

Uso do Dióxido de Titânio (TiO₂): Um Estudo Prospectivo

Titanium Dioxide (TiO₂) Use: A Prospective Study

Raphaella Ingrid Santana Oliveira^{1*}, Klebson Silva Santos¹, Lumar Lucena Alves¹, Tereza Tizar Alves Oliveira¹, Iracema Nascimento de Oliveira¹, Eduarda Bezerra Pereira², Silvia M. Egues¹, Maria Lucila Hernández-Macedo^{1*}, Francine Ferreira Padilha¹

RESUMO

O TiO₂ é um dos semicondutores mais estudados recentemente devido às suas propriedades fotocatalíticas. Assim, foi realizado um estudo de prospecção baseado em artigos publicados mundialmente e em pedidos de patente sobre o uso do TiO₂. O estudo foi através dos sites científicos Science Direct, PubMed, Scielo, Medline e Bireme. Os bancos de patentes da Espacenet e do INPI foram utilizados para pesquisar o número de patentes depositadas, a distribuição por país e a evolução anual. No Bireme com o assunto "antibacteriano" para o termo "Dióxido de Titânio", destacaram os EUA, Taiwan e Japão. Para "TiO₂", China, EUA e Índia foram destacadas. A análise dos pedidos de patentes no banco de dados do INPI foi obtida com um grande número para todos os termos procurados, enquanto no banco da Espacenet foram encontrados apenas resultados para o termo "Dióxido de Titânio" que obteve dominância nos EUA e na OMPI. Embora o número de publicações sobre esse tema seja grande, o número de estudos ainda é pequeno para a importância do uso das propriedades fotocatalíticas como método terapêutico e biológico. Portanto, o tema tem uma grande relevância para a ciência e a tecnologia.

Palavras-chave: Dióxido de titânio; TiO₂; Semicondutores; Prospecção; Propriedades fotocatalíticas.

ABSTRACT

TiO₂ is one of the most studied semiconductors recently due to its photocatalytic properties. Hence, it was conducted a prospection study based on articles published worldwide and on patent applications on the use of TiO₂. This study was carried out using scientific databases such as Science Direct, PubMed, Scielo, Medline and Bireme. The patent databases of Espacenet and the National Institute of Industrial Property (INPI) were used to search the number of patents deposited, distribution of patents per country and annual evolution. In the Bireme site with the subject "antibacterial" for the term "Titanium Dioxide" highlighted the United States, Taiwan and Japan. For "TiO₂", China, USA and India were highlighted. The analysis of patent applications in the INPI database was obtained with a large number for all the terms searched, while in the Espacenet database only results were found for the term "Titanium Dioxide" that obtained dominance in the USA and World Intellectual Property Organization. Although the number of publications about this topic is large, the number of studies is still small to the importance of using the photocatalytic properties as a therapeutic and biological method. Therefore, this theme has a great relevance for science and technology.

Keywords: Titanium dioxide; TiO₂; Semiconductors; Prospection; Photocatalytic properties.

¹ Tiradentes University.

*E-mail: dr.raphaella@gmail.com

*E-mail: lucyherma@gmail.com

² Federal University of Sergipe.

INTRODUÇÃO

O dióxido de titânio (TiO_2) é um dos semicondutores mais estudados recentemente por conta de suas propriedades fotocatalíticas. Podendo ser encontrado em três fases cristalinas na natureza: anatásio, rutilo e brookita (XU, 2016). Considerado um material de baixo custo, excelente biocompatibilidade, alta estabilidade química, capacidade fotocatalítica e baixo impacto ambiental, o TiO_2 torna-se passível de utilização em várias áreas de estudo. O TiO_2 já foi estudado quanto ao seu potencial de decompor compostos orgânicos tóxicos, fabricação de estruturas autolimpantes e degradar poluentes de água e ar, além de ser utilizado em terapia fotodinâmica para tratamentos de câncer e inibição de crescimento bacteriano (LIU et al., 2018; DING et al., 2016, AI et al., 2017, CARATTO et al., 2017; MENDES et al., 2020; RIBEIRO; FERRARI; TAVARES, 2020).

Dentre as fases cristalinas do TiO_2 , a fase anatásio é a mais estudada por ser conhecida pela sua alta fotossensibilidade. Consistindo de um semicondutor de largo band gap de 3,2 eV que confere ao material facilidade de excitação de elétrons, gerando radicais livres altamente oxidantes responsáveis pelo seu efeito fotocatalítico. Outra característica é quando o TiO_2 é exposto à luz ultravioleta, o que promove a destruição de compostos adsorvido na sua superfície (LIU et al., 2017; NI et al., 2017; GUPTA; TRIPATHI, 2011).

Recentemente nanopartículas de TiO_2 tem sido amplamente aplicada à terapia fotodinâmica (TFD) em células cancerígenas, uma vez que suas propriedades fotocatalíticas ativadas através da irradiação UV tem o potencial de promover um efeito terapêutico. Na TFD, o agente fotossensibilizador (PS) é excitado ao absorver a luz UV, assim gerando elétrons e lacunas. O qual dá início a uma serie de reações com as moléculas de oxigênio no ambiente, formando assim espécies reativas de oxigênio (ROS), os quais são oxidantes fortes capazes de levar a morte celular (FENG et al., 2013; REHMAN et al., 2016).

Além da aplicação do TiO_2 em células de câncer, também tem sido reportado o efeito fotocatalítico inibitório do TiO_2 em microrganismos como *P. aeruginosa*, *S. aureus*, e *Escherichia coli*. Contudo, a irradiação UV pode não ser conveniente, visto que também é capaz de induzir à morte celular por apoptose por alterar a membrana mitocondrial e consequentemente a expressão de genes pro-apotóticos (ARORA et al., 2015; HOU et al., 2015; MANTRAVADI, 2017; MANJUNATH et al., 2018). Neste âmbito, vários estudos

recentes foram dedicados em estender a absorção dos agentes fotossensibilizadores para região da luz visível (STAN et al., 2016; BARMER et al., 2018; SUWANNARUANG et al., 2018; AYDIN et al., 2018).

Neste contexto e diante do interesse pelas propriedades fotocatalíticas das nanopartículas de TiO_2 , o presente artigo teve como objetivo realizar um estudo de prospecção com base nos artigos publicados mundialmente e nos pedidos de patente depositados em diferentes bases de dados sobre a utilização do TiO_2 em diversas áreas para apresentar uma visão geral do estado atual de desenvolvimento científico e tecnológico desta nanopartícula.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no mês de julho de 2018 utilizando-se sites de banco de artigos científicos do Science Direct, PubMed, Scielo, Medline e Bireme. Estes sites foram escolhidos por permitirem a busca de prospecção tecnológica e um acesso facilitado com um significativo repositório da produção científica mundial. Para refinamento da busca, foram utilizados os termos “Titanium Dioxide” e “ TiO_2 ”. Assim, foi realizada uma comparação entre os sites de busca do número total de publicações desde a primeira publicação até o presente momento, incluindo também uma comparação entre os períodos de 2015 a 2018. Para complementar a pesquisa, foi refinado como assunto principal o termo “antibacteriano”, obtendo o número de artigos publicados por país no site de busca Bireme.

Além disso, foi realizada uma busca a partir dos descritores “Titanium Dioxide”, “ TiO_2 ”, “Dióxido de Titânio”, “Dióxido de Titânio Bactericida”, nas bases de dados online de patentes do Escritório Europeu (Espacenet) e Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), que abrange todas as patentes depositadas no Brasil oferecendo informações a respeito do depositante, data de depósito, país de origem, etc. A busca de patentes ocorreu levando em consideração o número de patentes depositadas por base de dados, distribuição de patentes por país e evolução anual. Em seguida, foi feita uma distribuição de patentes depositadas na INPI por Classificação Internacional de Patentes (CIP), um instrumento para ordenar os documentos de patente facilitando o acesso às informações em diversas áreas, sendo estas estruturadas por seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo (GUIA IPC, 2015; FREITAS et al., 2015).

Todas as informações adquiridas foram descritas através de gráficos elaborados no GraphPad PRISM versão 5.00 que mostram os resultados obtidos neste trabalho. Os termos foram pesquisados em língua inglesa para as buscas internacionais e, em português, para a busca em base nacional. Para a realização de uma busca mais abrangente, foram considerados válidos todos os documentos que mencionassem os termos citados acima no título e/ou resumo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

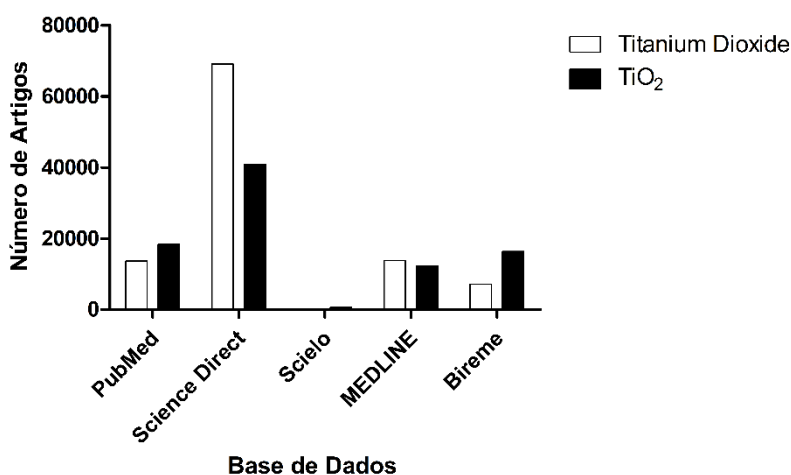
Os resultados desta análise da prospecção científica e tecnológica referem-se a todos os artigos científicos já publicados até o momento de acordo com os termos em questão e a todos os depósitos de patentes já efetuados, sendo nestes considerados o ano e o país de depósito, como também a Classificação Internacional de Patentes (CIP). É importante ressaltar que muitos dos artigos encontrados em um site de busca também eram vistos nos outros bancos de dados.

A Figura 1 mostra todos os sites de bancos de artigos científicos demonstrados estatisticamente para comparação do número de publicações entre o nome do composto em inglês “Titanium Dioxide” e a fórmula “TiO₂”, enquanto na Figura 2 foca no número de artigos publicados entre o período de 2015 a 2018. Na consulta à base de dados PubMed com o uso do descritor “Titanium Dioxide”, foram encontrados no total 13664 artigos publicados, sendo destes, 3855 publicações entre o período de 2015 a 2018. Já utilizando o termo “TiO₂”, foram encontrados 18299 resultados publicados, sendo 8059 entre o período de 2015 a 2018, muitos destes semelhantes aos encontrados em relação ao termo anterior.

Ainda na Figura 1, na base de dados Science Direct foram encontrados 69040 registros de artigos científicos publicados envolvendo o termo “Titanium Dioxide”, sendo 18357 àqueles publicados entre 2015 a 2018. Da mesma forma, utilizando o descritor “TiO₂”, a busca revelou 40790 publicações, sendo 11258 entre 2015 e 2018. Ao buscar o termo “Titanium Dioxide”, a pesquisa no banco de dados Scielo resultou em 204 artigos publicados, no qual Brasil e Colômbia apresentaram 114 e 32 artigos respectivamente, seguidos do Chile (17), México (17), África do Sul (10), Argentina (5), Venezuela (4), Peru (3), Portugal (2), Cuba (1), Espanha (1) e Uruguai (1). Entre o período de 2015 a 2018, apenas 73 artigos foram encontrados. Estas publicações englobam principalmente

as áreas das engenharias e ciências exatas e da terra, entre as quais destinam-se a atividade do dióxido de titânio para desinfecção da água para a segurança da utilização de humanos (TEODORO et al., 2017). Já no campo das ciências da saúde, foi verificada uma maior quantidade de artigos voltados à atividade antibacteriana sob efeito fotocatalítico do TiO_2 assim como Caratto et al. (2017), descreve em seus estudos a atividade antibacteriana de tubos endotraqueais revestidos com dióxido de titânio. Utilizando o termo “ TiO_2 ”, foram encontradas 630 publicações, no qual a grande maioria é de origem brasileira (338 artigos), sendo 205 do total de artigos encontrados entre os anos de 2015 e 2018. Tais publicações referem-se, principalmente, a área de ciências exatas e da terra e engenharias assim como na pesquisa do termo anterior.

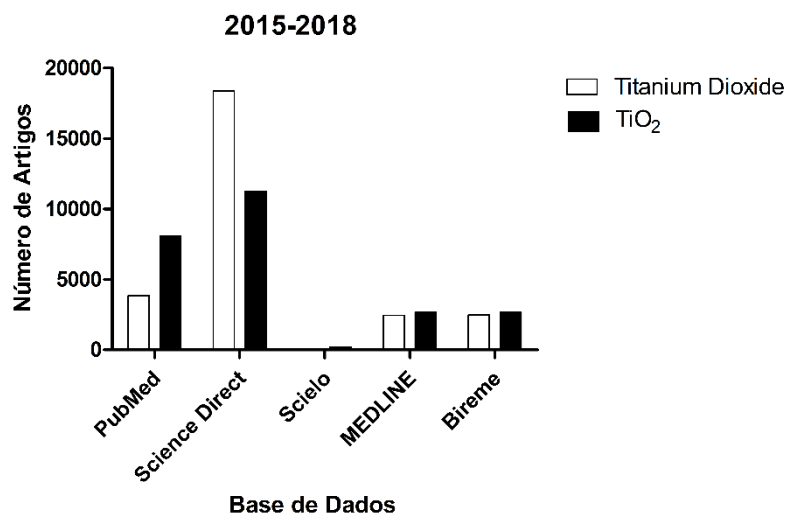
Figura 1 – Comparação do número de publicações entre o nome do composto em inglês “Titanium Dioxide” e a fórmula “ TiO_2 ”.



Fonte: Autoria própria (2023)

Quando pesquisado o termo “Titanium Dioxide” na base de dados Medline, a busca apresentou 13738 documentos, sendo 2461 entre os anos 2015 e 2018 e ao utilizarmos o descritor “ TiO_2 ”, a busca apresentou 12322 artigos, onde 2662 foram publicados entre 2015 e 2018. No site Bireme, a palavra-chave “Titanium Dioxide” trouxe 7178 publicações, sendo 2479 entre 2015 e 2018. Quanto ao “ TiO_2 ” foram encontrados 16296 artigos, com 2675 publicações entre 2015 e 2018.

Figura 2 – Comparação do número de publicações entre o nome do composto em inglês “Titanium Dioxide” e a fórmula “TiO₂” no período entre 2015 e 2018.



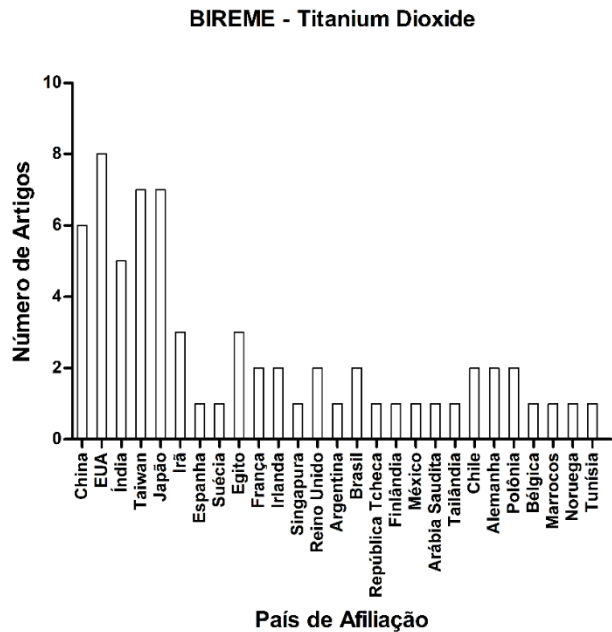
Fonte: Autoria própria (2023)

Quando foi utilizado como filtro o assunto principal “antibacteriano” no site Bireme, foram encontradas 106 publicações até o momento para o termo “Titanium Dioxide”. Com relação à quantidade de publicações sobre a temática por país, destacam-se Estados Unidos (8 artigos) e Taiwan e Japão (ambos com 7 artigos). O Brasil aparece com apenas 2 publicações durante todo o período (Figura 3). Para o termo “TiO₂”, foram encontradas 172 publicações, sendo a China, Estados Unidos e Índia com maiores números de artigos, 17, 16 e 14 trabalhos publicados, respectivamente, sendo o Brasil com apenas um documento (Figura 4). De acordo com Contini e Séchet (2005), estudos indicam que em todas as áreas de conhecimento, os Estados Unidos e parte da Ásia são partes de grandes polos geradores de ciência e tecnologia no mundo, e que esta dominância deverá existir por anos ou décadas. Diante dessa realidade, o elevado número de pesquisas nesses países pode ser explicado pelo maior investimento na ciência por esses países.

Os resultados estão relacionados com estudos envolvendo poluentes químicos e ambientais, purificação da água, antineoplásicos, antibacterianos, etc., onde o TiO₂ é utilizado devido ao seu potencial de decompor compostos orgânicos tóxicos e degradar poluentes, além do seu uso em tratamentos de câncer e inibição de crescimento bacteriano (SPONZA e OZTEKIN., 2016). Apesar do número de publicações sobre o tema em questão ser alto, a quantidade de estudos ainda é ínfima se considerarmos a importância

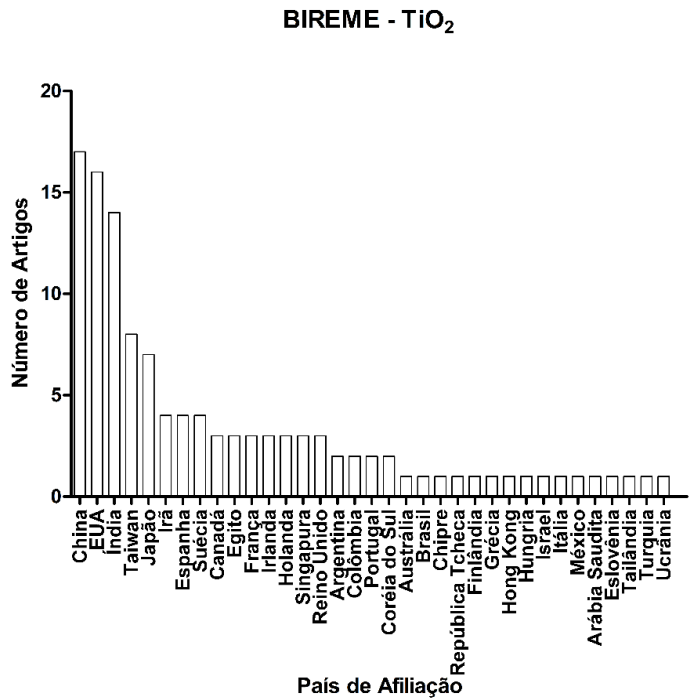
da utilização de suas propriedades fotocatalíticas como método terapêutico e biológico (MORENO et al., 2009).

Figura 3 – Número de artigos publicados por país de afiliação no site de busca Bireme pesquisado por “Titanium Dioxide” como assunto principal “antibacteriano”.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 4 – Número de artigos publicados por país de afiliação no site de busca Bireme pesquisado por “TiO₂” como assunto principal “antibacteriano”.



Fonte: Autoria própria (2023)

Em relação à avaliação dos pedidos de depósito de patentes, foram feitas buscas em dois bancos de dados: Espacenet e INPI, onde foram realizadas análises de acordo com os descritores dispostos na Tabela 1. A busca por documentos no banco de dados INPI retornou 181 resultados envolvendo o termo “Dióxido de Titânio”, em português por ser um banco de dados brasileiro. Os resultados demonstram que residentes e não residentes apostaram no depósito de patentes nesta base de dados, tendo as publicações envolvendo o uso do dióxido de titânio como agentes despoluidores, bactericidas e antifúngicos, usados também para redução de efeito de branqueamento sobre a pele, processo de revestimento e pigmentação de compostos, além de processos de purificação de águas e produção destas nanopartículas. Além disso, a busca do termo “TiO₂” na base de dados INPI retornou 46 resultados, o que demonstra que as pesquisas com esta denominação são menos populares comparado com o nome do composto. Os resultados comprovam que este nanomaterial é estudado com a perspectiva de gerar produtos principalmente voltados ao tratamento de resíduos poluentes de água, cuidado oral e higiene bucal. Refinando a pesquisa com o termo “Dióxido de Titânio Bactericida”, apenas 3 documentos foram depositados. Quanto as análises de patentes depositadas no banco de dados Espacenet, só foram obtidos apenas 25 depósitos para a busca pelo termo “Titanium Dioxide”, não sendo encontrados nenhum documento com os termos “TiO₂” e “Titanium Dioxide Bactericide”. Verificou-se assim, um número significativo de documentos na base INPI quando comparado com a base Espacenet. A pesquisa de modo geral justifica a importância do TiO₂ em suas vastas aplicações, desde tintas para pintura, protetores solares e corante alimentar até aplicações ambientais e energéticas do TiO₂, incluindo o tratamento fotocatalítico de águas residuais, degradação de pesticidas e separação da água para produzir hidrogênio (GUPTA; TRIPATHI, 2011).

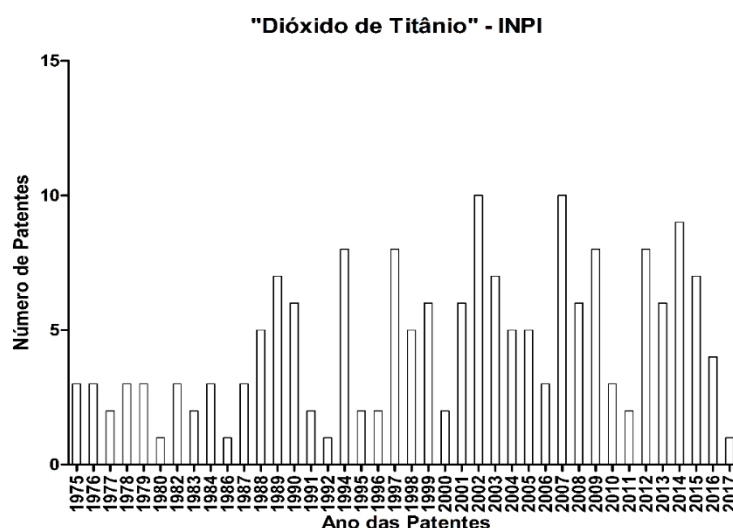
Tabela 1 – Número de patentes depositadas por base de dados envolvendo os diferentes termos utilizados.

BASE	Dióxido de Titânio	TiO ₂	Dióxido de Titânio Bactericida	TOTAL
INPI	181	46	3	230
Espacenet	25	0	0	25

Fonte: Autoria própria (2023)

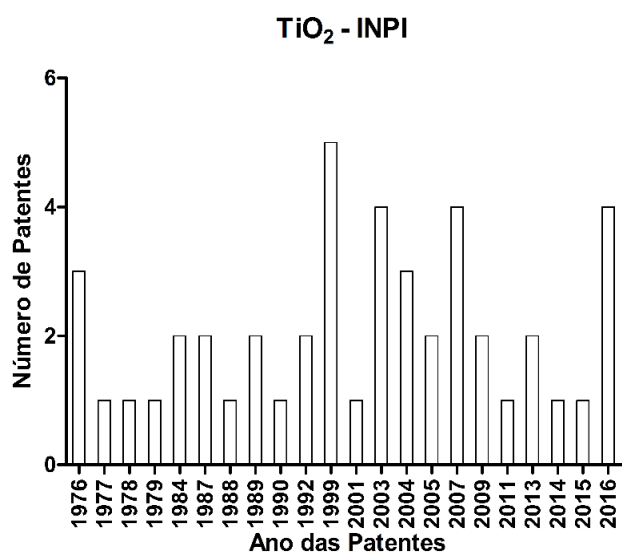
Em relação à distribuição anual dos pedidos de depósito de patente para o termo “Dióxido de Titânio” no INPI, as buscas apontam para registros a partir do ano de 1975, tendo nos anos de 2002 e 2007 os maiores números de pedidos de depósito, como mostrado na Figura 5, demonstrando uma evolução recente em relação ao Dióxido de Titânio. Na realização da busca pelo termo “TiO₂”, os resultados mostram registros a partir de 1976, sendo o maior número de depósitos em 1999 (Figura 6). Ainda assim, foi possível notar que períodos entre 1980-1983, 1985-1986, 1991, 1994-1998, 2000, 2002, 2006, 2008, 2010, 2012 e 2017, não ocorreram registros de patentes. Quanto ao termo “Dióxido de Titânio Bactericida”, apenas 3 pedidos de depósito de patentes foram encontrados, sendo uma em cada ano, 2008, 2012 e 2015 (Figura 7).

Figura 5 – Evolução anual de patentes depositadas na base INPI para o termo “Dióxido de Titânio”.



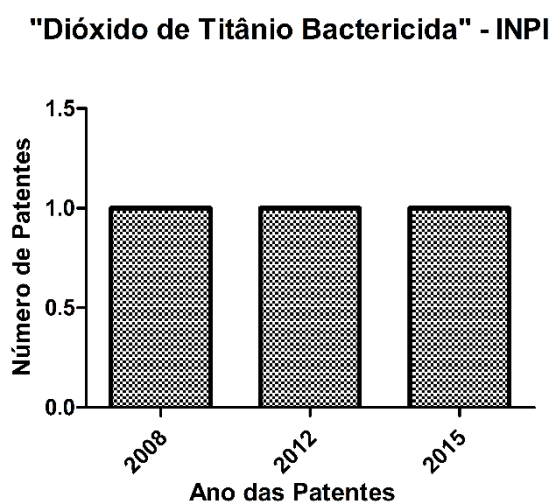
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 6 – Evolução anual de patentes depositadas na base INPI para o termo “TiO₂”.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 7 – Evolução anual de patentes depositadas na base INPI para o termo “Dióxido de Titânio Bactericida”.

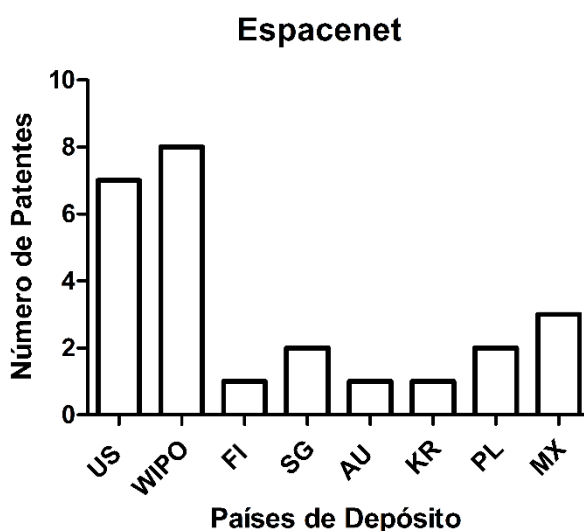


Fonte: Autoria própria (2023)

As análises de patentes no banco de dados Espacenet também foram realizadas quanto aos países de depósito dos pedidos de patentes. Ao analisar os países de depósito dos pedidos de patentes, verificou-se que a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO) e Estados Unidos (US) ocupam lugar de destaque na proteção de pesquisa, com 8 e 7 pedidos de depósito, respectivamente, o que representa 32% e 28%, respectivamente, do total de documentos (Figura 8). Países como Finlândia (FI),

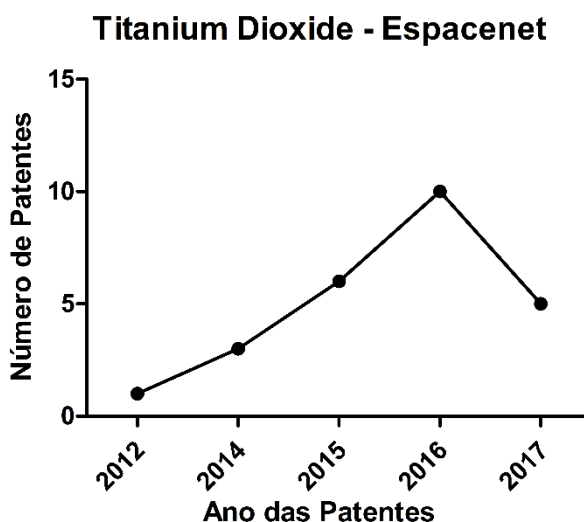
Singapura (SG), Austrália (AU), República da Coreia (KR), Polônia (PL) e México (MX) também são depositários, no entanto, apresentam atividade bem reduzida quando comparada aos US e WIPO. Em se tratando da distribuição dos pedidos de depósito de patentes por anos de depósito, observou-se um aumento no número de patentes no ano de 2016, com decréscimo em seguida (Figura 9). A evolução temporal dos registros de patentes neste banco de dados é dada desde 2012, contudo a maior produção em termos de pedidos de depósito ocorreu em 2016, com 10 pedidos oficializados. Ao longo dos anos entre 2012 e 2017, foi possível observar que não ocorreram registros durante o ano de 2013, bem como antes de 2012.

Figura 8 – Distribuição de patentes depositadas na base de dados Espacenet por país para o termo “Titanium Dioxide”. US: Estados Unidos, WIPO: Organização Mundial de Propriedade Intelectual, FI: Finlândia, SG: Singapura, AU: Austrália, KR: República da Coreia, PL: Polônia e MX: México.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 9 – Evolução anual de patentes depositadas por data de prioridade na base Espacenet para o termo “Titanium Dioxide”.

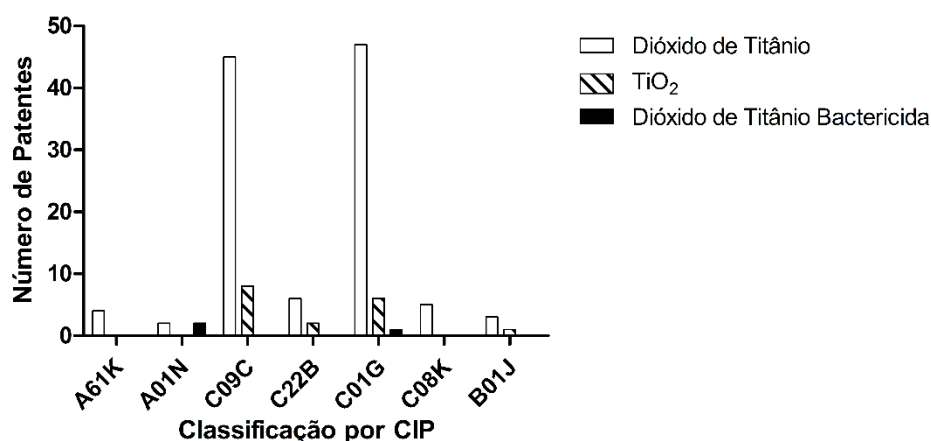


Fonte: Autoria própria (2023)

A Classificação Internacional de Patentes, conhecida pela sigla CIP ou em inglês IPC – International Patent Classification – foi estabelecida pelo Acordo de Estrasburgo em 1971, adotada por mais de 100 países e coordenada pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual – OMPI. O objetivo da busca é identificar os documentos no reconhecimento da área de aplicação tecnológica em nível internacional, prevendo um sistema hierárquico com símbolos para a classificação de Patentes de Invenção (PI) e de Modelo de Utilidade (MU) (MACHADO et al., 2012). Assim sendo, em relação à CIP, as classificações mais frequentes entre os depósitos para ambos os termos “Dióxido de Titânio” e “TiO₂” pelo banco de dados INPI foram encontradas na seção C (química; metalurgia), onde os mesmos foram alocados majoritariamente nas classes C01G (compostos contendo metais não abrangidos pelas subclasses C01D ou C01F) e C09C (tratamento de substâncias inorgânicas, outras que não enchimentos fibrosos, para lhes acentuar as propriedades de pigmentação ou de enchimento; preparação de negro de fumo) (Figura 10), com 47 registros na classe C01G para “Dióxido de Titânio” e 6 nesta mesma classe para “TiO₂”, enquanto 45 registros na classe C09C para o primeiro termo, e 8 nesta mesma classe para o segundo termo. Os demais depósitos abrangeram as seções A (necessidades humanas) e B (operações de processamento; transporte), com as principais classes A61K (preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas), A01N (conservação de corpos de seres humanos ou animais ou plantas ou partes dos mesmos; biocidas, p. ex. como desinfetantes, pesticidas ou herbicidas;

repelentes ou atrativos de pestes; reguladores do crescimento de plantas) e B01J (processos químicos ou físicos, p. ex. catálise ou química coloidal; aparelhos pertinentes aos mesmos), além de outros da seção C, como C22B (produção ou refino de metais; pré-tratamento de matérias-primas) e C08K (uso de substâncias inorgânicas ou orgânicas não-macromoleculares como ingredientes de composições). Quando o conteúdo se refere ao “Dióxido de Titânio Bactericida”, apenas foram encontradas as classes A01N e C01G (GUIA IPC, 2015).

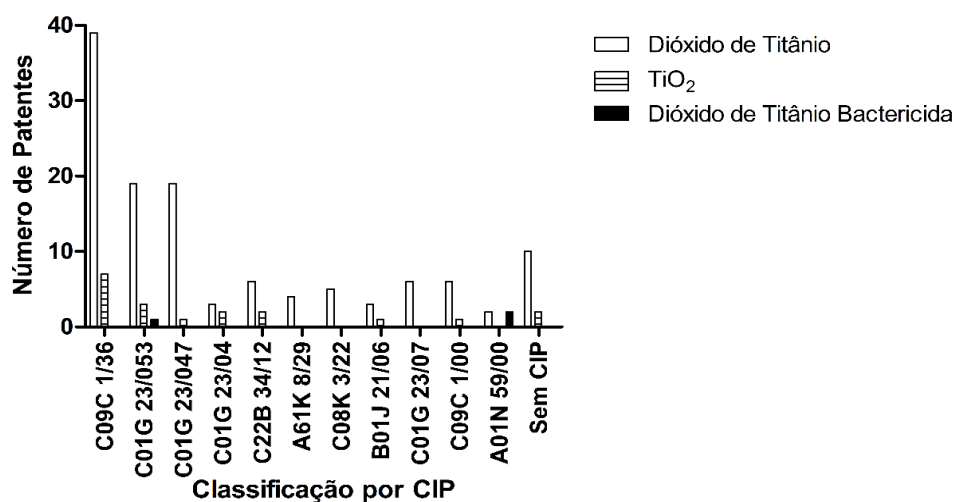
Figura 10 – Distribuição de patentes depositadas na INPI por CIP em relação à classe.



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Figura 11, aprofundando para as subclasses, pode ser observado que o maior número de depósitos por CIP para ambos os termos “Dióxido de Titânio” e “TiO₂” na base INPI está para C09C 1/36, o que de fato relaciona-se como conteúdo principal os compostos de titânio. Ainda, para ambos os termos, as subclasses C01G 23/053 e C01G 23/047 constaram como segundo colocado no CIP, sendo o primeiro se referindo a produção por processos úmidos p. ex. hidrólise de sais de titânio, e o último ao dióxido de titânio propriamente dito. Quanto a procura pelo termo “Dióxido de Titânio Bactericida”, a subclasse C01G 23/053 também foi identificada, além da A01N 59/00 a qual se refere biocidas, repelentes ou atrativos de pestes ou reguladores do crescimento de plantas contendo elementos ou compostos inorgânicos.

Figura 11 – Distribuição de patentes depositadas na INPI por CIP em relação à subclasse.



Fonte: Autoria própria (2023)

CONCLUSÃO

Com relação às publicações científicas, observaram-se muitos trabalhos referentes à temática em análise, os quais abordam suas atividades biológicas, aplicações nas engenharias, ciências exatas e da terra, ciências da saúde, entre outros. Mediante disso, nota-se que a utilização do TiO₂ ainda está bem voltada às áreas de pesquisa acadêmica, uma vez que a quantidade de artigos científicos é bem superior ao número de depósito de patentes.

Conclui-se que as buscas estão relacionadas com estudos envolvendo poluentes químicos e purificação da água, antineoplásicos e antibacterianos devido ao potencial do TiO₂ em decompor compostos orgânicos tóxicos e degradar poluentes, além do uso em tratamentos de câncer e inibição de crescimento bacteriano. Embora o número de publicações sobre o tema em questão seja grande, a quantidade de estudos ainda é ínfima quanto a importância da utilização das propriedades fotocatalíticas do TiO₂ como método terapêutico e biológico. Diante do exposto, a referida prospecção apresenta importante relevância para pesquisadores que utilizam o dióxido de titânio como material de estudo, pois demonstra o estado da pesquisa e produtos envolvendo este nanomaterial. Dessa forma, essa pesquisa poderá contribuir para a melhor caracterização e aplicações biológicas, expandindo a sua utilização nas áreas de ciência e tecnologia. O tema consiste, portanto, em um assunto que pode ser bastante explorado, havendo principalmente um

incentivo maior à pesquisa no Brasil, uma vez que tendo em vista que há na literatura dados relevantes quanto a utilidade do dióxido de titânio. Desta forma, o tema tem grande relevância para a ciência e tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo: 01/2018-PIBIC, 305462/2021-0 DT2 e, 313662/2019-3 DT2) e à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE) pelo apoio financeiro e bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

AI, J.W.; LIU, B.; LIU, W.D. Folic acid-tagged titanium dioxide nanoparticles for enhanced anticancer effect in osteosarcoma cells. **Materials Science and Engineering: C**, v. 76, p. 1181-1187, 2017.

ARORA, S. et al. Silver nanoparticles protect human keratinocytes against UVB radiation-induced DNA damage and apoptosis: potential for prevention of skin carcinogenesis. **Nanomedicine: nanotechnology, biology, and medicine**, v. 11, n. 5, p. 1265-75, 2015.

AYDIN, M. T. A. et al. Synthesis, characterization and antibacterial activity of silver-doped TiO₂ nanotubes. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 205, p. 503-507, 2018.

BARMEH, A.; NILFOROUSHAN, M. R.; OTROJ, S. Wetting and photocatalytic properties of Ni-doped TiO₂ coating on glazed ceramic tiles under visible light. **Thin Solid Films**, v. 666, p. 137-142, 2018.

CARATTO, V. et al. Antibacterial activity of standard and N-doped titanium dioxide-coated endotracheal tubes: an in vitro study. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 29, n. 1, p. 55–62, 2017.

DING, L. et al. Salvianolic acid B protects against myocardial damage caused by nanocarrier TiO₂; and synergistic anti-breast carcinoma effect with curcumin via codelivery system of folic acidtargeted and polyethylene glycol-modified TiO₂ nanoparticles. **International Journal of Nanomedicine**, v. 11, p. 5709– 5727, 2016.

FENG, X.; ZHANG, S.; LOU, X. Controlling silica coating thickness on TiO₂ nanoparticles for effective photodynamic therapy. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 107, p. 220-6, 2013.

FREITAS, F. F. B. P. et al. Prospecção científica e tecnológica: monoterpeno gama terpineno e atividades farmacológicas. **GEINTEC**, v. 5, n. 2, p. 2103-2112, 2015.

GUIA IPC, 2015. Guia de classificação internacional de patentes. Disponível em: <<http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/?notion=scheme&version=20180101&symbol=C&menulang=pt&lang=pt&viewmode=f&fipcp=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>>. Acesso em: 16 de jul. 2018.

GUPTA, S.M.; TRIPATHI, M. A review of TiO₂ nanoparticles. **Chinese Science Bulletin**, v. 56, p. 1639–1657, 2011.

HOU, Z. et al. UV-Emitting Upconversion-Based TiO₂ Photosensitizing Nanoplatform: Near-Infrared Light Mediated in Vivo Photodynamic Therapy via Mitochondria-Involved Apoptosis Pathway. **ACS Nano**, v. 9, n. 3, p. 2584-2599, 2015.

LIU, C. et al. Mechanisms of the enhanced antibacterial effect of Ag-TiO₂ coatings. **Biofouling**, v. 34, n. 2, p. 190-199, 2018.

LIU, Y. et al. Synthesis, properties, and applications of black titanium dioxide nanomaterials. **Science Bulletin**, v. 62, n. 6, p. 431-441, 2017.

MACHADO, B. A. S. et al. Estudo prospectivo da própolis e tecnologias correlatas sob o Enfoque em documentos de patentes depositados no brasil. **GEINTEC**, v. 2, n. 3, p. 221-235, 2012.

MANJUNATH, K. et al. Ionic liquid assisted hydrothermal synthesis of TiO₂ nanoparticles: photocatalytic and antibacterial activity. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 7, n. 1, p. 7-13, 2018.

MANTRAVADI, H. B. Effectivity of Titanium Oxide Based Nano Particles on E. coli from Clinical Samples. **Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR**, v. 11, n. 7, p. 37-40, 2017.

MENDES, D. T. S. L. et al. Estudo da molhabilidade de nanotubos de TiO₂ incorporados com nanopartículas de Ag e ZnO / Study of the wetness of TiO₂ nanotubes incorporated with Ag and ZnO nanoparcules. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 74439–74453, 2020.

MORENO, B. et al. Una revisión del uso del TiO₂ em terapias e ingeniería tissular. **Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 48, n. 6, p. 321-328, 2009.

NI, W. et al. 808nm light triggered black TiO₂ nanoparticles for killing of bladder cancer cells. **Materials Science and Engineering: C**, v. 81, p. 252-260, 2017.

REHMAN, F. U. et al. Biomedical applications of nano-titaniva in theranostics and photodynamic therapy. **Biomaterials Science**, v. 4, p. 40-54, 2016.

RIBEIRO, V. A. DOS S.; FERRARI, A. M.; TAVARES, C. R. G. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO na eficiência de remoção de cor / Photocatalysis applied tolaundry wastewater treatment: comparison between TiO₂ and ZnO on the efficiency of color removal. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 2788–2798, 2020.

SPONZA, D. T.; OZTEKIN, R. Treatment of olive mill wastewater by photooxidation with ZrO₂-doped TiO₂ nanocomposite and its reuse capability. **Environmental Technology**, v. 37, n.7, p. 865-879, 2016.

STAN, M. S. et al. Photocatalytic, Antimicrobial and Biocompatibility Features of Cotton Knit Coated with Fe-N-Doped Titanium Dioxide Nanoparticles. **Materials**, v. 9, n. 9, p. 1-15, 2016.

SUWANNARUANG, T. et al. Influence of nitrogen content levels on structural properties and photocatalytic activities of nanorice-like N-doped TiO₂ with various calcination temperatures. **Materials Research Bulletin**, v. 105, p. 265–276, 2018.

TEODORO, A. et al. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 1017-1026, 2017.

XU, Y. et al. Exposure to TiO₂ nanoparticles increases Staphylococcus aureus infection of HeLa cells. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 14, n. 34, p. 1-16, 2016.