

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BETINA CHRISTI SEMIANKO  
TAUANI CHRISTINI SOARES MACHADO**

**CATALISADORES DE NIÓBIO PROMOVIDOS COM Fe E Cu APLICADOS NA  
FOTODEGRADAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO**

**PONTA GROSSA**

**2022**

**BETINA CHRISTI SEMIANKO  
TAUANI CHRISTINI SOARES MACHADO**

**CATALISADORES DE NÍOBIO PROMOVIDOS COM Fe E Cu APLICADOS NA  
FOTODEGRADAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO**

**NIOBIUM CATALYSTS PROMOTED WITH Fe AND Cu APPLIED IN THE  
PHOTODEGRADATION OF SALICYLIC ACID**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Giane Gonçalves Lenzi

**PONTA GROSSA  
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BETINA CHRISTI SEMIANKO  
TAUANI CHRISTINI SOARES MACHADO**

**CATALISADORES DE NIÓBIO PROMOVIDOS COM Fe E Cu APLICADOS NA  
FOTODEGRADAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/junho/2022

---

Rodrigo Brackmann  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Maria Eduarda Kounaris Fuziki  
Mestrado  
Universidade Estadual de Maringá

---

Giane Gonçalves Lenzi  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA  
2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos nossos pais, por todo apoio e incentivo para que essa jornada fosse possível e acima de tudo pela compreensão nos momentos em que estivemos ausentes.

A nossa orientadora Prof. Dr<sup>a</sup>. Giane Gonçalves Lenzi, pela confiança em nosso trabalho e pelo amparo durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

A engenheira química Maria Eduarda Kounaris Fuziki e ao nosso amigo José Salvador Napoli, pelo companheirismo e auxílio no laboratório e por todos os esclarecimentos durante as análises.

Ao Prof. Dr Rodrigo Brackmann por ter cedido gentilmente os catalisadores já caracterizados para realizarmos os testes de fotocatalise.

Aos nossos amigos de graduação por sempre estarem presentes e acreditarem em nós.

Aos membros da banca por aceitarem o convite.

## RESUMO

O tratamento inadequado de efluentes domésticos e industriais é um dos fatores contribuintes para a presença de contaminantes emergentes em águas superficiais uma vez que os métodos convencionais utilizados nas estações de tratamento se apresentam insuficientes na remoção desses micropoluentes. Este trabalho apresenta a aplicação de catalisadores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , promovidos com cobre e ferro, no método de fotocatalise heterogênea para a degradação de ácido salicílico. Nas sínteses dos catalisadores foram utilizadas diferentes temperaturas de calcinação, a fim de avaliar sua influência na atividade fotocatalítica. Com o objetivo de avaliar o desempenho do catalisador frente ao seu meio reacional, diferentes faixas de pH e, posteriormente, a adição de ácido fórmico foram empregadas no estudo. Os resultados mostraram que o catalisador  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  apresenta melhor desempenho, atingindo um potencial de degradação de 28% do ácido salicílico, em temperatura de calcinação mais baixa, de 400 °C, e meio ácido (pH = 3,2). A adição do ácido fórmico, entretanto, não teve impacto positivo na atividade fotocatalítica quando mantido o pH natural da solução. Com base nos resultados, a degradação do ácido salicílico por catalisadores de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , testados nesse trabalho, não é suficientemente eficiente quando comparada com catalisadores de  $\text{TiO}_2$  sob as mesmas condições, os quais apresentam um potencial de degradação de 88% com apenas 60 min de exposição à radiação UV.

Palavras-chave: contaminantes emergentes; fotocatalise heterogênea; catalisadores de nióbio.

## ABSTRACT

The inadequate treatment of domestic and industrial effluents is one of the contributing factors for the presence of emerging contaminants in surface waters, since the conventional methods used in water treatment plants are insufficient in the removal of these micropollutants. This work presents the application of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> catalysts, promoted with copper and iron, in the heterogeneous photocatalysis method for the degradation of salicylic acid. Different calcination temperatures were used in the synthesis of the catalysts in order to evaluate their influence on the photocatalytic activity. In order to evaluate the performance of the catalyst regarding its reaction medium, different pH ranges and, subsequently, the addition of formic acid were employed in the study. The results showed that the Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> catalyst presents the best performance, reaching a degradation potential of 28% of salicylic acid at a lower calcination temperature of 400 °C and acid medium (pH = 3,2). The addition of formic acid, however, had no positive impact on the photocatalytic activity while the natural pH of the solution was maintained. Based on the results, the degradation of salicylic acid by Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> catalysts tested in this work is not efficient enough as TiO<sub>2</sub> catalysts under the same conditions, which show a degradation potential of 88% with only 60 min of UV radiation exposure.

Keywords: emerging contaminants; heterogeneous photocatalysis; niobium catalysts.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Quadro 1 - Legislações que visam o gerenciamento correto de fármacos.....</b> | <b>16</b> |
| <b>Figura 1 - Estrutura molecular do ácido salicílico.....</b>                   | <b>17</b> |
| <b>Figura 2 - Esquematização do processo de fotocatalise heterogênea.....</b>    | <b>20</b> |
| <b>Tabela 1 - Análise Comparativa dos catalisadores .....</b>                    | <b>30</b> |

## LISTA DE IMAGENS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Imagem 1 - Suporte (<math>\text{Nb}_2\text{O}_5</math>) e os catalisadores suportados calcinados a 400 e 550 °C .....</b> | <b>24</b> |
| <b>Imagem 2 - Estrutura experimental.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>Imagem 3 - Bomba de ar.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Imagem 4 - Banho termostático.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>Imagem 5 - Amostras coletadas dos testes de adsorção e fotodegradação .....</b>   | <b>27</b> |



## LISTA DE GRÁFICOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Gráfico 1 - Análise Termogravimétrica do ácido nióbio</b> .....                                  | <b>28</b> |
| <b>Gráfico 2 - Difratomia de Raios X</b> .....  | <b>29</b> |
| <b>Gráfico 3 - Comparação de desempenho dos catalisadores</b> .....                                 | <b>31</b> |
| <b>Gráfico 4 - Testes de adsorção</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>Gráfico 5 - Influência do aditivo na degradação do contaminante</b> .....                        | <b>33</b> |
| <b>Gráfico 6 - Comparação da atividade fotocatalítica dos catalisadores com e sem aditivo</b> ..... | <b>34</b> |
| <b>Gráfico 7 - Resultados para os testes de adsorção e fotocatalise em pH 7</b> .....               | <b>35</b> |
| <b>Gráfico 8 - Análise da influência do pH no processo de degradação do AS</b> .....                | <b>36</b> |

## SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Geral</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Específicos</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>3</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Poluentes emergentes</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Fármacos como poluentes emergentes</b> .....   | <b>15</b> |
| 3.2.1      | Ácido Salicílico .....  | 16        |
| <b>3.3</b> | <b>Tecnologias aplicadas na degradação de poluentes</b> .....                                   | <b>17</b> |
| 3.3.1      | Processos Oxidativos Avançados .....  | 18        |
| 3.3.2      | Fotocatálise Heterogênea .....  | 19        |
| <b>3.4</b> | <b>Fotocatalisadores</b> .....  | <b>20</b> |
| 3.4.1      | Catalisadores suportados com Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....                               | 21        |
| <b>4</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Síntese dos catalisadores</b> .....  | <b>23</b> |
| 4.1.1      | Suporte (Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) .....   | 23        |
| 4.1.2      | Deposição das fases ativas Fe e Cu .....  | 23        |
| <b>4.2</b> | <b>Teste de degradação fotocatalítica do ácido salicílico</b> .....                             | <b>24</b> |
| 4.2.1      | Preparação da solução estoque .....   | 24        |
| 4.2.2      | Preparação da estrutura .....   | 24        |
| 4.2.3      | Testes fotocatalíticos .....  | 26        |
| 4.2.4      | Quantificação de AS .....   | 27        |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....  | <b>28</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Caracterização dos catalisadores</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Avaliação da atividade fotocatalítica</b> .....  | <b>30</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Análise comparativa dos diferentes catalisadores na degradação do ácido salicílico</b> ..... | <b>31</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Processo de Adsorção</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Influência do aditivo no processo de degradação</b> .....                                    | <b>33</b> |
| <b>5.6</b> | <b>Influência do pH na atividade fotocatalítica</b> .....                                       | <b>35</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | <b>37</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>38</b> |
|            | <b>ANEXO A - Lei Estadual nº 17.211/2012 (PR)</b> .....   | <b>44</b> |
|            | <b>ANEXO B - Anvisa RDC nº 222/2018</b> .....   | <b>46</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANEXO C - Portaria n° 1.555/2007 .....</b>     | <b>51</b> |
| <b>ANEXO D - Lei Federal n° 12.305/2010 .....</b> | <b>54</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento inadequado de efluentes domésticos e industriais é um dos principais problemas relacionados à contaminação hídrica. Dentre os fatores associados a este problema, o crescimento acelerado da população somado à falta de políticas de sustentabilidade faz com que milhares de toneladas de contaminantes sejam lançados ao meio ambiente todos os dias.

Entre os contaminantes emergentes da indústria farmacêutica e cosmética, o ácido salicílico é alvo de preocupação uma vez que promove a formação de intermediários tóxicos em meio aquoso e as estações de tratamento não conseguem removê-lo completamente por métodos convencionais (GARZA-CAMPOS *et al.*, 2016, p. 35; MUKHERJEE; RAY; BARGHI, 2016, p. 1).

Conforme apontado por Amiel (2019, p. 13), apesar da legislação brasileira delegar a indústria como responsável por seus efluentes lançados nos corpos hídricos, bem como seu monitoramento e fiscalização, ainda não há políticas específicas para o descarte de efluentes farmacêuticos ou para o monitoramento dos princípios ativos destes fármacos.

Em vista disso, o desenvolvimento de tecnologias para a eliminação destes contaminantes emergentes torna-se imprescindível. Os processos oxidativos avançados (POAs) têm sido investigados para a aplicação no tratamento de efluentes, promovendo a mineralização dos contaminantes e a geração de radicais livres (ABREU *et al.*, 2020b, p.3).

A fotocatalise heterogênea é um dos POAs de grande interesse para aplicação neste processo, pois os contaminantes podem ser mineralizados ou oxidados através da ativação de semicondutores pela radiação (BRACCO *et al.*, 2019). Neste contexto, a busca por catalisadores eficientes e de baixo custo faz-se necessária para o pleno aproveitamento da técnica fotocatalítica e, conseqüentemente, para a maior degradação dos contaminantes.

Os catalisadores mais comumente empregados em processos fotodegradativos são à base de dióxido de titânio, por apresentarem desempenho e características positivas, como atoxicidade, baixo custo, insolubilidade em água, foto-estabilidade e estabilidade química para diferentes faixas de pH (FERREIRA; DANIEL, 2004, p. 335). Alternativamente, o pentóxido de nióbio é um composto ecologicamente correto e base para catalisadores, proporcionando desempenho semelhante e

partilhando das mesmas características dos catalisadores à base  $\text{TiO}_2$ , além de convenientemente abundante em território nacional.

Em conjunto aos processos oxidativos avançados, a técnica de ancoragem é empregada com a mesma finalidade de melhorar o desempenho dos catalisadores. Através da ancoragem a condutividade do material semiconductor é elevada pela adição de impurezas, evitando a inibição de reações que resultam na degradação do contaminante (RIBEIRO, 2016, p.7).

Diante o cenário e a metodologia apresentados, o enfoque da seguinte pesquisa é avaliar a eficiência dos catalisadores de pentóxido de nióbio, a partir do mapeamento da atividade catalítica à diferentes faixas de pH, e estudar a influência da ancoragem e temperatura de calcinação na degradação do ácido salicílico por fotocatalise heterogênea.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a eficiência dos catalisadores de pentóxido de nióbio contendo cobre e ferro para a degradação do ácido salicílico, através do processo de fotocatalise heterogênea.

### **2.2 Específicos**

- Avaliar o desempenho dos catalisadores a diferentes faixas de pH;
- Estudar a influência da temperatura de calcinação dos catalisadores para o processo de fotocatalise heterogênea;
- Mapear a atividade fotocatalítica dos diferentes catalisadores e a influência da promoção com ferro e cobre.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Poluentes emergentes**

O rápido crescimento populacional das últimas décadas estimulou a expansão das atividades industriais, os processos de urbanização e a produção de insumos agrícolas. Em contrapartida, a falta de estruturas de saneamento e os tratamentos inadequados de efluentes domésticos e industriais são os principais aspectos relacionados à contaminação ambiental. O lançamento de efluentes tratados de forma incorreta ou ineficiente em corpos hídricos levou ao surgimento do termo contaminantes emergentes ou poluentes emergentes, que têm ganhado destaque e chamado a atenção de pesquisadores de todo o mundo (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017, p. 1094).

Os poluentes emergentes (PE) são contaminantes detectados em concentrações muito baixas na ordem de microgramas ou nanogramas por litro, podendo ser de ocorrência natural ou antropogênica (LIMA; STACHIW; MILITÃO, 2019, p. 66). Mesmo que estejam presentes em pequena quantidade estes poluentes apresentam potencial para causarem algum efeito danoso a saúde humana ou ao meio ambiente, porém, ainda não se tem uma legislação definida e por isso não estão inseridos em planos de monitoramento e controle ambiental (MACHADO, 2015, p. 22).

Existem inúmeras substâncias que são consideradas como poluentes emergentes como fármacos, cosméticos, hormônios, compostos presentes em produtos de higiene pessoal, pesticidas, microplásticos e até mesmo algumas toxinas excretadas por microrganismos (MONTAGNER; VIDAL; ACAYABA, 2017, p. 1094). Nesta categoria os fármacos são os que mais têm sido detectados nas diversas matrizes ambientais, e o esgoto doméstico é a principal fonte para a entrada destes contaminantes na natureza (CICCOTTI, 2014, p. 26-27).

Segundo Daughton e Ternes (1999), durante muito tempo o impacto dos poluentes químicos foi exclusivamente associado a poluentes convencionais como agrotóxicos e pesticidas. Em contrapartida outros compostos potencialmente tóxicos como fármacos e compostos presentes em produtos de cuidado pessoal não recebiam tanta atenção. A principal problemática apontada pelos autores é que estes compostos e seus metabólitos ativos quando em meio aquático podem formar misturas complexas por diferentes rotas. O descarte contínuo desses poluentes em

meio aquático, aparentemente imperceptíveis pode levar ao acúmulo destes contaminantes nos organismos de maneira que os efeitos sejam irreversíveis.

A concentração deste contaminantes em efluentes pode variar de acordo com as características de uma determinada região, a população e o padrão de consumo. Devido à grande variedade de contaminantes emergentes, geralmente é necessário que seja feita a seleção de alguns compostos para estudo e avaliação de seu potencial tóxico, bem como para o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento adequado.

### **3.2 Fármacos como poluentes emergentes**

Os fármacos têm em sua composição substâncias não biodegradáveis e difíceis de serem removidas durante o tratamento de águas residuais. Ao atingir corpos hídricos, existe a possibilidade do resíduo fármaco se conjugar com outras moléculas polares e posteriormente, nas estações de tratamento, ser fragmentado liberando os ativos originais (BOGER *et al.*, 2015, p. 726).

Em contraste com os demais contaminantes, os fármacos não são classificados em um grupo homogêneo por não possuírem propriedades físicas, químicas, físico-químicas, estruturais e biológicas similares. De acordo com Rivera-Utrilla *et al.* (2013, p. 1269), os contaminantes farmacêuticos se diferem por terem massa molecular inferior a 500 Dalton; moléculas quimicamente complexas com uma grande variedade de estruturas, formas, massas moleculares e funcionalidades; mais de um grupo ionizável; capacidade de apresentar diferentes propriedades e grau de ionização conforme o pH do meio onde se encontra e propriedades lipofílicas ao mesmo tempo que mantem solubilidade moderada em água (PATEL *et al.*, 2019, p. 3521).

Apesar de conhecermos as propriedades desses poluentes, a sua extensão total e as suas consequências ao meio ambiente são, entretanto, largamente desconhecidas. As antes consideradas concentrações infinitesimais e inofensivas são agora relevantes, e estão associadas a efeitos adversos na vida aquática (FATTAKASSINOS *et al.*, 2011, p. 252).

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostram que, em 2019, apenas 49,1% do esgoto gerado no país recebeu tratamento adequado (Brasil, 2019). Apesar de apresentar um aumento de 6% em relação ao ano



anterior, é notável uma deficiência no saneamento básico brasileiro dado que mais da metade do gerado ainda é despejado em natureza sem tratamento.

Desta forma, um controle e tratamento mais eficientes desses contaminantes são necessários. Porém, embora existam no Brasil algumas exigências no monitoramento de águas superficiais, ainda não há padrões de qualidade definidos que garantam o uso seguro da água para diferentes fins (SODRÉ; DUTRA, 2018, p. 22).

Atualizado do que foi elencado por Borrely *et al.* (2012, p. 562), um breve resumo de ações implementadas no país e sua finalidade são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Legislações que visam o gerenciamento correto de fármacos**

| Ação                             | Finalidade  |
|----------------------------------|---|
| Lei Estadual nº 17.211/2012 (PR) | Dispõe sobre a responsabilidade de empresas fabricantes, importadoras, distribuidoras e revendedoras de produtos geradores de resíduos de medicamentos, especificados no art. 1º desta lei, de dar destinação adequada a esses produtos.                  |
| Anvisa RDC nº 222/2018           | Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Traz modificações no Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços da Saúde (PGRSS) e na classificação de Resíduos de Serviços da Saúde (RSS). |
| Portaria nº 1.555/2007           | Instituído o Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos (CNPURM). Redefinido pela Portaria nº 834/2013.  |
| Lei Federal nº 12.305/2010       | Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).  |

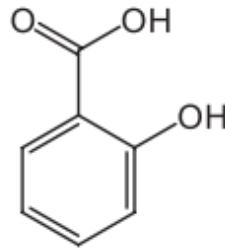
**Fonte: Adaptado de Borrely *et al.* (2012)**

### 3.2.1 Ácido Salicílico

Produto da hidrólise do ácido acetilsalicílico, o ácido salicílico é o metabolito de um dos analgésicos mais consumidos, a aspirina. Identificado na Figura 1, é uma substância da classe dos fármacos e produtos de cuidado pessoal (FPCP) amplamente encontrado nas formulações por suas propriedades esfoliantes, antissépticas, antipiréticas, analgésicas e anti-inflamatórias (BALESTRIN, 2021, p.

37). Em contraste com suas propriedades benéficas, o composto apresenta toxicidade e baixa degradabilidade, tendo se revelado como um dos poluentes emergentes em maiores concentrações em águas residuais mundiais, podendo ser também detectado em águas superficiais e subterrâneas (BALESTRIN, 2021, p. 37).

**Figura 1 - Estrutura molecular do ácido salicílico**



**Fonte:** Marchetti (2019)

Um dos fatores que contribui para essa presença em meio aquático, além da falta de tratamento adequado de águas contaminadas, é a metabolização enzimática dos conjugados de AS por  $\beta$ -glucuronidases de bactérias, algumas espécies de peixes e moluscos (NUNES *et al.*, 2015b, p. 668). A longa exposição a essas concentrações, entretanto, pode impactar negativamente nos estágios iniciais de vida dos peixes (ZIVNA *et al.*, 2015, p. 320; BALESTRIN, 2021, p. 37).

Entre os efeitos tóxicos resultantes da exposição a salicilato pode-se citar o estresse oxidativo, levando a danos peroxidativos e hepatotoxicidade (NUNES, 2019a, p. 7874). O estresse oxidativo é um distúrbio celular causado pelo desequilíbrio entre a geração de compostos oxidantes e atuação dos sistemas de defesa antioxidante, responsável por inibir e/ou reduzir os danos às células provenientes da ação nociva de radicais livres e espécies reativas não radicais (BARBOSA *et al.*, 2010, p. 630). Quanto à hepatotoxicidade, por definição, é o dano ao fígado induzido por substâncias químicas, como medicamentos e sua composição.

### **3.3 Tecnologias aplicadas na degradação de poluentes**

Existem diversos processos aplicados na degradação de poluentes presentes nos efluentes domésticos e industriais. Em grande parte das estações de tratamento de efluentes (ETEs) convencionais, há um tratamento primário do efluente por meio de técnicas de separação físico-químicas. Os processos físicos consistem na transferência de fase dos contaminantes através de mecanismos de decantação, flotação, floculação, entre outros, não havendo de fato a degradação (SOUZA, 2016,

p. 29). Os processos químicos baseiam-se na oxidação de contaminantes, porém a utilização deste tratamento não promove a mineralização completa dos poluentes, podendo haver a formação de compostos tão tóxicos quanto o contaminante a ser tratado (MELO *et al.*, 2008, p. 191).

Geralmente um tratamento secundário é aplicado para a remoção da matéria orgânica. Os processos biológicos atualmente são os mais utilizados devido à possibilidade de tratamento de grandes volumes de efluentes, uma alta taxa de remoção de matéria orgânica e o baixo custo de aplicação (MELO *et al.*, 2008, p. 191). A presença de compostos recalcitrantes, de difícil degradação e bioacumulativos, dificultam a degradação pelos organismos presentes nos sistemas de tratamento biológicos, e em alguns casos podendo causar a intoxicação destes organismos, resultando na ineficiência da técnica (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2013).

O desenvolvimento de técnicas eficientes que promovam a degradação dos poluentes para a aplicação nos sistemas de tratamento de efluentes é fundamental uma vez que presença de contaminantes nas águas superficiais é em grande parte reflexo do consumo de medicamentos e outros produtos pela população por várias décadas. Diante disso, diversos métodos não convencionais para o tratamento de efluentes têm sido investigados, dentre elas os processos oxidativos avançados ou POAs.

### 3.3.1 Processos Oxidativos Avançados

Os processos oxidativos avançados têm-se mostrado eficientes para o tratamento de efluentes com contaminantes farmacológicos (ACOSTA, 2016, p. 34). Estes processos estão baseados na geração de radicais hidroxila ( $\text{OH}^\bullet$ ) que promovem a mineralização dos componentes orgânicos, convertendo átomos de carbono em dióxido de carbono e carbonatos, hidrogênio em água e outros átomos em compostos inorgânicos (ABREU, 2021a, p. 20). A eficiência destes processos está relacionada ao elevado poder oxidante dos radicais  $\text{OH}^\bullet$  em comparação aos oxidantes convencionais, bem como a baixa seletividade, promovendo a mineralização de diversos compostos (GARZA-CAMPOS, 2016, p. 35).

Entre os POAs mais utilizados destacam-se os que utilizam radiação ultravioleta combinados ou não com fortes oxidantes como ozônio e peróxido de hidrogênio, semicondutores como o  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e o processo foto-

Fenton (SILVA, 2007, p. 12). As diferentes técnicas possuem distintas vantagens e desvantagens, porém em comum a alta demanda de energia elétrica e reagentes químicos requer uma cuidadosa otimização nos processos e aplicação apenas no pré-tratamento dos poluentes (BOLZON, 2007, p. 12).

Esses processos podem ser classificados ainda em heterogêneos, quando os catalisadores estão na forma sólida e homogêneos quando o sistema e os catalisadores estão em uma única fase.

A concentração do contaminante, características da fonte luminosa, parâmetros do reator, temperatura, pH, presença de agentes oxidantes auxiliares e características específicas do catalisador como a dopagem e temperatura de calcinação têm forte influência sobre o processo fotocatalítico (SILVA, 2007, p. 14). Para uma maior eficiência no processo de degradação, a combinação desses fatores também pode ser empregada.

### 3.3.2 Fotocatálise Heterogênea

A fotocatalise heterogênea é um POA cujo princípio está baseado na geração de radicais hidroxila através da incidência de luz sobre a superfície de um semicondutor (ABREU, 2021b, p. 3), o qual apresenta descontinuidade de energia entre a banda de valência (BV) e a banda de condução (BC) (ARAÚJO *et al.*, 2016, p. 393).

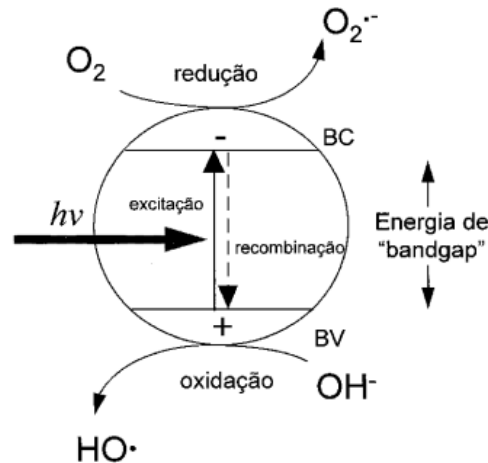
As reações fotocatalíticas são determinadas por três processos primários: (1) fotoativação; (2) geração e separação dos portadores de carga (par elétron-lacuna); e (3) reações catalíticas na superfície do fotocatalisador (HANDOKO; LI; TANG, 2013, p. 200).

Quando a luz incide sobre a superfície de um fotocatalisador, ocorre a absorção de um fóton com energia maior ou igual do que diferença de energia, band-gap ( $E_g$ ), entre as bandas de valência (BV) e de condução (BC). Um elétron ( $e^-$ ) da banda de valência é promovido para a banda de condução, configurando um estado eletronicamente excitado, gerando um par elétron-lacuna (MELO *et al.*, 2008, p. 193).

Esta lacuna ( $h^+$ ) possui um potencial positivo muito elevado, capaz de gerar os radicais hidroxila a partir das moléculas de água adsorvidas na superfície do catalisador, fazendo com que os contaminantes sejam mineralizados. Neste processo ocorre também a geração de superóxidos resultantes da captura do elétron pelo oxigênio, que também são capazes de promover a mineralização dos compostos

orgânicos (URZEDO, 2008, p. 9). A Figura 2 esquematiza o processo que ocorre na partícula do semiconductor.

Figura 2 - Esquemática do processo de fotocatalise heterogênea



Fonte: Nogueira e Jardim (1996)

Uma das possibilidades da fotocatalise heterogênea que tem atraído atenção de diversos pesquisadores é a ativação do catalisador com a utilização de luz solar (NOGUEIRA; JARDIM, 1996, p. 70). Diante disso torna-se importante o estudo de catalisadores que apresentem maior absorção na região do visível, como forma de otimizar o processo fotocatalítico e diminuir os custos.

Com este pensamento, a utilização de semicondutores usados no processo de fotocatalise se torna mais interessante por seu baixo custo e característica atóxica, possibilitando o uso sem perda substancial da atividade fotocatalítica (BOLZON, 2007, p. 12).

### 3.4 Fotocatalisadores

Catalisadores são substâncias químicas que, aplicadas em pequenas quantidades, alteram a velocidade de uma reação sem que sejam consumidos. A alteração pode ser tanto uma aceleração como um retardo na formação de um produto e ocorre por meio da mudança da sua rota molecular, sem que o equilíbrio da reação seja afetado. Entre as vantagens do uso dessas substâncias, está o aumento na taxa de conversão de reações químicas (JOSUÉ, 2021, p. 27).

Um dos fatores essenciais para uma boa reação catalítica é uma grande área interfacial, provida por materiais com estrutura porosa interna, denominados catalisadores porosos (FOGLER, 2009, p. 523).

Outro tipo de material são os catalisadores suportados, constituídos por pequenas partículas de material ativo dispersas sobre uma substância menos ativa, os suportes (FOGLER, 2009, p. 523). O emprego dos suportes proporciona uma maior estabilidade ao catalisador e facilidade na transferência de calor em reações fortemente exotérmicas, podendo também melhorar a atividade ou seletividade catalítica do catalisador e sua resistência ao envenenamento. Em situações específicas, a interação entre o suporte e o material ativo resulta na formação de outros compostos com propriedades catalíticas mais eficientes que a substância ativa original (BERROCAL, 2005, p. 5).

Ainda, uma pequena quantidade de ingredientes ativos pode ser adicionada agindo como promotores, aumentando sua atividade (FOGLER, 2009, p. 523).

Dentre os fatores influentes no desempenho de um catalisador em processos degradativos estão sua composição, concentração, concentração do composto a ser degradado, dopagem, temperaturas de calcinação e pH do meio reacional (RODRIGUES, 2007, p. 32).

Os fotocatalisadores, em específico, são semicondutores com duas regiões energéticas, a banda de valência (BV) e a banda de condução (BC). A banda de valência é a região com energia mais baixa e sem liberdade de movimentação dos elétrons, enquanto a banda de condução é a região com energia mais alta e com movimentação livre dos elétrons. Nos sólidos semicondutores, há uma descontinuidade de energia entre ambas as regiões, conhecida por “band gap”, que corresponde à energia necessária para que um elétron seja excitado e transferido da BV para BC. Os elétrons, ao serem promovidos, superam a descontinuidade de energia e apresentam condutividade elétrica (JOSUÉ, 2021, p. 28; RODRIGUES, 2007, p. 31).

#### 3.4.1 Catalisadores suportados com Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Na década de 1990, diversos estudos com a temática de catálise observaram um aumento significativo na atividade catalítica e seletividade de catalisadores convencionais como consequência da adição de pequenas quantidades de nióbio, promovendo maior visibilidade ao composto (XAVIER, 2019, p. 9). O nióbio tem suas

maiores reservas no Brasil, especificamente nos estados de Minas Gerais e Goiás, tornando o país responsável pela maior parte do metal circulante no mercado. Por sua estabilidade, forte interação metal-suporte e acidez, os compostos de nióbio são empregados como catalisadores heterogêneos atuando como fase ativa, suporte ou promotores. Do nióbio podemos obter diferentes óxidos devido aos seus diferentes estados de oxidação de +5 a -1, sendo o pentóxido de nióbio ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) o mais estável (VENTURA, 2017, p. 13-15).

O  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  é um semicondutor de aspecto sólido branco, estável ao ar, insolúvel em água, com “band gap” entre 3,1 e 4,0 eV e com propriedades físicas e químicas que o tornam excelente para aplicações como adsorvente. Ao ser adicionado em reações fotocatalíticas, pequenas quantidades do material são suficientes para aumentar a atividade catalítica e prolongar a vida dos catalisadores. Por apresentar grande absorção de energia na região do ultravioleta, devido às propriedades eletrônicas e texturais, o  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  têm sido alvo de estudo para aplicações em fotocatalise heterogênea (LOPES *et al.*, 2015, p. 108).

Quanto à estrutura, o pentóxido de nióbio pode apresentar diferentes fases e estruturas conforme o tratamento térmico que recebe e o método de síntese. Para temperaturas de calcinação de 100 a 400 °C o óxido metálico se encontra em estado amorfo; para temperaturas superiores a 400 °C, pode apresentar diversos polimorfos, os quais foram explicados pelos estudos de Bauer, em 1941 (JOSUÉ, 2021, p. 31).

Apesar da ampla utilização de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{ZnO}$  para fotodegradação, esses semicondutores apresentam difícil recuperação e reutilização devido à formação de um hidrocoloide altamente estável em meio aquoso, atrapalhando o processo de precipitação desses catalisadores. Desta forma, a busca por outros semicondutores se torna interessante. Quando comparados os valores de “band gap”, o  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  apresenta valores próximos ao  $\text{TiO}_2$  e o  $\text{ZnO}$  com 3,2 eV. Entretanto, o pentóxido de nióbio não forma um hidrocoloide estável, resultando em um efeito catalítico menor (BOLZON, 2007, p. 12).

Ainda, o uso do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  se faz vantajoso quando comparado com o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), apresentando boa atividade catalítica, e estabilidade térmica e resistência mecânica superiores (JOSUÉ, 2021, p. 31).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Síntese dos catalisadores

Os catalisadores utilizados neste trabalho foram gentilmente cedidos pelos pesquisadores Sabrina C. Nunes e Rodrigo Brackmann da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do campus Pato Branco. Para a caracterização dos catalisadores, foi utilizada a difratometria de raios X, avaliando a cristalinidade e as fases presentes (NUNES; BRACKMANN, 2019).

#### 4.1.1 Suporte ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ )

A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) cedeu aos pesquisadores o suporte na forma de ácido nióbico ( $\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), contendo 75,5% de  $\text{N}_2\text{O}_5$ , mensurado por espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado.

Para a obtenção do suporte, o ácido nióbico foi calcinado a temperaturas distintas de 400 °C e 550 °C, por um total de 150 min e taxa de aquecimento de 5 °C  $\text{min}^{-1}$  para os dois cenários.

#### 4.1.2 Deposição das fases ativas Fe e Cu

Os catalisadores estudados foram  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  e  $\text{Cu-Fe}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ . O método aplicado para deposição das fases ativas foi impregnação via úmida, utilizando os precursores nitrato de ferro III,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , da marca Realce com 98% de pureza e nitrato de cobre II,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , da marca Dinâmica com 98% de pureza a concentrações de 0,14 e 0,12  $\text{mol L}^{-1}$ , respectivamente.

O método de impregnação consiste no contato do suporte sólido com um volume da solução contendo o precursor de fase ativa, sendo, em sequência, seco para remoção do solvente absorvido. Na impregnação por via úmida, especificamente, faz o uso de um excesso da solução, normalmente dissoluções aquosas dos componentes metálicos a serem suportados, impregnando por saturação de volume dos poros (COSTA; ALBUQUERQUE; DE SOUZA, 2016).

Objetivando uma proporção mássica de 10% da fase ativa e 90% de suporte, 7 g do suporte foram misturados com 50 mL da solução precursora. Em um rotaevaporador, com rotação de 5 a 6 rpm, a síntese foi realizada a 70 °C por 30 a 40 min.



As amostras seguiram para secagem em estufa com circulação de ar por 15 h a 70 °C e, em sequência, calcinação a 400 ou 550 °C por 150 min, com taxa de aquecimento de 5 °C min<sup>-1</sup>. O catalisador não suportado, ausente de Cu e Fe, foi calcinado conforme a metodologia apresentada.

Os óxidos simples (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de 400 e 550 °C e os catalisadores suportados Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, podem ser observados na Imagem 1.

**Imagem 1 - Suporte (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e os catalisadores suportados calcinados a 400 e 550 °C**



Fonte: Autoria própria (2021)

## 4.2 Teste de degradação fotocatalítica do ácido salicílico

Os testes foram conduzidos objetivando entender a atividade fotocatalítica e o potencial de degradação de ácido salicílico dos catalisadores.

### 4.2.1 Preparação da solução estoque

A concentração da solução de ácido salicílico estabelecida para a condução dos testes foi de 50 mg L<sup>-1</sup>. Para sua preparação 50 mg de AS foram diluídos em 1 L de água ultrapura.

### 4.2.2 Preparação da estrutura

Os testes fotocatalíticos foram realizados em um reator batelada de bancada encamisado e com capacidade de 600 mL. O reator foi posicionado em uma câmara de fotocatalise revestida com papel alumínio, conferindo uma maior taxa de reflexão da luz para dentro do reator, sobre um agitador magnético e encamisado com o auxílio

de uma mangueira conectada a um banho termostático. A temperatura de “setpoint” do banho foi de 20 °C. Dentro da câmara, uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125 W foi disposta a aproximadamente 10 cm do reator. Para o fornecimento de ar, uma mangueira conectada a uma bomba foi imersa no conteúdo do reator. A Imagem 2 representa a montagem dos equipamentos e as imagens 3 e 4 mostram a bomba de ar e o banho termostático, respectivamente.

**Imagem 2 - Estrutura experimental**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Imagem 3 - Bomba de ar**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Imagem 4 - Banho termostático**

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

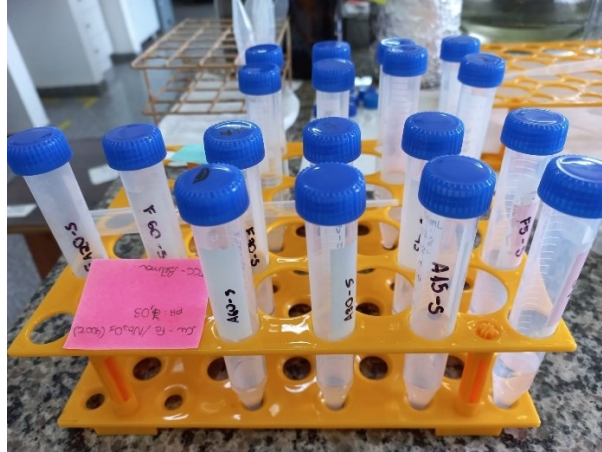
#### 4.2.3 Testes fotocatalíticos

Preliminarmente a cada teste, um volume de 300 mL da solução de AS foi separado, com o auxílio de uma pipeta volumétrica, e transferido para um béquer. Com o pHmetro, o seu pH foi medido e anotado. Em caso de a condução do teste necessitar de um pH diferente do natural da solução, o ajuste do pH foi feito com a adição de NaOH e HCl em concentrações decrescentes conforme o valor medido da solução de AS se aproximava do valor desejado.

O volume segregado foi transferido ao reator batelada e agitação foi ajustada até a formação de um vórtice. Após a retirada de uma alíquota de referência, de 3 mL com uma pipeta de Pauteur, 0,3 g do catalisador a ser estudado foi adicionado à solução e a câmara foi fechada, dando-se início aos testes de adsorção e à cronometragem do tempo.

Os testes de adsorção foram realizados com a lâmpada desligada durante os 60 min iniciais, coletando-se alíquotas nos intervalos de 15, 30 e 60 min totais transcorridos. Em sequência, após o teste de adsorção, a lâmpada foi acesa e o experimento seguiu por mais 120 min, retirando-se alíquotas nos intervalos de 5, 10, 15, 30, 60, 120 min totais transcorridos a partir do acionamento da lâmpada.

**Imagem 5 - Amostras coletadas dos testes de adsorção e fotodegradação**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Todas as alíquotas coletadas continham 3 mL e foram armazenadas em tubos do tipo Falcon, com capacidade de 15 mL e rotuladas. Posteriormente as amostras foram centrifugadas durante 10 min com velocidade de 3000 rpm, visando a separação do catalisador. As amostras centrifugadas tiveram o seu sobrenadante coletado e encaminhado para a análise no cromatógrafo.

#### 4.2.4 Quantificação de AS

Para a quantificação do ácido salicílico presente no efluente, foi empregada a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando o cromatógrafo do modelo YL Clarity 9100, equipado com uma pré-coluna C-18 (Phenomenex) e detector de ultravioleta visível (UV-Vis). As leituras foram realizadas no comprimento de onda de 296 nm, utilizando uma solução tampão de acetonitrila/fosfato na proporção 70:30, com uma vazão de 1 mL min<sup>-1</sup>.

Com os resultados obtidos, foi possível fazer a identificação dos catalisadores com as melhores atividades fotocatalíticas, e assim prosseguir o estudo avaliando a influência do pH da solução e da temperatura de calcinação e ancoragem do catalisador.

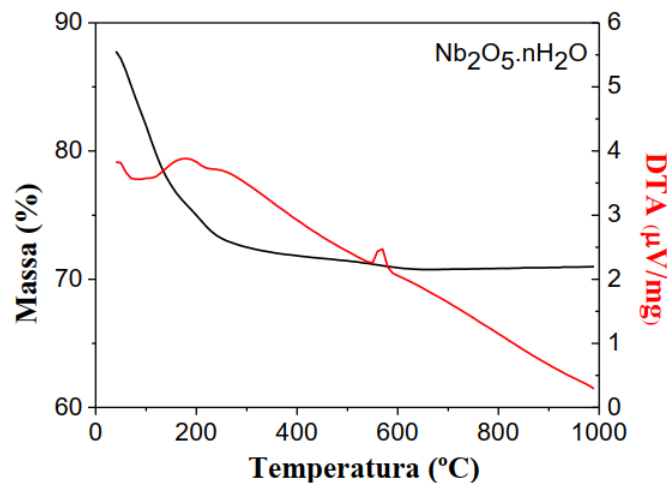
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização dos catalisadores

Abaixo encontram-se os resultados obtidos da caracterização dos catalisadores, realizada por Sabrina C. Nunes e Rodrigo Brackmann da UTFPR campus Pato Branco. O desenvolvimento deste trabalho ocorreu em parceria com os dois pesquisadores.

O Gráfico 1 abaixo traz os resultados da análise termogravimétrica do ácido nióbio, utilizado para a síntese dos catalisadores.

**Gráfico 1 - Análise Termogravimétrica do ácido nióbio**

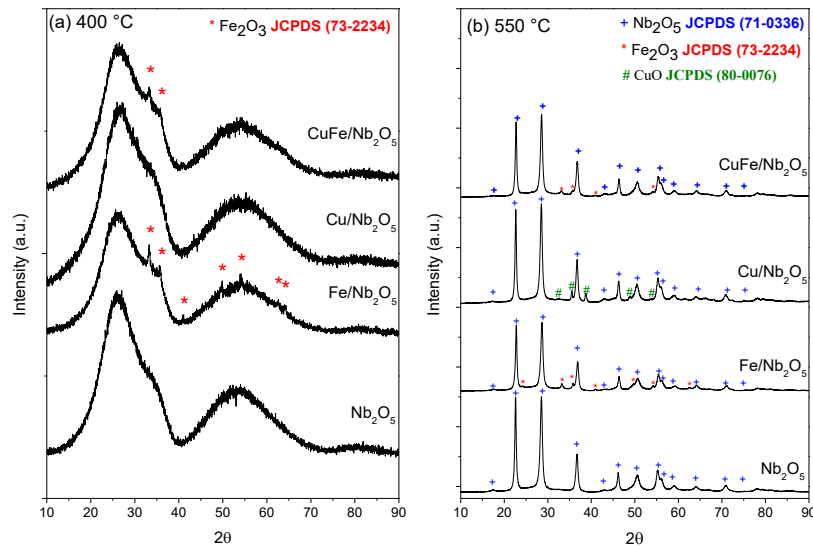


Fonte: Nunes (2019)

De acordo com a análise termogravimétrica, o pentóxido de nióbio não calcinado apresentou apenas um pico exotérmico na temperatura de 570 °C, indicando uma possível transição do estado amorfo para o cristalino. Uma perda de massa correspondente a aproximadamente 28% também foi observada quando a amostra foi aquecida a partir de 250 °C, podendo estar associada à eliminação da água e componentes voláteis (NUNES, 2018, p. 39).

O Gráfico 2 traz os resultados da Difractometria de Raios X.

Gráfico 2 - Difratomia de Raios X



Fonte: Nunes (2019)

A difratometria de Raios X sustenta o observado na análise anterior. Enquanto todos os difratogramas referentes aos catalisadores calcinados a 400 °C eram típicos de materiais amorfos, as amostras dos catalisadores calcinados a 550 °C apresentaram alta cristalinidade. Em comparação com dados da literatura, os autores afirmam que o pentóxido de nióbio cristalino não foi obtido apenas com a calcinação a 550 °C por um período de 2 horas e sem tratamentos posteriores (NUNES; BRACKMANN, 2019).

Quanto à adição de metais ao pentóxido de nióbio, os dois picos mais intensos observados na amostra calcinada a 550 °C tiveram sua intensidade alterada pela incorporação dos metais, resultando em uma sutil mudança no tamanho da partícula. Quando analisados os difratogramas dos catalisadores calcinados a 400 °C ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Nb}_2\text{O}_5$  e  $\text{CuO}/\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) só foi possível identificar as fases do metal no catalisador promovido com ferro. Na temperatura de calcinação 550 °C o mesmo resultado foi observado para o catalisador dopado com ferro e, em contrapartida com o resultado anterior, a fase do cobre também foi observada. O difratograma do catalisador contendo os dois metais ( $\text{CuO}-\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) mostrou a predominância da fase de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , não sendo possível identificar a fase de  $\text{CuO}$ , independente da temperatura de calcinação.

A tabela a seguir (Tabela 1) apresenta uma comparação entre a área superficial, volume e tamanho de poro para as amostras caracterizadas, de acordo com Nunes (2018, p. 62).

**Tabela 1 - Análise Comparativa dos catalisadores**

| Amostras  | Área<br>(m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) | Volume<br>de poro<br>(cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ) | Tamanho<br>médio de<br>poro (Å) |
|---|---|---|---------------------------------|
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .nH <sub>2</sub> O | 187                                       | 0,150   | 17,84                           |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _400 °C            | 125                                       | 0,179   | 17,74                           |
| Fe/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _400 °C         | 91  | 0,142   | 17,85                           |
| Cu/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _400°C          | 84  | 0,132   | 17,76                           |
| CuFe/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _400 °C       | 82  | 0,131   | 17,70                           |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _550 °C            | 70  | 0,172   | 35,81                           |
| Fe/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _550 °C         | 52  | 0,138   | 17,73                           |
| Cu/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _550 °C         | 49  | 0,141   | 44,19                           |
| CuFe/Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _550 °C       | 57  | 0,139   | 17,79                           |

Fonte: Nunes (2018)

Analisando o efeito da temperatura de calcinação na estrutura cristalina, observou-se que a área específica do pentóxido de nióbio calcinado diminuiu com o aumento da temperatura de 400 para 550 °C. Os catalisadores Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> calcinados a 400 °C apresentaram maior volume de poros de menor tamanho. Por outro lado, nos catalisadores Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> calcinados a 550 °C constatou-se o fenômeno inverso. Os catalisadores metálicos, quando comparados ao Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> puro, tiveram uma redução na área específica e volume dos poros. Um melhor resultado foi observado para o diâmetro dos poros dos catalisadores Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e CuO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> calcinados a 550 °C, comparados ao Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> puro (NUNES, 2018, p.62).

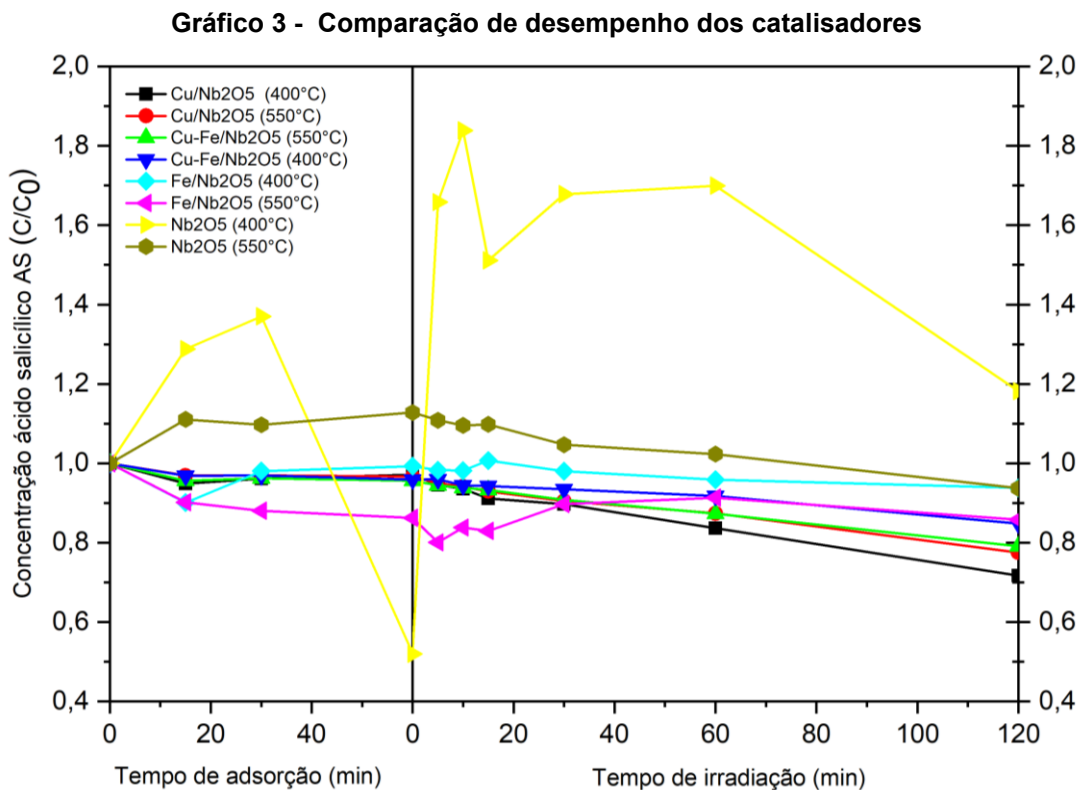
## 5.2 Avaliação da atividade fotocatalítica

Os testes de adsorção e fotocatalise foram realizados seguindo a metodologia apresentada na seção 4.2.3 Com o objetivo de verificar fatores que influenciam no processo de degradação do ácido salicílico, foram realizados testes utilizando ácido fórmico como aditivo na reação. O pH foi outro fator analisado na reação de degradação do contaminante, para isso foram realizados testes com o pH padrão da solução de ácido salicílico sem aditivo, pH da solução com a adição de ácido fórmico (aditivo) e posteriormente com o ajuste de pH em 7, obtendo-se uma ampla faixa para

avaliação da atividade de degradação. Para o ajuste de pH foi utilizado soluções de NaOH e HCl em diferentes concentrações.

### 5.3 Análise comparativa dos diferentes catalisadores na degradação do ácido salicílico

Através das leituras realizadas conforme a metodologia descrita na seção 4.2.4, obtidas através da coleta das amostras (seção 4.2.3), foi possível plotar o Gráfico 3 para análise comparativa do desempenho dos catalisadores em estudo. A curva apresenta a eficiência de remoção do contaminante inicialmente presente na solução na concentração de 50 ppm, pelos catalisadores na concentração de 1 g L<sup>-1</sup>. Os testes foram realizados mantendo-se o pH natural da solução de ácido salicílico e sem a adição do ácido fórmico.



Fonte: Autoria própria (2022)

Os catalisadores que apresentaram os melhores resultados foram os promovidos com cobre e ferro, sendo o Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 °C) o catalisador que obteve o maior percentual de degradação, chegando ao valor de 28,33% de degradação do contaminante no tempo de irradiação de 120 minutos, o que pode estar relacionado à elevada capacidade redutiva do cobre (ZHANG, 2021, p. 2521). Os estudos realizados

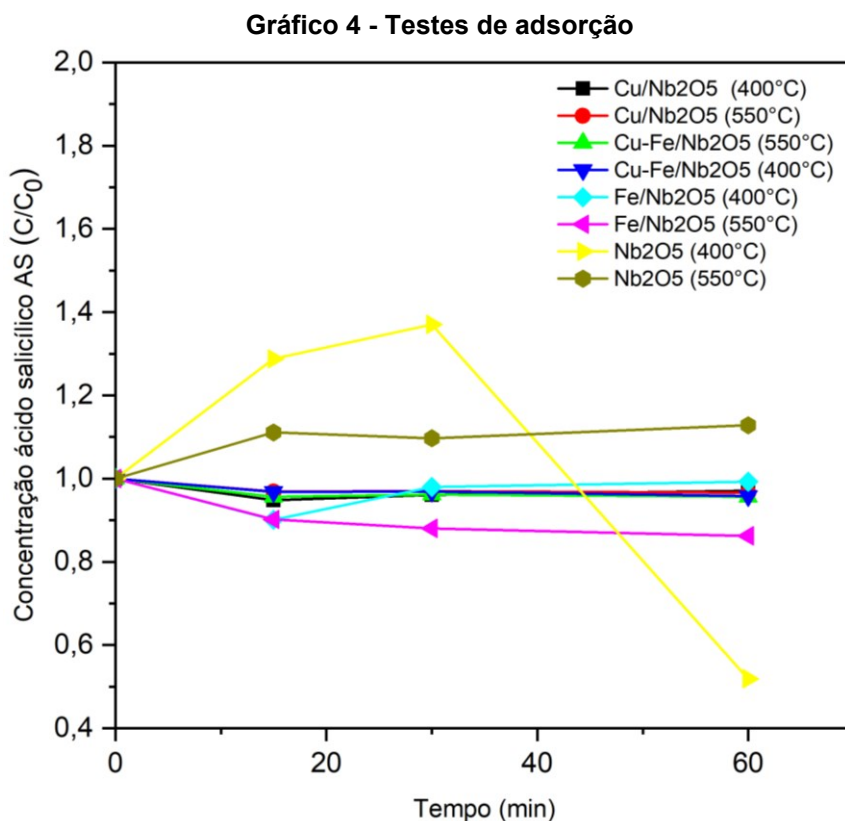


por Sohrabi e Akhlaghian (2016, p. 1793) para a degradação do fenol por catalisadores de  $\text{TiO}_2$  dopados com Fe e Cu mostraram que a adição destes metais ao  $\text{TiO}_2$  promove uma melhora na atividade fotocatalítica, e que o efeito do cobre no catalisador é mais pronunciado do que o do ferro, possivelmente dada a sinergia química resultante das interações entre esses elementos (AKHLAGHIAN e SOHRABI, 2016, p. 1793).

É possível perceber que o catalisador  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (400 °C) apresentou um comportamento instável comparativamente aos outros catalisadores em ambas as etapas, adsorção e irradiação. Possivelmente este comportamento pode estar associado à área de superfície deste catalisador. O  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  calcinado a baixas temperaturas (100 a 400 °C) encontra-se geralmente no estado amorfo, quando submetido a temperaturas maiores que 500 °C pode sofrer modificações em sua estrutura, possibilitando o surgimento de fases cristalinas, que influenciam positivamente na atividade fotocatalítica (FALK, 2017, p. 31).

#### 5.4 Processo de Adsorção

No Gráfico 4 são apresentados os resultados dos testes de adsorção para uma análise mais detalhada.



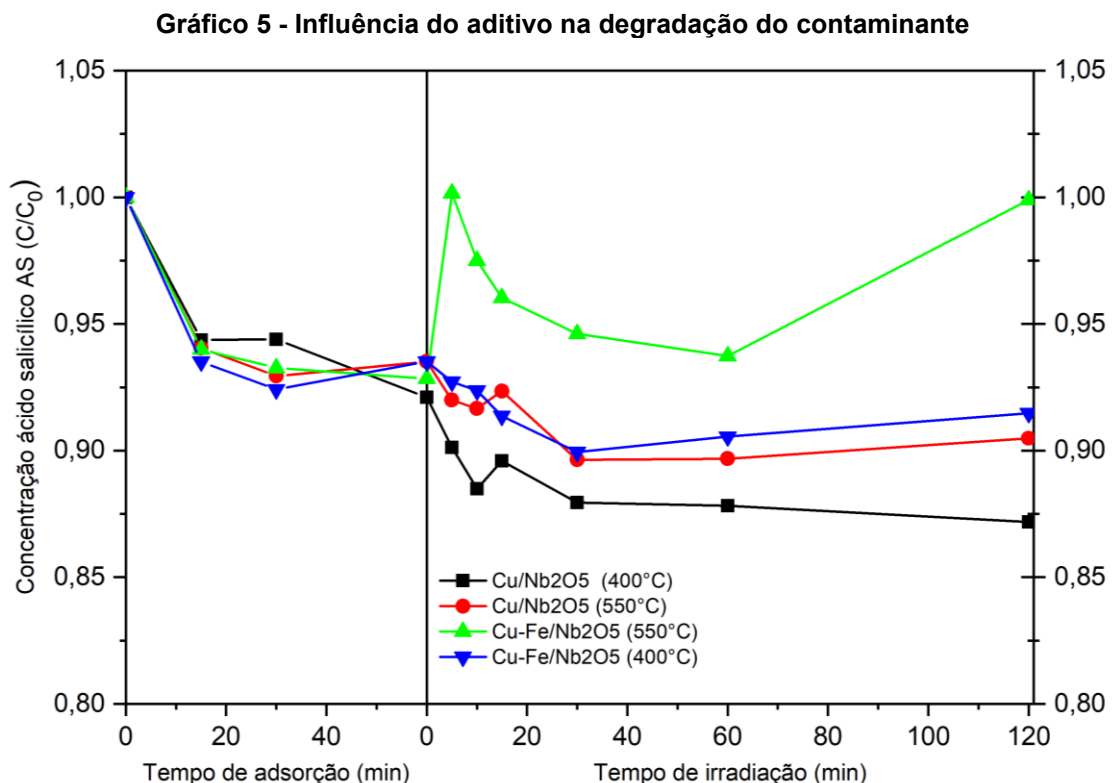
Fonte: Autoria própria (2022)

Como é observado no gráfico acima, não se obteve resultados satisfatórios de remoção somente com o processo de adsorção, não chegando a 5% por grande parte dos catalisadores, o que indica que estes catalisadores retêm pouco do contaminante em sua superfície.

A amostra de  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (400 °C) se mostrou um bom adsorvente obtendo um percentual de 48,1% de remoção ao final do processo de adsorção, porém, devido ao seu comportamento instável no teste de fotocatalise, a amostra foi desconsiderada para os testes seguintes.

### 5.5 Influência do aditivo no processo de degradação

Para os testes seguintes foram selecionadas as amostras com o melhor desempenho no teste anterior, sendo elas:  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  (400 °C),  $\text{Cu}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  (550 °C),  $\text{Cu-Fe}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  (400 °C) e  $\text{Cu-Fe}/\text{Nb}_2\text{O}_5$  (550 °C). O Gráfico 5 mostra os resultados de adsorção e fotocatalise com o uso do aditivo (ácido fórmico).

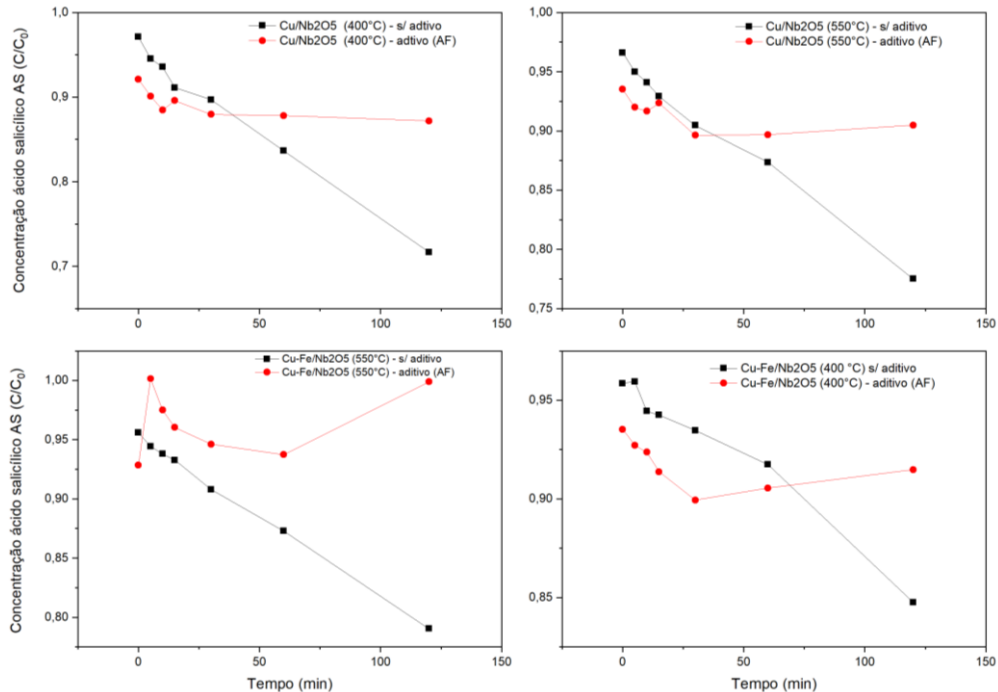


Fonte: autoria própria (2022)

O aditivo utilizado nas análises como agente de sacrifício foi o ácido fórmico. Como é possível observar no Gráfico 5, a presença do ácido fórmico não favoreceu a

reação de degradação do ácido salicílico. No Gráfico 6, se encontram os resultados para cada amostra, com e sem o aditivo.

**Gráfico 6 - Comparação da atividade fotocatalítica dos catalisadores com e sem aditivo**



Fonte: Autoria própria (2022)

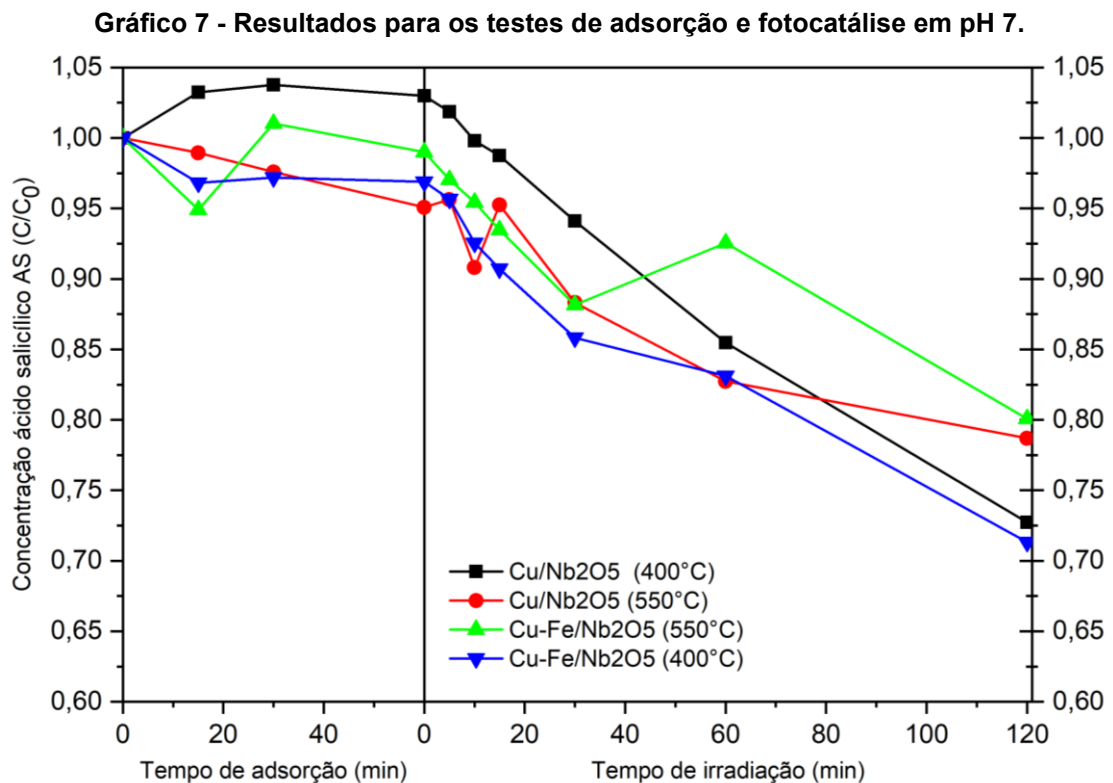
Agentes de sacrifício são compostos doadores de elétrons utilizados a fim de minimizar a taxa de recombinação do par elétron/lacuna, resultando em uma maior eficiência quântica (MARQUES; STUMBO; CANELA, 2017, p. 563). Altas taxas de recombinação resultam na interrupção da atividade fotocatalítica, após um curto período de iluminação. Em reações fotocatalíticas em meio aquoso que contenham um agente de sacrifício, ocorre a oxidação irreversível do agente redutor ao invés da água e, conseqüentemente há um aumento na fotogeração de hidrogênio (MOYA, 2016, p. 30).

De acordo com Bassaid, Robert e Chaib (2009, apud CAMPOS, 2021, p. 57) podem ocorrer dois principais problemas quanto ao uso de agentes de sacrifício em reações de fotocatalise heterogênea. O primeiro problema é com relação à formação de intermediários orgânicos, o que pode ter sido um fator contribuinte para a baixa degradabilidade do contaminante, e o segundo é a eliminação do agente de sacrifício em excesso, o que pode ter gerado problemas na leitura das amostras no HPLC.

## 5.6 Influência do pH na atividade fotocatalítica.

Os testes anteriores foram realizados sem o ajuste de pH da solução, sendo que nas análises sem o aditivo o pH médio da solução foi de 3,55 e após a adição do ácido fórmico a solução apresentou uma diminuição do pH para 2,98. A fim de se avaliar o comportamento da reação em uma faixa mais ampla de pH, fez-se o ajuste do pH da solução de ácido salicílico para 7, utilizando soluções de NaOH e HCl em diferentes concentrações.

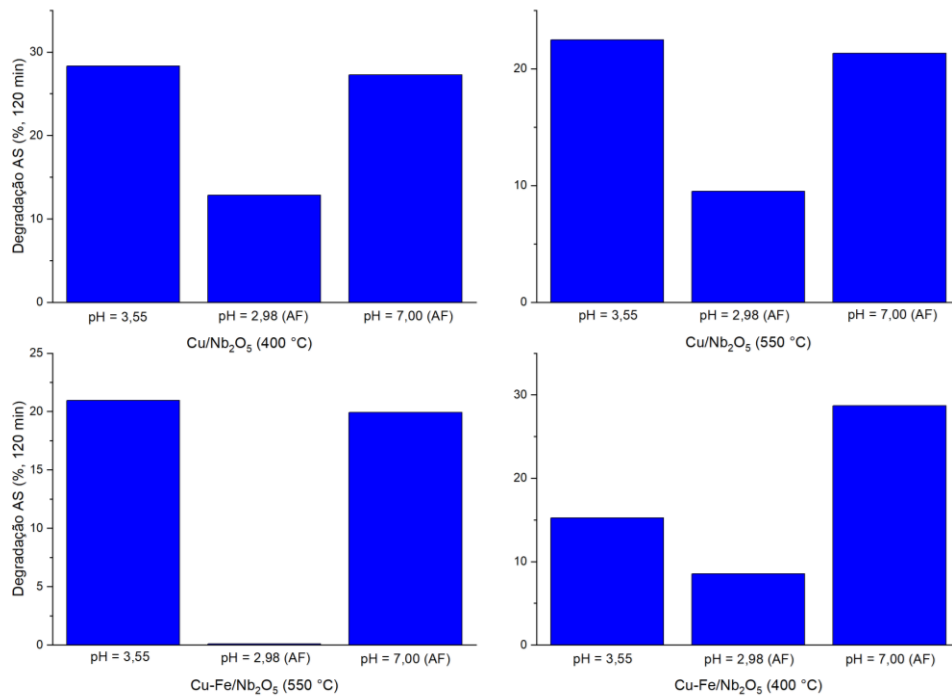
O Gráfico 7 mostra os resultados da degradação do AS para os períodos de adsorção e fotocatalise ainda utilizando o ácido fórmico como agente de sacrifício.



Fonte: autoria própria (2022)

O Gráfico 8 traz uma análise comparativa do desempenho dos catalisadores em função do pH.

**Gráfico 8 - Análise da influência do pH no processo de degradação do AS**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Através dos resultados apresentados no gráfico acima, nota-se que na amostra Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 °C) mesmo com o ácido fórmico, em pH = 7, obteve um aumento no percentual de degradação em relação ao teste sem o aditivo. Este resultado está de acordo com o trabalho de Bertinetti *et al* (2016, p. 240) onde os autores apresentam um aumento na degradação do ácido salicílico quando o pH da solução é elevado de 2 para 7, em testes de fotocatalise utilizando como catalisador o TiO<sub>2</sub>. Os demais catalisadores obtiveram uma melhora na atividade fotocatalítica mesmo com o aditivo em relação ao teste anterior sem ajuste de pH (pH = 2,98).

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicaram que os catalisadores com maiores atividades fotocatalíticas foram Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 °C) com um percentual de 28,7% de degradação com pH ajustado em 7 e ácido fórmico, e o Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 °C) com 28,3% de degradação, sem ajuste de pH e sem aditivo. As comparações entre os processos de adsorção e fotocatalise nos permitiram confirmar que o processo de remoção do contaminante do efluente não se dá por adsorção e sim pelo processo fotocatalítico, pois as taxas de adsorção dos catalisadores foram baixas em todos os testes realizados.

A presença de ácido fórmico como aditivo nas soluções não favoreceu as reações de adsorção e fotocatalise, porém quando o pH foi ajustado para 7 obteve-se uma melhora significativa na degradação do contaminante pelo Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 °C), sendo este o que apresentou o melhor resultado dentre todas as análises.

Em conclusão, a alteração do pH da solução com aditivo para 7 em comparativo aos testes com o aditivo sem ajuste de pH favoreceu o desempenho dos catalisadores na degradação do ácido salicílico, porém os catalisadores apenas com promoção de cobre (Cu/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (400 e 550 °C)) já apresentaram bons resultados no pH padrão da solução de AS e sem a necessidade de adição do agente de sacrifício.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, E. **Catalisadores de Ag/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> imobilizados: uma alternativa para a degradação do 17A-Etinilestradiol em processo contínuo**, 2021. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021a.
- ABREU, E. *et al.* Degradation of Emerging Contaminants: Effect of Thermal Treatment on Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as Photocatalyst. **Journal of Photochemistry & Photobiology**, v. 419, p. 113484, 2021b
- ACOSTA, A. M. L. **Processos de Tratamento não convencionais para Degradação do Antibiótico Sulfadiazina em Meio Aquoso**. 2016. 113 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC n. 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222\\_28\\_03\\_2018.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf). Acesso em: 27 nov. 2021.
- AMIEL, L. V. Panorama do Tratamento de Efluentes de Indústria Farmacêutica. 2019. 57 f. Monografia (Bacharel em Química Industrial) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.
- ARAÚJO, K. S de. *et al.* Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Ambiente e Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 387, 15 abr. 2016.
- BALESTRIN, E. Projeto de reator fotocatalítico para degradação de poluentes hídricos assistido por CFD e experimentação. 2021. 185 f. Tese (Doutor em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021.
- BARBOSA, K. B. F. *et al.* Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores modulatórios. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 629-643, jul/ago. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-52732010000400013>. Acesso em: 7 mai. 2022.
- BERROCAL, G. J. P. **Preparação e caracterização de catalisadores de níquel suportado em óxido de zircônio e alumínio**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestre em Química) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2005.
- BERTINETTI, S.; MINELLA, M.; BARSOTTI, F.; MAURINO, V.; MINERO, C.; ÖZENSOY, E.; VIONE, D. A Methodology to Discriminate between Hydroxyl Radical-Induced Processes and Direct Charge-Transfer Reactions in Heterogeneous

Photocatalysis. **J. Adv. Oxid. Technol**, v. 19, n. 2, p. 236–245, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/jaots-2016-0207>. Acesso em: 7 mai. 2022.

BRACCO, E. *et al.* TiO<sub>2</sub> and N-TiO<sub>2</sub>-photocatalytic degradation of salicylic acid in water: characterization of transformation products by mass spectrometry. **Environmental Science and Pollution Research**, 2019.

BOGER, B. *et al.* Pharmaceutical micropollutants in brazilian aqueous samples: A systematic review. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 725-739, dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X18174>. Acesso em: 25 nov. 2021.

BOLZON, L. B. **Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como Fotocatalisador para a Degradação de Índigo de Carmina**. 2007. 55 f. Dissertação (Mestre em Química) – Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

BORRELY, S. I. *et al.* Contaminação das águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridrato de fluoxetina. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 556-563, dez. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15343/0104-7809.2012364556563>. Acesso em: 25 nov. 2021.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 27 nov. 2021.

BRASIL (2019). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. SNS/SMR, 2020.

CAMPO, M. F. **Fotocatalisadores Magnéticos ZnO-Ag/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Aplicados na Degradação de Ibuprofeno**. 2021. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

CICCOTTI, L. **Preparação de catalisadores magnéticos para a aplicação em fotocatalise heterogênea e ozonização catalítica heterogênea de poluentes emergentes**. 2014. 201 f. Tese (Doutorado– Programa de Pós-Graduação em Química,) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COSTA, F. O; ALBUQUERQUE, J. S; DE SOUZA, B. V. Comparação de diferentes técnicas de incorporação do óxido de cobalto na peneira molecular SBA-15. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., Natal. **Anais eletrônicos** [...] Natal: ATENA, 2016. p. 99-108. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/3582>. Acesso em: 12 mai. 2022.

DAUGHTON, C. G.; TERNES, T. A. Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change?. **Environmental Health Perspectives**, Vol. 107, No. 6, p. 907-938, Dez., 1999. Disponível em:



<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1566206/pdf/envhper00523-0087.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

FALK, G. S. **Síntese e processamento de pentóxido de nióbio e óxidos mistos de nióbio e titânio nanoparticulados e estudo de suas propriedades fotocatalíticas**. 2017. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

FATTA-KASSINOS, D.; MERIC, S.; NIKOLAOU, A. Pharmaceutical residues in environmental waters and wastewater: current state of knowledge and future research. **Bioanal Chem.**, v. 399, n. 1, p. 251-275, jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4300-9>. Acesso em: 25 nov. 2021.

FERREIRA, I. V. P.; DANIEL, L. A. Fotocatálise heterogênea com TiO<sub>2</sub> aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 335–342, 2004

FIOREZE, M.; SANTOS, E. P. dos.; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v. 18, n. 1, p. 79-91, abr. 2014.

GARZA-CAMPOS, B. *et al.* Salicylic acid degradation by advanced oxidation processes. Coupling of solar photoelectro-Fenton and solar heterogeneous photocatalysis. **Journal of Hazardous Materials**, p. 34 – 42, 2016.

HALLIWELL, B; WHITEMAN, M. Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? **Br J Pharmacol**, v. 142, n. 2, p. 231-255, mai. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0705776>. Acesso em: 8 mai. 2022.

HANDOKO, A. D; LI, K; TANG, J. Recent progress in artificial photosynthesis: CO<sub>2</sub> photoreduction to valuable chemicals in a heterogeneous system. **Current Opinion in Chemical Engineering**, v. 2, n. 2, p. 200-206, dez. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2012.12.003>. Acesso em: 12 mai. 2022.

HIROKAZU, D; HORIE, T. Salicylic acid-induced hepatotoxicity triggered by oxidative stress. **Chemico-Biological Interactions**, v. 183, n. 3, p. 363-368, fev. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2009.11.024>. Acesso em: 7 mai. 2022.

JOSUÉ, T. G. Aplicação de catalisadores de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como materiais alternativos para redução de cromo (IV) por fotocatalise heterogênea. 2021. 69 f. Monografia (Mestre em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

LIMA, J. A. V.; STACHIW, R.; MILITÃO, J. S. L. T. A problemática ambiental dos poluentes emergentes: possíveis impactos por hormônios sexuais. **Nature and**

**Conservation**, v.12, n.1, p.66-74, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2019.001.0007>.

LOPES, O. F. *et al.* Óxidos de nióbio: uma visão sobre a síntese do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e sua aplicação em fotocatalise heterogênea. **Química Nova**, v. 38, n. 1, p. 106-117, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140280>. Acesso em: 29 nov. 2021.

MACHADO, K. C. **Contaminantes químicos emergentes em águas naturais e de abastecimento público: desenvolvimento analítico e estudo de caso envolvendo capitais estaduais do Brasil**. 2015. 136 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MARCHETTI, M. D. Degradação de ácido salicílico, cetoprofeno, diclofenaco, paracetamol e cafeína, pelo processo foto-Fenton mediado por ferrioxalato, irradiado com LEDs-UV. 2019. 100 f. Tese (Doutor em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2019.

MARQUES, F.C.; STUMBO, A.M.; CANELA, M.C. Estratégias e Materiais Utilizados em Fotocatálise Heterogênea para Geração de Hidrogênio Através da Fotólise da Água. **Química Nova**, v. 40, n. 5, p. 561–571, fev. 2017.

MELO, S. A. S. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 188-197, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/jPZmdHmdYL9jcxfpZMq6Hcv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 nov. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n. 1.555, de 27 de junho de 2007**. Institui o Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2007/prt1555\\_27\\_06\\_2007.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2007/prt1555_27_06_2007.html). Acesso em: 27 nov. 2021.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. **CONTAMINANTES EMERGENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS DO BRASIL: CENÁRIO ATUAL E ASPECTOS ANALÍTICOS, ECOTOXICOLÓGICOS E REGULATÓRIOS**. *Quim. Nova*, Vol. 40, No. 9, p. 1094-1110, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NJr4QLWkxCKJXd6gHvdwtNk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MOYA, J. R. G. **Nanotubos de TiO<sub>2</sub> Sensibilizados com Quantum Dots de CdS e suas aplicações para a Geração de Hidrogênio mediante Fotocatálise e Fotoeletrocatalise**. 2016. 113 f. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MUKHERJEE, D.; RAY, A. K.; BARGHI, S. Mechanism of Acetyl Salicylic Acid (Aspirin) Degradation under Solar Light in Presence of a TiO<sub>2</sub>-Polymeric Film Photocatalyst. **Processes**, v. 4, n. 13, p. 1 – 9, 2016.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p.6972, 1996.

NUNES, B. Acute ecotoxicological effects of salicylic acid on the Polychaeta species *Hediste diversicolor*: evidences of low to moderate pro-oxidative effects. **Environ Sci Pollut Res**, v. 26, p. 7873-7882, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04085-y>. Acesso em: 7 mai. 2022.

NUNES, B. *et al.* Ecotoxicological effects of salicylic acid in the freshwater fish *Salmo trutta fario*: antioxidant mechanisms and histological alterations. **Environ Sci Pollut Res Int**, v. 22, n. 1, p. 667-678, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3337-2>. Acesso em: 29 nov. 2021.

NUNES, S. C; BRACKMANN, R. Catalisadores Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para aplicação na redução catalítica seletiva de NO por CO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE. 19., 2019, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBCat, 2019. p. 1 – 6.

NUNES, S. C. **Catalisadores Cu-Fe/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para aplicação em catálise ambiental**. 2018. 82 f. Monografia (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

PARANÁ. **Lei n. 17.211, de 3 de julho de 2012**. Dispõe sobre a responsabilidade da destinação dos medicamentos em desuso no Estado do Paraná e seus procedimentos. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=70132&indice=1&totalRegistros=1&dt=27.10.2021.16.23.6.44>. Acesso em: 27 nov. 2021.

PATEL, M. *et al.* Pharmaceuticals of Emeging Concern in Aquatic Systems: Chemistry, Ocurrence, Effects, and Removal Methods. **Chemical Reviews**, v. 119, n. 6, p. 3510-3673, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00299>. Acesso em: 25 nov. 2021.

RIBEIRO, T. S. **Caracterização estrutural e magnética de óxidos semicondutores magnéticos SnO<sub>2</sub> e ZnO dopados com Fe, Co ou Mn sintetizados por moagem mecânica e sol-gel proteico**, 2016. 146f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.

RIVERA-UTRILLA, J. *et al.* Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p. 1268-1287, out. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.059>. Acesso em: 25 nov. 2021.

RODRIGUES, M. M. Preparação e Caracterização de Fotocatalisadores Imobilizados em Vidro. 2007. 150 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SODRÉ, F. F.; DUTRA, P. M. Pharmaceuticals and personal care products as emerging micropollutantes in Brazilian surface Waters: a preliminary snapshot on enviromental contamination and risks. **Eclética Química**, v. 43, p. 22-34, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v43.1SI.2018.p22-34>. Acesso em: 25 nov. 2021.

SOHRABI, S.; AKHLAGHIAN, F. Light Expanded Clay Aggregate (LECA) as a Support for TiO<sub>2</sub>, Fe/TiO<sub>2</sub>, and Cu/TiO<sub>2</sub> Nanocrystalline Photocatalysts: A Comparative Study on the Structure, Morphology, and Activity. **J. Iran. Chem. Soc.**, v. 13, n. 10, p. 1785–1796, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13738-016-0896-9>. Acesso: 7 mai. 2022.

SILVA, T. C. F. da. **Processos Oxidativos Avançados Para Tratamento de Efluentes de Indústria de Celulose Kraft Branqueada**. 2007. 104 f. Dissertação (Magister Scientiae – Programa de Pós-Graduação em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SOUZA, F. S. **DEGRADAÇÃO DE POLUENTES EMERGENTES POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV, O<sub>3</sub>/Fe<sup>2+</sup>, O<sub>3</sub>/UV/Fe<sup>2+</sup>) VISANDO O TRATAMENTO DE AFLUENTES HOSPITALARES**. 2016. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

URZEDO, A. P. F. M.de. **Degradação de Substâncias de Relevância Ambiental por Processos Oxidativos e Redutivos com Monitoramento por Espectrometria de Massas com Ionização Electrospray**. 2008. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências-Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

VENTURA, W. M. Preparação de catalisadores heterogêneos a base de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e CeO<sub>2</sub> para oxidação da anilina em fase líquida. 2017. 59 f. Dissertação (Mestre em Química) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

XAVIER, K. R. **Catalisadores de CeO<sub>2</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MgO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados na reação de oxidação da anilina para obtenção do azoxibenzeno**. 2019. 59 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) – Universidade Federal de São João Del Rei. Ouro Branco, 2019.

ZHANG, Y.; WANG, Q.; YAN, Z.; MA, D.; ZHENG, Y. Visible-light-mediated copper photocatalysis for organic syntheses. **Beilstein J. Org. Chem**, v. 17, p. 2520–2542, out. 2021. doi:10.3762/bjoc.17.169.

ZIVNA, D. *et al.* Effect of salicylic acid on early life stages of common carp (*Cyprinus carpio*). **Environ Toxicol Pharmacol**, v. 40, n. 1, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.06.018>. Acesso em: 29 nov. 2021.

## ANEXO A - Lei Estadual nº 17.211/2012 (PR)

**LEI 17.211, DE 3-7-2012<sup>1</sup>**

Publicado no [Diário Oficial nº. 8746](#) de 3 de Julho de 2012

[\(vide Decreto 9213 de 23/10/2013\)](#)

**Súmula:** Dispõe sobre a responsabilidade da destinação dos medicamentos em desuso no Estado do Paraná e seus procedimentos.

A Assembleia Legislativa do Estado do Paraná decretou e eu sanciono a seguinte lei:

Todo o resíduo de medicamentos contendo produtos hormonais, antimicrobianos, citostáticos, antineoplásicos, imunossuppressores, digitálicos, imunomoduladores, antirretrovirais, anti-inflamatórios, corticoides e seus derivados, em especial, e todos os demais medicamentos de uso humano ou veterinário, deverá ter seu descarte e destinação final conforme a presente Lei.

**Art. 2º** As empresas fabricantes, importadoras, distribuidoras e revendedoras dos produtos descritos no art. 1º da presente Lei ficam responsáveis por dar a destinação adequada a esses produtos, mediante procedimentos de coleta, reciclagem (embalagens), tratamento e disposição final.

**§ 1º** As empresas descritas no caput deste artigo ainda devem prestar assistência aos estabelecimentos que comercializam ou distribuem esses produtos.

**§ 2º** É vedado o reuso de medicamentos descartados na forma desta Lei para uso humano e veterinário.

**Art. 3º** Os estabelecimentos que comercializam ou distribuem os produtos mencionados no art. 1º desta Lei, incluindo nesse rol as drogarias, farmácias, farmácias de manipulação, farmácias veterinárias e lojas de produtos animais, serviços públicos de saúde, os hospitais, as clínicas e os consultórios médicos ou odontológicos que comercializarem ou distribuírem medicamentos ou produtos relacionados no art. 1º, os hospitais, clínicas e consultórios veterinários que comercializarem ou distribuírem medicamentos ou produtos relacionados no art.1º, os laboratórios de exames clínicos e qualquer outro estabelecimento que comercialize ou distribua medicamentos, mesmo que seja de forma gratuita, como a distribuição de amostras grátis, ficam obrigados a aceitar a devolução das unidades usadas, vencidas ou inservíveis, cujas características sejam similares àquelas comercializadas ou distribuídas por estes estabelecimentos.

**Art. 4º** Os medicamentos ou produtos recebidos na forma do artigo anterior serão acondicionados em embalagens invioláveis, estanques, resistentes a impactos ou ruptura, com acesso inviolável para a retirada dos produtos nelas depositados, identificadas conforme a NBR 7500, acrescidas da indicação "medicamentos vencidos", que serão localizadas nos salões de comercialização ou recepção dos estabelecimentos relacionados na presente Lei, de forma segregada e claramente identificada como "recepção de medicamentos vencidos"; obedecendo as recomendações definidas pelos fabricantes ou importadores quanto aos mecanismos operacionais para a coleta, transporte e armazenamento, bem como as demais normas ambientais e de saúde pertinentes, devendo ser processadas de forma tecnicamente segura e adequada até que seja feito o encaminhamento dessas embalagens aos distribuidores, fabricantes ou importadores responsáveis pela coleta e transporte para o correto tratamento final.

**§ 1º** É proibido o esvaziamento ou reembalagem dos produtos coletados durante todas as fases do processo, desde a coleta e transporte interno e externo até o tratamento e/ou destino final estabelecido pelas empresas responsáveis por essas etapas do processo.

**§ 2º** Os estabelecimentos relacionados no art. 2º podem optar pelo encaminhamento dos resíduos coletados diretamente para as unidades de tratamento ou disposição final devidamente licenciadas na forma da Lei.

**Art. 5º** Os estabelecimentos responsáveis pelo recebimento dos produtos relacionados na presente Lei procederão às alterações nos respectivos Planos de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde - PGRSS, incorporando as etapas necessárias para o correto atendimento do disposto nesta Lei.

**Parágrafo único.** O Responsável Técnico pelo PGRSS será o RT do estabelecimento em questão.

**Art. 6º** Após a entrega, pelos usuários, dos medicamentos aos pontos de coleta, estes informarão às empresas distribuidoras, revendedoras ou fabricantes e importadoras as quantidades (em kg) dos produtos recebidos juntamente com cópia da respectiva nota de recebimento emitida pela empresa responsável pela coleta, a fim de que sejam tomadas as medidas determinadas pela presente Lei.

**§ 1º** No prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias a partir da publicação da presente Lei, os responsáveis pelos estabelecimentos definidos nos termos desta Lei, providenciarão o recolhimento dos produtos para a destinação final aplicável a cada caso.

**§ 2º** Todos os estabelecimentos abrangidos pela presente Lei manterão registros escritos dos volumes e massas coletadas, notas de transporte e de tratamento e/ou destinação final para verificação das autoridades responsáveis pela fiscalização sanitária e ambiental.

**Art. 7º** Os recipientes com sua carga volumétrica completa serão fechados e lacrados, devendo ser armazenados até a coleta em local específico e identificados em conformidade com os dispositivos vigentes para Abrigo de Resíduos Sólidos de Resíduos de Saúde.

**Art. 8º** Os estabelecimentos responsáveis em dar a destinação adequada aos produtos recolhidos processarão as alterações necessárias para ajustar as obrigações decorrentes do cumprimento do disposto nesta Lei nos respectivos PGRSS ou Planos de Gestão de Resíduos Sólidos – PGRS, conforme for o caso, incorporando nos mesmos as etapas sob suas responsabilidades.

**Art. 9º** Todas as etapas de transporte externo, tratamento e destino final deverão ser executados em conformidade com a legislação ambiental e sanitária aplicáveis às empresas, veículos e equipamentos devidamente licenciados para tal fim.

**§ 1º** Os veículos coletores de medicamentos vencidos terão identificação em conformidade com a NBR 7500 e legislação cabível, devendo ser exclusivos para tal finalidade.

**§ 2º** Os veículos de entrega e distribuição de produtos relacionados na presente Lei não poderão proceder a coleta dos produtos recolhidos.

**Art. 10.** Ficam proibidas as seguintes formas de destinação final dos produtos que trata a presente Lei:

**I** - lançamento in natura a céu aberto, tanto em áreas urbanas quanto rurais;

**II** - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não adequados, não licenciados, conforme legislação vigente;

**III** - lançamento em corpos d'água, manguezais, praias, terrenos baldios, poços ou cacimbas, cavidades subterrâneas naturais ou artificiais, em redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, eletricidade, telefone, gás natural ou de televisão a cabo, mesmo que abandonadas, ou em áreas sujeitas a inundações;

**IV** - em aterros sanitários que não sejam de classe I (aterro de resíduos perigosos);

**V** - lançamento na rede de esgoto.

**Art. 11.** A desobediência ou a inobservância de quaisquer dispositivos desta Lei sujeitará o infrator às seguintes penalidades:

**I** - advertência por escrito notificando o infrator para sanar a irregularidade no prazo máximo de 30 (trinta) dias, contados da notificação, sob pena de multa;

**II** - não sanada a irregularidade, será aplicada multa no valor de 100(cem) a 1000 (mil) Unidades de Padrão Fiscal do Paraná – UFIR/PR;

**III** - em caso de reincidência, a multa prevista no inciso anterior será aplicada em dobro.

**Art. 12.** Compete à vigilância sanitária, a fiscalização ao que se refere o art. 4º e seus respectivos parágrafos e art. 7º desta Lei.

**Art. 13.** Compete ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP a fiscalização do disposto no art. 9º e seus parágrafos e art. 10 desta Lei, nos termos do inciso XIV do art. 1º da Lei nº 11.352, de 13 de fevereiro de 1996.

**Art. 14.** O Poder Executivo regulamentará a presente Lei em até 180 (cento e oitenta) dias.

**Art. 15.** Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

PALÁCIO DO GOVERNO EM CURITIBA, em 03 de julho de 2012.

*Carlos Alberto Richa*

*Governador do Estado*

*Michele Caputo Neto*

*Secretário de Estado da Saúde*

*Jonel Nazareno Iurk*

*Secretário de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos*

*Luiz Eduardo Sebastiani*

*Chefe da Casa Civil*

*Luiz Eduardo Cheida*

*Deputado Estadual*

---

<sup>1</sup> Disponível em:

<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=70132&indice=1&totalRegistros=1&dt=27.10.2021.16.23.6.44.%20Acesso%20em:%2027%20nov.%202021>.

## ANEXO B - Anvisa RDC nº 222/2018



### Ministério da Saúde - MS Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA

#### RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 222, DE 28 DE MARÇO DE 2018<sup>2</sup>

(Publicada no DOU nº 61, de 29 de março de 2018)

Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências.

A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, no uso da atribuição que lhe confere o art. 15, III e IV aliado ao art. 7º, III, e IV, da Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, e ao art. 53, V, §§ 1º e 3º do Regimento Interno aprovado nos termos do Anexo I da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 61, de 3 de fevereiro de 2016, resolve adotar a seguinte Resolução da Diretoria Colegiada, conforme deliberado em reunião realizada em 20 de março de 2018, e eu, Diretor-Presidente, determino a sua publicação.

#### CAPÍTULO I

#### DAS DISPOSIÇÕES INICIAIS

##### Seção I Objetivo

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre os requisitos de Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde.

##### Seção II Abrangência

Art. 2º Esta Resolução se aplica aos geradores de resíduos de serviços de saúde- RSS cujas atividades envolvam qualquer etapa do gerenciamento dos RSS, sejam eles públicos e privados, filantrópicos, civis ou militares, incluindo aqueles que exercem ações de ensino e pesquisa.

§ 1º Para efeito desta resolução, definem-se como geradores de RSS todos os serviços cujas atividades estejam relacionadas com a atenção à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de piercing e tatuagem, salões de beleza e estética, dentre outros afins.

§ 2º Esta Resolução não se aplica a fontes radioativas seladas, que devem seguir as determinações da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, e às indústrias de produtos sob vigilância sanitária, que devem observar as condições específicas do seu licenciamento ambiental.

##### Seção III Definições

Art. 3º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

- I. abrigo externo: ambiente no qual ocorre o armazenamento externo dos coletores de resíduos;
- II. abrigo temporário: ambiente no qual ocorre o armazenamento temporário dos coletores de resíduos;
- III. acondicionamento: ato de embalar os resíduos segregados em sacos ou recipientes que evitem vazamentos, e quando couber, sejam resistentes às ações de punctura, ruptura e tombamento, e que sejam adequados física e quimicamente ao conteúdo acondicionado;
- IV. agentes biológicos: microrganismos capazes ou não de originar algum tipo de infecção, alergia ou toxicidade no corpo humano, tais como: bactérias, fungos, vírus, clamídias, riquetsias, micoplasmas, parasitas e outros agentes, linhagens celulares, príons e toxinas;
- V. armazenamento externo: guarda dos coletores de resíduos em ambiente exclusivo, com acesso facilitado para a coleta externa;
- VI. armazenamento interno: guarda do resíduo contendo produto químico ou rejeito radioativo na área de trabalho, em condições definidas pela legislação e normas aplicáveis a essa atividade;

- VII. armazenamento temporário: guarda temporária dos coletores de resíduos de serviços de saúde, em ambiente próximo aos pontos de geração, visando agilizar a coleta no interior das instalações e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à apresentação para coleta externa;
- VIII. aterro de resíduos perigosos - Classe I: local de disposição final de resíduos perigosos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais e utilizando procedimentos específicos de engenharia para o confinamento destes;
- IX. carcaça de animal: produto de retalhagem de animal;
- X. cadáver de animal: corpo animal após a morte;
- XI. classe de risco 1 (baixo risco individual e para a comunidade): agentes biológicos conhecidos por não causarem doenças no homem ou nos animais adultos saudáveis;
- XII. classe de risco 2 (moderado risco individual e limitado risco para a comunidade): inclui os agentes biológicos que provocam infecções no homem ou nos animais, cujo potencial de propagação na comunidade e de disseminação no meio ambiente é limitado, e para os quais existem medidas terapêuticas e profiláticas eficazes;
- XIII. classe de risco 3 (alto risco individual e moderado risco para a comunidade): inclui os agentes biológicos que possuem capacidade de transmissão por via respiratória e que causam patologias humanas ou animais, potencialmente letais, para as quais existem usualmente medidas de tratamento ou de prevenção. Representam risco se disseminados na comunidade e no meio ambiente, podendo se propagar de pessoa a pessoa;
- XIV. classe de risco 4 (elevado risco individual e elevado risco para a comunidade): classificação do Ministério da Saúde que inclui agentes biológicos que representam grande ameaça para o ser humano e para os animais, implicando grande risco a quem os manipula, com grande poder de transmissibilidade de um indivíduo a outro, não existindo medidas preventivas e de tratamento para esses agentes;
- XV. coleta e transporte externos: remoção dos resíduos de serviços de saúde do abrigo externo até a unidade de tratamento ou outra destinação, ou disposição final ambientalmente adequada, utilizando-se de técnicas que garantam a preservação das condições de acondicionamento;
- XVI. coletor: recipiente utilizado para acondicionar os sacos com resíduos;
- XVII. coletor com rodas ou carro de coleta: recipiente com rodas utilizado para acondicionar e transportar internamente os sacos com resíduos;
- XVIII. compostagem: processo biológico que acelera a decomposição do material orgânico, tendo como produto final o composto orgânico;
- XIX. decaimento radioativo: desintegração natural de um núcleo atômico por meio da emissão de energia em forma de radiação;
- XX. destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final ambientalmente adequada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- XXI. disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- XXII. equipamento de proteção individual (EPI): dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho;
- XXIII. equipamento de proteção coletiva (EPC): dispositivos ou produtos de uso coletivo utilizados pelo trabalhador, destinados à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho e de terceiros;
- XXIV. ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ): ficha que contém informações essenciais detalhadas dos produtos químicos, especialmente sua identificação, seu fornecedor, sua classificação, sua periculosidade, as medidas de precaução e os procedimentos em caso de emergência;
- XXV. fonte radioativa selada: fonte radioativa encerrada hermeticamente em uma cápsula, ou ligada totalmente a material inativo envolvente, de forma que não possa haver dispersão de substância radioativa em condições normais e severas de uso;



XXVI. forma livre: saturação de um líquido em um resíduo que o absorva ou o contenha, de forma que possa produzir gotejamento, vazamento ou derramamento espontaneamente ou sob compressão mínima;

XXVII. gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: conjunto de procedimentos de gestão, planejados e implementados a partir de bases científicas, técnicas, normativas e legais, com o objetivo de minimizar a geração de resíduos e proporcionar um encaminhamento seguro, de forma eficiente, visando à proteção dos trabalhadores e a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente;

XXVIII. hemoderivados: produtos oriundos do sangue total ou do plasma, obtidos por meio de processamento físico-químico ou biotecnológico;

XXIX. identificação dos resíduos de serviços de saúde: conjunto de medidas que permite o reconhecimento dos riscos presentes nos resíduos acondicionados, de forma clara e legível em tamanho proporcional aos sacos, coletores e seus ambientes de armazenamento, conforme disposto no Anexo II desta Resolução;

XXX. instalação radiativa: unidade ou serviço no qual se produzem, processam, manuseiam, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação, excetuando-se as Instalações Nucleares definidas em norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN);

XXXI. licença ambiental: ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que devem ser obedecidas para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadores dos recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental;

XXXII. licença sanitária: documento emitido pelo órgão sanitário competente dos Estados, Distrito Federal ou dos Municípios, contendo permissão para o funcionamento dos estabelecimentos que exerçam atividades sob regime de vigilância sanitária;

XXXIII. líquidos corpóreos: líquidos originados no corpo humano, limitados para fins desta resolução, em líquidos cefalorraquidiano, pericárdico, pleural, articular, ascítico e amniótico;

XXXIV. logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XXXV. Manejo dos resíduos de serviços de saúde: atividade de manuseio dos resíduos de serviços de saúde, cujas etapas são a segregação, acondicionamento, identificação, transporte interno, armazenamento temporário, armazenamento externo, coleta interna, transporte externo, destinação e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos de serviços de saúde;

XXXVI. metal pesado: qualquer substância ou composto contendo antimônio, cádmio, cromo (IV), chumbo, estanho, mercúrio, níquel, prata, selênio, telúrio e tálio;

XXXVII. nível de dispensa: valor estabelecido por norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), tal que fontes de radiação com concentração de atividade ou atividade total igual ou inferior a esse valor podem ser dispensadas de controle regulatório e ser liberado pelas vias convencionais, sob os aspectos de proteção radiológica;

XXXVIII. nível III de inativação microbiana: processo físico ou outros processos para a redução ou eliminação da carga microbiana, tendo como resultado a inativação de bactérias vegetativas, fungos, vírus lipofílicos e hidrofílicos, parasitas e micobactérias com redução igual ou maior que 6Log<sub>10</sub>, e inativação de esporos do *B. stearothermophilus* ou de esporos do *B. subtilis* com redução igual ou maior que 4Log<sub>10</sub>;

XXXIX. patogenicidade: é a capacidade que tem o agente infeccioso de, uma vez instalado no organismo do homem e dos animais, produzir sintomas em maior ou menor proporção dentre os hospedeiros infectados;

XL. periculosidade: qualidade ou estado de ser perigoso;

XLI. plano de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (PGRSS): documento que aponta e descreve todas as ações relativas ao gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde, observadas suas características e riscos, contemplando os aspectos referentes à geração, identificação, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, destinação e disposição final ambientalmente adequada, bem como as ações de proteção à saúde pública, do trabalhador e do meio ambiente;

XLII. plano de proteção radiológica (PPR): documento exigido para fins de licenciamento de instalações radiativas, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN);

XLIII. príon: estrutura proteica alterada relacionada como agente etiológico das diversas formas de encefalite espongiforme;

XLIV. produto para diagnóstico de uso in vitro: reagentes, padrões, calibradores, controles, materiais, artigos e instrumentos, junto com as instruções para seu uso, que contribuem para realizar uma determinação qualitativa, quantitativa ou semiquantitativa de uma amostra biológica e que não estejam destinados a cumprir função anatômica, física ou terapêutica alguma, que não sejam ingeridos, injetados ou inoculados em seres humanos e que são utilizados unicamente para provar informação sobre amostras obtidas do organismo humano;

XLV. quimioterápicos antineoplásicos: produtos químicos que atuam ao nível celular com potencial de produzirem genotoxicidade, citotoxicidade, mutagenicidade, carcinogenicidade e teratogenicidade;

XLVI. reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos;

XLVII. recipiente vazio de medicamento: embalagem primária de medicamentos usada em sua preparação ou administração, que tenha sido esvaziado em decorrência da total utilização ou transferência de seu conteúdo deste para outro recipiente;

XLVIII. redução de carga microbiana: aplicação de processo que visa à inativação microbiana das cargas biológicas contidas nos resíduos;

XLIX. rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresente outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

L. rejeito radioativo: material que contenha radionuclídeo em quantidade superior aos limites de dispensa especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista; LI. resíduos de serviços de saúde (RSS): todos os resíduos resultantes das atividades exercidas pelos geradores de resíduos de serviços de saúde, definidos nesta Resolução;

LII. resíduo perigoso: aquele que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresenta significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental ou à saúde do trabalhador, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

LIII. resíduo sólido: material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

LIV. resíduos de serviços de saúde do Grupo A: resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção, elencados no Anexo I desta Resolução;

LV. resíduos de serviços de saúde do Grupo B: resíduos contendo produtos químicos que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, elencados no Anexo I desta Resolução;

LVI. resíduos de serviços de saúde do Grupo C: rejeitos radioativos, elencados no Anexo I desta Resolução;

LVII. resíduos de serviços de saúde do Grupo D: resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares, elencados no Anexo I desta Resolução;

LVIII. resíduos de serviços de saúde do Grupo E: resíduos perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, fios ortodônticos cortados, próteses bucais metálicas inutilizadas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, tubos capilares, micropipetas, lâminas e lamínulas, espátulas e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri), elencados no Anexo I desta Resolução;

LIX. reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química;

LX. sala de utilidades: ambiente destinado à limpeza, desinfecção e guarda dos materiais e roupas utilizados na assistência ao usuário do serviço e guarda temporária de resíduos;

LXI. segregação: separação dos resíduos, conforme a classificação dos Grupos estabelecida no Anexo I desta Resolução, no momento e local de sua geração, de acordo com as características físicas, químicas, biológicas, o seu estado físico e os riscos envolvidos;

LXII. transporte interno: traslado dos resíduos dos pontos de geração até o abrigo temporário ou o abrigo externo.

LXIII. tratamento: Etapa da destinação que consiste na aplicação de processo que modifique as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de dano ao meio ambiente ou à saúde pública;

LXIV. unidade geradora de resíduos de serviço de saúde: unidade funcional dentro do serviço no qual é gerado o resíduo.

---

<sup>2</sup>Disponível em:

[http://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/phocadownload/Noticias/2018/GESAM/02\\_rdc\\_222\\_2018.pdf](http://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/phocadownload/Noticias/2018/GESAM/02_rdc_222_2018.pdf)

## ANEXO C - Portaria nº 1.555/2007



### Ministério da Saúde Gabinete do Ministro

PORTARIA Nº 1.555, DE 27 DE JUNHO DE 2007 <sup>3</sup>

***Institui o Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos.***

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, no uso de suas atribuições, e Considerando o disposto no art. 6º da Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, que estabelece entre as atribuições no campo de atuações do Sistema Único de Saúde (SUS), as de vigilâncias sanitárias e de assistência terapêutica integral, inclusive farmacêutica;

Considerando a Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, que define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária e cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que, dentre outras providências, em seu art. 7º, inciso XVIII, e no art. 8º, atribui à ANVISA a competência de implementar e executar o Sistema de Vigilância Farmacológica, regulamentar e executar o Sistema de Vigilância Farmacológica, regulamentar, controlar e fiscalizar os produtos e nos serviços que envolvam risco à saúde pública;

Considerando o art. 23 do Decreto nº 5.974, de 29 de novembro de 2006, que define as competências do Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos;

Considerando o estabelecido na Portaria nº 3.916/GM, de 30 de outubro de 1998, que aprova a Política Nacional de Medicamentos, com destaque para a diretriz de promoção do uso racional de medicamentos;

Considerando a Portaria nº 696/GM, de 7 de maio de 2001, que institui o Centro Nacional de Monitorização de Medicamentos (CNMM), sediado na Unidade de Farmacovigilância da ANVISA;

Considerando o estabelecido na Resolução nº 338, de 6 de maio de 2004, que aprova a Política Nacional de Assistência Farmacêutica, com destaque para o estabelecimento no art. 3º, inciso XIII, a promoção do uso racional de medicamentos por intermédio de ações que disciplinem a prescrição, a dispensação e o consumo, como um dos seus eixos estratégicos; e

Considerando o estabelecido na cláusula segunda, item 1 do Termo de Cooperação Técnica celebrado entre o Ministério da Saúde, por intermédio do Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, autarquia vinculada ao Ministério da Saúde, tendo por objetivo a cooperação técnica e científica, resolve:

Art. 1º Instituir o Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos, com caráter deliberativo, no âmbito do Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, do Ministério da Saúde.

Art. 2º Compete ao Comitê Nacional, em interface com outros órgãos e instâncias do Ministério da Saúde e em parcerias, entidades ou instituições afins.

I - identificar e propor estratégias e mecanismo de articulação, de monitoramento e de avaliação direcionadas à promoção do Uso Racional de Medicamentos, de acordo com os princípios e as diretrizes do Sistema Único de Saúde - SUS;

II - propor Diretrizes e Estratégias Nacionais para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos, em consonância com as Políticas Nacionais de Medicamentos e de Assistência Farmacêutica e a legislação afim;

III - identificar e propor estratégias voltadas à articulação entre órgãos e entes federais, estaduais, municipais e distritais, instituições de ensino superior, associações, entidades e organismos nacionais e internacionais, direcionadas à programação do Uso Racional de Medicamentos,

IV - contribuir, por meio da Promoção do Uso Racional de Medicamentos, para a ampliação e a qualificação do acesso a medicamentos de qualidade, seguros e eficazes;

V - contribuir com o aprimoramento dos marcos regulatórios e a vigilância de medicamentos e serviços farmacêuticos no âmbito do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

VI - propor o Plano de Capacitação de Profissionais de Saúde para o Uso Racional de Medicamentos;

VII - propor, articular e apoiar ações voltadas ao uso Racional de Medicamentos junto a gestores, profissionais de saúde, usuários e academia;

VIII - fomentar iniciativas de pesquisa e desenvolvimento científico, tecnológico e profissional relacionadas ao Uso Racional de Medicamentos;

IX - propor diretrizes e colaborar com a consolidação das ações de Farmacovigilância no âmbito da Assistência Farmacêutica e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), estimulando a notificação e a retroalimentação

do sistema quanto à segurança e à eficácia dos medicamentos, em consonância com os princípios e diretrizes do SUS; e

X - fomentar o estabelecimento e articular redes colaborativas relacionadas à promoção do uso racional de medicamentos, bem como propor interfaces e cooperação com redes já existentes no País e no exterior.

Art. 3º O Comitê Nacional será composto por representantes indicados pelos respectivos órgãos compreendendo um titular e um suplente, conforme a seguir:

I - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos - SCTIE;

II - Secretaria de Vigilância em Saúde - SVS;

III - Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa - SEGEP;

IV - Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde - SGTES;

V - Secretaria de Atenção à Saúde - SAS;

VI - Secretaria-Executiva - SE;

VII - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA;

VIII - Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS;

IX - Conselho Federal de Medicina - CFM;

X - Federação Nacional dos Médicos - FENAM;

XI - Instituto de Defesa do Consumidor - IDEC;

XII - Conselho Federal de Farmácia - CFF;

XIII - Conselho Federal de Odontologia - CFO;

XIV - Federação Nacional dos Farmacêuticos - FENAFAR;

XV - Conselho Nacional de Secretários de Saúde - CONASS;

XVI - Conselho Nacional de Secretários Municipais de Saúde - CONASEMS;

XVII - Ministério da Educação - ME;

XVIII - Ministério da Justiça- MJ; e

XIX - Ministério Público Federal.

Parágrafo único. A designação dos membros indicados pelos órgãos e instituições será feita pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, em ato próprio.

Art. 4º O Comitê Nacional contará com a seguinte estrutura:

I - Coordenação Colegiada; e

II - Secretaria-Executiva.

Art. 5º A Coordenação do Comitê Nacional é colegiada, composta pelos representantes do Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos, da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos (DAF/SCTIE) do Ministério da Saúde, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e da Unidade Técnica de Medicamentos e Tecnologias, da Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde (OPAS/OMS), os quais devem ser membros do Comitê Nacional.

Parágrafo único. A Coordenação da Secretaria-Executiva do Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de medicamentos será exercida por um Coordenador Executivo, designado pelo Departamento de Assistência Farmacêutica e

Insumos Estratégicos, da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos do Ministério da Saúde, e pessoa de apoio técnico e administrativo.

Art. 6º São atribuições da Coordenação Colegiada:

I - acompanhar e avaliar o desenvolvimento das ações propostas nas Diretrizes Nacionais e as demais atividades do Comitê Nacional e, ainda, propor quando necessário;

II - coordenar as reuniões e as atividades do Comitê;

III - acompanhar o desenvolvimento do Plano Nacional de Capacitação de Profissionais de Saúde para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos;

IV - submeter à apreciação e à aprovação das instituições que compõe o Comitê as recomendações oriundas das reuniões ordinárias e extraordinárias;

V - convocar reuniões extraordinárias do Comitê Nacional;

VI - deliberar sobre as atividades da Secretaria-Executiva do Comitê Nacional;

VII - elaborar e sugerir adequações do regimento interno do Comitê Nacional; e

VIII - representar institucionalmente o Comitê Nacional.

Art.7º São atribuições da Secretaria-Executiva:

I - executar ações derivadas de recomendações do Comitê Nacional, conforme deliberação e delegação da Coordenação Colegiada, no seu âmbito de atuação;

II - organizar reuniões ou eventos técnico-científicos inerentes às atividades do Comitê Nacional;

III - quando designado pela Coordenação Colegiada, atuar como interlocutor junto à organizações similares ou com finalidades comuns, bem como junto a outros órgãos nacionais e internacionais, respeitados os limites institucionais;

IV - manter permanente comunicação com os membros das instâncias que compõem o Comitê Nacional; e

V - apoiar as atividades da Coordenação Colegiada e das demais instâncias do Comitê Nacional.

Art. 8º As instituições que compõem o Comitê Nacional devem contribuir para a estruturação deste, assumindo as responsabilidades determinadas no regimento interno do Comitê nacional, sem prejuízo de outras que vierem a ser acordadas.

Art. 9º As decisões do Comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos serão expressas na forma de Resoluções do Secretário de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos do Ministério da Saúde.

Art. 10. As reuniões serão realizadas somente com a presença de, no mínimo, cinquenta por cento mais um dos membros representantes das instituições, entidades ou órgãos que integram o Comitê Nacional.

Art. 11. O Comitê Nacional contará com um regimento interno a ser aprovado após a sua constituição.

Art. 12. Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 13. Fica revogada a [Portaria nº 427/GM, de 26 de fevereiro de 2007, publicada no Diário Oficial da União nº 39, de 27 de fevereiro de 2007, seção 1, página 198](#).

JOSÉ GOMES TEMPORÃO

---

<sup>3</sup> Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2007/prt1555\\_27\\_06\\_2007.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2007/prt1555_27_06_2007.html)

## ANEXO D - Lei Federal nº 12.305/2010



Presidência da República  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos

### LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.<sup>4</sup>

Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

#### TÍTULO I

#### DISPOSIÇÕES GERAIS

#### CAPÍTULO I

#### DO OBJETO E DO CAMPO DE APLICAÇÃO

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta Lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Art. 2º Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto nesta [Lei, nas Leis nºs 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 9.974, de 6 de junho de 2000, e 9.966, de 28 de abril de 2000](#), as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

#### CAPÍTULO II

#### DEFINIÇÕES

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

I - acordo setorial: ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;

II - área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos;

III - área órfã contaminada: área contaminada cujos responsáveis pela disposição não sejam identificáveis ou individualizáveis;

IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

V - coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

VI - controle social: conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos;

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

IX - geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XIII - padrões sustentáveis de produção e consumo: produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras;

XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;

XVIII - reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XIX - serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades previstas no [art. 7º da Lei nº 11.445, de 2007.](#)

## TÍTULO II

### DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

#### CAPÍTULO I

##### DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Art. 5º A Política Nacional de Resíduos Sólidos integra a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela [Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999](#), com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela [Lei nº 11.445, de 2007](#), e com a [Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005](#).

#### CAPÍTULO II

##### DOS PRINCÍPIOS E OBJETIVOS

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;



II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a [Lei nº 11.445, de 2007](#);

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

---

<sup>4</sup> Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)