

LUZ SOBRE A RESISTÊNCIA: NANOPARTÍCULAS DE NIÓBIO COM PRATA ASSOCIADAS A FOTOCATÁLISE CONTRA BIOFILMES DE *Pseudomonas aeruginosa*

CARLA MARCELINO TRASSANTE¹; SÉRGIO CAVA²; RAMON DADALTO CARVALHO³; INAIARA LEITE RODRIGUES⁴ JANICE LUHERING GIONGO⁵; RODRIGO DE ALMEIDA VAUCHER⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – carla.farmaceutica@outlook.com

²Univerdidade Federal de Pelotas– sergiocava@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas - ramondadaltocarvalho@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas - inaiaraleite68@gmail.com

⁵Universidade Federal do Rio Grande – janicegiongo@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – rodvaucher@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O cenário atual da resistência microbiana no mundo é alarmante. Em 2019, cerca de 4,95 milhões de mortes foram associadas à resistência antimicrobiana, sendo 1,27 milhão diretamente atribuídas a infecções resistentes (KARIUKI, 2024). Esses dados reafirmam a magnitude da crise sanitária global: a resistência já rivaliza com doenças como HIV/AIDS e malária como causa de mortalidade (MANCUSO et al., 2023; WHO, 2022).

Biofilmes são uma das formas de resistência bacteriana. Trata-se de comunidades de microrganismos aderidos a superfícies, que desempenham um papel significativo na persistência de infecções (YIN et al., 2019). O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio (Nb), com cerca de 90% das jazidas conhecidas (YAN e BASSLER, 2019; OLIVEIRA et al., 2023). A fotocatálise tem se destacado como uma tecnologia promissora no combate a microrganismos resistentes, especialmente com o advento de catalisadores ativados por luz visível, em detrimento da luz UV, o que permite o uso de fontes de energia mais acessíveis e menos tóxicas (LIU et al., 2021; LI et al., 2025).

Este trabalho propõe uma alternativa para erradicar biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* utilizando luz branca em processos fotocatalíticos, com nióbio dopado com zinco como fotocatalisador.

2. METODOLOGIA

As partículas de pentóxido de nióbio (Nb₂O₅), puras e dopadas com zinco (Nb₂O₅ + Zn), foram sintetizadas no Laboratório de Crescimento de Cristais

Avançados e Fotônica (CCAF) da Universidade Federal de Pelotas e, posteriormente, caracterizadas.

Para indução da formação de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa*, foram utilizadas placas de 6 poços, contendo lamínulas de vidro (1 cm × 1 cm), 2 mL de ágar BHI enriquecido com 1% de glicose, amostras de Nb₂O₅ ou Nb₂O₅ + Zn diluídas em 1 mL de DMSO e 100 µL de inóculo. As placas foram incubadas por 48 horas a 37 °C em estufa shaker. As amostras foram divididas em dois grupos: com e sem tratamento fotocatalítico. No grupo tratado, as placas foram expostas a uma fonte de luz branca LED de 100 W (MEGAACE, 400 nm < λ < 800 nm) por 2 horas. A quantificação da biomassa bacteriana foi realizada por coloração com cristal violeta. As concentrações testadas foram de 0,25 mg/mL, 0,125 mg/mL e 0,0625 mg/mL.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pentóxido de nióbio é um agente reconhecidamente fotocatalisador, (TOPARE et al., 2022; DE CARVALHO et al., 2020). Estudos prévios demonstram que sua atividade pode ser significativamente ampliada por meio da dopagem com metais como cobre e prata (SU et al., 2021; BORUAH et al. 2019). Optamos então pela incorporação de nanopartículas de zinco (Zn), com o objetivo de otimizar o desempenho do Nb₂O₅. Os resultados mostraram que o Nb₂O₅ puro, embora ativo, não foi suficiente para eliminar completamente a biomassa nas concentrações avaliadas.

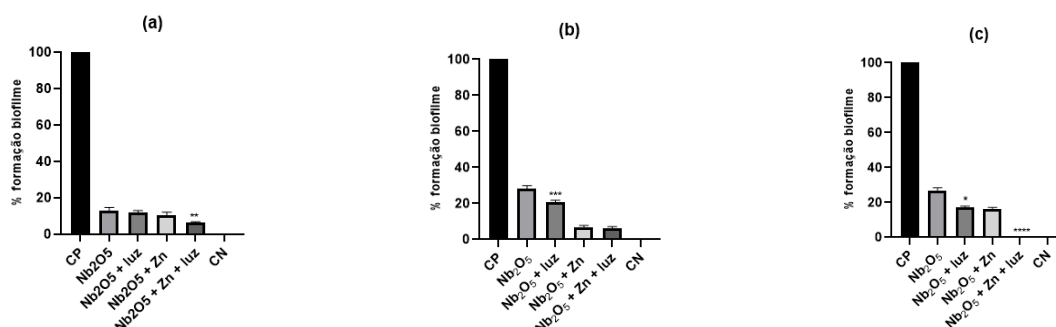


Figura 1: Atividade fotocatalítica de Nb₂O₅ e Nb₂O₅ dopado com Zn. (a) Concentração: 0,25mg. (b) Concentração: 0,125mg. (c) Concentração: 0,0625mg/mL.

Por outro lado, o Nb₂O₅ + Zn apresentou desempenho significativamente superior, atingindo 100% de remoção do biofilme já na menor concentração testada (0,0625 mg/mL) (**Figura 1**). Curiosamente, observou-se que a redução da

concentração intensificou a atividade fotocatalítica, possivelmente devido à melhor dispersão das partículas e maior área de superfície reativa disponível.

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) revelou que a dopagem com Zn aumentou a rugosidade e a porosidade da superfície do material (**Figura 2**), favorecendo a formação de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) e a separação eficiente de cargas eletrônicas — aspectos essenciais para a intensificação da fotocatalise, como afirmam Oliveira et al (2023).

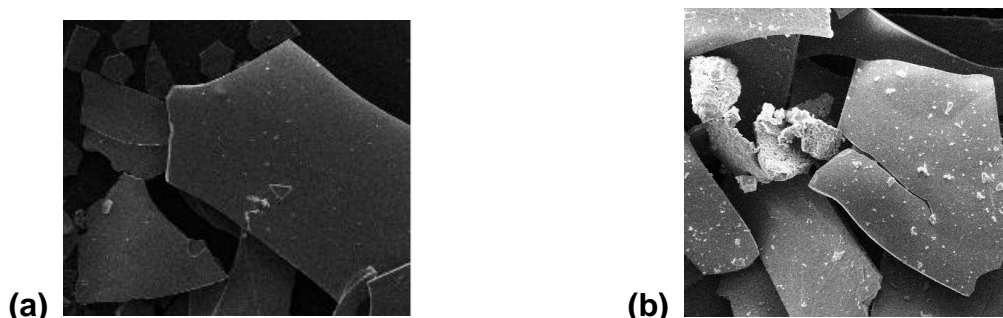


Figura 2: Imagens de MEV. (a) Nb₂O₅ (b) Nb₂O₅ + Zn

A dopagem também resultou na diminuição da energia de band-gap: o Nb₂O₅ dopado com Zn reduziu esse valor de 3,13 eV para 3,0 eV, permitindo absorção dentro do espectro de luz visível (380 nm a 750 nm), como demonstrado na **Figura 3**.

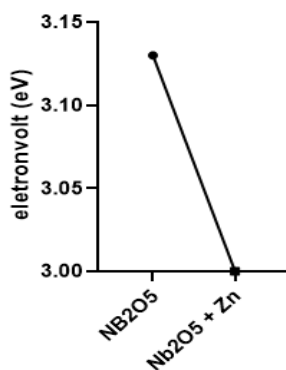


Figura 3: Valores de Band-gap de Nb₂O₅ puro e dopado com nanopartículas de Zn.

4. CONCLUSÕES

As partículas de Nb₂O₅ dopadas com Zn demonstraram excelente potencial fotocatalítico contra biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa*, alcançando erradicação total da biomassa mesmo em concentrações reduzidas. A possibilidade de utilizar luz visível no processo o torna mais acessível

economicamente e ambientalmente sustentável, abrindo caminho para futuras aplicações antimicrobianas em larga escala.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORUAH, B., RIMZHIM, G., JAYANT, M. M. e GIRIDHAR, M. Fotocatálise aprimorada e inibição bacteriana em Nb_2O_5 via dopagem versátil com metais (Sr, Y, Zr e Ag): uma avaliação crítica. DOI: 10.1039/C9NA00305C. **Nanoscale Adv.**, 2019, 1, 2748-2760.

DE CARVALHO, G.S.G., DE SIQUEIRA, M.M., DO NASCIMENTO, M.P., DE OLIVEIRA, M. AMARANTE, G.W. Nb_2O_5 supported in mixed oxides catalyzed mineralization process of methylene blue. **Heliyon**. 2020 Jun 5;6(6):e04128. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04128. PMID: 32529083; PMCID: PMC7281808.

KARIUKI, S. Global burden of antimicrobial resistance and forecasts to 2050. **The Lancet**, Volume 404, Issue 10459, 1172 – 1173, 2024.

Liu J, Zhu Y, Chen J, Butenko DS, Ren J, Yang X, Lu P, Meng P, Xu Y, Yang D, Zhang S. Visible-light driven rapid bacterial inactivation on red phosphorus/titanium oxide nanofiber heterostructures. *J Hazard Mater*. 2021 Jul 5;413:125462. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125462. Epub 2021 Feb 19. PMID: 33930973

MANCUSO, G.; DE GAETANO, S.; MIDIRI, A.; ZUMMO, S.; BIONDO, C. O desafio de superar a resistência a antibióticos em bactérias gram-negativas resistentes a carbapenêmicos: “Ataque a Titã”. **Microorganisms** 2023, 11, 1912. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081912>

OLIVEIRA, R.I.S., DE OLIVEIRA, I.N, DE CONTO, J.F., DE SOUZA, A.M., DE MEDEIROS S.R., Padilha, S.M., HERNÁNDEZ-MACEDO, M.L. Photocatalytic effect of N-TiO₂ conjugated with folic acid against biofilm-forming resistant bacteria. **Heliyon**. 2023 Nov 7;9(11):e22108. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22108. PMID: 38027799; PMCID: PMC10658382.

SU, K., LIU, H., GAO, Z., FORNASIERO, P., WANG F. Nb_2O_5 -Based Photocatalysts. **Adv Sci (Weinh)**. 2021 Feb 22;8(8):2003156. doi: 10.1002/advs.202003156. PMID: 33898172; PMCID: PMC806139.

TOPARE, N. S., KHAN, A, KHEDKAR, S. V. , Shantini A. B.; Pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) como um fotocatalisador eficiente para degradação fotocatalítica de rodamina-B. **AQUA - Infraestrutura hídrica, ecossistemas e sociedade** 1 de dezembro de 2022; 71 (12): 1344–1350. doi: <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.218>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Antimicrobial resistance. Geneva: World Health Organization, 2022.