



Estudo e Avaliação do β -AgVO₃ Nanoestruturado como Inativador de micro-organismos

Maria Tereza Fabbro^{1,2}, Vinícius Mateus F. e Santos², Luís Presley Serejo dos Santos³, Jorge Tadao Matsushima⁴, Maurício Ribeiro Baldan¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluna de Doutorado do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

²Instituto Federal de São Paulo, Campus SJC, São José dos Campos, SP, Brasil

³Universidade Federal de São Paulo, Campus SJC, São José dos Campos, SP, Brasil

⁴FATEC de SJC – Professor Jessen Vidal, São José dos Campos, SP, Brasil

mariaterezafabbro@gmail.com

Resumo. *Materiais à base de óxido de prata e vanádio têm despertado o interesse de muitos pesquisadores por causa de suas aplicações tecnológicas em áreas como sensores, dispositivos médicos e fotocatalisadores. Portanto, o objetivo deste estudo foi a síntese do β -AgVO₃ utilizando o método hidrotérmico convencional a 120 °C por 1, 4 e 8 horas. A estrutura, composição de fases e morfologia foram investigadas por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com campo de emissão (MEV-FEG), microscopia eletrônica de transmissão (MET), espectroscopias com energia dispersiva (EDS) e Raman. Os resultados revelaram uma estrutura monoclinica, o crescimento das partículas de prata na superfície durante a irradiação do feixe de elétrons. Além de demonstrar que as nanoestruturas de β -AgVO₃ podem ser utilizadas como um material inibidor de micro-organismos.*

Palavras-chave: β -AgVO₃; síntese hidrotérmica; inativador; bactericida; fungicida.

1. Introdução

Nanomateriais à base de óxidos de prata e vanádio, como AgVO₃, Ag₂V₄O₁₁, Ag₃VO₄ e Ag₂V₂O₇ têm atraído a atenção por suas propriedades e aplicações potenciais como sensores (MAI, XU, *et al.*, 2010), eletrodos para baterias de íon-lítio (CHEN, GAO, *et al.*, 2008), fotocatalisadores (XU, Hui, LI, *et al.*, 2009).

Nanofios de β -AgVO₃ que têm sido usados como fotocatalisadores para a degradação da rodamina B sob radiação de luz visível (XU, Jing, HU, *et al.*, 2012). Zhang e colaboradores (ZHANG, LI, *et al.*, 2006) sintetizaram nanofios β -AgVO₃ com comprimentos de várias dezenas de micrômetros, que exibiram capacidade de carga muito maior do que os microcones β -AgVO₃, nanofios Ag₂V₄O₁₁ e o Ag₂V₄O₁₁ comercial. As atividades fotocatalíticas desses materiais também foram melhoradas quando os buracos fotogerados e os elétrons puderam ser eficientemente separados (ZHANG, LI, *et al.*, 2006).



De acordo com Zhao e colaboradores (ZHAO, GUO, *et al.*, 2015) as modificações de superfície aumentam a taxa de separação desses buracos e os elétrons, devido às nanopartículas de Ag, têm excelente condutividade e forte capacidade de captura de elétrons.

Vários métodos têm sido usados para a preparação de nanoestruturas de AgVO_3 (SONG, LIN, *et al.*, 2009), (VALI, SARKER, *et al.*, 2019), (SIVAKUMAR, SURESH, *et al.*, 2015). Entre eles, o método hidrotérmico é um dos métodos mais usados para a preparação de nanomateriais com diferentes morfologias e formatos.

Neste trabalho, relatamos a síntese e caracterização de nanomateriais $\beta\text{-AgVO}_3$ preparados pelo método hidrotérmico, assim como verificamos a sua atividade fungicida contra *Candida albicans* e bactericida contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

2. Metodologia

2.1 Síntese do $\beta\text{-AgVO}_3$

Nanoestruturas de $\beta\text{-AgVO}_3$ foram sintetizadas pelo método hidrotérmico convencional a 120 °C por 1, 4 e 8 horas, utilizando água como solvente. Primeiro, 1 mmol de metavanadato de amônio ($\text{NH}_4\text{VO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; pureza de 99,5%, Sigma-Aldrich) foi dissolvido em 50 ml de água (solução 1). Separadamente, 1 mmol de nitrato de prata (AgNO_3 ; pureza de 99,8%, Sigma-Aldrich) foi dissolvido em 50 mL de água (solução 2). A solução 2 foi adicionada gota a gota à solução 1 sob agitação magnética vigorosa à temperatura ambiente durante 10 minutos. A solução resultante foi transferida para um vaso de Teflon e colocada em um sistema hidrotérmico convencional a 120 °C por 1, 4 e 8 horas, respectivamente. Os precipitados foram coletados por centrifugação, lavados várias vezes com água deionizada e etanol e secos a 60 °C por 8 horas.

2.2 Caracterizações

As amostras de $\beta\text{-AgVO}_3$ foram estruturalmente caracterizadas por XRD usando um difratômetro de DRX / Ultima IV (Rigaku) com radiação $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) na faixa 2θ de 10 - 70° e passo angular de 0,02°, e por um espectrômetro Raman (Horiba-LabRam HR Evolution), com excitação a laser Ar a 514 nm e potência $\leq 300 \text{ mW}$. A morfologia, microanálise e tamanho das estruturas da nanoestrutura $\beta\text{-AgVO}_3$ foram determinados por MEV (Mira3-Tescan), operando em tensões de 10 kV e TEM operado a 200 kV com espectroscopia de energia dispersiva (EDS) (modelo Tecnai G2TF20, FEI). As amostras usadas para obter as imagens TEM foram preparadas por meio da secagem de gotículas das amostras conforme preparadas de uma dispersão de acetona sonicada por 10 minutos e, em seguida, depositada nas grades de Cu.

Para avaliar o efeito antifúngico dos microcristais sintetizados, a concentração inibitória mínima (MIC) para células planctônicas foi determinada usando um ensaio de microdiluição em caldo conforme descrito pelo Clinical and Laboratory Standards Institute - CLSI (CLSI, 2008). As MICs foram determinadas como as concentrações de solução de $\beta\text{-AgVO}_3$ nas quais não havia crescimento visível. Uma cepa padrão da bactéria Gram-negativa *Escherichia coli* (ATCC 8739), a bactéria Gram-positiva *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538P) e o fungo *Candida albicans* (ATCC 10231) do Núcleo de Coleção de Micro do Instituto Adolfo Lutz foram usados. Para preparar o inóculo, *E. coli* e *S. aureus* foram



semeadas em Plate Count Agar (PCA, Himedia) incubado a 36 °C por 24 h. *C. albicans* foi semeada em Sabouraud Dextrose Agar (SDA, Himedia, Mumbai, In) e incubada a 30 °C por 48 h. Uma alça cheia de cada cultura foi transferida para 10 ml de Caldo Nutriente até que a turvação correspondeu a 0,5 em relação à solução de McFarland ($1,5 \times 10^6$ UFC / mL).

A MIC foi determinada utilizando 0,035g de β -AgVO₃ diluído em 100 mL de peptona a 1% (350 ppm), que permaneceu em agitação por 1 hora. As demais concentrações (175, 87 e 44 ppm) foram calculadas e completadas com água peptonada 1% até 20 mL. Não havendo o crescimento microbiano, observou-se uma menor concentração de β -AgVO₃ (0,0022g da amostra) e, diluindo-se em 100 mL de água peptonada a 1% (22 ppm). O mesmo procedimento descrito foi realizado para as concentrações de 12, 05 e 02 ppm.

Ainda sob agitação, foram pipetados 5 mL da solução correspondente de cada concentração no tubo de ensaio e 50 μ L da suspensão de células 10^6 . Os tubos bacterianos foram introduzidos no agitador a 36 °C, enquanto os tubos fúngicos a 30 °C por 24h com rotação de 180 rpm. *E. coli* e *S. aureus* foram semeados em PCA e *C. albicans* em SDA. Os microrganismos foram incubados de acordo com a boa temperatura de crescimento por 24 a 48 horas.

3. Resultados e Discussão

Os difratogramas de XRD de β -AgVO₃ sintetizados pelo método hidrotérmico são ilustrados na Figura 1. Todos os picos de XRD foram indexados como β -AgVO₃ monoclinico ($a = 18,106$ Å, $b = 3,579$ Å, $c = 8,043$ Å, e $\beta = 104,44$ °) o qual está consistente com os valores fornecidos pela ficha JCPDS n° 86-1154. Nenhum pico de outras fases foi detectado. A Figura 1 mostra a evolução dos picos tornando-se mais estreitos à medida que o tempo de tratamento aumenta, o que indica que uma boa cristalinidade do β -AgVO₃.

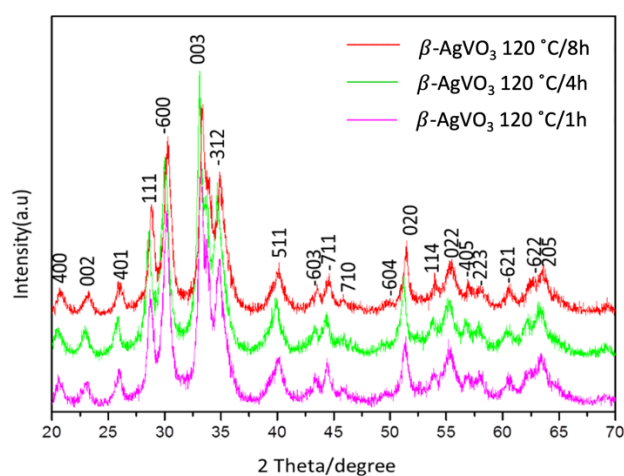


Figura 1. Difratogramas do β -AgVO₃ sintetizado pelo método hidrotérmico convencional a 120 °C por 1, 4 e 8 horas.



As imagens MEV do β -AgVO₃ são mostradas na Figura 2a-d. Podemos observar que o vanadato de prata é composto por um grande número de nanofios 1D com diâmetros uniformes. A Figura 2a apresenta a imagem do MEV dos nanofios de β -AgVO₃ sintetizado por 1 hora, e é possível observar que o crescimento das nanopartículas de Ag não é significativo e os diâmetros dos nanofios são maiores que as demais amostras. As Figuras 2b-d mostram os nanofios de β -AgVO₃ sintetizados em tempos diferentes como 4 h (Figura 2b), 8 h (Figura 2c) e 16 horas (Figura 2d). Nestes casos, os nanofios tendem a diminuir seu tamanho e o crescimento das nanopartículas de Ag tende a aumentar.

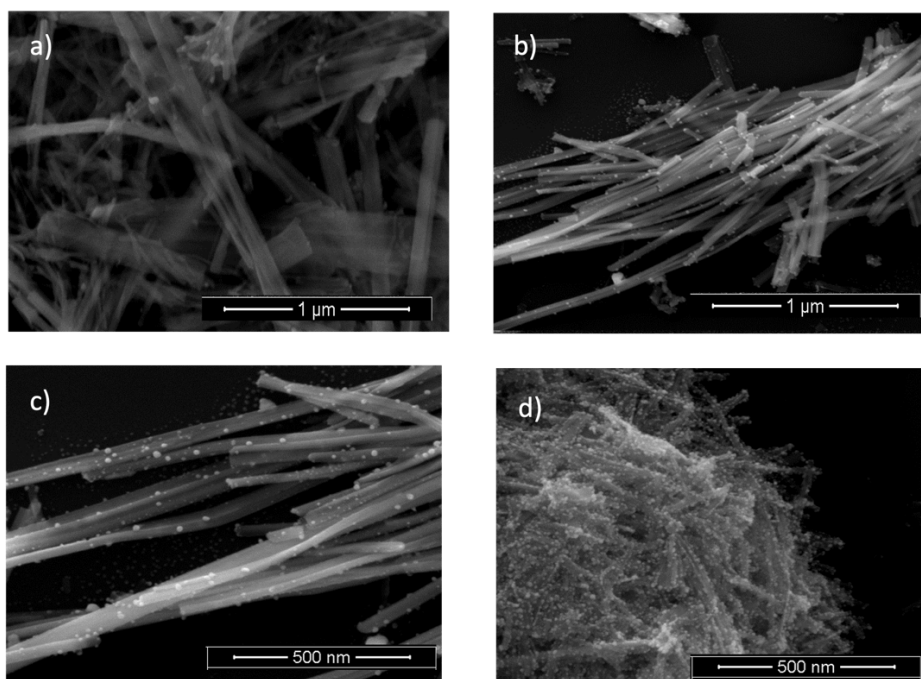


Figura 2. Micrografias de MEV dos nanofios de β -AgVO₃ a 120 °C por (a) 1 h; (b) 4 h; (c) 8 h e (d) 16 h.

De acordo com a Longo e colaboradores (LONGO, Valéria M., DE FOGGI, *et al.*, 2014), o crescimento dessas nanopartículas de Ag leva à formação de defeitos como vacâncias de prata e oxigênio nos nanofios de β -AgVO₃. O material apresenta um semicondutor do tipo n, o qual assim que a irradiação do elétron penetra no interior do material, os elétrons são absorvidos pela matriz que induz a formação de vacâncias de Ag e transforma uma região específica em um semicondutor do tipo p. As nanopartículas crescem conforme a concentração de vacâncias de Ag aumenta (conforme os elétrons da irradiação de elétrons são absorvidos). Quanto maior a concentração de vacâncias de Ag, maiores serão as nanopartículas de Ag na superfície do material.

A Figura 3 ilustra as imagens de MET realizadas para os nanofios de β -AgVO₃ sintetizados a 120 °C por 8 h. A Figura 3b corresponde à região vermelha marcada na Figura 3a ampliada. A composição das regiões destacadas na Figura 3b são mostradas na Figura 4a-c. A Figura 4a exibe a composição da região 1, localizada na ponta de uma nanopartícula que nucleada



na superfície do material (ver Figura 3b). Esta nanopartícula apresenta 100% de composição de Ag, o que indica que corresponde a uma nanopartícula de prata. O fenômeno de nucleação e crescimento das nanopartículas de prata na superfície do material ocorre de forma semelhante ao demonstrado por diversos materiais como o Ag_2WO_4 (LONGO, E., CAVALCANTE, *et al.*, 2013), Ag_2MoO_4 (ANDRÉS, FERRER, *et al.*, 2015) e Ag_3PO_4 (BOTELHO, SCZANCOSKI, *et al.*, 2015). A Figura 4b indica a análise realizada na interface entre a nanopartícula e o nanofio localizado na região 2 (ver Figura 3b) e mostra a presença de Ag, V e O. A Figura 4c corresponde à região 3 (ver Figura 3b) realizado no centro do nanofio onde foi possível notar a presença de Ag, V e O.

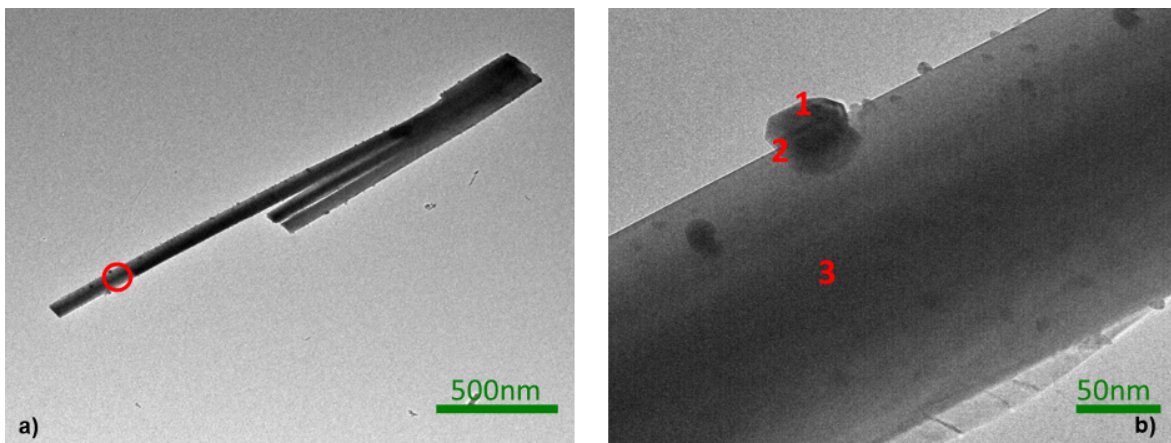


Figura 3. Imagens de MET do nanofio de $\beta\text{-AgVO}_3$ a 120°C por 8 h (a); (b) Regiões das análises de EDS.

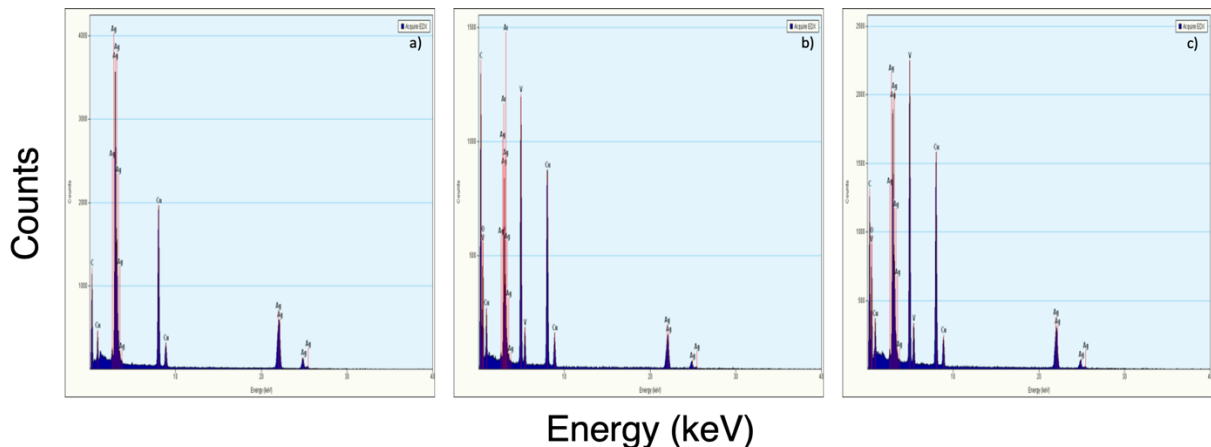


Figura 4. Análises de EDS dos nanofios de $\beta\text{-AgVO}_3$ (a) região 1; (b) região 2; (c) região 3.



O espectro Raman dos nanofios de β -AgVO₃ são mostrados na Figura 5. Todas as bandas vibracionais Raman estão de acordo com as relatadas para AgVO₃ por outros métodos (HOLTZ, R. D., SOUZA FILHO, *et al.*, 2010), (HOLTZ, Raphael D, LIMA, *et al.*, 2012) e (LIANG, ZHOU, *et al.*, 2012). Esses dados corroboram com os dados apresentados pelo DRX para a fase monoclinica do vanadato de prata. A banda intensa em 886 cm⁻¹ origina-se da interação V-O-Ag ou de vibrações O-V-O e o 934 cm⁻¹ é atribuído ao estiramento simétrico de VO₄ (BAO, BAO, *et al.*, 2007). As bandas em 844, 807, 731 e 518 cm⁻¹ podem ser atribuídas às vibrações de estiramento dos grupos VO₃ no íon (V₂O₇)⁴⁻, interações Ag-O-Ag e ligações V-O-V, correspondendo aos estiramentos assimétricos e simétricos, respectivamente (SIVAKUMAR, SURESH, *et al.*, 2015). As bandas em 632, 477 e 444 cm⁻¹ são atribuídas ao estiramento da vibração do oxigênio compartilhado por dois vanádios (V-O-V). Uma vibração do VO₄³⁻ foi observada pela presença da banda Raman em 338 cm⁻¹. Os modos vibracionais em 702, 391, 282, 246, 171 e 132 cm⁻¹ pertencem ao grupo VO₄³⁻ (HARDCASTLE, WACHS, 1991).

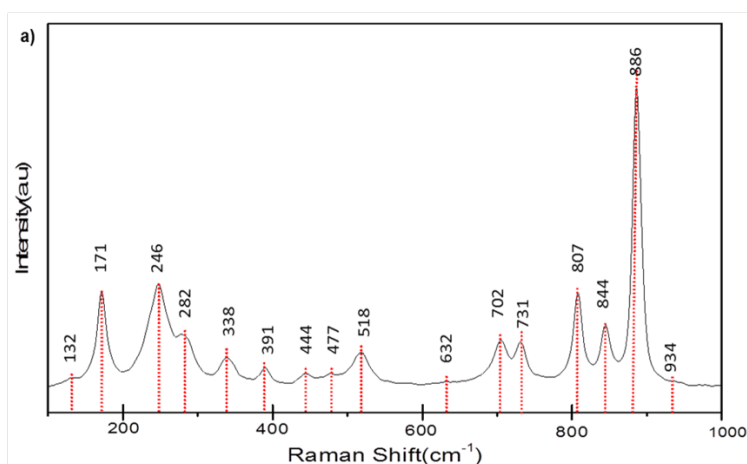


Figura 5. Espectro Raman do β -AgVO₃ nanoestruturado a 120 °C por 8 h.

A atividade bacteriana e fungicida dos nanofios β -AgVO₃ foi testada contra as cepas de bactérias Gram-negativas e Gram-positivas *E. coli* e *S. aureus*, e a cepa fúngica *C. albicans*. Os valores de MIC são apresentados na Tabela 1. Os resultados mostram que os nanofios β -AgVO₃ testados apresentaram valores de MIC promissores. Acreditamos que essa eficiência esteja relacionada à maior concentração de nanopartículas de Ag na superfície do material que resultam em um bom desempenho na atividade bactericida e fungicida.

Os resultados sobre *E. coli* e *S. aureus* podem ser atribuídos a um mecanismo proposto que afirma que nanopartículas de prata em contato com a membrana celular bacteriana podem ser oxidadas, levando à formação de íons de prata, que inibem a ação das enzimas responsáveis por metabolismo celular (LIAU, READ, *et al.*, 1997, MORONES, ELECHIGUERRA, *et al.*, 2005). A presença de íons Ag gera espécies reativas de oxigênio que danificam a célula. A prata tem uma forte tendência a reagir com enxofre ou fósforo,



constituintes da membrana celular e os ácidos nucleicos do DNA, que são os locais preferidos para a ligação das nanopartículas de prata (MORONES, ELECHIGUERRA, *et al.*, 2005, PAL, TAK, *et al.*, 2007). Mudanças causadas pela interação das nanopartículas de prata nas membranas bacterianas e nos limites do DNA afetarão os processos metabólicos bacterianos, em particular a divisão celular, acabando por causar a morte celular (MORONES, ELECHIGUERRA, *et al.*, 2005).

Para a cepa fúngica *C. albicans*, os resultados demonstraram um mecanismo bacteriano semelhante. Kim e colaboradores (KIM, SUNG, *et al.*, 2009) relataram um potente efeito antifúngico das nanopartículas de prata contra *C. albicans*. Ele relatou o mecanismo de ação antifúngica por análise de citometria, liberação de glicose e trealose, anisotropia de fluorescência de membrana plasmática e caracterizações de MET. Os resultados demonstram que as nanopartículas de prata destroem a integridade da membrana do fungo e inibem o processo normal de brotamento.

Assim, a presença de nanopartículas de prata induz a morte bacteriana e fúngica, o que pode explicar os resultados apresentados na Tabela 1 para as amostras que apresentam maior concentração de nanopartículas de prata (120°C / 8 h).

Tabela 1. Valores do MIC para o β -AgVO₃ nanoestruturado a 120 °C por 8 h diante de bactérias Gram-positivas, Gram-negativas e fungus.

Cepas	MIC (μ g/mL)
<i>E. coli</i> (ATCC 8739)	11
<i>S. aureus</i> (ATCC 6538P)	22
<i>C. albicans</i> (ATCC 10231)	11

4. Conclusão

Neste trabalho relatamos os resultados experimentais da síntese do material β -AgVO₃ obtido pelo método hidrotérmico convencional. Todos os padrões de XRD não apresentaram fases deletérias, demonstrando uma estrutura ordenada de longo alcance. A morfologia e o crescimento das nanopartículas de Ag nas superfícies do β -AgVO₃ durante a irradiação com feixe de elétrons foram medidos usando as técnicas de MEV e MET com recursos de EDS. As imagens mostraram que conforme o tempo aumenta, o diâmetro dos nanofios diminui e o número e o tamanho das nanopartículas de Ag aumentam. De acordo com o Raman as nanoestruturas mostram um nível de ordem estrutural em curto alcance de acordo com as informações que o DRX demonstrou. Além disso, os resultados das atividades bactericida e fungicida mostraram que as amostras com maior concentração de nanopartículas de prata apresentam resultados satisfatórios que indicam que este material pode ser um candidato para aplicação em tintas.



Agradecimentos: Os autores agradecem ao INPE pela infraestrutura fornecida, ao IFSP – Campus SJC e a ICT – UNIFESP.

Referências

- ANDRÉS, J., FERRER, M. M., GRACIA, L., *et al.* "A Combined Experimental and Theoretical Study on the Formation of Ag Filaments on β -Ag₂MoO₄ Induced by Electron Irradiation", **Particle and Particle Systems Characterization**, v. 32, n. 6, p. 646–651, 1 jun. 2015. DOI: 10.1002/ppsc.201400162. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppsc.201400162>. Acesso em: 11 out. 2021.
- BAO, Q., BAO, S., LI, C. M., *et al.* "Lithium insertion in channel-structured β -AgVO₃: In situ Raman study and computer simulation", **Chemistry of Materials**, v. 19, n. 24, p. 5965–5972, 27 nov. 2007. DOI: 10.1021/cm071728i. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cm071728i>. Acesso em: 11 out. 2021.
- BOTELHO, G., SCZANCOSKI, J. C., ANDRES, J., *et al.* "Experimental and theoretical study on the structure, optical properties, and growth of metallic silver nanostructures in Ag₃PO₄", **Journal of Physical Chemistry C**, v. 119, n. 11, p. 6293–6306, 19 mar. 2015. DOI: 10.1021/jp512111v. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp512111v>. Acesso em: 11 out. 2021.
- CHEN, Z., GAO, S., LI, R., *et al.* "Lithium insertion in ultra-thin nanobelts of Ag₂V₄O₁₁/Ag", **Electrochimica Acta**, v. 53, n. 28, p. 8134–8137, 2008. DOI: 10.1016/j.electacta.2008.06.014. .
- CLSI. **Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Yeasts; Approved Standard**. 3rd. ed. Wayne, PA, Clinical and Laboratory Standards Institute, 2008.
- HARDCASTLE, F. D., WACHS, I. E. "Determination of vanadium-oxygen bond distances and bond orders by Raman spectroscopy", **Journal of Physical Chemistry**, v. 95, n. 13, p. 5031–5041, 1991. DOI: 10.1021/j100166a025. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/j100166a025>. Acesso em: 11 out. 2021.
- HOLTZ, R. D., SOUZA FILHO, A. G., BROCCHI, M., *et al.* "Development of nanostructured silver vanadates decorated with silver nanoparticles as a novel antibacterial agent", **Nanotechnology**, v. 21, n. 18, 2010. DOI: 10.1088/0957-4484/21/18/185102. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20378952/>. Acesso em: 11 out. 2021.
- HOLTZ, Raphael D, LIMA, B. A., SOUZA FILHO, A. G., *et al.* "Nanostructured silver vanadate as a promising antibacterial additive to water-based paints.", **Nanomedicine : nanotechnology, biology, and medicine**, v. 8, n. 6, p. 935–40, ago. 2012. DOI: 10.1016/j.nano.2011.11.012. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22197722>. Acesso em: 8 set. 2016.
- KIM, K. J., SUNG, W. S., SUH, B. K., *et al.* "Antifungal activity and mode of action of silver nano-particles on *Candida albicans*", **BioMetals**, v. 22, n. 2, p. 235–242, abr. 2009. DOI: 10.1007/s10534-008-9159-2. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18769871/>. Acesso em: 11 out. 2021.



- LIANG, S., ZHOU, J., PAN, A., *et al.* **Facile synthesis of β -AgVO₃ nanorods as cathode for primary lithium batteries.** *Materials Letters*, v. 74, p. 176-179, 2012. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.01.101. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X12001346>.
- LIAU, S. Y., READ, D. C., PUGH, W. J., *et al.* "Interaction of silver nitrate with readily identifiable groups: Relationship to the antibacterial action of silver ions", *Letters in Applied Microbiology*, v. 25, n. 4, p. 279–283, 1997. DOI: 10.1046/j.1472-765X.1997.00219.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9351278/>. Acesso em: 11 out. 2021.
- LONGO, E., CAVALCANTE, L. S., VOLANTI, D. P., *et al.* "Direct in situ observation of the electron-driven synthesis of Ag filaments on α -Ag₂WO₄ crystals", *Scientific Reports*, v. 3, p. 1676, 2013. DOI: 10.1038/srep01676. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23591807>. Acesso em: 8 set. 2016.
- LONGO, V. M., DE FOGGI, C. C., FERRER, M. M., *et al.* "Potentiated electron transference in α -Ag₂WO₄ microcrystals with Ag nanofilaments as microbial agent", *Journal of Physical Chemistry A*, v. 118, n. 31, p. 5769–5778, 2014. DOI: 10.1021/jp410564p.
- MAI, L., XU, L., GAO, Q., *et al.* "Single β -AgVO₃ nanowire H₂S sensor", *Nano Letters*, v. 10, n. 7, p. 2604–2608, 14 jul. 2010. DOI: 10.1021/nl1013184. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl1013184>. Acesso em: 9 out. 2021.
- MORONES, J. R., ELECHIGUERRA, J. L., CAMACHO, A., *et al.* "The bactericidal effect of silver nanoparticles", *Nanotechnology*, v. 16, n. 10, p. 2346–2353, 1 out. 2005. DOI: 10.1088/0957-4484/16/10/059. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20818017/>. Acesso em: 11 out. 2021.
- PAL, S., TAK, Y. K., SONG, J. M. "Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*", *Applied and Environmental Microbiology*, v. 73, n. 6, p. 1712–1720, mar. 2007. DOI: 10.1128/AEM.02218-06. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17261510/>. Acesso em: 11 out. 2021.
- SIVAKUMAR, V., SURESH, R., GIRIBABU, K., *et al.* "AgVO₃ nanorods: Synthesis, characterization and visible light photocatalytic activity", *Solid State Sciences*, v. 39, p. 34–39, 2015. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2014.10.016.
- SONG, J.-M., LIN, Y.-Z., YAO, H.-B., *et al.* "Superlong β -AgVO₃ Nanoribbons: High-Yield Synthesis by a Pyridine-Assisted Solution Approach, Their Stability, Electrical and Electrochemical Properties", *ACS Nano*, v. 3, n. 3, p. 653–660, 24 mar. 2009. DOI: 10.1021/nn800813s. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn800813s>. Acesso em: 8 set. 2016.
- VALI, A., SARKER, H. P., JEE, H. W., *et al.* "Electrodeposition of Silver Vanadate Films: A Tale of Two Polymorphs", *ChemPhysChem*, v. 20, n. 20, p. 2635–2646, 2019. DOI: 10.1002/cphc.201900558.
- XU, H., LI, H., XU, L., *et al.* "Enhanced photocatalytic activity of Ag₃VO₄ loaded with



rare-earth elements under visible-light irradiation", **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 48, n. 24, p. 10771–10778, 16 dez. 2009. DOI: 10.1021/ie900835g. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie900835g>. Acesso em: 8 set. 2016.

XU, J., HU, C., XI, Y., *et al.* "Synthesis and visible light photocatalytic activity of β -AgVO₃ nanowires", **Solid State Sciences**, v. 14, n. 4, p. 535–539, 2012. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2012.01.013.

ZHANG, S., LI, W., LI, C., *et al.* "Synthesis, characterization, and electrochemical properties of Ag₂V₄O₁₁ and AgVO₃ 1-D nano/microstructures", **Journal of Physical Chemistry B**, v. 110, n. 49, p. 24855–24863, 14 dez. 2006. DOI: 10.1021/jp065478p. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp065478p>. Acesso em: 9 out. 2021.

ZHAO, W., GUO, Y., FAIZ, Y., *et al.* "Facile in-suit synthesis of Ag/AgVO₃ one-dimensional hybrid nanoribbons with enhanced performance of plasmonic visible-light photocatalysis", **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 163, p. 288–297, 2015. DOI: 10.1016/j.apcatb.2014.08.015.