenso desenvolvimento tecnológico devido a busca pela melhora da qualidade de vida e aumento do interesse pela estética. Assim, a indústria farmacêutica está presente na vida das pessoas, desde a utilização de compostos com atividade farmacêutica, até um creme hidratante. A ampliação deste segmento industrial brasileiro é expressiva e, da mesma forma, o crescimento do número de farmácias de manipulação que buscam entregar produtos personalizadas a preços mais acessíveis. Apesar de todos os benefícios da indústria farmacêutica, os resíduos gerados por este setor apresentam grande impacto ambiental. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os resíduos produzidos pelo laboratório da farmácia de manipulação "BS Pharma" e utilizar processos oxidativos avançados para a degradação de alguns poluentes prioritários. Utilizando o processo Foto-fenton, auxiliado por uma fonte artificial de luz ultravioleta, conseguiu-se degradar o fármaco omeprazol e analisar as alíquotas retiradas da solução reacional através do espectrofotômetro de absorção no ultravioleta visível. Com os dados desse equipamento, chegou-se em uma eficiência de 73,103 % de degradação.

Palavras-chave: Farmácia, efluente, tratamento, omeprazol, Foto-fenton.

ABSTRACT

The pharmaceutical market has undergone intense technological development due to the search for improved quality of life and increased interest in aesthetics. Thus, the pharmaceutical industry is present in people's lives, from the use of compounds with pharmaceutical activity, to a moisturizing cream. The expansion of this Brazilian industrial segment is significant and, in the same way, the growth in the number of compounding pharmacies that seek to deliver personalized products at more affordable prices. Despite all the benefits of the pharmaceutical industry, the waste generated by this sector has a great environmental impact. In view of the above, the present work aims to characterize the residues produced by the laboratory of the manipulation pharmacy "BS Pharma" and to use advanced oxidative processes for the degradation of some priority pollutants. Using the Foto-fenton process, aided by an artificial source of ultraviolet light, it was possible to degrade the drug omeprazole and analyze the aliquots removed from the reaction solution through the ultraviolet visible absorption spectrophotometer. With the data from this equipment, an efficiency of 73.103% of degradation was reached.

Key-words: Pharmacy, effluent, treatment, omeprazole, Photo-fenton.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medicamentos presentes na rede de esgoto de Belo Horizonte em 2016.....	22
Tabela 2 – Principais características de cada tipo de filtração.....	30
Tabela 3 – Potencial de redução de compostos oxidantes.....	34
Tabela 4 – Dados Iniciais para a reação	43
Tabela 5 – Absorbância da solução em função da concentração	46
Tabela 6 – Concentração da amostra comparada com a curva de calibração....	50
Tabela 7 – Absorbância corrigida da solução em função da concentração.....	51
Tabela 8 – Concentração calculada para as amostras.....	56

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Reação característica do processo fenton.....	35
Equação 2 – Reação secundária do processo fenton.....	36
Equação 3 – Reação regenerativa de cátion ferroso do processo foto-fenton....	36
Equação 4 – Reação regenerativa de cátion ferroso do processo foto-fenton....	36
Equação 5 – Equação da quantidade de matéria.....	41
Equação 6 – Equação do volume de amostra.....	41
Equação 7 – Equação da densidade.....	42
Equação 8 – Relação do volume de peróxido de hidrogênio.....	42
Equação 9 – Equação de dissociação do sulfato ferroso.....	43
Equação 10 – Equação da curva de calibração.....	50
Equação 11 – Equação da curva de calibração corrigida.....	52
Equação 12 – Percentual de oxidação da reação.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do processo de degradação anaeróbio.....	28
Figura 2 – Processos de filtração por membrana.....	31
Figura 3 – Etapas metodológicas deste trabalho.....	39
Figura 4 – Espectro de absorbância das soluções padrão.....	45
Figura 5 – Espectro de absorbância dos minutos 0 e 60 do Experimento um.....	47
Figura 6 – Espectro de absorbância da amostra inicial diluída.....	49
Figura 7 – Espectro de absorbância da alíquota do minuto 0.....	53
Figura 8 – Espectro de absorbância das alíquotas do minuto 0 a 60.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de calibração.....	46
Gráfico 2 – Curva de calibração corrigida.....	51
Gráfico 3 – Concentração de omeprazol em função do tempo.....	57

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

CRRQ – Central de Reagentes e Resíduos Químicos

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ELL – Extração Líquido-Líquido

FEBRAFAR – Febrafar Federação Brasileira das Redes Associativistas e Independentes de Farmácias

g – grama

L – Litro

mg – miligrama

mL – mililitro

NBR – Norma Brasileira

nm – Nanômetro

P.A. – Padrão Analítico

PGRSS – Plano de Gerenciamento de Resíduos do Serviço de Saúde

PNM – Política Nacional de Medicamentos

POA – Processo Oxidativo Avançado

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

RSS – Resíduos de Serviço de Saúde

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

UV – Ultravioleta

UVV – Ultravioleta de vácuo

UV/Vis – Espectrofotômetro de absorção no ultravioleta visível

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ – densidade

aq – aquoso

$\cdot\text{OH}$ – Radical Hidroxila

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius

E° – Potencial de Redução

hv – Radiação Ultravioleta

m – massa

V – Volts

V – Volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. História da farmácia e seu mercado.....	17
3.2. Resíduos de Serviço de Saúde (RSS).....	19
3.3. Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde.....	20
3.3.1. <i>Resíduos de Serviço de Saúde do Grupo B.....</i>	<i>21</i>
3.3.2. <i>Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde em relação à sua periculosidade.....</i>	<i>23</i>
3.4. Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS).....	24
3.5. Caracterização dos resíduos de saúde.....	25
3.5.1. <i>Características físicas dos resíduos de saúde.....</i>	<i>25</i>
3.5.2. <i>Características químicas dos resíduos de saúde.....</i>	<i>26</i>
3.6. Alternativas para o tratamento dos efluentes de Serviços de Saúde.....	27
3.6.1. <i>Tratamentos biológicos.....</i>	<i>27</i>
3.6.1.1. Processo tratamento anaeróbio.....	27
3.6.1.2. Processo tratamento aeróbio.....	29
3.6.2. <i>Tratamento físico.....</i>	<i>29</i>
3.6.2.1. Filtração.....	29
3.6.2.2. A Esterilização de RSS.....	31
3.6.2.3. Pirólise, neutralização e incineração.....	32
3.6.3. <i>Processos oxidativos avançados.....</i>	<i>33</i>
3.6.3.1. Utilização direta de UV e H₂O₂.....	34
3.6.3.2. Catálise do H₂O₂ por UV.....	35
3.6.3.3. Processo de Fenton e Foto-Fenton.....	35
4. METODOLOGIA.....	39
4.1. Coleta e armazenamento dos efluentes.....	39
4.2. Preparo das amostras.....	40

4.3.	Processo de tratamento dos efluentes coletados.....	40
4.4.	Curva de calibração.....	44
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1.	Construção da curva de Calibração.....	44
5.2.	Estudo do primeiro experimento realizado.....	47
5.3.	Estudo do segundo experimento realizado.....	48
	5.3.1. Resultados da degradação da solução oral.....	52
	5.3.2. Percentual de oxidação.....	56
6.	CONCLUSÃO.....	59
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
	APÊNDICE A – Espectros das soluções padrão.....	78
	APÊNDICE B – Espectros do experimento dois.....	85

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico resultante da globalização, guerras e doenças, o setor farmacêutico tem crescido e proporcionado a descoberta de formulações e novos fármacos. As farmácias magistrais também usufruíram deste crescimento econômico e científico, devido a sua possibilidade de criar fórmulas personalizadas, combinando ativos com exclusividade e economia. De acordo com a IQVIA, empresa líder global no setor de informação para a área da saúde, em 2020, o Brasil foi líder no mercado de medicamentos na América Latina, movimentando cerca de U\$19,5 bilhões.

Porém, juntamente com esse desenvolvimento, há um aumento de resíduos gerados por serviços de saúde. Dentre os resíduos gerados em uma farmácia de manipulação, cita-se os resíduos dos grupos A, B, C, D e E, classificados de acordo com a ANVISA. Dentre eles, destaca-se o grupo B que enquadra compostos químicos que podem apresentar grande risco à saúde e ao meio ambiente.

Dentre os possíveis impactos deste grupo, destacam-se o aumento da incidência de doenças, genotoxicidade em seres humanos e em toda a biota local, além de mudanças nas características físico e químicas dos solos (FERREIRA GUEDES et al., 2021).

Segundo Araújo *et al.* (2018), grande parte deste impacto ambiental e na saúde é oriundo da negligência dos profissionais de saúde quanto ao armazenamento e destinação dos resíduos. Assim, com o crescimento do setor farmacêutico magistral e o consequente aumento da produção de resíduos, torna-se de suma importância a regularização e gerenciamento destes resíduos quanto ao seu armazenamento e descarte adequado.

Neste sentido a RDC N° 306, de 7 de dezembro de 2004 dispõe sobre este gerenciamento, incluindo o tratamento e a disposição final dos resíduos gerados no serviço de saúde, responsabilizando o gerador por encarregar-se destas ações. Apesar desta legislação, ainda hoje, há o descarte e armazenamento incorreto de resíduos do grupo B por serviços de saúde.

O descarte de medicamentos e resíduos em lixos comuns e na rede de esgoto sem tratamento prévio são práticas inadequadas. Embora haja o tratamento do esgoto e impermeabilização dos solos de aterros sanitários, estes locais ainda são propícios a causar danos à saúde e ao meio ambiente através da produção de gases tóxicos e contaminação de rios, lagos, lençóis freáticos, entre outros. Assim, alternativas como a incineração dos resíduos farmacêuticos têm sido muito utilizadas e realizadas por empresas terceirizadas. Apesar de eficiente e simples, o processo de incineração emite diversos gases tóxicos e cinzas que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana além de demandar um consumo de energia considerável.

Sendo assim, este trabalho visa discutir outras opções de tratamento de resíduos do tipo B originados em uma farmácia de manipulação localizada Belo Horizonte, de modo a diminuir o impacto ambiental a este relacionado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Degradar o fármaco omeprazol em solução oral a partir do processo Foto-Fenton auxiliado por uma fonte artificial de luz ultravioleta;

2.2. Objetivos específicos

- Elaborar experimentos para avaliação da degradação do fármaco omeprazol em solução oral;
- Discutir os resultados coletados no Espectrofotômetro UV/Vis e analisar a eficiência de degradação em função do tempo de reação Foto-Fenton.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. História da farmácia e seu mercado

A procura por meios que tranquilizem a dor do ser humano é tão arcaica quanto a própria humanidade. Na pré-história, os mais velhos habitantes do planeta terra já manuseavam plantas para a melhora de patologias (FERST, 2013).

O surgimento da indústria farmacêutica moderna surgiu no começo do século XX, quando houve elevados investimentos no setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) nas grandes empresas americanas e europeias. Foi exatamente nesse período que Paul Ehrlich ganhou o Prêmio Nobel de Medicina de 1908, por descobrir o primeiro tratamento eficaz para contra Sífilis (FERST, 2013).

Ainda neste contexto é importante ressaltar que mesmo diante de um desenvolvimento considerável a Europa e suas indústrias farmacêuticas foram desestruturadas devido a Primeira Guerra Mundial, uma vez que grande parte dos laboratórios e cientistas começaram a atuar em razão da guerra (ELDER, 2006). Foi nessa condição da Primeira Guerra, que muitos soldados foram mortos devido à grande quantidade de doenças. O médico inglês Alexander Fleming iniciou pesquisas e experimentos com fármacos que possuem ação antibacteriana, e em 1921 Alexander Fleming descobriu a penicilina, uma enzima que combatia diferentes bactérias, o que se tornou um marco no desenvolvimento farmacêutico (FERST, 2013).

Em contrapartida, a Segunda Guerra Mundial possibilitou um espaço bastante favorável para o setor farmacêutico, uma vez que na Primeira Guerra Mundial houve mais mortes de soldados causadas por doenças do que na guerra de fato. Portanto, surgiu a necessidade de controlar as perdas de soldados por motivos indiretos e os governos fizeram grandes investimentos em indústrias farmacêuticas. Nesse contexto, o setor farmacêutico teve uma grande oportunidade para o crescimento e o fortalecimento da sua posição com uma indústria extremamente importante (FERST, 2013).

O surgimento e desenvolvimento do setor farmacêutico no Brasil acompanhou o mesmo modelo do restante do mundo, porém se comparado a Europa e Estados Unidos aconteceu um pouco mais tarde (FERST, 2013).

Com a Primeira Guerra Mundial, em 1915, houve carência no abastecimento de remédios, levando a necessidade do desenvolvimento e produção de medicamentos. Foi nesse período que os americanos e europeus descobriram um mercado potencial no Brasil, resultando na instalação de laboratórios estrangeiros, contudo ainda era inevitável a importação de reagentes químicos básicos (ARISTAQUE, 2010). Assim, em 1930 o setor farmacêutico brasileiro teve o seu ápice, no combate a patologias endêmicas como tuberculose, varíola e febre amarela, no qual correspondia a um enorme problema de saúde pública. Logo em 1938, existiam 432 laboratórios farmacêuticos nacionais e 44 estrangeiros (BERMUDEZ, 1995).

O Ministério da Saúde, em 1999, alavancou diferentes ações que buscavam fortalecer a Política Nacional de Medicamentos (PNM), tendo como objetivo viabilizar a produção, garantindo segurança, eficácia e excelência. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) foi criada a partir dos atos da Política Nacional de Medicamentos, tornando-se um órgão responsável por proteger e favorecer a saúde através da fiscalização do controle de qualidade na produção de fármacos (FERST, 2013).

Somente a partir de 1999 foram criadas ferramentas para o financiamento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), que são os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia com o objetivo de impulsionar a relação de universidade-empresa e aperfeiçoar a infraestrutura (RÊGO, 2002).

Neste contexto, as farmácias de manipulação, também chamadas de farmácias magistrais, surgiram no Brasil no final do ano de 1980. No começo, haviam poucas farmácias e focavam, especialmente, na área de dermatologia ou homeopatia, com foco nas prescrições individuais. O setor de manipulação passou a manipular grande quantidade de fármacos devido a chegada dos medicamentos genéricos no mercado brasileiro, no qual as formulações eram disponibilizadas pelas indústrias farmacêuticas (BONFILIO et al., 2010).

O setor farmacêutico brasileiro em consonância com o mercado farmacêutico mundial vem expandindo no decorrer dos anos. Em 2005, o Brasil preenchia a décima posição no ranking dos maiores mercados farmacêuticos mundiais, já em 2011, o Brasil ocupava o oitavo lugar excedendo enormes economias, como a Inglaterra. De acordo com a IMS Health, a maior empresa de consultoria do setor farmacêutico, o Brasil tem a possibilidade de chegar na sexta posição nos decorrentes dois anos (FERST, 2013). Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), em 2020, o mercado farmacêutico brasileiro ocupava o sexto lugar no ranking mundial, obtendo uma receita de R\$ 79,2 bilhões entre o período de janeiro a julho deste mesmo ano. É importante ressaltar que a pandemia do Covid-19 afetou o setor farmacêutico brasileiro de maneira a aumentar sua atuação no cenário mundial (SEBRAE, 2021).

Segundo a Federação Brasileira das Redes Associativistas e Independentes de Farmácias (FEBRAFAR), o mercado farmacêutico retratou um aumento no faturamento de 10,8% em 2021 em relação ao ano anterior, visto que em 2020, este setor havia faturado R\$ 137,3 bilhões e em 2021, faturou R\$ 152,1 bilhões (SOUZA, 2022).

O crescimento do setor farmacêutico gerou não apenas um aumento do faturamento e desenvolvimento de novas tecnologias, mas também um aumento na geração de resíduos ligados ao setor da saúde.

3.2. Resíduos de Serviço de Saúde (RSS)

Com o crescimento do mercado farmacêutico no Brasil, passou-se a dar mais atenção para os efluentes gerados por esse setor, uma vez que esses rejeitos tem grande potencial para influenciar nas condições de saúde pública, sendo uma possível fonte de doenças infecciosas, além de poderem trazer danos ao meio ambiente (NUNES *et al.*, 2012). De acordo com Ambientec (2018) com a evolução tecnológica do setor farmacêutico se teve a utilização de novos compostos para fabricação de medicamentos, gerando resíduos complexos e potencialmente nocivos. Para isso, o governo brasileiro criou a classificação

Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) a partir da Resolução RDC Nº 306, de 7 de dezembro de 2004 (ANVISA, 2004).

Assim, os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) são todos aqueles gerados em hospitais, clínicas, postos de saúde, farmácias, laboratórios, entre outros. Estes resíduos apresentam-se como potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente, visto que se tratam de resíduos biológicos, tóxicos, radioativos e inflamáveis, objetos perfurantes e contaminados, entre outros (BRASIL, 2001).

A normativa NBR 12807, determinada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define os termos utilizados em relação aos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde e classifica este como aqueles resíduos resultante de atividades exercidas por estabelecimento gerador, de acordo com a classificação adotada pela NBR 12808 (ABNT, 1993).

Assim, em 2018, foram coletadas cerca de 253 mil toneladas de RSS no Brasil, enquanto em 2017, foram coletadas cerca de 257 mil toneladas. Em 2020, foram coletadas cerca de 290 mil toneladas de resíduos de serviços de saúde no Brasil, equivalente a cerca de 1,4 kg/ano por habitante. O volume gerado em 2020 não foi condizente com o padrão apresentado nos anos anteriores, visto que a pandemia do Covid-19 aumentou os casos de internação em hospitais aumentando os serviços de saúde. Neste mesmo ano, aproximadamente 30% destes resíduos foram destinados sem tratamento prévio, desrespeitando as normas e leis vigentes no Brasil. Dos 70% que foram tratados, em torno de 40% tiveram como tratamento a incineração (ABRELPE, 2021) e (ABRELPE, 2019).

3.3. Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde

Os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) são classificados de acordo com sua natureza, a fim de segregar corretamente os resíduos, reduzindo os riscos sanitários e facilitando o posterior tratamento (PILGER; SCHENATO, 2008).

De acordo com a norma NBR 12808/93, os resíduos são classificados em 3 grupos. O grupo A engloba os resíduos infectantes, o grupo B, os resíduos especiais e o grupo C, os resíduos comuns (ABNT, 1993). A Resolução

CONAMA nº 005, de 05 de agosto de 1993, por sua vez, classifica os RSS em quatro grupos. O grupo A dispõe de resíduos que podem conter agentes biológicos, apresentando risco de infecção. O grupo B, por sua vez, representa aqueles resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar-se como um risco à saúde pública e ao meio ambiente. O grupo C engloba os rejeitos radioativos ou contaminados com radionuclídeos provenientes de serviços de medicina nuclear e análises clínicas. O grupo D agrupa os resíduos que não apresentam riscos biológicos, químicos ou radiológico, ou seja, que podem ser descartados como lixos comuns (CONAMA, 1993).

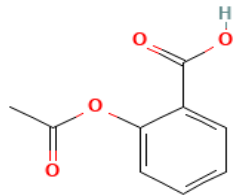
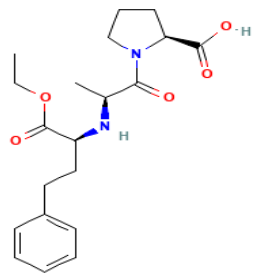
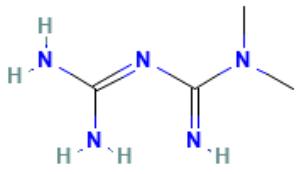
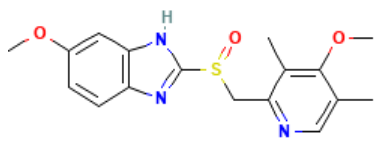
Dentre os grupos abordados pela resolução CONAMA nº 005, de 05 de agosto de 1993, o grupo que apresenta maior potencial poluente é o grupo B, por serem compostos que possuem concentrações consideráveis de substâncias químicas.

3.3.1. Resíduos de Serviço de Saúde do grupo B

Os resíduos do grupo B, que agrupam os resíduos químicos de acordo com a Resolução do CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005 e da Resolução da ANVISA RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004, são subdivididos em 5 subgrupos. O primeiro contém os rejeitos de antineoplásicos, imunossupressores e medicamentos hormonais e microbianos, além sedimentos e insumos farmacêuticos de fármacos controlados pela Portaria MS 344/98. O segundo, são resíduos com a presença de metais pesados, desinfetantes, saneantes e reagentes para laboratórios, incluindo os recipientes contaminados por esses reagentes. O terceiro, apresenta resíduos de reveladores e fixadores, oriundos de efluentes de processadores de imagens. O quarto subgrupo, efluentes de equipamentos que são empregados em análises clínicas. Por fim, há o último subgrupo que, de acordo com a classificação da NBR 10004, contém resíduos químicos perigosos como tóxicos, inflamáveis, reativos e corrosivos (CONAMA, 2005 e ANVISA, 2004).

De acordo com os estudos de Neves e Mol (2019), alguns dos compostos farmacologicamente ativos que foram consumidos no ano de 2016 e estavam presentes na rede de esgoto da cidade de Belo Horizonte são o Omeprazol, Ácido Acetilsalicílico, Metformina e Enalapril, como mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Medicamentos presentes na rede de esgoto de Belo Horizonte em 2016

Medicamento	Fórmula Química	Classe	Estrutura Química
Ácido Acetilsalicílico	$C_9H_8O_4$	Analgésico	
Enalapril	$C_{20}H_{28}N_2O_5$	Antihipertensivo	
Metformina	$C_4H_{11}N_5$	Antidiabético	
Omeprazol	$C_{17}H_{19}N_3O_3S$	Inibidor de secreção gástrica	

Fonte: (NEVES e MOL, 2019) e (PUBCHEM, 2022)

A presença dos fármacos apresentados na Tabela – 1 implica diretamente na elevação da carga de matéria orgânica em corpos aquáticos, influenciando diretamente no aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e como consequência diminui a presença de oxigênio presente nesse corpo, causando extinção das formas de vida, segundo a Promatec (2020).

De acordo com Neves e Mol (2019), em estudos da literatura mundial, utilizou-se lodo ativado como processo de tratamento de efluentes para remover os compostos farmacologicamente ativos presentes na tabela 1. Para o ácido acetilsalicílico o percentual de remoção na Alemanha e na Inglaterra foi de 81 e 100% respectivamente; para o Enalapril o percentual e remoção na Espanha foi de 90%; a Metformina teve percentual de remoção de 98 e 98,6% para a Holanda e Estados Unidos respectivamente e para estudos envolvendo o Omeprazol, na Espanha conseguiu-se remover 60% e, em outro estudo também espanhol 8,5% (NEVES e MOL, 2019).

3.3.2. Classificação dos Resíduos de Serviço de Saúde em relação à sua periculosidade

Os resíduos de Serviço de Saúde também podem ser classificados a partir do seu nível de periculosidade, divididos em resíduos Classe I e Classe II, perigosos e Não Perigosos, respectivamente. A Classe II pode ainda ser dividida como resíduo Não Inerte e resíduo Inerte (ARANTES, 2016).

Os resíduos que fazem parte da Classe I, classe de resíduos com periculosidade elevada, possuem alguma característica que pode apresentar risco à saúde humana. Essas podem ser toxicidade, corrosividade, inflamabilidade, reatividade, explosividade, carcinogenicidade, patogenicidade, mutagenicidade e teratogenicidade (ARANTES, 2016).

Wilkinson e autores (2022) realizaram um estudo que contemplou amostras de 104 países de todos os continentes para avaliar a poluição farmacêutica gerada a partir dos Resíduos de Serviço de Saúde. Constatou-se que a metformina e a carbamazepina foram os medicamentos com maior concentração presente nos rios. Assim, os autores concluíram que em pelo

menos 25,7% dos corpos aquáticos analisados apresenta os níveis de princípios ativos acima do nível seguro para espécies aquáticas (WILKINSON *et al.*, 2022).

Considerando o alto risco ambiental e à saúde humana que os resíduos pertencentes a classe I apresentam há a necessidade de uma regularização dos RSS. Assim, a Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005, dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde (CONAMA, 2005).

Os resíduos da Classe II por sua vez são subdivididos em grupo A, Não Inertes, e grupo B, inertes. O grupo A contempla os resíduos que apresentam características como solubilidade em água, biodegradabilidade e combustibilidade. O grupo B contempla resíduos que não possuem as características que o grupo A possui ou estão abaixo dos padrões estabelecidos pela norma NBR- 10.006 (ARANTES, 2016).

3.4. Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS)

A gestão dos Resíduos de Serviços de Saúde visa não somente a minimização da produção de resíduos, como a disposição adequado dos mesmos (ANVISA, 2006).

Assim, o gerenciamento correto dos RSS torna-se uma importante ferramenta para evitar a disposição inadequada dos resíduos que são rotineiramente gerados. O transporte e descarte interno inadequado apresenta-se como um risco não somente para os profissionais da área, como também para pacientes e clientes daquele local. O transporte e descarte externo, por sua vez, se for feito de maneira incorreta, afeta a população e o meio ambiente, levando ao aparecimento de doenças e desastres naturais (BRASIL, 2001).

Esses riscos estão associados principalmente à sua toxicidade e caráter patogênico. A toxicidade é caracterizada pela presença de pelo menos um composto químico, enquanto que a patogenicidade provém da possibilidade da presença de agentes infectantes, microrganismos ou toxinas (SILVA, 2014).

Neste contexto a Resolução RDC nº 306/2004 (BRASIL, 2004) determina o tratamento dos RSS, bem como responsabiliza o gerador de resíduos pelo seu gerenciamento e o responsabiliza por elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Saúde (PGRSS). O PGRSS deve conter a capacitação dos recursos humanos envolvidos e todas as etapas de planejamento de recursos físicos e materiais do GRSS, desde o manejo, segregação, o acondicionamento, identificação, transporte interno e armazenamento temporário incluindo a coleta, o transporte, o armazenamento e a destinação final dos resíduos (ANVISA, 2004).

3.5. Caracterização dos resíduos de saúde

Para um correto tratamento e descarte das substâncias químicas, é essencialmente necessário conhecer as características físico-química do material que está sob análise.

O processo de caracterização normalmente é constituído por mais de um estágio, necessitando de um planejamento dos procedimentos que serão feitos para tomar as principais características da amostra. Os resíduos sólidos por sua vez, precisam ter uma amostragem bem definida, uma vez que porções pequenas desses resíduos possivelmente não espelham as características da matriz e porções excessivas tem sua análise impraticável (VIANA et al., 2015).

3.5.1. Características físicas dos resíduos de saúde

As características físicas podem ser examinadas e mensuradas sem que se modifique a composição química do analito. As principais características físicas são a densidade, massa, solubilidade e cor (ROBINSON; FLOWERS, 2019). Essas compiladas trazem a tipologia de cada material (VIANA et al., 2015).

A primeira característica física relevante é a massa, uma grandeza física que traduz a quantidade de matéria de uma substância ou composto em números algébricos. Em seus estudos, Silva (2014) utilizou a massa para caracterizar unitariamente os medicamentos e produtos químicos e fazer posteriores análises.

A densidade, por sua vez, é a razão da massa por unidade de volume ocupado por um corpo. Segundo Silva e Santos (2010), a densidade torna-se um dos focos de caracterização dos resíduos sólidos por viabilizar projetos de tratamento e coleta de resíduos. Assim, diversas ações para vinculadas a coleta e armazenamento destes resíduos são pautadas em dados de densidades dentre outros.

Solubilidade é definido como a capacidade que uma substância tem de ser solúvel em um solvente, sendo influenciada pela polaridade da mesma. Quando a polaridade do solvente e da substância são iguais, a solubilidade da substância será maior. Segundo VGResíduos (2021) o estudo da solubilidade se torna importante na caracterização do resíduo sólido, pois auxilia a escolha do melhor processo de gerenciamento e tratamento do resíduo, além de apresentar as ameaças à saúde humana e meio ambiente.

Por fim, em conceitos químicos, a cor de uma substância é determinada pela faixa de comprimento de onda que essa substância irá absorver, refletindo o restante da luz e resultando na cor complementar dessa (MARTINS; SUCUPIRA; SUAREZ, 2015).

3.5.2. Características químicas dos resíduos de saúde

As características químicas estão relacionadas às transformações que a substância sofre em sua estrutura quando expostas à determinado meio. As principais propriedades são a inflamabilidade, reatividade, acidez e basicidade e calor de combustão (ROBINSON; FLOWERS, 2019). Estas características químicas são relevantes para segregar corretamente os resíduos dos serviços de saúde, para facilitar o tratamento posterior dos mesmos.

Segundo a Central de Reagentes e Resíduos Químicos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (CRRQ), inflamabilidade de uma substância leva em conta a temperatura de ebulição e a temperatura que um líquido começa a lançar vapores para alimentar a combustão (*flash point*). As substâncias que apresentam maior periculosidade são as que possuem essas duas temperaturas menores (CRRQ, 2022).

3.6. Alternativas para o tratamento dos efluentes de serviços de saúde

Segundo Wanderley e Nascimento (2017), todo material gerado ou resto de material não utilizado, seja no estado líquido, gasoso ou sólido, sendo poluente ou eventualmente poluente, deve ser tratado ou descartado de forma adequada. Dentre os diversos tipos de tratamentos, corriqueiramente empregados para tratar os RSS, destacam-se os tratamentos biológicos, físicos e tratamentos físico-químicos.

3.6.1. Tratamentos biológicos

O processo de tratamento biológico é bastante utilizado por possuir um bom custo benefício e conseguir tratar grandes quantidades de efluentes, transformando material orgânico em moléculas orgânicas menores como água (H₂O), gás carbônico (CO₂) e metano (CH₄) (SANTOS, 2011) e (GUERRA, 2017). Essa classe de tratamentos pode ser segmentada a partir da característica do microrganismo em tratamento aeróbio ou anaeróbio.

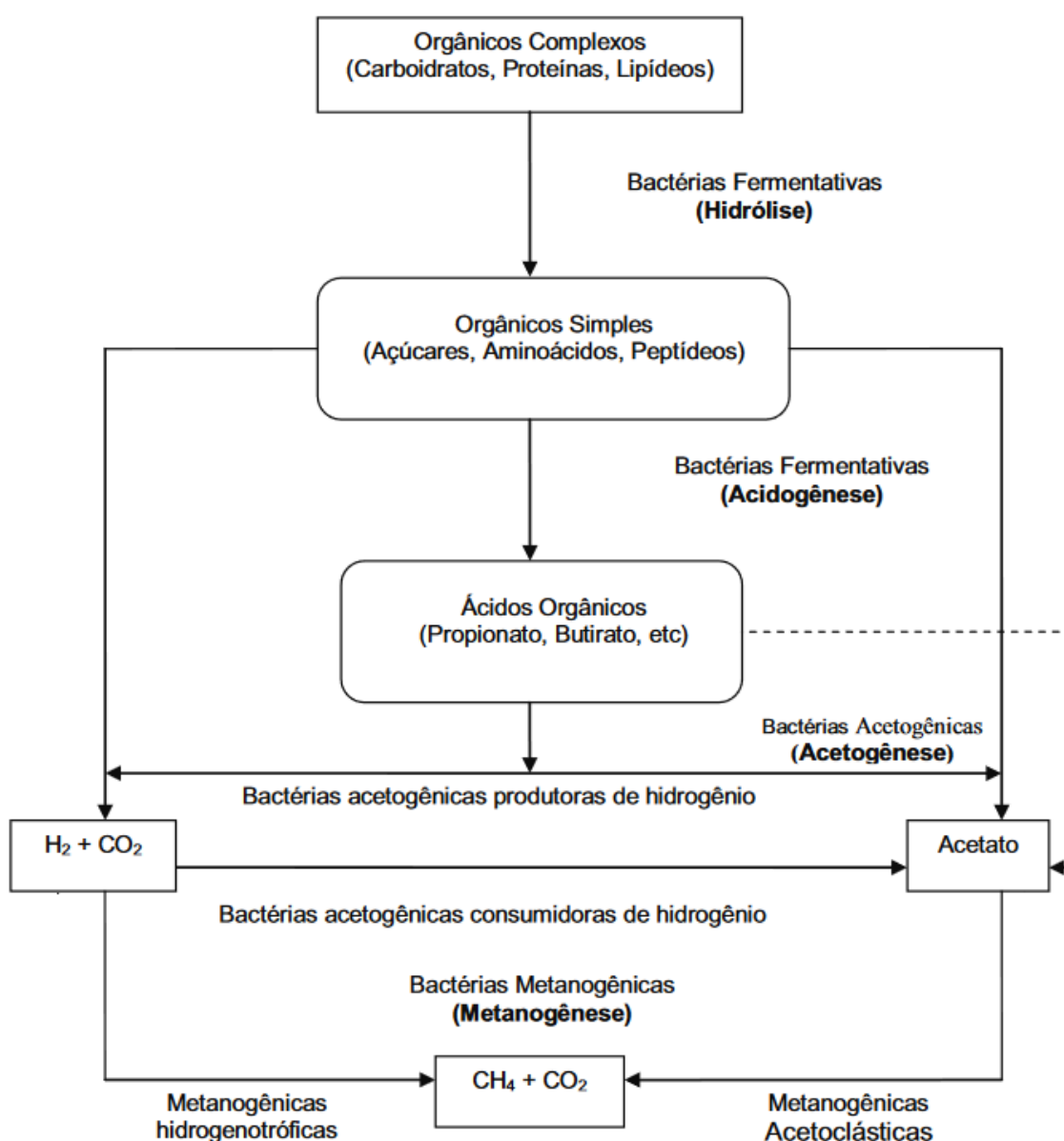
3.6.1.1. Processo tratamento anaeróbio

Os principais microrganismos utilizados nesse processo são os microrganismos sintróficos. Essas bactérias causam deterioração parcial de um material orgânico, constituído de moléculas de grande massa molecular, para que outros microrganismos possam consumir moléculas mais simples, tendo como produto final lodo e biogás (GUERRA, 2017).

Esse processo ocorre em quatro etapas subsequentes, começando pela hidrólise, onde ocorre a quebra das moléculas maiores como carboidratos, proteínas e lipídios e gerando moléculas de baixo massa molecular, como ácido graxos, monossacarídeos e aminoácidos. Seguindo, acontece a acidogênese, onde as bactérias utilizam os produtos da hidrólise para formação de moléculas mais básicas como álcoois e ácidos (GUERRA, 2017).

Posteriormente, ocorre a acetogênese, que consiste na transformação dos produtos da etapa anterior em moléculas de acetato, gás carbônico e hidrogênio. Por fim, ocorre a etapa final denominada metanogênese, na qual o produto final será metano e gás carbônico (GUERRA, 2017). Na figura 1 é possível verificar as principais etapas e subprodutos gerados no processo de degradação anaeróbica.

Figura 1 - Etapas do processo de degradação anaeróbica.



Fonte: Adaptado de (SIQUEIRA, 2008)

3.6.1.2. Processo de tratamento aeróbio

Por outro lado, o tratamento aeróbio utiliza bactérias que, através da respiração celular, oxidam os compostos orgânicos presentes no rejeito, fazendo com que ocorra a quebra e transformação de moléculas complexas em moléculas mais simples e de menor massa molecular (MELO, 2017).

Segundo Melo (2017), é possível fazer a combinação dos processos aeróbios e anaeróbios em um único sistema, aumentando a eficiência do tratamento além de baratear a operação e produzir menos efluentes.

Nos estudos realizados por Marcelino (2014), foram realizados dois processos de tratamento aeróbios (Aeróbio 1 e Aeróbio 2) que tiveram eficiência na remoção de DQO de 90% e 71% respectivamente, em um período de 28 dias. Quando utilizou um processo biológico aeróbio associado a Foto-Fenton, a eficiência foi de 85%. Esse processo foi realizado em um período de 12 dias de ensaio biológico seguido de 3 horas de processo de Foto-Fenton (MARCELINO, 2014).

3.6.2. Tratamentos físicos

Os tratamentos físicos são usados para separação de fases e separações moleculares (SANTOS, 2011). Esse tipo de tratamento possui uma maior variedade dos demais, sendo que os principais tratamentos físicos empregados para tratar resíduos de serviços de saúde são filtração, esterilização, pirólise, neutralização e incineração.

3.6.2.1. Processo de Filtração

O processo de filtração é baseado na passagem de uma corrente pelo interior de um leito filtrante, a fim de fazer com que as partículas presentes fiquem retidas no leito (MIRANDA, 2018). Membranas de diferentes constituições podem ser empregadas para fornecer a separação almejada. Dentre os processos de separação por membranas destacam-se as membranas de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e Osmose Inversa

(OI). Na tabela 2 são apresentadas as principais características de cada um dos sistemas de filtração supracitados.

Tabela 2 – Principais características de cada tipo de filtração

Tipo de filtração	Dimensão do poro	O que retém
Microfiltração (MF)	1 μm - 10 μm	Micro-organismos
Ultrafiltração (UF)	0,01 μm - 1 μm	Macromoléculas
Nanofiltração (NF)	1 nm - 10 nm	Moléculas com peso molecular mediano
Osmose Inversa (OI)	1 - 10 Å	Moléculas com baixo peso molecular, íons e átomos

Fonte: Adaptado de (GALVÃO e GOMES, 2015)

Um dos tipos de filtração é a microfiltração (MF) que consiste na retenção de impurezas de uma corrente em uma membrana microporosa quando essa passa através da membrana. É comumente utilizado para remover partículas de diâmetro maior que 0,001 milímetros (ROQUE, 2009).

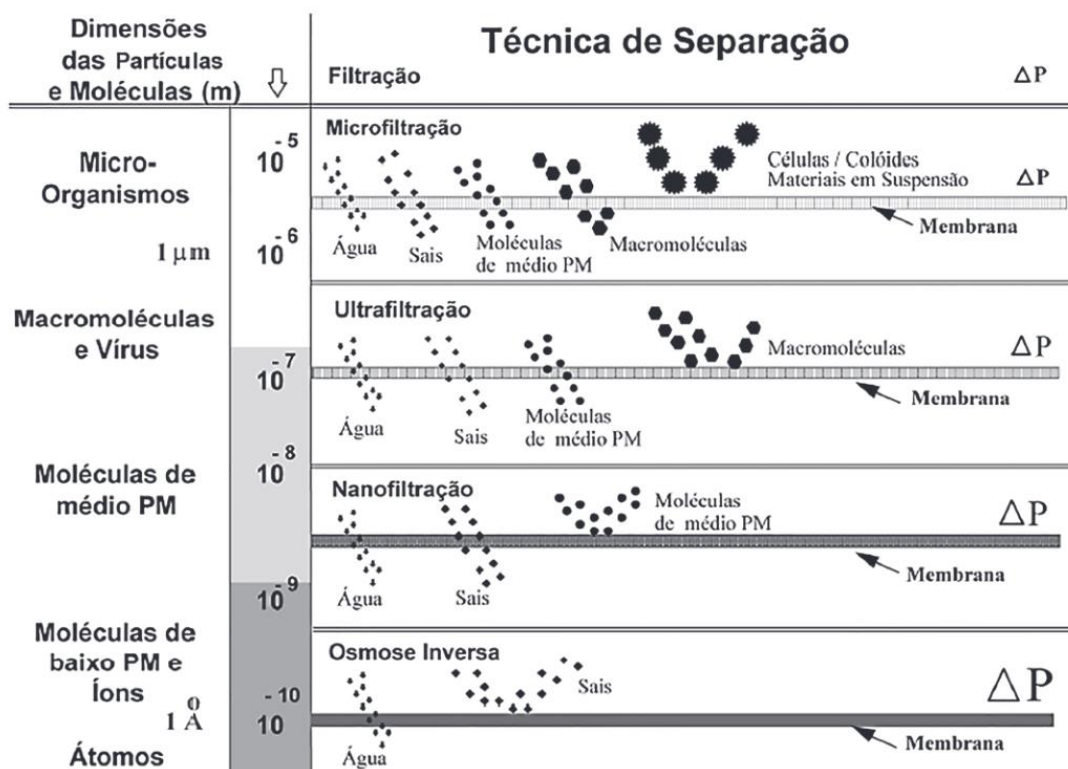
Outro tipo de filtração é a ultrafiltração (UF) que, assim como a microfiltração, utiliza de membranas para fazer a separação. Assim como os outros métodos de filtração apresentado na Tabela – 2, a transferência de massa desse processo fundamenta-se na diferença de pressões das faces da membrana. Utiliza-se essa variante da filtração para reter moléculas de peso elevado, como emulsões e gorduras (ROQUE, 2009).

Também utilizando de sistemas que possuem membranas o processo de nanofiltração (NF) se baseia na remoção de partículas neutras ou ionizadas presente no fluido. Esse tipo de filtração tem capacidade para reter bactérias, vírus, moléculas orgânicas e inorgânicas, sendo muito utilizado para tratamentos minuciosos de efluentes (ROQUE, 2009).

Por fim, o último tipo de filtração é chamado de Osmose Inversa (OI), que também utiliza de um sistema com membranas. Seu método de remoção se baseia na transferência forçada do fluido através da membrana, separando esse das partículas que estão em solução, por isso possui o nome de osmose inversa, uma vez que a osmose passa solvente para o local de maior concentração de soluto. Nesse processo ficam retidos na membrana principalmente minerais e sais e consiste em um mecanismo de difusão de maneira que a pressão e a concentração da corrente interferem diretamente na eficiência da separação (ROQUE, 2009).

A figura 2 contém estes processos resumidos com as respectivas dimensões das partículas e moléculas que ficam retidas.

Figura 2 – Processos de filtração por membrana



Fonte: (GALVÃO e GOMES, 2015)

3.6.2.2. A Esterilização de RSS

A esterilização é um dos principais métodos de tratamento dos RSS e consiste na destruição de todo organismo microbiano presente na amostra,

exemplos de esterilização são autoclavagem e a esterilização através de microondas. A autoclavagem é o processo que expõe a amostra por um determinado tempo a um vapor que está em temperatura pré-estabelecida e pressão maior que a pressão atmosférica. Este processo tem como principal vantagem a não geração de gases e, como desvantagem, a não redução do volume da amostra, o que dificulta seu armazenamento (FARIA, 2010) e (PEREIRA, 2012).

A esterilização por microondas consiste na disposição das amostras em recipientes que serão levados a altas temperaturas, onde posteriormente serão filtrados e aspirados com o intuito de remover os microrganismos existentes. Posteriormente, se tem a adição de vapor de água para assim expor a microondas eletromagnéticas. Sua principal vantagem é que esse método consegue descaracterizar a amostra, porém não tem eficácia total na eliminação de esporos de bactérias e parasitas (FARIA, 2010).

Segundo Centenaro e autores (2012), existem estudos que trazem a eficiência do processo de esterilização por microondas e autoclavagem no tratamento prévio dos resíduos dos serviços de saúde. Nos estudos citados por Centenaro (2012), foram necessários 75 e 123 minutos de irradiação de microondas para alcançar níveis de inativação microbiana iguais a 10⁴ e 10⁶ para RSS contaminados com *Escherichia coli*.

3.6.2.3. Pirólise, neutralização e incineração

A pirólise é um processo de decomposição química dos efluentes através da ação calor sem a presença de oxigênio. Neste processo, apresenta-se como vantagem a possibilidade de tornar os efluentes inerte, mudando sua classificação da Classe I para a Classe II. Como desvantagem, pode-se citar o alto custo do processo (CATARINI; ROCHA, 2018).

A neutralização por sua vez, é um tratamento que consiste na inserção da amostra em uma solução de hipoclorito de sódio ou dióxido de cloro, com o intuito de diminuir a periculosidade ou toxicidade dessa amostra. Tem como principal vantagem o baixo custo de operação e como desvantagem é a

ineficácia para eliminar agentes resistentes a grandes variações de pH (MACEDO, 2019). Esse processo é utilizado para neutralizar efluentes que serão descartados na rede de esgoto conforme as legislações vigentes, como Carvalho (2013) utilizou em seus estudos para neutralizar resíduos provenientes de equipamentos de hematologia e bioquímica.

Por fim, a incineração é um dos métodos mais utilizados para tratar resíduos gerados pela área da saúde, se baseando na queima desses resíduos em um forno com alta concentração de oxigênio e temperatura elevada. Serve principalmente para diminuir o volume do resíduo e seu nível de contaminação do meio ambiente, fazendo com que os resíduos não sejam descartados diretamente no meio ambiente (VGR, 2018) e (PRÓ AMBIENTAL, 2022).

Em 2020, segundo o panorama dos resíduos sólidos no Brasil edição 2021, cerca de 43,4% dos resíduos dos serviços de saúde são encaminhados para a incineração, mostrando a importância desse método para o cenário brasileiro (ABRELPE, 2020).

Apesar das vantagens econômicas da incineração, estudos apontados por Filho e autores (2014) mostram que o processo de pirólise apresenta menor emissão de gases poluentes, como NO_x , SO_2 e metais pesados que o processo de incineração.

3.6.3. *Processos oxidativos avançados*

Entre os tratamentos de efluentes existentes os Processos Oxidativos Avançados, também conhecidos como POA's, tem ganhado espaço na comunidade industrial e científica. Esse método de tratamento consiste em um processo de formação de radicais altamente oxidantes, como o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), sendo possível oxidar uma alta margem de compostos orgânicos a gás carbônico (CO_2), água (H_2O) e íons inorgânicos oriundos de heteroátomos (NOGUEIRA et al., 2007).

Os radicais hidroxilas podem ser produzidos através de processos fotoquímicos ou através de outros tipos de energia, tendo alta eficiência na oxidação de compostos orgânicos (MOMENTI, 2006). Esse radical reage com matéria orgânica através de mecanismos distintos, de acordo com a estrutura do

composto (NOGUEIRA et al., 2007). Na tabela 3 é possível visualizar o potencial oxidante de diversos compostos com destaque para o potencial gerado pelo supracitado radical.

Tabela 3 – Potencial de redução de compostos oxidantes

Espécie	E° (V)
Radical Hidroxila, ·OH	+2,80
Ozônio, O ₃	+2,07
Peróxido de Hidrogênio, H ₂ O ₂	+1,77
Hipoclorito, ClO ⁻	+1,43
Radical Peridroxil, HO ₂ ·	+1,42
Cloro, Cl ₂	+1,36
Oxigênio, O ₂	+1,23

Fonte: Araújo et al., 2016

Segundo (ARAÚJO, 2016) os POAS apresentam diversas vantagens, se comparados as demais formas de tratamento, dentre as quais se destacam o elevado poder oxidante, decomposição eficiente de compostos recalcitrantes e possibilidade de mineralização (ARAÚJO et al., 2016). Os processos oxidativos avançados mais usualmente empregados são os que utilizam diretamente peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em pH controlado ou a conjugação de processos como H₂O₂/UV, Fenton e foto-Fenton (MARTINS, 2011).

3.6.3.1. Utilização direta de UV e H₂O₂

A radiação ultravioleta (UV) possui alta carga energética e, por isso, tem sido utilizada para degradar uma série de compostos. A reação consiste na fotólise da molécula alvo, a partir da incidência de radiação ultravioleta com comprimentos de ondas inferiores a 300 nm. Esse método é uma alternativa para desinfetar água potável, possuindo como principais vantagens a não adição de substâncias químicas na água e possuir baixo tempo reacional (SIMÕES, 2013).

Nos estudos realizados por Simões (2013), a fotólise UV foi utilizada para tratar os fármacos metronidazol e propanolol em soluções aquosas. O experimento foi realizado para radiações UV-A e UV-C em períodos de 8 e 24 horas, assim para a radiação UV-C em 24 horas o metronidazol obtendo

percentuais de degradação de 98%, para o composto metronidazol, e 62% para o propranolol (SIMÕES, 2013).

Além da radiação UV a utilização dessa com o H₂O₂ tem sido vastamente mencionada como uma alternativa viável a degradação de uma série de compostos. A combinação desse método teve como principal objetivo minimizar os custos da operação de desinfecção da água (SIMÕES, 2013).

3.6.3.2. Catálise do H₂O₂ por UV

O peróxido de hidrogênio já é um potente agente oxidante e quando combinado à radiação ultravioleta (H₂O₂/UV) é capaz de gerar radicais hidroxila no meio, favorecendo então a degradação de compostos em soluções aquosas, além de ter demonstrado bastante eficiência quando se trata de tratamento de efluentes domésticos e que possuem presença de corantes (SILVA, 2007).

Esse processo foi utilizado por Mafra e Silva (2017) para degradar o fármaco levotiroxina sódica em meio aquoso, resultando em uma taxa de degradação de 95%, valor maior do que utilizando apenas a radiação ultravioleta nesse mesmo estudo (MAFRA e SILVA, 2017).

3.6.3.3. Processo de Fenton e Foto-Fenton

O processo Fenton é baseado na decomposição do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) utilizando cátions Fe²⁺, que em meio ácido produz radicais hidroxila (equação 1) (MARTINS, 2011). Esse processo foi utilizado por Santos e Sirtori (2017) para degradar paracetamol, propranolol e dipirona resultando em uma degradação de 66% para o paracetamol, 89% para o propranolol e 100% para a dipirona (SANTOS e SIRTORI, 2017).



Esse processo é vantajoso para o tratamento de efluentes uma vez que apresenta menor gasto em relação aos outros processos oxidativos avançados. Além disso, este processo aumenta a biodegradabilidade do contaminante, facilitando o tratamento biológico (FERREIRA, 2015)

Já o processo Foto-Fenton é uma combinação do processo Fenton com radiação ultravioleta, e, portanto, baseia-se na oxidação do peróxido de hidrogênio, tendo como catalisador cátions ferrosos (Fe^{2+}) em meio ácido utilizando irradiação ultravioleta com intuito de gerar radicais hidroxila. A utilização da incidência da radiação ultravioleta (UV) eleva a taxa de oxidação dos poluentes, visto que esta energia quando em contato com complexos férricos e cátions férricos (Fe^{3+}), que são formados no processo Foto-Fenton, acarreta na regeneração de cátions ferrosos levando a uma maior produção de radicais (OLIVEIRA, 2016) e (BUENO et al., 2016).

As equações 1, 2, 3 e 4 demonstram as principais reações que podem ocorrer no processo Foto-Fenton.



O processo Foto-Fenton possui facilidade de uso, contudo, alguns fatores como o pH do meio reacional, a concentração de peróxido de hidrogênio, a temperatura, a presença de compostos sequestrantes de OH e a incidência de radiação ultravioleta podem influenciar na eficiência do processo.

A faixa de pH ideal para potencializar a formação de radicais hidroxilas é entre 2,5 e 3,0, sendo que os cátions ferrosos e peróxido de hidrogênio apresentam maior estabilidade em pH ácido e os radicais hidroxila em pH próximo a 3. Já em meios básicos, pHs alcalinos, há chance de acontecer a precipitação de cátions ferrosos (Fe^{2+}) limitando a interação com peróxido de hidrogênio e diminuindo a eficiência do processo (POSSER, 2016) e (BUENO et al., 2016).

Segundo Cunha et al. (2007), em um tratamento de um efluente sintético utilizando um reator fotoquímico com lâmpada UV, é possível perceber que nos primeiros minutos acontece um crescimento acelerado da eficiência de oxidação do processo. Os resultados também apresentam que quanto mais matéria

orgânica, maior o teor de compostos orgânicos no fim do processo, mostrando um decaimento na eficiência da oxidação. Vale ressaltar que a fase terminal da reação pode ser atingida sem que haja a degradação de todo material orgânico presente, devido a abundância de poluentes. Por fim, de acordo com Cunha et al. (2007), o método de tratamento Foto-Fenton foi eficaz, obtendo um percentual entre 65% a 99% de remoção de hidrocarbonetos, gerando um efluente dentro dos limites padrões estabelecidos para descarte.

De acordo com Silva et al. (2006), foi realizado em seu trabalho o tratamento de um lixiviado proveniente de um aterro sanitário, este mostra que os melhores resultados para remoção de DQO, foram com alta concentração de peróxido de hidrogênio, variando de 1000 a 3000 mg/L, baixo nível de pH, variando de 2,00 a 4,00 e com aumento do tempo de reação (SILVA et al., 2006).

Segundo Paiva (2018), no processo de degradação de fármacos, sendo esses genfibrozila, hidrocolotiazida e naproxeno, os fatores operacionais do processo Foto-Fenton são de extrema importância. Paiva (2018) ajustou os valores de concentração de cátion ferroso, pH e peróxido de hidrogênio para valores de 1,0 mg/L, 2,7 e 2,0 mg/L respectivamente, chegando na completa oxidação dos fármacos. O processo Foto-Fenton mostrou mais eficiência na oxidação do fármaco de forma isolada em relação a mistura dos três fármacos, devido ao maior número de oxigênio reativo livre na oxidação isolada (PAIVA, 2018).

Nos estudos realizados por Monteiro et al (2017) observou-se a degradação dos fármacos nimesulida e ibuprofeno que estavam em solução na concentração de 50 mg/L, respectivamente. Para a realização da degradação foram utilizadas o pH do meio em torno de 6, temperatura de 25 °C. O método de tratamento Foto-Fenton teve uma maior eficiência em relação ao método UV/H₂O₂ sendo 76,37% para o processo UV/H₂O₂ e 89,67% para os dois fármacos no processo Foto-Fenton (MONTEIRO, 2017).

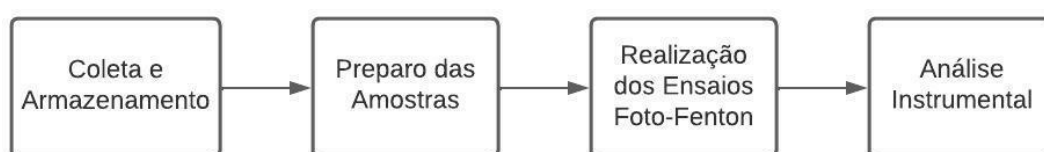
Já nos ensaios realizados por Silva (2015) o método de tratamento Foto-Fenton, apresentou grande eficiência na degradação do fármaco amoxicilina quando em solução aquosa. O estudo mostrou que houve a oxidação completa em 5 minutos de reação em todos os casos estudados, porém foi observada a

geração de produtos secundários que são formados a partir da degradação da amoxicilina e esses apresentam dificuldades para serem degradados pelo processo Foto-Fenton (SILVA, 2015).

4. METODOLOGIA

A metodologia proposta para o trabalho foi dividida em 4 etapas principais sendo: coleta e o armazenamento dos efluentes, preparo das amostras, realização dos ensaios de Foto-Fenton e análise instrumental das alíquotas ao longo da reação. No fluxograma mostrado na figura 3 são apresentadas as etapas metodológicas desenvolvidas neste trabalho.

Figura 3 – Etapas metodológicas deste trabalho



Fonte: Próprios autores (2022)

4.1. Coleta e armazenamento dos efluentes

Dentre os resíduos gerados pelo laboratório de manipulação da BS Pharma, há os efluentes de fármacos manipulados vencidos, sendo estas as matrizes recolhidas para serem degradadas. Atualmente todos os resíduos de serviço de saúde da farmácia, incluindo o efluente de fármacos vencidos, são destinados para o processo de incineração.

Assim, realizou-se a coleta dos efluentes no laboratório da BS Pharma que foram segregados em frascos de vidro âmbar, conforme o ativo principal de cada efluente. Esses frascos foram devidamente rotulados com nome da substância, data de validade, o lote e outras informações. Ressalta-se que os frascos coletados são efluentes oriundos de soluções vencidas de fármacos que foram devolvidos ao laboratório por hospitais ou clínicas para que fosse realizada a destinação correta.

Após a coleta destes frascos, os mesmos foram armazenados em um local arejado, seco e sem exposição a luz solar, até o primeiro dia de testagem

do laboratório. Durante o período em que foram feitos os experimentos, os fracos ficaram armazenados na geladeira do laboratório

4.2. Preparo das amostras

A fim de confirmar a presença dos fármacos nas soluções coletadas, foi preparada uma curva de calibração contendo o composto de interesse, omeprazol, e essas soluções padrão foram analisadas pelo equipamento de Espectrofotometria de Absorção Molecular (UV/Vis). Esse equipamento é capaz de absorver na faixa de 185 a 3300 nm, porém a faixa de análise utilizada nesse trabalho foi de 190 a 500 nm. A curva de calibração foi construída com soluções padrão de concentrações exatamente iguais 0,01, 0,0125, 0,02, 0,025, 0,03 e 0,05 g/L.

Para que a amostra inicial fosse devidamente analisada e estivesse dentro dos limites de análise, foi necessário fazer diluição na solução, visto que inicialmente a solução era opaca e viscosa, o que poderia causar saturação de absorbância no equipamento.

4.3. Processo de tratamento dos efluentes coletados

O ensaio de degradação do fármaco por Foto-Fenton teve como base os estudos realizados por Bautitz (2010). Para isso, foi utilizado um reator de 1 L de volume reacional e uma lâmpada com radiações ultravioleta, 9 W de potência. Além disso, um béquer foi utilizado como tanque de armazenamento da solução que contém o fármaco. Todo o sistema foi ligado a partir de mangueiras conectadas a uma bomba para a promoção da circulação da solução em tratamento. O experimento foi realizado em temperatura ambiente, cerca de 25 °C.

Com o sistema reacional montado e a amostra inserida no sistema, foi adicionado a fonte de ferro (sulfato ferroso heptahidratado), regulado o pH regulado com ácido sulfúrico (H_2SO_4) para um valor entre 2,50 e 3,00 (BAUTITZ 2010) e, finalmente, foi adicionado peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Foi realizado

um controle de pH, deixando a solução em um pH próximo a 3 e teve seu pH monitorado, para que não passasse os limites estipulados.

Após iniciado o processo de degradação, foram recolhidas alíquotas de 10 mL nos tempos de 0, 1, 5, 15, 30 e 60 minutos para determinação da concentração do fármaco.

O experimento de degradação foi realizado utilizando como parâmetro a concentração de peróxido de hidrogênio dos estudos de SILVA *et. al* (2006), em que se realizou o processo com concentração de 1.000 mg/L desse reagente. Para a concentração de sulfato ferroso heptahidratado, baseou-se nos estudos de POSSER (2016), que utilizava a proporção de 5 unidades de massa de peróxido de hidrogênio para 1 unidade de massa de sulfato ferroso heptahidratado, por ser o intervalo característico da relação entre eles. Assim, o sulfato ferroso heptahidratado foi utilizado em uma concentração inicial de 200 mg/L

O volume de reação, isso é, do reator completamente preenchido e o volume necessário para a retroalimentação desse, era de 1,600 litros, utilizando como solvente água destilada. Assim, fez-se os cálculos das quantidades de omeprazol, peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso no sistema. Utilizou-se a equação 5 para encontrar a quantidade de omeprazol necessária para fazer uma solução de concentração igual a 0,04 g/L nesse volume reacional para ser possível visualizar no equipamento. A equação 6 converte essa quantidade de matéria em volume de amostra necessário.

- Omeprazol:

$$\text{Concentração na solução oral} = 2 \frac{g}{L}$$

$$\text{Concentração na solução diluída} = 0,04 \frac{g}{L}$$

$$\text{Volume reacional} = 1,600 L$$

$$\text{Quantidade de matéria} = \text{Concentração} * \text{Volume} \quad (5)$$

$$\text{Quantidade de matéria} = 0,04 \frac{g}{L} * 1,600 L$$

$$\text{Quantidade de matéria necessária} = 0,0640 g$$

$$V_{\text{amostra necessário}} = \frac{\text{Quantidade de matéria}}{C_{\text{amostra}}} \quad (6)$$

$$V_{amostra\ necess\u00e1rio} = \frac{0,064\ g}{2\ \frac{g}{L}}$$

$$V_{amostra\ necess\u00e1rio} = 0,032\ L = 32\ mL$$

- Per\u00f3xido de hidrog\u00eanio:

$$C_{inicial\ para\ rea\u00e7\u00e3o} = 1.000\ \frac{mg}{L}$$

$$V_{rea\u00e7\u00e3o} = 1,600\ L$$

$$Quantidade\ de\ m\u00e1teria = Concentra\u00e7\u00e3o * Volume \quad (5)$$

$$Quantidade\ de\ per\u00f3xido\ de\ hidrog\u00eanio = C_{inicial\ rea\u00e7\u00e3o} * V_{rea\u00e7\u00e3o}$$

$$Quantidade\ de\ per\u00f3xido\ de\ hidrog\u00eanio = 1.000\ \frac{mg}{L} * 1,600\ L$$

$$Quantidade\ de\ per\u00f3xido\ de\ hidrog\u00eanio = 1.600\ mg$$

Utilizou-se a densidade do $H_2O_2 = 1,45\ g/mL$. A equa\u00e7\u00e3o 7 representa a equa\u00e7\u00e3o de densidade.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (7)$$

$$V_{H_2O_2} = \frac{m_{H_2O_2}}{\rho_{H_2O_2}}$$

$$V_{H_2O_2} = \frac{1.600\ mg}{1,45\ \frac{g}{mL}} * \frac{1\ g}{1.000\ mg}$$

$$V_{H_2O_2} = 1,103\ mL$$

O per\u00f3xido de hidrog\u00eanio utilizado como reagente tem teor de 35 % em volume, assim foi necess\u00e1rio calcular quanto de solu\u00e7\u00e3o tem de se usar, a partir da equa\u00e7\u00e3o 8.

$$V_{H_2O_2} = 0,35 * V_{solu\u00e7\u00e3o} \quad (8)$$

$$V_{solu\u00e7\u00e3o} = \frac{1,103\ mL}{0,35}$$

$$V_{solu\u00e7\u00e3o} = 3,15\ mL$$

- Sulfato ferroso heptahidratado:

$$C_{\text{inicial de ferro para reação}} = 200 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$V_{\text{reação}} = 1,600 \text{ L}$$

$$\text{Quantidade de matéria} = \text{Concentração} * \text{Volume} \quad (5)$$

$$\text{Quantidade de ferro} = C_{\text{inicial reação}} * V_{\text{reação}}$$

$$\text{Quantidade de ferro} = 200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 1,600 \text{ L}$$

$$\text{Quantidade de peróxido de hidrogênio} = 320 \text{ mg}$$

Sabe-se que um mol de Sulfato Ferroso gera um mol de íons ferro, como mostrado na equação 9.



$$1 \text{ mol Sulfato Ferroso} - 278,02 \text{ g}$$

$$1 \text{ mol Sulfato Ferroso} - 1 \text{ mol } Fe^{2+}$$

$$1 \text{ mol } Fe^{2+} - 55,845 \text{ g}$$

$$278,02 \text{ g de Sulfato Ferroso} - 55,845 \text{ g de } Fe^{2+}$$

$$m_{\text{necessária de sulfato ferroso}} = \frac{320 \text{ mg} * 278,02 \text{ g}}{55,845 \text{ g}} * \frac{1 \text{ g}}{1.000 \text{ mg}}$$

Assim é possível montar a Tabela 4, que traz os dados iniciais da reação.

Tabela 4 – Dados iniciais para a reação

	Sulfato Ferroso	Peróxido de hidrogênio	Omeprazol	Volume reacional
Concentração inicial	200 mg/L	1.000 mg/L	400 mg/L	-
Quantidade	1,5932 g	3,15 mL	320 mL	1,600 L

Fonte: Próprios autores

4.4. Curva de calibração

Para a construção da curva de calibração, utilizou-se um padrão sólido de omeprazol 10%, disponibilizado pela própria BS Pharma. Com esse sólido, foi possível montar seis soluções de concentrações exatamente conhecidas do fármaco. As concentrações escolhidas foram: 0,01 g/L, 0,0125 g/L, 0,02 g/L, 0,025 g/L, 0,03 g/L e 0,05 g/L. Essas soluções foram analisadas no Espectrofotômetro UV/Vis Shimadzu UV 3600.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para chegar nos resultados finais e se ter a eficiência do processo, foi necessário dividir a análise em três partes. Primeiro, analisou-se os dados obtidos através da curva de calibração e, assim, seguiu-se para a análise do primeiro experimento. Com o resultado desse primeiro experimento não atendendo as expectativas, realizou-se um segundo experimento afim de se obter melhores resultados.

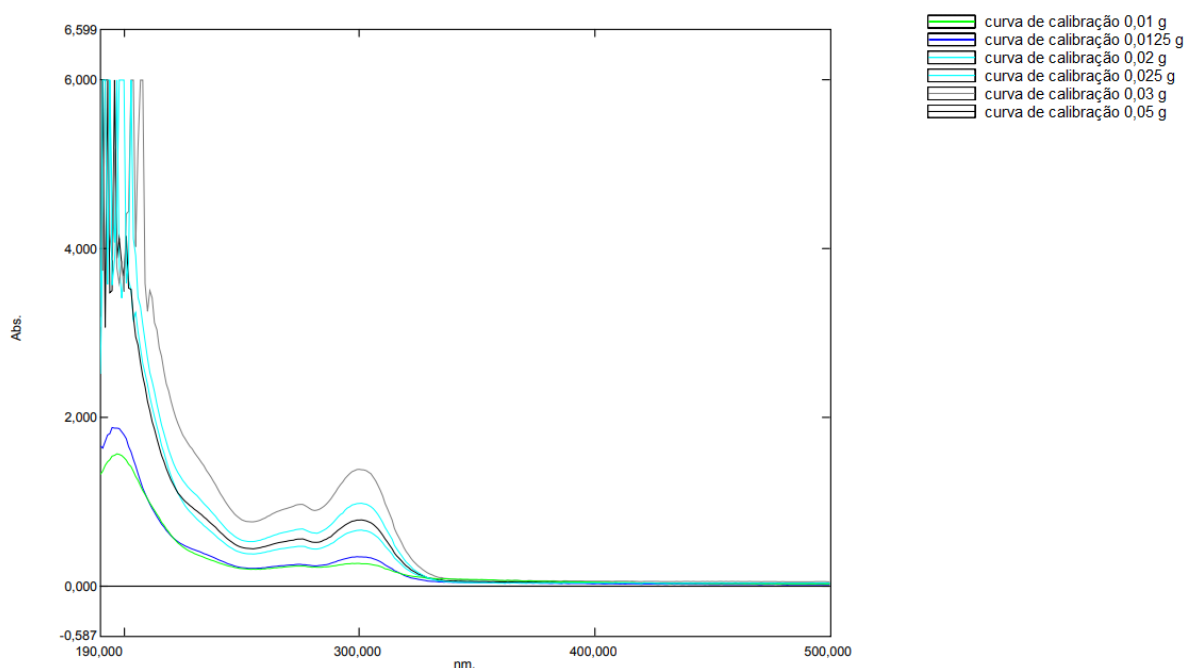
5.1. Construção da curva de calibração

Para construir a curva de calibração coletou-se os dados fornecidos pelo equipamento para posteriormente ser utilizado nos cálculos de concentração do fármaco omeprazol. A figura 4 traz os espectros de absorção dessas seis soluções. No Apêndice A, pode-se encontrar os espectros separados para cada solução.

Figura 4 – Espectro de absorvância das soluções padrão

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:31:25



Fonte: próprios autores (2022)

Esses espectros também geram tabelas de absorvância por comprimento de onda, sendo possível analisar os dados de cada solução, disponibilizados por um relatório do equipamento. Segundo os estudos de RIEDEL e LEOPOLD (2005), o omeprazol apresenta dois picos característicos, o primeiro com valores próximos a 270 nm e o segundo com valores próximos a 300 nm.

Assim, analisando a figura 4 e a tabela de dados de cada solução, verifica-se a presença de omeprazol nessas soluções. Com esses dados, pôde-se construir uma curva de calibração para a absorvância da solução pela concentração de omeprazol a partir da previsão linear desses dados, como mostrado no gráfico 1. Para este trabalho, considerou-se o ponto de comprimento de onda, λ , igual a 305 nm, por ser o pico característico da nossa amostra.

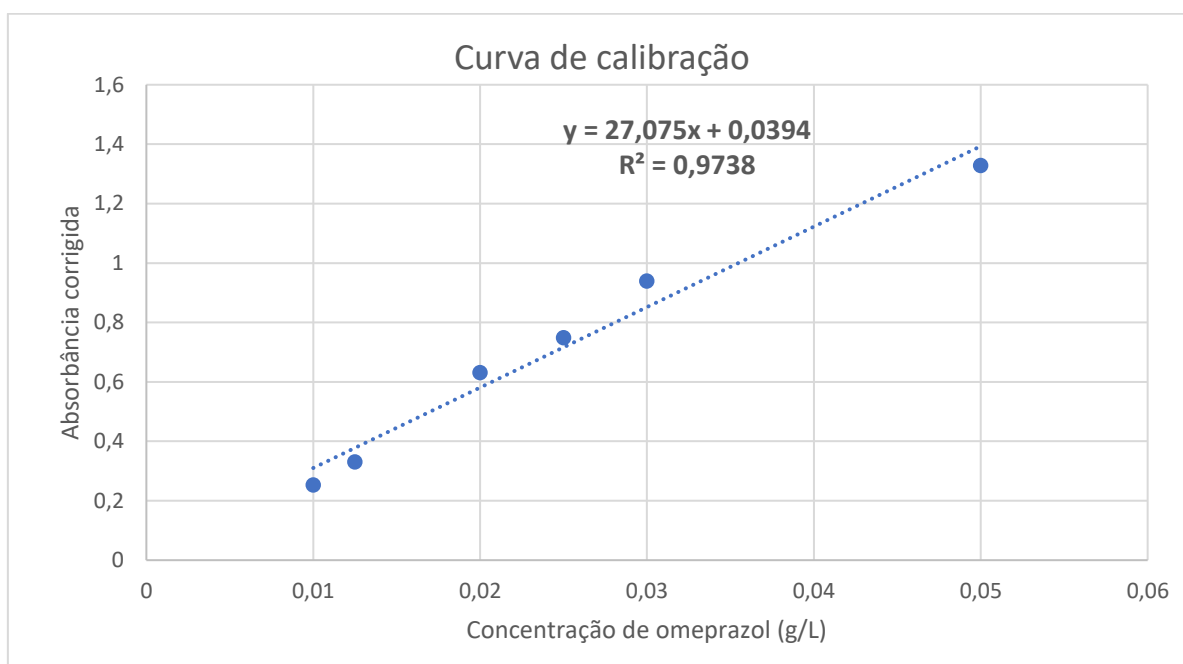
A tabela 5 traz os pontos exatos que foram utilizados para construir esse gráfico.

Tabela 5 – Absorbância da solução em função da concentração

Concentração (g/L)	Lambda (nm)	Absorbância
0,01	305	0,253
0,0125	305	0,331
0,02	305	0,631
0,025	305	0,748
0,03	305	0,939
0,05	305	1,328

Fonte: próprios autores

Gráfico 1 – Curva de calibração



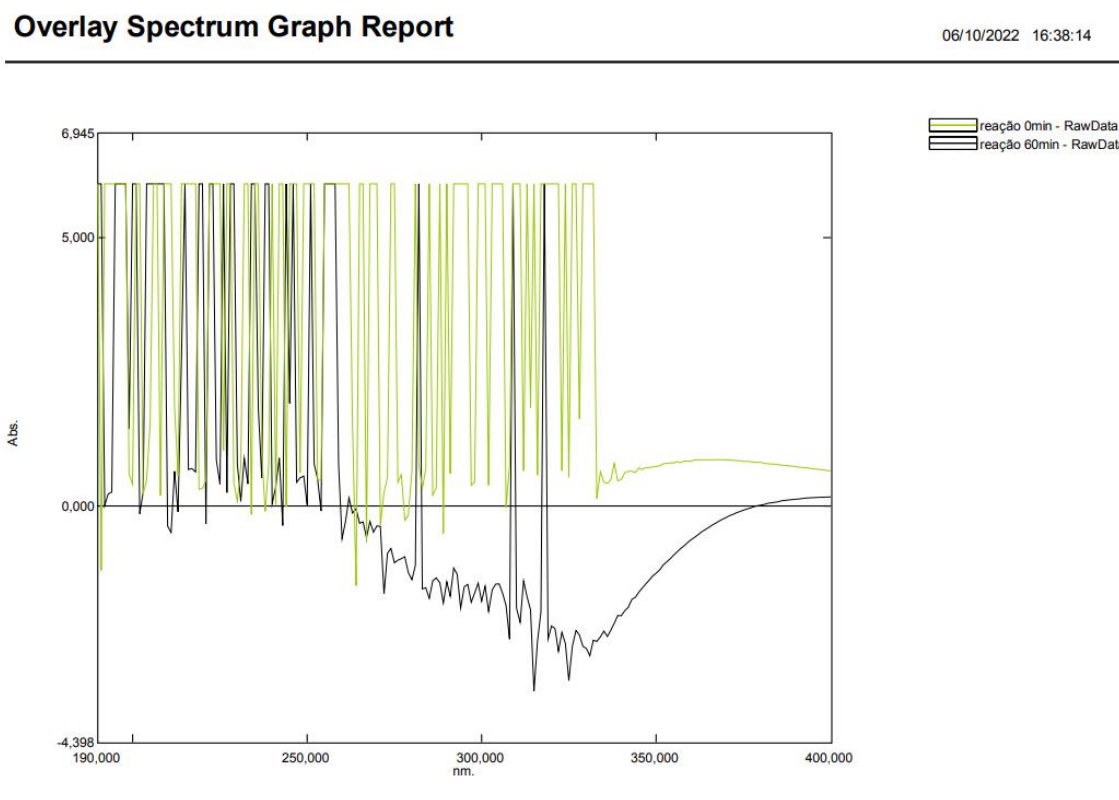
Fonte: Próprios autores (2022)

Analisando o gráfico 1, se tem um resultado satisfatório para as absorbâncias das soluções, visto que o coeficiente de determinação da reta (R^2) é próximo do valor unitário, ficando na faixa adequada para análises de 0,95 – 1, indicando boa confiabilidade nos dados que serão extraídos do gráfico. Assim, para descobrir as concentrações das alíquotas retiradas da reação, utiliza-se a equação da reta $Y = 27,075 \cdot X + 0,0394$, onde Y é a absorbância da solução no comprimento de onda de 305 nm e X é a concentração de omeprazol em g/L.

5.2. Estudo do primeiro experimento realizado

Seguindo os passos propostos pela metodologia, realizou-se o experimento um, coletando alíquotas para a análise. Quando essas alíquotas foram levadas para a análise no UV/Vis, percebeu-se que essas não possuíam um espectro bem definido. A figura 5 traz os espectros das alíquotas retiradas em 0 minutos e 60 minutos de tempo reacional.

Figura 5 – Espectro de absorvância dos minutos 0 e 60 do experimento um



Fonte: Próprios autores (2022)

Analisando a figura, é possível levantar algumas hipóteses. A primeira e mais importante, é a confirmação de que as soluções, nas concentrações e quantidades estipuladas na metodologia, saturaram o limite máximo de análise

do equipamento, uma vez que grande parte dos dados ultrapassou a absorbância de valor 6,000. Isso é comprovado pela limitação dos dados quando o eixo Y passa de 6,000, onde o equipamento corta o restante de cada pico. Assim, uma alternativa para a correção desses valores seria a diluição dos reagentes.

O segundo ponto relevante no gráfico é os valores de absorbância negativa encontrados em toda faixa do espectro. Esse comportamento não era esperado para as alíquotas e provavelmente foi causado por descontar o branco nessa análise. Para essa análise em questão, fez-se um branco com as concentrações de reagentes exatamente iguais às concentrações calculadas para a reação e também se adicionou a base da solução oral para omeprazol, disponibilizada pela BS Pharma. Possivelmente essa diferença de absorbância pode se dar pela diferença nos lotes das soluções orais disponibilizadas pela farmácia, diferenciando assim a matriz inicial.

Então, o resultado esperado dessa análise seria a diferença da amostra em relação ao branco, resultando apenas no espectro do omeprazol presente só na amostra. Porém não houve essa confirmação, uma vez que a absorbância negativa é um indicador de que o branco possuía mais matéria do que a amostra analisada. Assim, concluiu-se que não seria possível utilizar o branco do modo que estava sendo utilizado.

Como citado anteriormente, os dois picos do omeprazol estão próximos de 270 nm e 300 nm, e analisando o gráfico desse experimento não há indicativo de que a reação estava ocorrendo de forma adequada. Dessa forma, uma outra alternativa é adicionar um método de filtração posterior à coleta das alíquotas, a fim de retirar o excesso de sólido que possa estar suspenso nessa solução.

5.3. Estudo do segundo experimento realizado

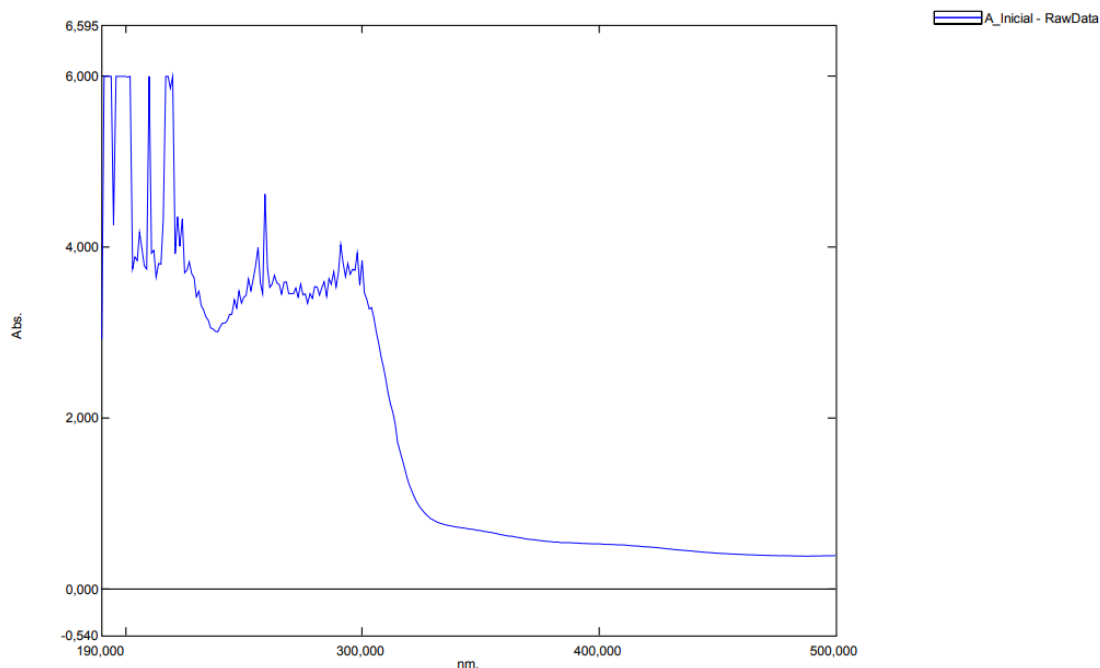
Com as hipóteses levantadas após o experimento um, partiu-se para a realização do experimento dois, fazendo as correções propostas. Então, para iniciar as análises, diluiu-se a amostra inicial de omeprazol em 50 vezes, passando de uma concentração de 2 g/L para 0,04 g/L. Assim, obteve-se o

espectro dessa solução e também sua tabela de dados. A figura 6 traz esse espectro.

Figura 6 – Espectro de absorvância da amostra inicial diluída

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:49:19



Fonte: Próprios autores (2022)

Analisando esse espectro, concluiu-se que por mais que esse esteja com ruídos, a figura 6 apresenta o pico característico do omeprazol próximo a 300 nm. Assim, a amostra está apta para ser degradada pelo processo Foto-Fenton. Comparando a absorvância no ponto de 305 nm, percebeu-se que na curva de calibração os valores para absorvância nesse comprimento de onda estão menores quando comparados com o valor obtido no espectro da amostra inicial, como mostrado na tabela 6.

Tabela 6 – Concentração da amostra comparada com curva de calibração

Concentração (g/L)	Lambda (nm)	Absorbância
0,01	305	0,253
0,0125	305	0,331
0,02	305	0,631
0,025	305	0,748
0,03	305	0,939
0,05	305	1,328
Concentração da amostra (g/L)	Lambda (nm)	Absorbância
0,04 g/L	305	3,175

Fonte: Próprios autores

Essa diferença de valores não deveria existir, uma vez que a amostra inicial está em concentração de 0,04 g/L e a curva de calibração contempla concentrações entre 0,01 g/L e 0,05 g/L. Esse comportamento pode se dar principalmente pela característica da amostra, que possui coloração roxa, e viscosa, além de que a solução já estava vencida, enquanto a solução padrão para a construção da curva de calibração é incolor, dentro do prazo de validade e foi feita a partir de um medicamento sólido.

Assim, precisou-se aplicar um fator de correção para a curva de calibração contemplar os dados da amostra do experimento dois. Para isso, primeiro utilizou-se o valor da concentração da amostra inicial, 0,04 g/L, e a partir da equação 10, da reta da curva de calibração, encontrou-se o valor de absorbância referente à essa concentração.

$$Y = 27,075 * X + 0,0394 \quad (10)$$

$$Absorbância = 27,075 * Concentração + 0,0394$$

Esse valor de absorbância, igual a 1,122, seria para uma solução padrão de omeprazol, porém o valor apresentado pelo espectro na figura 6, é 3,175. Assim, dividindo o valor real pelo valor encontrado a partir da equação da curva de calibração, encontra-se o fator de correção, cujo valor é 2,829.

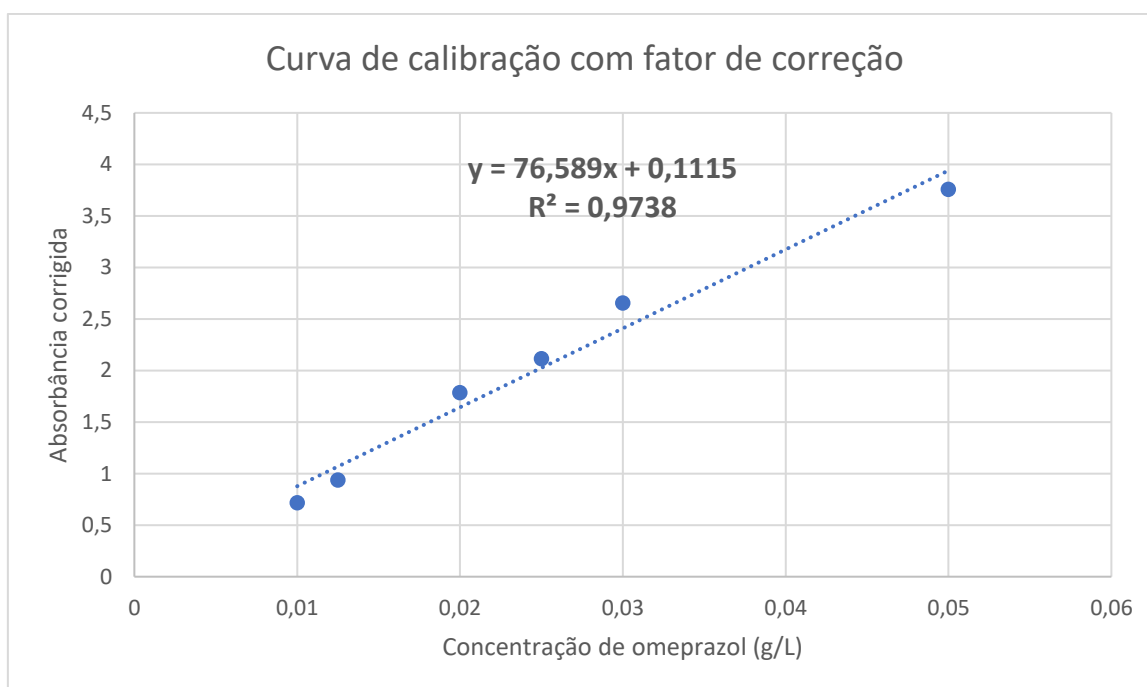
Com esse fator de correção, é possível construir uma nova tabela para as absorbâncias das concentrações de omeprazol no comprimento de onda de 305 nm, construindo também uma nova curva de calibração. A tabela 7 traz esses novos valores de absorbância pela concentração e o gráfico 2 traz a curva de calibração corrigida com o fator de correção. A nova equação de curva de calibração é representada pela equação 11.

Tabela 7 – Absorbância corrigida da solução em função da concentração

Concentração (g/L)	Lambda (nm)	Absorbância
0,01	305	0,716
0,0125	305	0,936
0,02	305	1,785
0,025	305	2,116
0,03	305	2,656
0,05	305	3,757

Fonte: Próprios autores

Gráfico 2 – Curva de calibração corrigida



Fonte: Próprios autores (2022)

$$Y = 76,589 * X + 0,1115 \quad (11)$$

$$\text{Absorbância} = 76,589 * \text{Concentração} + 0,1115$$

Para corrigir o sinal saturado do equipamento, fez-se a diluição dos reagentes peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso. Na metodologia foi proposto utilizar 1000 mg/L de peróxido de hidrogênio e 200 mg/L de sulfato ferroso, assim diluiu-se essas concentrações em quatro vezes, para certificar que não passaria o limite de absorbância do equipamento.

Com o intuito de retirar possíveis interferências e deixar o resultado da análise mais confiável, utilizou-se de um sistema filtro-seringa. Cada uma das alíquotas coletadas nos minutos 0, 1, 5, 15, 30 e 60 minutos passou pelo processo de filtração e pôde-se notar que após esse processo essas soluções ficaram consideravelmente menos turvas. Com isso, esperava-se um espectro mais bem definido, com menos ruídos.

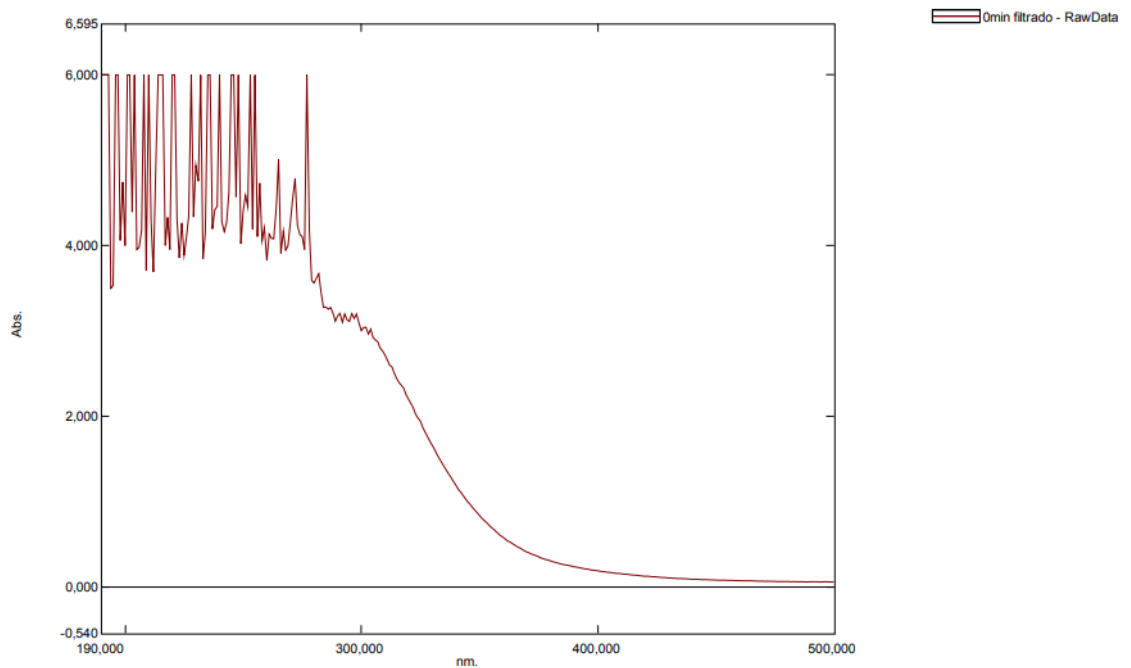
5.3.1. Resultados da degradação da solução oral

Imediatamente após serem coletadas e filtradas, as alíquotas passaram para o processo de análise no UV/Vis e, assim, obteve-se um espectro para cada uma dessas alíquotas, bem como os dados de absorbância por comprimento de onda. A Figura 7 traz o espectro da alíquota coletada no minuto zero e, ao analisar essa figura, é possível observar com mais clareza o pico próximo de 305 nm. Além disso, em relação ao ruído apresentado no início desse espectro, possivelmente é devido as características da solução oral, visto que a figura 6 também apresenta parte desses ruídos. Porém, uma outra causa provável seria a da presença dos reagentes, visto que o processo de filtração não retira totalmente os reagentes da solução.

Figura 7 – Espectro de absorvância da alíquota do minuto 0

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:39:13



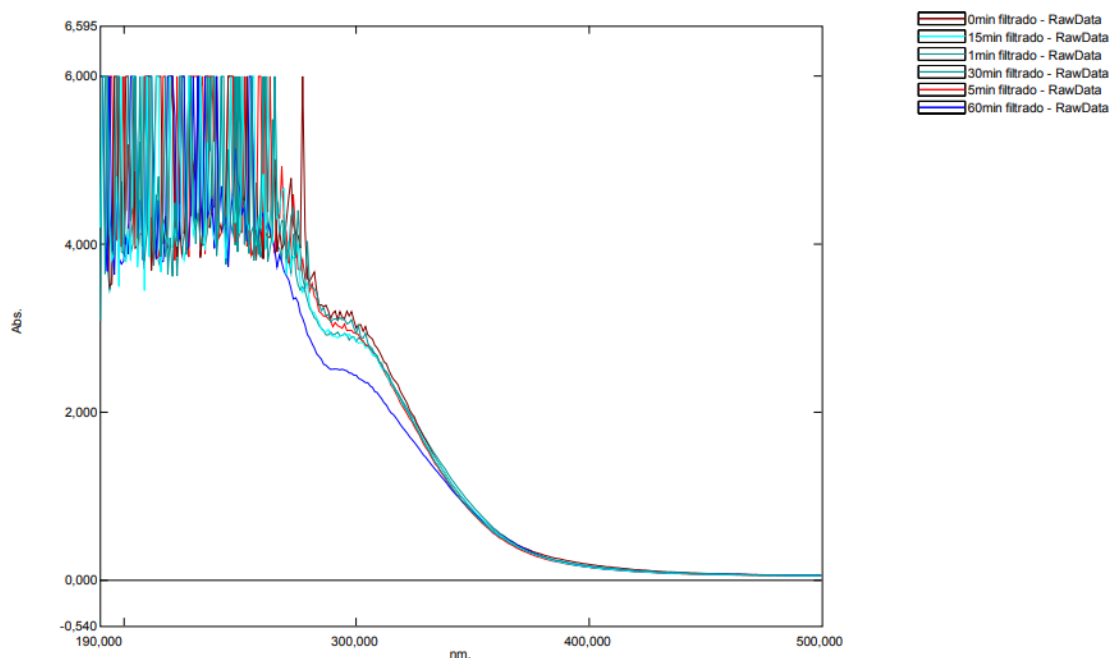
Fonte: Próprios autores

Fez se a mesma análise para as outras alíquotas e pôde-se compilar todas em um só espectro, como mostrado na figura 8.

Figura 8 – Espectro de absorvância das alíquotas dos minutos 0 a 60

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:50:40



Fonte: Próprios autores

Os espectros das amostras do experimento 2, representados na figura 8 diferem do espectro das amostras do experimento 1, representados na figura 5, principalmente por ter o pico característico do omeprazol ser visível no 305 nm e apresentar menos ruídos. Provavelmente, esse melhor resultado é proveniente da diluição dos reagentes e do processo de filtração feitas no experimento 2.

Na figura 8, é possível observar com mais clareza os picos próximos de 305 nm. Analisando esses picos, observa-se que o maior pico, isto é, com maior valor de absorvância, é o pico da alíquota coletada no minuto zero. Já o menor pico, ou seja, com menor valor de absorvância, é o pico da alíquota coletada no minuto 60. Entre essas duas curvas tem-se o restante das alíquotas, que seguem um padrão de diminuição conforme o tempo de coleta aumenta. O restante dos espectros individuais se encontra no Apêndice B .

Assim, é possível confirmar a degradação do omeprazol, visto que há uma diminuição na absorbância da amostra analisada no comprimento de onda de 305 nm, mostrando que se tem diminuição da quantidade de matéria com o passar do tempo. Desse modo, é possível dizer que houve a formação de radicais hidroxila a partir da reação foto-fenton causando a oxidação do fármaco.

Segundo Kosman (2019), a literatura apresenta vários estudos utilizando o processo Foto-Fenton com intuito de degradar fármacos, gerando uma certa dificuldade ao comparar trabalhos que utilizaram esse método de oxidação, uma vez que são utilizadas diferentes concentrações de reagentes, diferentes compostos e diferentes configurações de reatores.

Em seu estudo, Soares (2019), utilizou o processo Foto-Fenton para degradar o fármaco norfloxacino realizando um planejamento fatorial. A concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) utilizado foi de 11,536 mol/L, o de sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) foi de 0,48 mol/L e o de ácido sulfúrico de 1 mol/L. É importante dar ênfase no ensaio 2 (E2) do planejamento, uma vez que é o experimento que apresentou maior porcentagem de oxidação de 82,1%. Nesse ensaio E2, a autora utilizou a quantidade mínima de peróxido de hidrogênio e a quantidade máxima de sulfato ferroso, referente ao planejamento fatorial. Já o reator utilizado pela autora foi improvisado em uma bancada, utilizando seis lâmpadas negras de 15 W para irradiação de luz ultravioleta (UV) sobre 3 béqueres auxiliados por um agitador magnético. Durante o experimento, a autora coletou alíquotas de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 e 20 minutos. Após a coleta houve a centrifugação das mesmas, a retirada de sobrenadantes e os béqueres foram colocados em ultrassom para retirar o peróxido de hidrogênio. Posteriormente, as amostras foram colocadas em tubos tampados e armazenadas em uma geladeira com uma temperatura de $-4\text{ }^{\circ}C$ durante 72 horas. Por fim, estas foram submetidas a uma varredura entre o intervalo de 200-450 nm, em um espectrofotômetro GENESYS™ 10S UV-Vis.

Ao comparar com estudo que foi feito nesse trabalho, é possível notar algumas diferenças entre eles, como planejamento fatorial, fármaco utilizado, concentrações de reagentes, potência da lâmpada, configuração do reator e tempo de reação. Além disso, no estudo de Soares (2019), as amostras foram

colocadas em uma centrifuga, retirou os sobrenadantes e posteriormente o peróxido de hidrogênio através do ultrassom.

5.3.2. Percentual de oxidação

Para encontrar as concentrações do fármaco omeprazol, tanto da amostra inicial quanto das alíquotas, utilizou-se a equação 11 fornecida pela curva de calibração corrigida – tópico 5.3. Assim, construiu-se a tabela 8, que apresenta a amostra e sua respectiva absorvância e a sua concentração calculada.

$$\text{Absorbância} = 76,589 * \text{Concentração} + 0,1115 \quad (11)$$

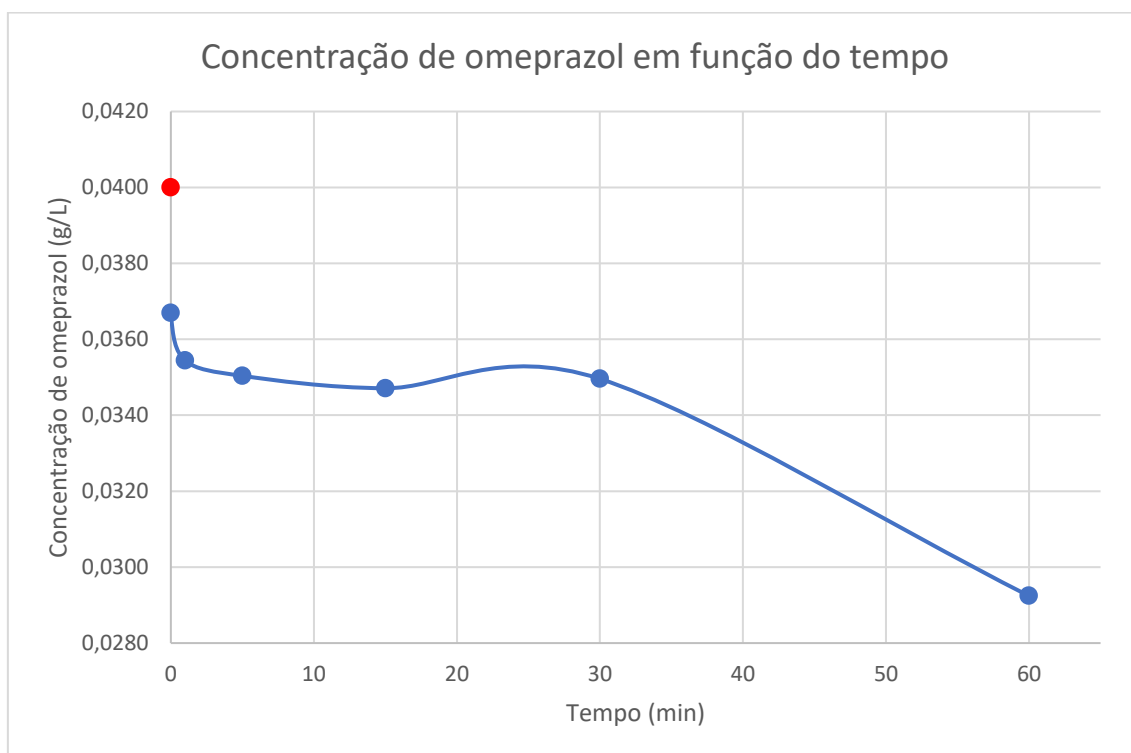
Tabela 8 – Concentração calculada para as amostras

Tempo (minutos)	Absorbância	Concentração (g/L)
Amostra inicial	3,175	0,0400
0	2,922	0,0367
1	2,826	0,0354
5	2,795	0,0350
15	2,77	0,0347
30	2,789	0,0350
60	2,351	0,0292

Fonte: Próprios autores

Com esses dados de concentrações, foi possível construir um gráfico da concentração em função do tempo, mostrando o perfil da reação. O gráfico 3 contempla o perfil da reação de degradação do fármaco omeprazol a partir do processo foto-fenton.

Gráfico 3 – Concentração de omeprazol em função do tempo



Fonte: Próprios autores (2022)

Primeiramente, o ponto em vermelho do gráfico acima representa a amostra inicial, sem adição de reagentes e pontos em azul, conectados pela linha, são os pontos de concentração das alíquotas. Assim, analisando primeiro a diferença entre a amostra inicial e a alíquota do tempo zero, pode-se dizer que com a adição dos reagentes ocorre uma diminuição considerável da concentração do omeprazol na solução.

Além disso, é possível observar que com o decorrer do tempo de reação a concentração de omeprazol vai diminuindo, tendo sua maior queda entre os dois últimos pontos de controle da reação. Nota-se também que no ponto do minuto 30, se tem um aumento da concentração de omeprazol quando comparado com o ponto do minuto 15. Esse comportamento, que não deveria existir, está possivelmente ligado com a presença de reagentes restantes, mesmo após o processo de filtração, que causaram uma pequena interferência na análise a partir do método de espectrofotometria no ponto de 30 minutos.

Por fim, calculou-se o percentual de oxidação da reação a partir da equação 12, que relaciona a concentração final e a concentração da amostra inicial.

$$\% \text{ de oxidação} = \frac{C_{final}}{C_{inicial}} * 100 \quad (12)$$

$$\% \text{ de oxidação} = \frac{0,0292 \text{ g/L}}{0,0400 \text{ g/L}} * 100$$

$$\% \text{ de oxidação} = 73,103\%$$

Como citado anteriormente o estudo de Soares (2019) utilizou a metodologia de reação Foto-fenton, porém com diferentes parâmetros reacionais. Ao comparar a eficiência de oxidação desse estudo, 82,1%, com a eficiência desse trabalho, 73,103%, pode-se dizer que esse resultado é positivo. Além disso os estudos de Monteiro (2017) trouxeram eficiência de degradação da nimesulida e ibuprofeno de 89,67%.

6. CONCLUSÃO

Após a degradação do fármaco omeprazol em solução oral a partir da reação Foto-fenton assistida de uma fonte artificial de radiação ultravioleta. Avaliou-se a degradação do fármaco auxiliado por um espectrofotometro UV/Vis e fez-se a análise da eficiência de degradação em função do tempo da reação.

Assim, após realizar os dois experimentos é possível levantar hipóteses sobre cada um desses. Os resultados do experimento um são inconclusivo, uma vez que os ruídos apresentados no espectro impedem de visualizar os dois picos característicos do omeprazol, próximos de 270 e 300 nm.

Dessa forma, é impossível validar a reação de degradação do omeprazol a partir do método foto-fenton utilizando os parâmetros estabelecidos para o experimento um.

Já o experimento dois, apresentou resultados mais satisfatórios quando comparado com o experimento um. Apesar de também apresentar ruído, o espectro de cada alíquota coletada do experimento dois traz um dos picos característicos do omeprazol, 305 nm, sendo possível fazer a análise comparativa pelo método de espectrofotometria. Assim, com esses resultados satisfatórios, foi possível começar a analisar a degradação e eficiência desse método.

Além disso, foi possível fazer uma análise visual comparativa dos espectros gerados das alíquotas, comprovando a geração de radicais hidroxila a partir da reação foto-fenton, uma vez que há uma diminuição da absorbância em um comprimento de onda de 305 nm com o decorrer do tempo reacional. A outra análise feita foi da variação da concentração do omeprazol em função do tempo reacional, utilizando uma curva de calibração, junto do cálculo do percentual de oxidação para avaliação da degradação.

Ao analisar a curva de concentração em função do tempo reacional, conclui-se que realmente houve a diminuição da concentração de omeprazol com o decorrer da reação. E, para os parâmetros estabelecidos no experimento dois, teve-se uma eficiência de 73,103%, sendo considerado um resultado bom.

Dessa forma, foi comprovado empiricamente que as hipóteses de diminuir a concentração de reagentes e utilizar um processo de filtração iriam melhorar os resultados encontrados. Assim, durante este trabalho, comparou-se diferentes medicamentos e variações da metodologia, e é possível concluir que o processo Foto-fenton é uma alternativa de tratamento de fármacos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o período de tratamento dos dados, foi possível levantar algumas hipóteses para possível melhoria da eficiência e análise da reação.

Além de aumentar a concentração dos reagentes, peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso heptahidratado, da reação foto-fenton, usar um processo complementar, para interromper a reação. Dessa maneira, avaliar o comportamento dos resultados de análises instrumentais e observar a taxa de oxidação.

Realizar um planejamento fatorial, variando a concentração do fármaco, peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso, afim da avaliação comparativa entre os resultados obtidos.

Realizar o teste de carbônico orgânico total (COT) e de turbidez no começo e no fim da reação, para fins comparativos e de eficiência, ou seja, verificar se realmente diminuiu o COT e a solução ficou menos turva.

Por fim, pode-se aumentar o tempo da reação e coletar mais alíquotas, para discussão de como o tempo de reação pode influenciar na degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma nº NBR 12807, de 12 de janeiro de 1993**. Esta Norma define os termos empregados em relação aos resíduos de serviços de saúde. Resíduos de serviços de saúde, Brasil, 12 jan. 1993. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.807-Residuos-de-Servi%C3%A7os-de-sa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma nº NBR 12808, de 12 de janeiro de 1993**. Resíduos de serviços de saúde. [S. l.], 12 jan. 1993. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/NBR-12808-1993-Res%C3%ADduos-de-servi%C3%A7os-de-sa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Brasil). 3 Resíduos de Serviços de Saúde. *In*: ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Brasil). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, Novembro 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Brasil). 3 Resíduos de Serviços de Saúde. *In*: ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Brasil). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. [S. l.], Dezembro 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA (Brasil). **Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde**. Brasília, 2006. Disponível em: <https://usermanual.wiki/Pdf/manualgerenciamentoresiduosanvisa.1199303562/view>. Acesso em: 4 abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA (Brasil). Resolução-RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o

Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Resolução – RDC/ANVISA nº 306, de 7 de dezembro de 2004**, [S. l.], 7 dez. 2004. Disponível em: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/res_306.pdf. Acesso em: 5 abr. 2022.

ARANTES, Marco Aurélio. **Sistema de informação para o gerenciamento dos resíduos sólidos do grupo B**. Orientador: Prof.^a Dr.^a Luciana Rezende Alves de Oliveira. 2016. 178 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unaerp.br/bitstream/handle/12345/263/Arantes%2c%20Marco%20Aur%2c%20a9lio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 abr. 2022.

ARAUJO, C. F. S; MACHADO, M. E. R; RODRIGUES, P. R; FIALHO, A. A. R. **Investigação sobre o descarte de resíduos sólidos de saúde (RSS) em uma instituição pública hospitalar do município de Santana do LivramentoRS**. Revista Administrativa da UFSM. Santa Maria, v.11, edição especial, p.421-434,2018. Acesso em: 8 maio 2022.

ARAÚJO, Karla Santos de et al. **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Revista Ambiente & Água [online]. 2016, v. 11, n. 2 [Acessado em 9 Maio 2022], pp. 387-401. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XjBbHvfYf4bXbDxYnX3xR3r/?lang=pt#>>. Epub Apr-Jun 2016. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1862>.

ARISTAQUE, M. F. **O papel do farmacêutico na indústria farmacêutica**. Araras: Centro de Universitário Hermínio Ometto, 2010. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/o-papel-do-farmaceutico-na-industria-farmacutica/4748045/>. Acesso em: 2 jun. 2022

BAUTITZ, Ivonete Rossi. **DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS POR PROCESSO FOTO-FENTON E FERRO METÁLICO**. 2010. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Instituto de Química da Universidade Estadual de São Paulo, Universidade Estadual Paulista, Araraquara - São Paulo, 2010. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105688/bautitz_ir_dr_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 maio 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde (REFORSUS). **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde** / Ministério da Saúde, Secretaria Executiva, Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2001. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte1.pdf Acesso em: 4 abr. 2022.

BERMUDEZ, J. A. **Indústria farmacêutica, estado e sociedade**. São Paulo: Hulcitec: Sociedade Brasileira de Vigilância de Medicamentos. Acesso em: 2 jun. 2022

BUENO, Francine *et al.* **APLICAÇÃO DO PROCESSO FOTO-FENTON NA DEGRADAÇÃO DO CORANTE REACTIVE BLACK 5**. 2016. 10 f. Campina Grande - Paraíba, 2016. Cap. 58. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/II-019.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022

BONFILIO, Rudy *et al.* Farmácia magistral: Sua importância e seu perfil de qualidade. **Revista Baiana de Saúde Pública**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 653-664, 1 set. 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/133815/ISSN0100-0233-2010-34-03-653-664.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 abr. 2022

BRASIL lidera o consumo de medicamentos na América Latina. Espaço Farmacêutico, [s. l.], 3 maio 2021. Disponível em: <https://www.espacofarmaceutico.com.br/blog/2021/05/03/brasil-lidera-o-consumo-de-medicamentos-na-america-latina>. Acesso em: 8 maio 2022.

CANTARINI, Karina Bandeira; ROCHA, Sâmia de Sousa. Resíduos de serviços de saúde e periculosidade: Uma análise de suas formas de tratamento e do

procedimento de coleta-disposição / Final de uma empresa em Fortaleza/CE. **IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, São Bernardo do Campo/SP, p. 1-5, 27 nov. 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/III-062.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

CARVALHO, Rogério Ferreira de. **AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: ESTUDO DE CASO DO HOSPITAL MUNICIPAL DR. MÁRIO GATTI**. 2010. 37 f. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Marcos, Bauru - São Paulo, 2010. Cap. 2000. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2010/I-007.pdf>. Acesso em: 20 maio 2022.

CENTENARO, W. L. A.; DALLAGO, R. M.; CENTENARO, A. M. **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde na microrregião geográfica de Erechim - RS**. PERSPECTIVA, [s. l.], v. 36, p. 223-236, março 2012. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/133_266.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.

CENTRAL DE REAGENTES E RESÍDUOS QUÍMICOS (Brasil). **Inflamabilidade**. In: CENTRAL DE REAGENTES E RESÍDUOS QUÍMICOS (Brasil). CRRQ. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www2.uepg.br/crrq/inflamabilidade/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 005, de 5 de agosto de 1993. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições previstas na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e nº 8.028, de 12 de abril de 1990, e regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, e no Regimento Interno aprovado pela Resolução CONAMA nº 025, de 03 de dezembro de 1986. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 005, de 05 de agosto de 1993**, [S. l.], 5 ago. 1993. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0005-050893.PDF>. Acesso em: 4 abr. 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto no 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria no 499, de 18 de dezembro de 2002, e o que consta do Processo no 02000.001672/2000-76, volumes I e II, resolve: **Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005**: Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências, [S. l.], 29 abr. 2005. Disponível em: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/res_358.pdf. Acesso em: 4 abr. 2022.

CUNHA, Gabriela Miranda de Assis et al. **USO DO PROCESSO FOTO-FENTON NO TRATAMENTO DE ÁGUAS PRODUZIDAS EM CAMPOS DE PETRÓLEO**. 2007. 10 f. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rio Grande do Norte, 2007. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_6_2_0443-1.pdf. Acesso em: 10 maio 2022.

DORS, Gisanara. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos avícolas**. Orientador: Prof. D.Sc. Agenor Furigo Junior. 2006. 101 p. Dissertação (Estre em Engenharia Química, Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos) - Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil., 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88705/232030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 abr. 2022.

DURIGAN, Marco A. Benedetti, Vaz, Sergio Renato e Peralta-Zamora, **Patricio** **Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e foto-Fenton**. Química Nova [online]. 2012, v. 35, n. 7 [Acessado 10 Maio 2022] , pp. 1381-1387. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/wXmXgPZ3XxnF8z5YnJPW6tB/?lang=pt#>>. Epub 16 Ago 2012. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700018>.

EDLER, Flavio Coelho. **Boticas & Pharmacias: Uma História Ilustrada Da**

Farmácia No Brasil. Rio de Janeiro: Editora Casa da Palavra, 2006.

FARIA, Guilherme Assunção. **Diagnóstico dos resíduos de serviços de saúde do grupo B gerados no município de Uberaba (MG).** Orientador: Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro. 2010. 72 p. Monografia (Grau de Engenheiro Ambiental) - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP), Rio Claro (SP), 2010. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118974/faria_ga_tcc_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 abr. 2022.

FERREIRA GUEDES, Eloaine et al. **Descarte incorreto de fármacos e seus efeitos ambientais no Brasil: Uma revisão de literatura.** European Academic Research, [s. l.], v. IX, 8 nov. 2021. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/5183.pdf#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20ANVISA%20as%20sobras%20medicamentosas,decorr%C3%Aancia%20da%20m%C3%A1%20conduta%20dos%20indiv%C3%AAduos%20%28GONZALES%2C%202020%29.?msckid=a4daf9ffd06511ecb64b24a58001d3c0>. Acesso em: 8 maio 2022.

FERREIRA, Andréa Pacheco. **Degradação do fármaco cloridrato de tetraciclina via processos oxidativos avançados.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/15479/1/TESE%20Andrea%20Pacheco%20Ferreira.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

FERREIRA, Ivete Vasconcelos Lopes e Daniel, Luiz Antonio. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário.** Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2004, v. 9, n. 4 [Acessado 10 Maio 2022], pp. 335-342. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dpKYfKq7pXMYWRrdZbJLkbv/?lang=pt&format=>

html#>. Epub 27 Jul 2005. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400011>.

FERST, Giacomo Colonetti. **Análise da indústria farmacêutica no Brasil: Surgimento e desenvolvimento da indústria nacional**. Orientador: Prof^a Dr^a Janice Dornelles de Castro. 2013. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78380/000899474.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 abr. 2022.

FREIRE, Renato Sanches *et al.* **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**. Química nova, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 504-511, 4 jan. 2000. Disponível em: http://static.sites.s bq.org.br/quimicanova.s bq.org.br/pdf/Vol23No4_504_v23_n4_%2812%29.pdf. Acesso em: 8 abr. 2022.

FILHO, Arthur Tôrres *et al.* **Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo de pirólise**. Engenharia Sanitária Ambiental, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 187-194, abril 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/NmMqJsb3FzTJjJyxGsBFJFM/?format=pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

FURINI, Graciane. **Produção de enzimas lipolíticas por bactérias isoladas de sistemas de tratamento biológico de efluentes**. Orientador: Prof. Dr. José Carlos Germani. 2017. 81 p. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul - Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/170270/001052873.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 abr. 2022.

GALVÃO, Douglas Felipe; GOMES, Eliane Rodrigues dos Santos. **OS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS E SUA UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. 2015. 12 f. Juiz de Fora, 2015.

GUERRA, Emanuele Diógenes. **Avaliação da influência do ferro e do sulfato na degradação de paracetamol em reatores biológicos anaeróbios.** Orientador: Professora DSc. Luiza Feitosa Cordeiro. 2017. 48 p. Trabalho de conclusão de curso (Grau de bacharel em Engenharia Ambiental) - Engenharia Ambiental do Centro Universitário Tabosa de Almeida – ASCES/UNITA, Caruaru, 2017. Disponível em: [http://repositorio.asc.es.edu.br/bitstream/123456789/994/1/TCC%20EMANUEL E%20DVD.pdf](http://repositorio.asc.es.edu.br/bitstream/123456789/994/1/TCC%20EMANUEL%20DVD.pdf). Acesso em: 6 abr. 2022.

KOSMAN, Joslaine. **Degradação de fármacos de interesse ambiental utilizando-se o processo foto-fenton assistido por lâmpada de LED/UV-VIS.** Orientador: Profa . Dra . Elaine Regina Lopes Tiburtius. 2019. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3008/4/Joslaine%20Kosman.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LUCIDCHART: **Fluxograma Online.** [S. l.], Dezembro 2008. Disponível em: <https://www.lucidchart.com/pages/pt?noHomepageRedirect=true>. Acesso em: 20 maio 2022.

MACEDO, Natalia de Souza. **Gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde.** Orientador: Prof. Aldori Batista dos Anjos. 2019. 53 p. Trabalho de conclusão de curso (Grau em Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/93694-tcc-natalia-de-sousa-macedo---gerenciamento-de--residuos-solidos-de-servicos-de-saude.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MAFRA, Renata Cristina; SILVA, Marcela Prado. **Aplicação dos processos de fotólise e UV/H₂O₂ para degradação do fármaco levotiroxina sódica em meio aquoso.** IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/04/artigo.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

MARCELINO, Rafaela Brito Portela et al. **APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE ANTIBIÓTICOS**. 2014. 153 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Ufmg, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A7PPHJ/1/disserta__o_rafaela_marcelino.pdf. Acesso em: 09 maio 2022.

MARTINS, G. B. C.; SUCUPIRA, R. R.; SUAREZ, P. A. Z. A Química e as Cores. **Revista Virtual de Química**, Brasília - DF, v. 7, n. 4, p. 1508-1534, 5 maio 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/download/1152/608/6167>. Acesso em: 5 abr. 2022.

MARTINS, Leonardo Madeira. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS VISANDO O SEU REÚSO**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí (Ufpi), Teresina - Piauí, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54814/1/DISSERTACAO-LEONARDO-MADEIRA.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.

MELO, João Victor Ferreira. **Desempenho de um reator de leito fixo operado em batelada sequencial no tratamento de efluente de indústria farmacêutica**. Orientador: Francisco Javier Cuba Terán. 2017. 53 p. Monografia (Grau de bacharel em Engenharia Ambiental) - Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/TCC_2_-_J._V._F._MELO.pdf. Acesso em: 6 abr. 2022.

MILLENA GABRIELA SILVERIA, Furtado; VERONICA DE JESUS, Nunes; JEANE DENISE DE SOUZA, Menezes. **Gestão de resíduos em uma farmácia de manipulação**. X SIMPROD, [s. l.], Novembro 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10425/2/GestaoResiduosFarmaciaManipulacao.pdf?msckid=74277c01d06411ec882189d8ff1c9f63>. Acesso em: 10 maio 2022.

MIRANDA, Luana Varela. **Emprego da filtração simples como meio de melhorias das características físico-químicas da água de poços em**

campina grande - PB. Orientador: Dra. Dayse Luna Barbosa. 2018. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/23672/1/LUANA%20VA%20RELA%20MIRANDA%20-%20TCC%20ENG.%20CIVIL%20CTRN%202018.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2022.

MOMENTI, Thiago José. **Processo anaeróbio conjugado com Processos Oxidativos Avançados (POA) no tratamento dos efluentes do processo industrial de branqueamento da popa celulósica.** 2006. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-22032007-205656/publico/Tese.pdf>. Acesso em: 09 maio 2022.

MONTEIRO, Rubens Teles. **TRATAMENTO DOS FÁRMACOS NIMESULIDA E IBUPROFENO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO UV/H₂O₂ E FOTO-FENTON.** 2017. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - Pernambuco, 2017. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/27853/4/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Rubens%20Teles%20Monteiro.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

NEVES, Arthur Couto; MOL, Marcos Paulo Gomes. **Theoretical environmental risk assessment of ten used pharmaceuticals in Belo Horizonte, Brazil.** National Library of Medicine, [s. l.], 11 abr. 2019. DOI 10.1007/s10661-019-7386-3. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30976940/>. Acesso em: 20 maio 2022.

NOGUEIRA, Raquel F. Pupo et al. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton.** Departamento de Química Analítica, Universidade Estadual Paulista, Araraquara - São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/qHcKf8JsnJjpk4pxp6wZCr/?lang=pt#>. Acesso em: 09 maio 2022.

NUNES, Thais da Silva Peniche et al. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: UMA REVISÃO DE LITERATURA.** 2012. 4 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Enfermagem, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://seer.unirio.br/cuidadofundamental/article/view/1697/pdf_555. Acesso em: 20 maio 2022.

OLIVEIRA, Filipe de. **Remoção de Paracetamol em solução aquosa a via Processos Oxidativos Avançados (Fenton e Foto-Fenton)**. 2016. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/143911/000998256.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 maio 2022.

PAIVA, Vinícius Alexandre Borges de. **DEGRADAÇÃO DE UMA MISTURA DOS FÁRMACOS GENFIBROZILA, HIDROCLOROTIAZIDA E NAPROXENO PELO PROCESSO FOTO-FENTON**. 2018. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - Minas Gerais, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22383/1/Degrada%c3%a7%c3%a3o_%20Mistura_F%c3%a1rmacos.pdf. Acesso em: 11 maio 2021.

PEREIRA, Eliane Alves. Tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde através de micro-ondas. **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Goiânia/GO, p. 1-9, 21 nov. 2012. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/XI-004.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

PILGER, Rosane Regina; SCHENATO, Flávia. **Classificação dos resíduos de serviços de saúde de um hospital veterinário**. SciELO Brasil, [S. l.], 1 mar. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/mZkDQhQ6P8SsJs6RWTHrNsH/?lang=pt#>. Acesso em: 4 abr. 2022.

POSSER, Yáskara Matielli. **DEGRADAÇÃO DA CAFEÍNA ATRAVÉS DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS FENTON E FOTOFENTON**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de

Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150536/001008654.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 maio 2022.

PRÓ AMBIENTAL. **Como funciona a incineração de resíduos?**. In: PRÓ AMBIENTAL. Pró ambiental soluções em resíduos: Incineração. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.proambientaltecnologia.com.br/como-funciona-a-incineracao-de-residuos/>. Acesso em: 15 abr. 2022.

PROMATEC (Brasil). **DBO DQO**. [S. l.], 27 nov. 2020. Disponível em: <https://www.promatecambiental.com.br/blog/dbo-dqo/>. Acesso em: 21 maio 2022.

PUBCHEM, FEDERAL GOVERNMENT OF THE UNITED STATES (USA). National Library of Medicine. Explore **Chemistry: Quickly find chemical information from authoritative sources**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 20 maio 2022.

ROBINSON, PhD William R.; FLOWERS, Paul. 1.3 Physical and Chemical Properties: Learning Objectives. In: RICE UNIVERSITY (Estados Unidos da América). OpenStax. **OpenStax**. U.S.A.: OpenStax, 14 fev. 2019. Disponível em: <https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/1-3-physical-and-chemical-properties>. Acesso em: 5 abr. 2022.

RÊGO E. C. L. Políticas de regulação do mercado de medicamentos: a experiência internacional. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 7, n. 14, p. 367-400, dez .2000. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11522/2/RB%2014%20Pol%20adticas%20de%20Regula%20a7%20a3o%20do%20Mercado%20de%20Medicamentos_A%20Experi%20ancia%20Internacional_P_BD.pdf. Acesso em: 2 jun. 2022.

RIEDEL, A & LEOPOLD, Claudia. (2005). **Quantification of omeprazole degradation by enteric coating polymers: An UV-VIS spectroscopy study**. **Die Pharmazie**. 60. 126-30. Acesso em: 20 set. 2022.

ROQUE, Ana Luísa Rei Rodrigues. **Remoção de compostos farmacêuticos persistentes das águas**: Efeitos no ambiente e na saúde humana. Orientador: Prof^a. Doutora Maria Gabriela Lourenço da Silva Féria de Almeida. 2009. 123 p. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/3339/1/Roque_2009.pdf. Acesso em: 8 abr. 2022.

SANTOS, Dália Sofia Chasqueira dos. **Preparação e caracterização de ânodos de Ti/Pt/SnO₂-Sb₂O_x e sua aplicação na degradação de compostos farmacêuticos**. Orientador: Prof. Doutor Lurdes Ciríaco. 2011. 113 p. Dissertação (Grau de Mestre em Química Industrial) - UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR, Covilhã, Portugal, 2011. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2483/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20D%C3%A1lia%20Santos.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

SANTOS, Leonardo Oliveira dos; SIRTORI, Carla. **Degradação de fármacos mediante processo Fenton**. 2017. 1 f. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/175927/Poster_52840.pdf?sequence=2. Acesso em: 20 maio 2022.

SEBRAE. Pandemia e novas tendências ampliam mercado do farmacêutico: Na contramão de todas as crises, o mercado do farmacêutico cresce ano a ano, no Brasil e no mundo. *In*: **Empreendedorismo | COMPETITIVIDADE**. Brasil, 18 jan. 2021. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/pandemia-e-novas-tendencias-ampliam-mercado-do-farmacutico,40365993c4617710VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 4 abr. 2022.

SIQUEIRA, Laura Maria. **INFLUÊNCIA DA TAXA DE CARREGAMENTO ORGÂNICO NA DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA DA VINHAÇA EM REATOR DE LEITO FLUIDIZADO**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São

Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3996/1832.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 maio 2022.

SILVA, Ana Maria. **Caracterização dos resíduos sólidos do grupo B utilizados e descartados no ambulatório de especialidades e no centro cirúrgico de um hospital universitário na cidade de Ribeirão Preto - SP**. Orientador: Orientadora: Profa. Dra. Luciana Rezende A. Oliveira. 2014. 61 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto UNAERP, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.unaerp.br/documentos/2682-silva-ana-maria-mestrado-tecnologia-ambiental/file>. Acesso em: 5 abr. 2022.

SILVA, C. E. et al. **APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON NO TRATAMENTO DE PERCOLADOS DE ATERROS SANITÁRIOS**. 2006. 8 f. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/2006-CObeq.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

SILVA, Michele Chagas da; SANTOS, Gemelle Oliveira dos. **Densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados**. CONNEPI, [S. l.], p. llllllllllllllllll, 25 out. 2010. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Densidade-aparente-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-rec%C3%A9m-Silva-Santos/9a2fd12fe78d11113c422a7c451ebe6ec56bb4a2>. Acesso em: 5 abr. 2022.

SILVA, Teresa Cristina Fonseca da. **PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE CELULOSE KRAFT BRANQUEADA**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Mg, 2007. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/2139/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

SILVA, Vanessa Vargas da. **Degradação de amoxicilina por Fenton e foto-Fenton**. 2015. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127758/000970472.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 maio 2022.

SIMÕES, Anderson Savio de Medeiros. **Estudo da degradação de microcontaminantes em efluentes por radiação ultravioleta e processo oxidativo foto Fenton**. Orientador: Dra. Ilda Antonieta Salata Toscano 2o ORIENTADOR: Dr. Renato Falcão Dantas. 2013. 117 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/7099/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

SOARES, Andressa da Cunha. **Estudo da degradação do fármaco norfloxacino pela reação foto-fenton**. Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rufino. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/14777/1/ACS19062019.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SOUZA, Silvia. Varejo farmacêutico cresce 10,8% em 2021. *In*: FEBRAFAR. **Febrifar Federação Brasileira das Redes Associativistas e Independentes de Farmácias**. [S. l.], 7 fev. 2022. Disponível em: <https://www.febrifar.com.br/varejo-farmacautico-cresce-108-em-2021-veja-os-destaques/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

VGR. Incineração de resíduos: quando ela deve ser uma boa opção?. *In*: VGR. **Tratamento de resíduos**. Belo Horizonte, 9 out. 2018. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/incineracao-de-residuos-quando-ela-deve-ser-uma-boa-opcao/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

VIANA, Ednilson *et al.* **Caracterização de resíduos sólidos**: Uma abordagem metodológica e propositiva. 1. ed. São Paulo: Biblioteca 24 horas, julho 2015. 178 p. ISBN 978-85-4160-873-2.

WANDERLEY, Matheus Cereja; NASCIMENTO, Rômulo Freitas. **Estudo sobre os desafios no tratamento de efluentes da indústria farmacêutica**.

Orientador: Prof. Geraldo de Souza Ferreira. 2017. 109 p. Projeto Final (Bacharel em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e de Petróleo da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/5533/TCC%20-%20Matheus%20Cereja%20e%20R%c3%b4mulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 abr. 2022.

WILKINSON, John L. et al. **Pharmaceutical pollution of the world's rivers**. The Proceedings of the National Academy of Sciences, [s. l.], 14 fev. 2022. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2113947119>. Acesso em: 21 maio 2022.

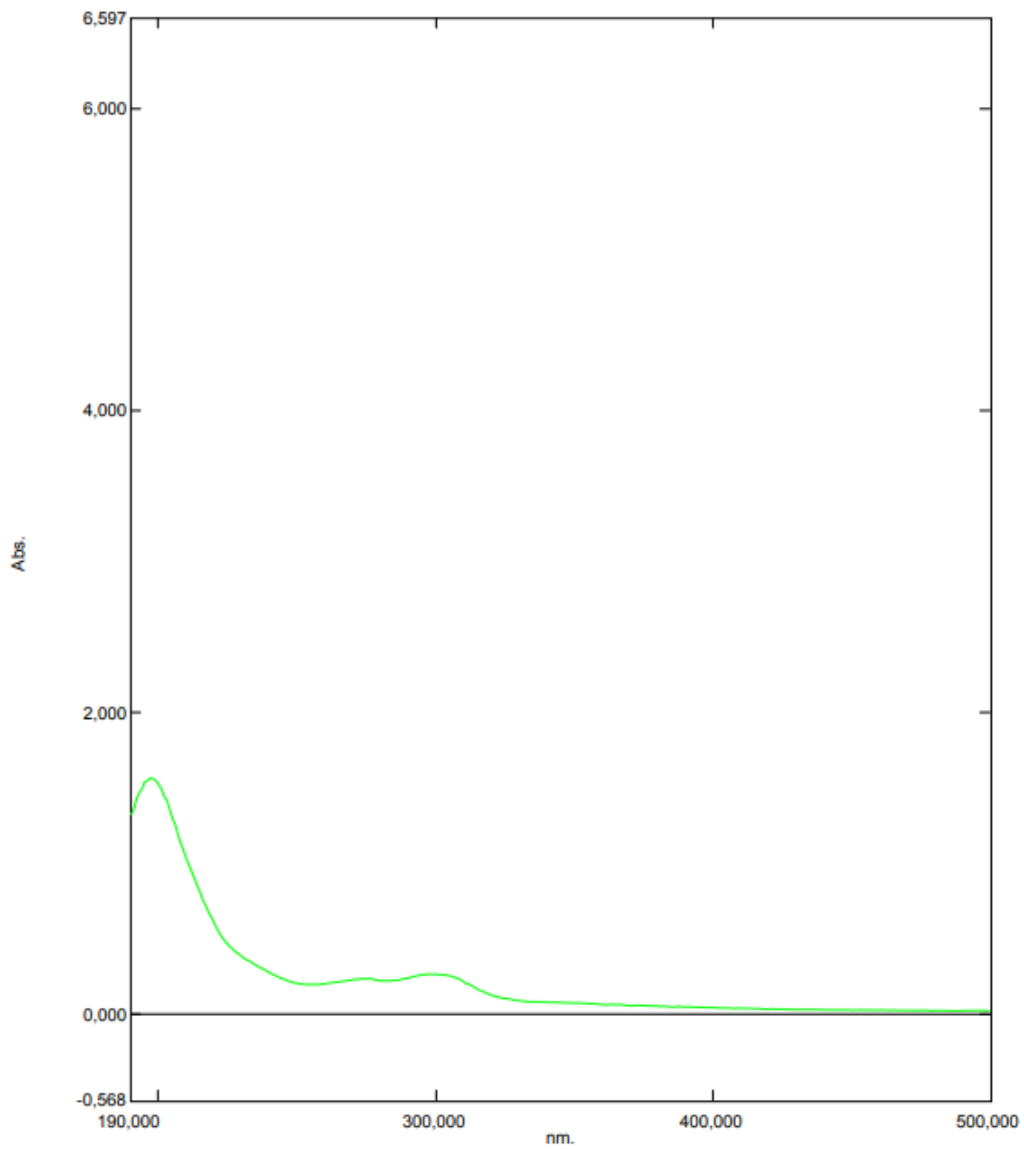
APÊNDICE A – Espectros das soluções padrão

Espectro da solução padrão 0,01 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:20:30

curva de calibração 0,1 g-L - RawData

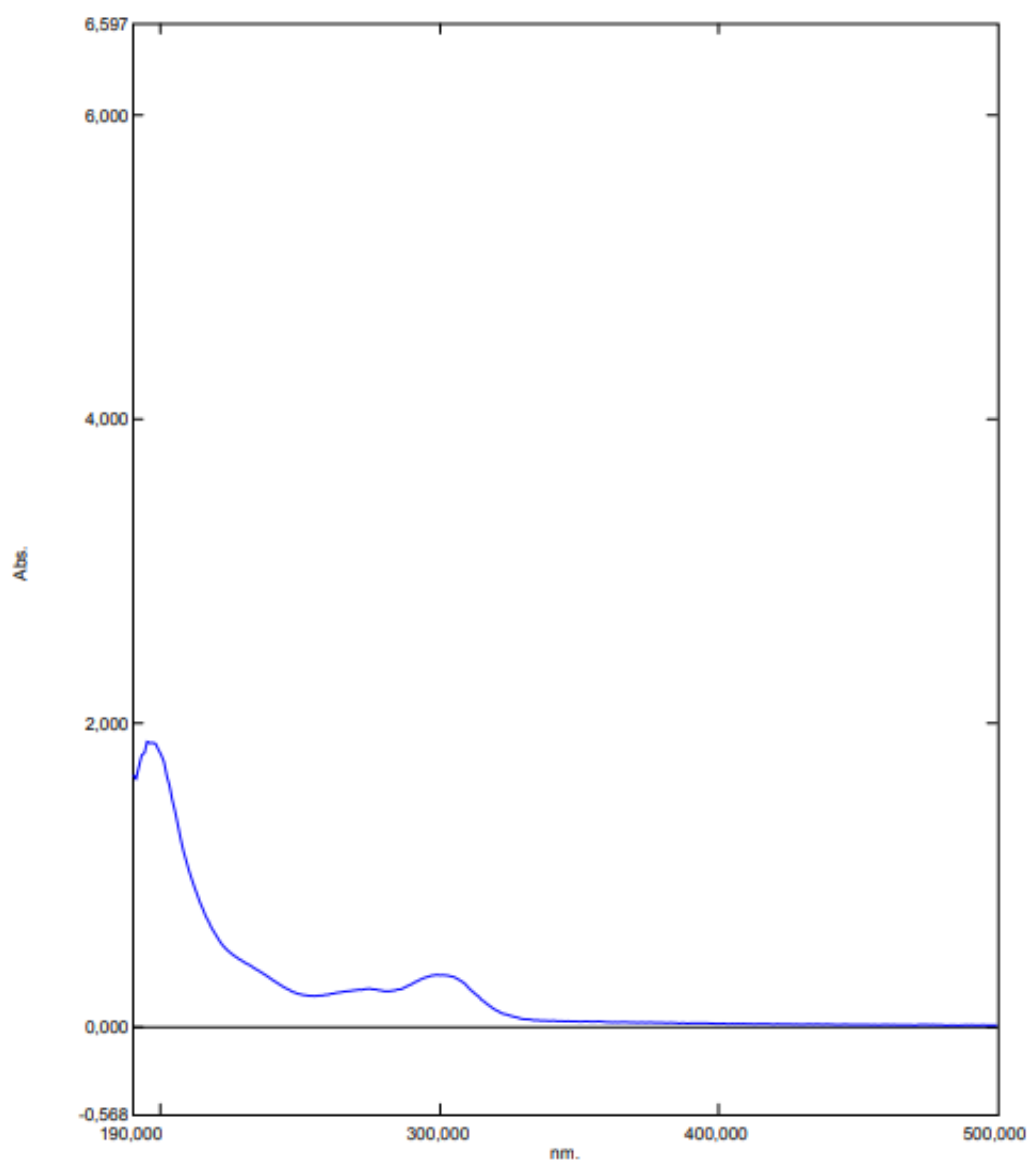


Espectro da solução padrão 0,0125 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:21:36

curva de calibração 0,125g-L - RawData

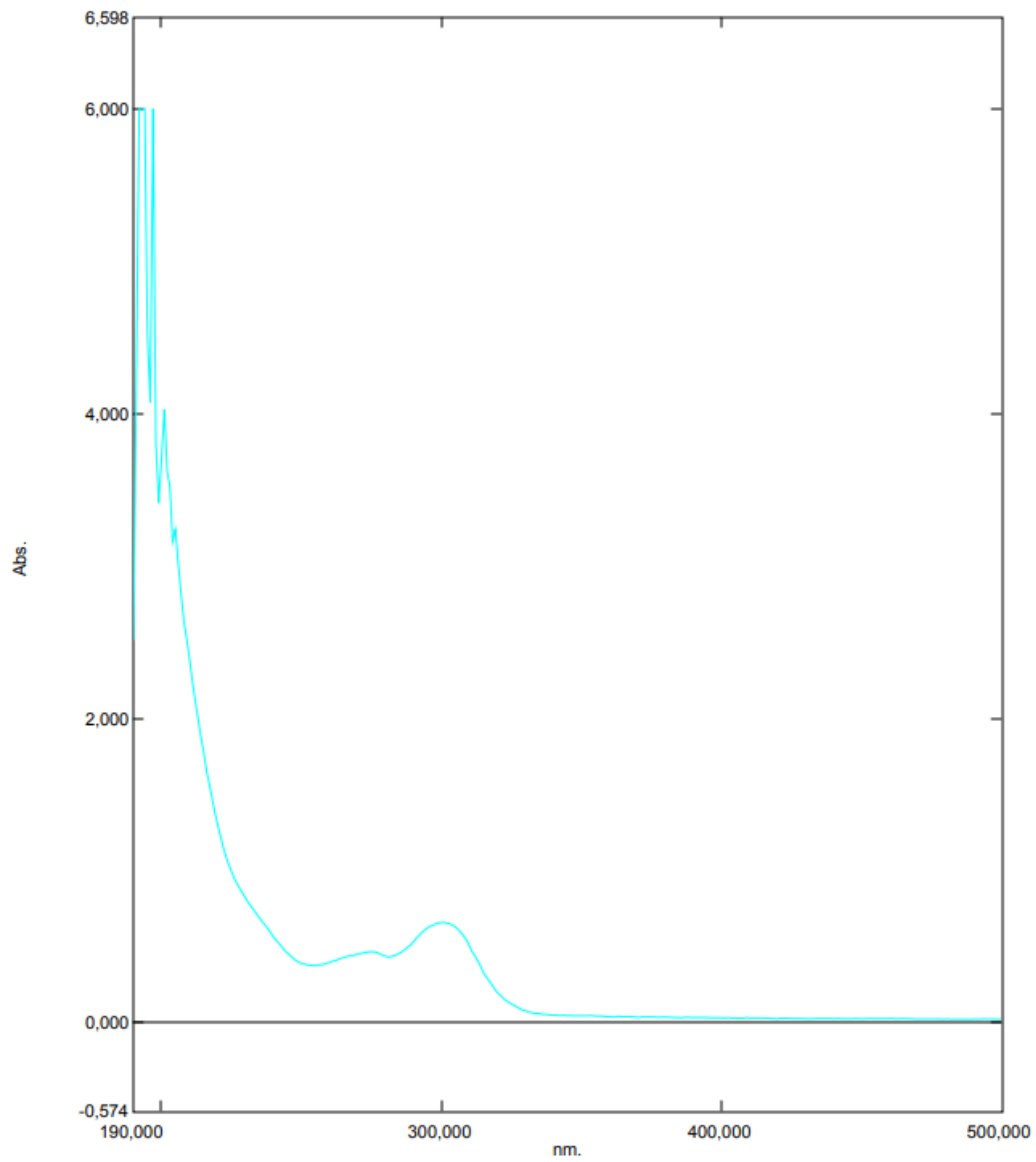


Espectro da solução padrão 0,02 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:25:34

curva de calibração 0,2 g-L - RawData

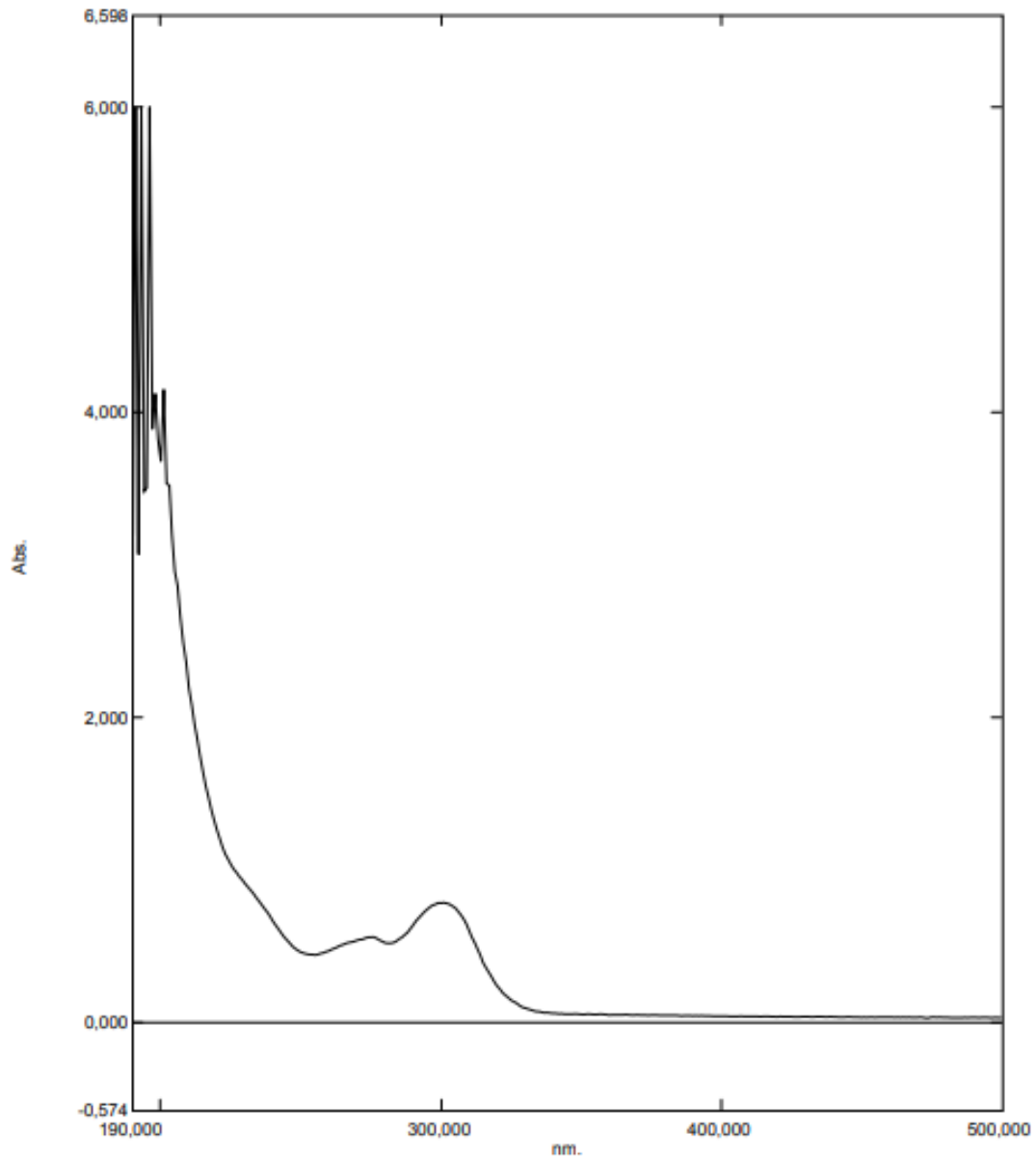


Espectro da solução padrão 0,025 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 14:30:21

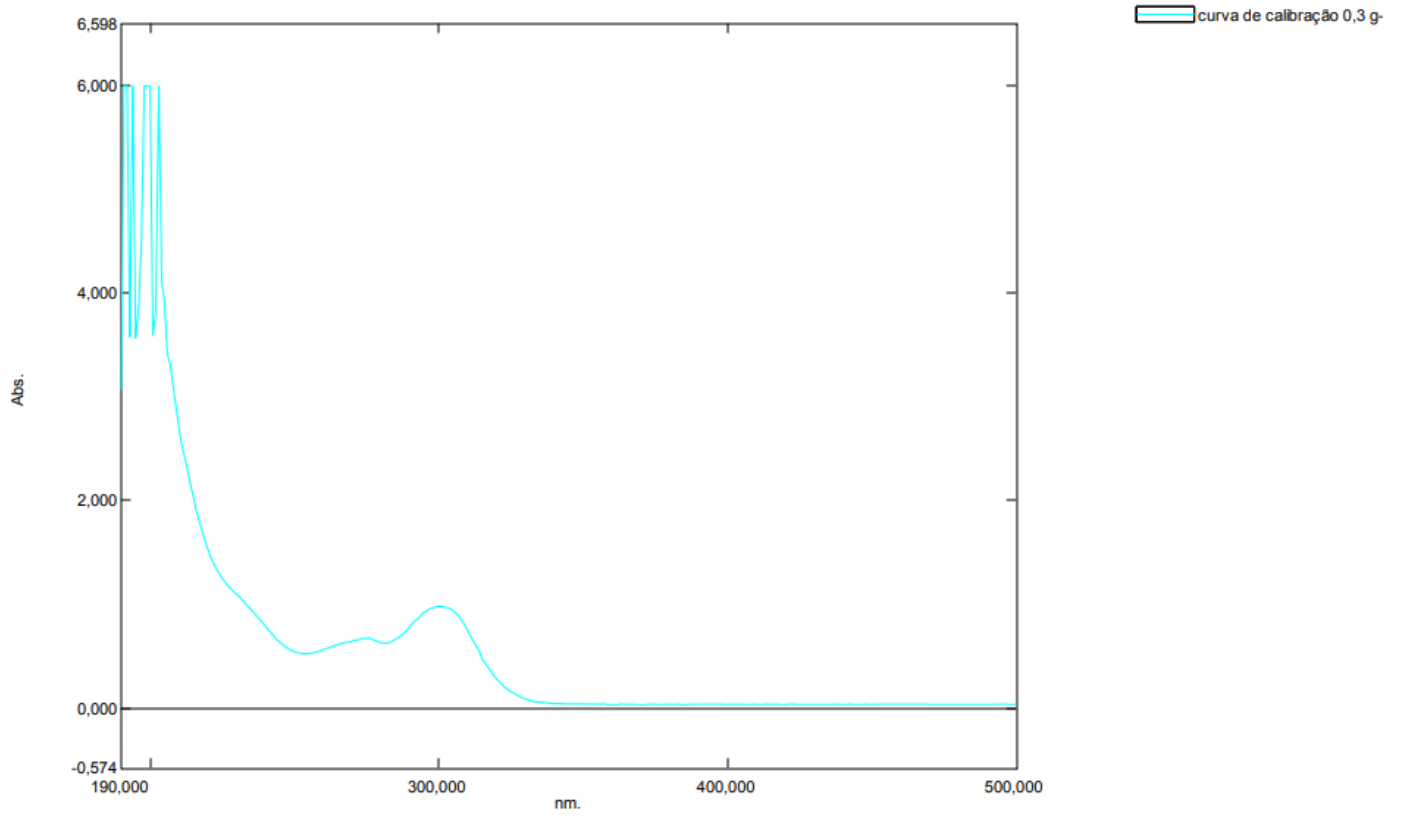
Curva de calibração_0,25 g-L - RawData



Espectro da solução padrão 0,03 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:27:19

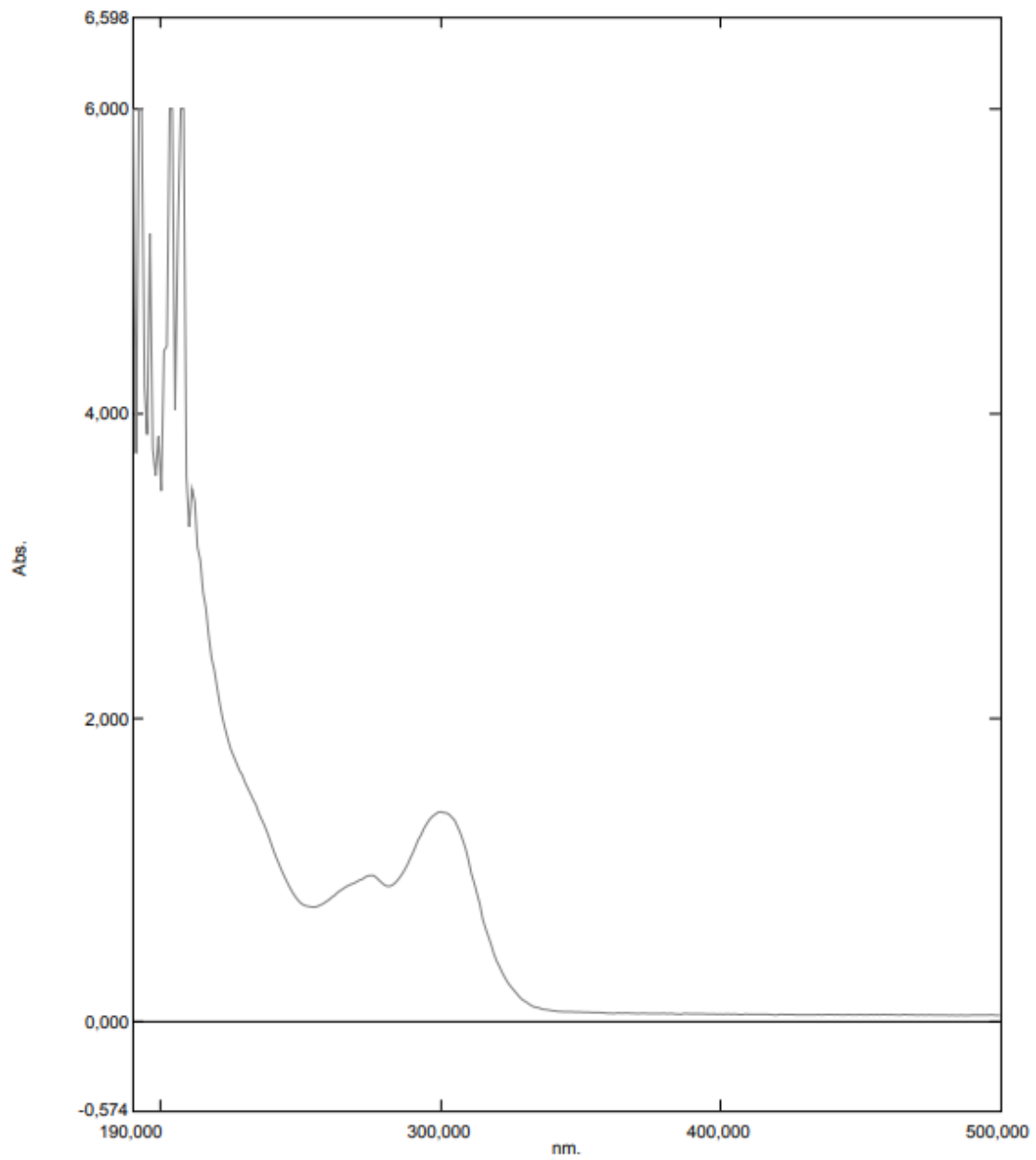


Espectro da solução padrão 0,05 g/L

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 15:28:20

curva de calibração 0,5 g-L - RawData

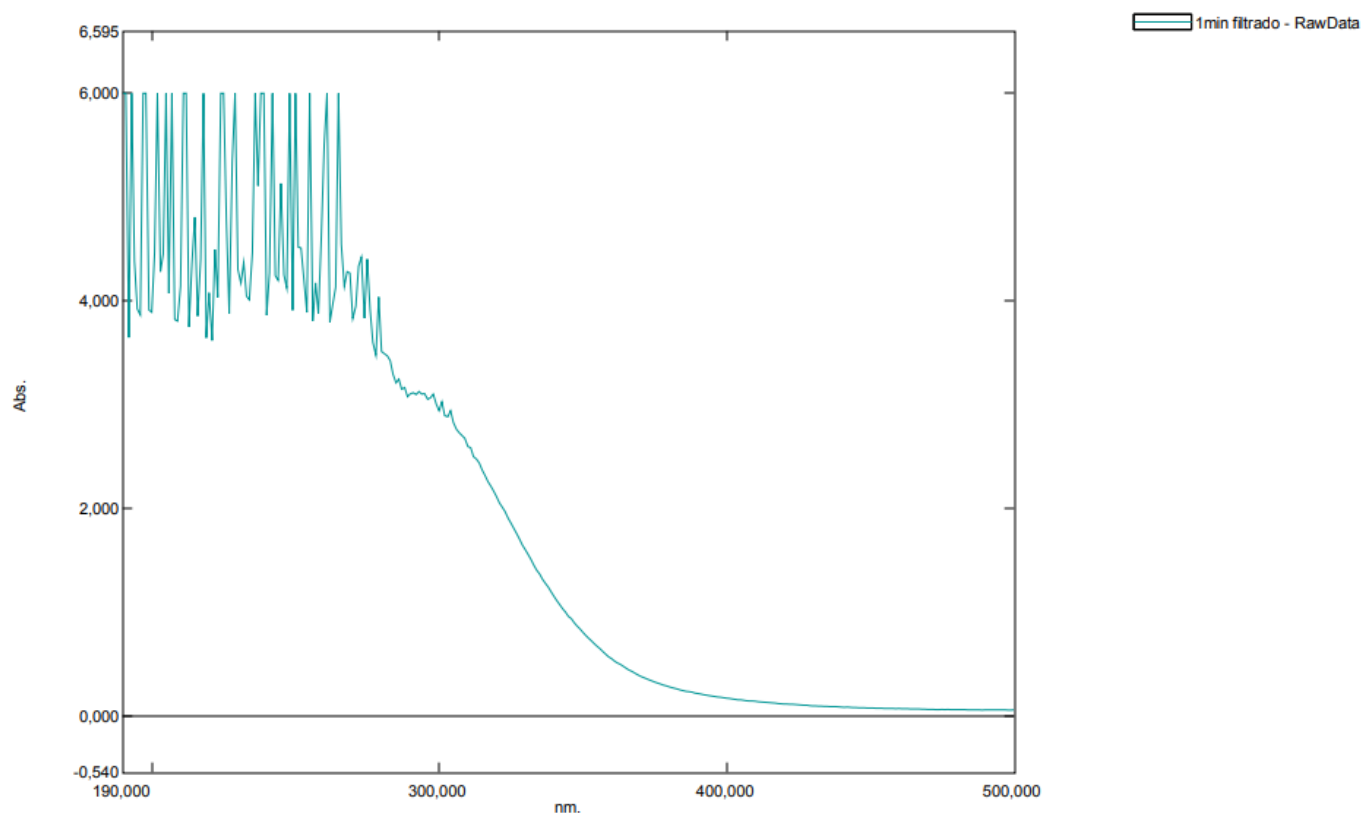


APÊNDICE B – Espectros do experimento dois

Espectro da alíquota do minuto 1

Overlay Spectrum Graph Report

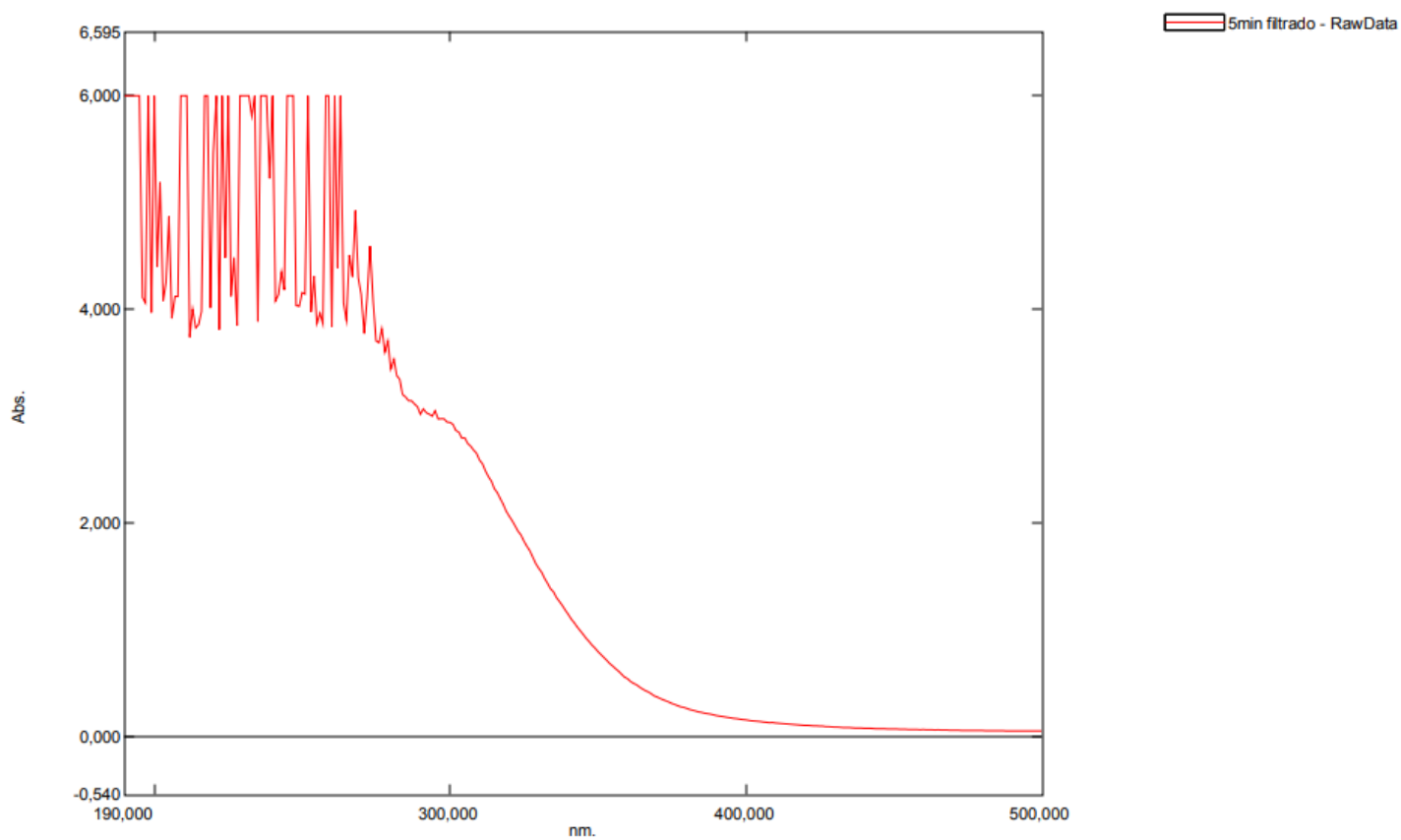
05/10/2022 17:45:48



Espectro da alíquota do minuto 5

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:47:05

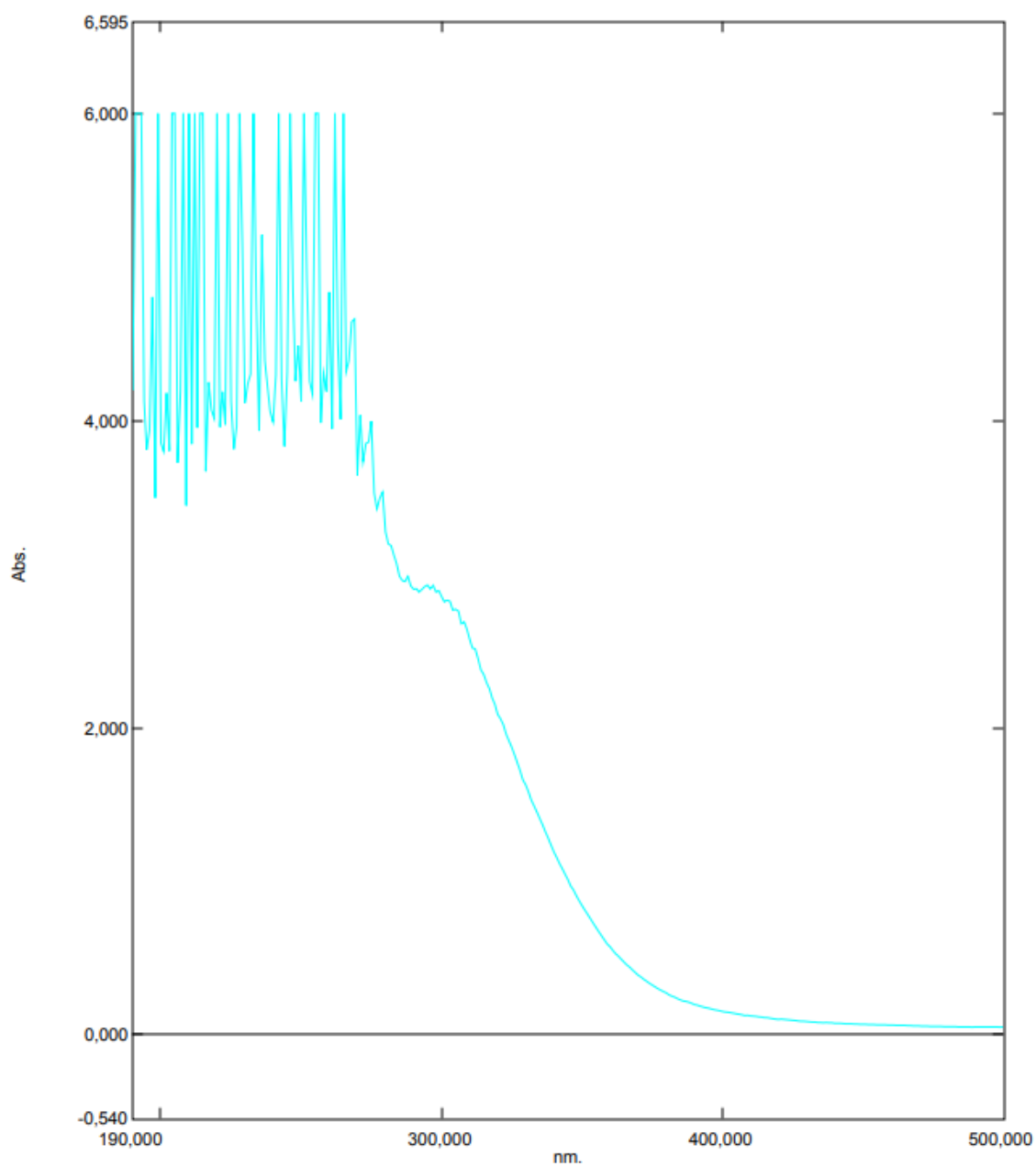


Espectro da alíquota do minuto 15

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:40:43

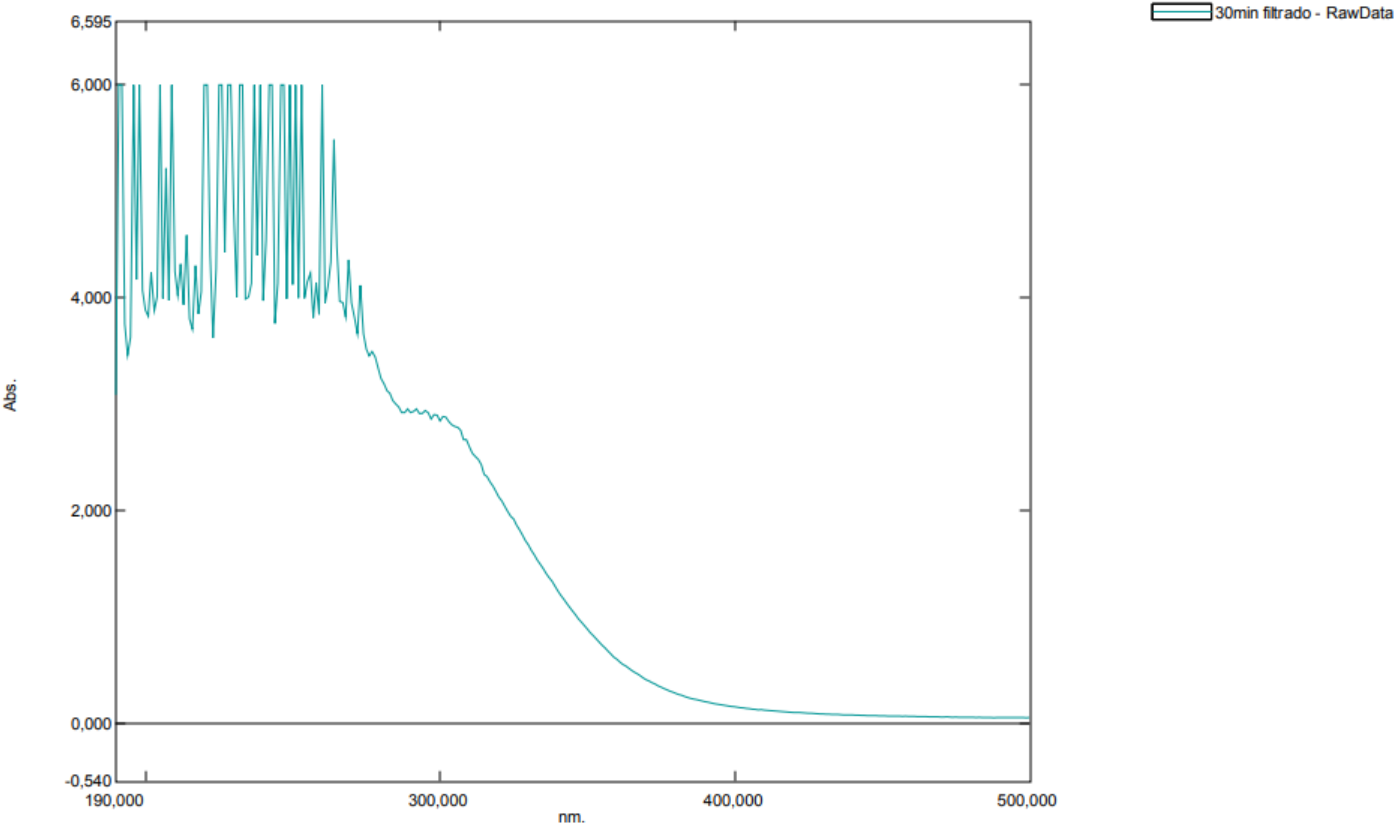
15min filtrado - RawData



Espectro da alíquota do minuto 30

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:46:26



Espectro da alíquota do minuto 60

Overlay Spectrum Graph Report

05/10/2022 17:47:38

