

Fotocatálise: “Catalisando” os ODS numa fotossíntese de inovação e ciência!

Atualmente, o mundo anda na contramão do desenvolvimento sustentável, mergulhando no caos climático, intensificado por conflitos e tensões geopolíticas. Enquanto isso, corremos contra o tempo unindo esforços para alcançar os ODS. O Relatório da ONU sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de 2025 aponta que 18% das metas atingiram retrocesso e apenas 35% estão encaminhadas [1]. A cada dia que passa, a concretização dos objetivos estabelecidos se torna mais distante, até impossível para alguns céticos.

Porém, a química, como numa reação, pode trazer inovação e nos ajudar a iluminar e catalisar nosso caminho rumo ao cumprimento da Agenda 2030 e da sustentabilidade. Já imaginou uma tecnologia capaz de conectar os mais diferentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável?

Esta reflexão me ocorreu em um ato corriqueiro, quando estava regando as plantas lá de casa. Pensei como seria interessante se pudéssemos desenvolver uma fotossíntese capaz de captar os poluentes atmosféricos e transformá-los em solução para inúmeros desafios do mundo atual.

Não obstante, ao aprofundar minha pesquisa, descobri que isso é possível por intermédio da fotocatalise, que busca solucionar principalmente os ODS 6 (Água Limpa), 7 (Energia Acessível), 9 (Indústria, Inovação), 12 (Consumo Responsável) e 3 (Saúde) com química verde e aplicação prática, o que justifica o fato de estar sendo alvo de pesquisas recentes e nomeada como uma grande aliada da Agenda 2030. Mas o que é ela? Como funciona? Quais as vantagens e desafios? Vamos juntos embarcar nesta viagem científica rumo ao desenvolvimento sustentável!

Resumidamente, a fotocatalise é uma reação química que envolve um semicondutor, normalmente o TiO_2 (dióxido de titânio), e é acelerada devido à presença de luz, assemelhando-se à fotossíntese. Ela é capaz de degradar poluentes presentes na água e no ar atmosférico.

Para compreendermos o processo, precisamos ter uma noção básica da teoria de banda, ilustrada posteriormente. Segundo ela, nos semicondutores há uma distância entre a banda de valência (com átomos de orbitais ligantes) e a banda de condução (com orbitais não ligantes) chamada de bandgap, responsável pela excitação dos elétrons a um nível maior de energia e por criar uma lacuna (representada por uma carga positiva), proporcionando a transferência de cargas negativas através da incidência de luz [2], expresso pela equação: $\text{TiO}_2 + h\nu \rightarrow e^- + h^+$.

Essa irradiação de semicondutores por fótons permite que processos de oxidação e redução ocorram ao mesmo tempo, como mostrado abaixo, com o elétron excitado reduzindo o O_2 presente na água ou ar, gerando o $\text{O}_2^{\bullet-}$ ($\text{O}_2 + e^- \rightarrow \text{O}_2^{\bullet-}$), e a lacuna positiva oxidando a água, resultando no radical hidroxila: $\text{H}_2\text{O} + h^+ \rightarrow \text{OH}^{\bullet} + \text{H}^+$. Tratando-se de compostos altamente reativos ($\text{O}_2^{\bullet-}$ e $\text{OH}^{\bullet}$), são capazes de quebrar e degradar moléculas orgânicas, dentre elas agrotóxicos, pesticidas e gases poluentes, como o NO_x .

Buscando entender melhor a reação fotocatalítica para além dos artigos e vídeos, motivada pela minha curiosidade científica, realizei um experimento simples e caseiro, inspirado na literatura, que simula o seu funcionamento. Utilizei TiO_2 em pó, obtido pela decantação de protetor solar, e misturei-o em água com corante rosa de metileno. Expus a solução à radiação solar por algumas horas e observei que a mistura foi descolorindo aos poucos, refletindo a ação dos radicais hidroxila, que, da mesma maneira que reagem com os poluentes atmosféricos, também degradam as moléculas do corante. O resultado me motivou e entusiasmou a escrever esta redação, apresentando a fotocatalise desde o simples ao sofisticado.



[3] **Figura 1:** Teoria de bandas, ilustrando o bandgap e a excitação dos elétrons após a incidência de luz.

[3] **Figura 2:** Processos de oxidação e redução ocorrendo simultaneamente mediante a excitação dos elétrons, formando os radicais $O_2^{\bullet-}$ e $OH^{\bullet}$.

[Autorial] **Figura 3:** Separação do TiO_2 por decantação, através da suspensão em água.

[Autorial] **Figuras 4 e 5:** Antes e depois da reação fotocatalítica (exposição ao Sol por 4 horas).

Com o processo já esclarecido, vamos a suas aplicações. Seu uso mais comum ocorre no tratamento de efluentes, para limpeza das águas, inclusive combatendo a eutrofização [4]. Vale ressaltar que há desafios significativos relacionados a sua implementação em fluidos repletos de íons e matéria orgânica. Todavia, isso tem mobilizado diversos pesquisadores e instigado novos experimentos, como os testes com COFs modificados e a utilização de heteroestruturas [5], nos quais observamos como ela une desde os ODS 6 e 14 ao 9 e 8.

Contudo, a fotorreação não se limita a isso. Imagine uma parede que purifica o ar? É isso que as tintas fotocatalíticas prometem, pois, apenas com incidência solar, limpam o ar, degradam o NO_x , VO_x e outros compostos orgânicos, transformando-os em substâncias inofensivas, ao incorporar nanopartículas do fotocatalisador dióxido de titânio à tinta convencional. Isso permite que seu uso se estenda para pavimentações, inserindo essa tecnologia em asfaltos e concretos. Elas já vêm sendo utilizadas e testadas, como por exemplo, no Projeto Chongming Eco-Avenue em Shanghai com pavimentos fotocatalíticos inovadores e no Muro “Superpower” em Praga, revestido por uma camada transparente de TiO_2 . Pesquisas apontam uma eficácia na remoção de impurezas que varia entre 80% e 90% [6]. Seu principal obstáculo é a ativação restrita à luz UV na maioria dos casos, o que tem impulsionado estudos para que esta possa ser aplicada em escala industrial e em cidades sustentáveis, condizente com os ODS 9, 11 e 12 integrados ao 13.

Outro avanço promissor é a produção de H_2O_2 pela fotocatalise unida ao ultrassom [7], substituindo o processo da antraquinona, que requer uma grande infraestrutura, resultando em diversos impactos ambientais. Com esse novo sistema, as energias solar e mecânica seriam aproveitadas, permitindo a obtenção de água oxigenada em efluentes descentralizados de forma sustentável e inovadora, conversando com os ODS 6, 7, 9 e 12.

Ainda sobre a geração de água oxigenada, cientistas tchecos realizaram um feito que me fez lembrar dos filmes sobre clones. Pesquisas lideradas por Radek Zbořil e Lukáš Zdražil criaram um fotocatalisador que imita uma de nossas enzimas, presentes nas mitocôndrias, o citocromo c oxidase, que produz H_2O_2 utilizando apenas luz solar, O_2 e H_2O [8]. Até parece coisa de cinema!

Além disso, pesquisadores desenvolveram polímeros orgânicos conjugados (COP) que viabilizam a extração fotocatalítica de urânio da água do mar natural [9], obtendo um excelente resultado que demonstra alta seletividade e reciclabilidade, introduzindo um aprimoramento na produção de energia nuclear, que, apesar de ser não renovável - o que pode mudar com esse invento - é limpa, não emitindo CO_2 , fator diretamente ligado às metas 7, 9, 13 e 14 para 2030.

Continuando nossa investigação na área energética, temos sistemas fotocatalíticos que já são usados para produção de H_2 . Porém, exigem metais nobres e raros. Na Universidade Jagiellonian,

na Polônia, especialistas desenvolveram um semicondutor de níquel que, disperso no nitrato de carbono modificado, reage com a água do mar formando o hidrogênio verde, sem agentes de sacrifício [10]. Ademais, combustíveis sintéticos têm se tornado objetos de estudo interligados a redução do CO₂ por meio da fotorreação, transformando poluição em energia!

Conforme já dito, a fotocatalise é capaz de degradar agrotóxicos e pesticidas, renovando o ODS 2, principalmente no pós-colheita, ao reduzir resíduos químicos em alimentos [11]. Outro uso interessante acontece em embalagens ativas que, processadas sob luz LED azul, preservam vegetais e destroem fungos, retardando o fim da atividade enzimática e da ação da clorofila [12].

Já olhando para o cotidiano, a fotorreação pode ser aplicada em tecidos através de uma solução coloidal, agindo como um protetor contra os raios ultravioletas! Isso em razão da excelente atividade fotocatalítica do TiO₂, o que o torna biocompatível e não tóxico, apresentando propriedades antimicrobianas e proteção UV [13]. Assim, ele é capaz de absorver de maneira eficaz a radiação UV, impedindo que esta danifique nossos tecidos e a nossa pele, estando estritamente conectado ao ODS 3.

Por último, temos a degradação de microplásticos, o assunto do momento que vem atrasando os avanços relativos aos ODS 9, 12 e 14. Os fotocatalisadores geram os radicais OH• e O₂•⁻, que atacam as ligações carbono-carbono dos polímeros, fragmentando-os em cadeias menores, inclusive de CO₂ e H₂O. Pesquisadores do KTH, na Suécia, desenvolveram um sistema foto-Fenton em fluxo contínuo, no qual nanobastões de TiO₂ dopados com N e decorados com NiPB degradam polipropileno em água corrente [14]. Já na Universidade de Córdoba, cientistas criaram aerogéis biobaseados em nanofibras de celulose com agentes fotocatalíticos imobilizados, que servem como esponjas que coletam e destroem os microplásticos [15].

Logo, percebe-se que a fotocatalise nos oferece diversas vantagens e versatilidade nas aplicações, unindo sustentabilidade e química verde, ao utilizar, em alguns casos, da própria luz solar para degradação de poluentes, trazendo inovação, impulsionando o mundo a alcançar as metas estabelecidas pela Agenda 2030 e oferecendo soluções para os diversos ODS (3, 6, 7, 9, 12, 13 e 14). Somado a isso, devemos considerar a produção de combustíveis e a alta eficiência na despoluição, tudo isso operando em condições amenas e com baixo consumo energético.

No entanto, são necessárias muitas pesquisas e investimentos para tornar a reação fotocatalítica um processo viável e eficaz. Há muito a ser descoberto e resolvido, especialmente relacionado à baixa eficiência frente à incidência de luz visível, tornando-a lenta, além da alta taxa de recombinação das cargas - que transforma a energia em calor, não produzindo as reações redox necessárias - e os riscos de poluição secundária [5].

Muitos projetos estão em fases laboratoriais e experimentais, o que é notório pela recente publicação de artigos a seu respeito. Ainda estamos descobrindo o que ela tem a nos oferecer, ou seja, sua implementação não é imediata e não ocorrerá em larga escala, com grandes sistemas no mundo real, considerando sua alta complexidade e os gastos envolvidos [5].

Mas, constata-se que o que parece ser um obstáculo para a fotorreação se torna a solução, assim como ela faz, transformando poluição em inovação ou potencialidade em sustentabilidade. De que forma? Ao se tornar um objeto de pesquisa e capital, ela movimenta a economia, principalmente devido às aplicações nas mais variadas atividades econômicas. Além disso, gera diversos empregos e valoriza a ciência, o que dialoga com os ODS 8 e 17.

Conclui-se que a fotocatalise é uma jovem promessa da química que, com o devido reconhecimento e financiamento, promete trazer diversas vantagens e inovações para a nossa sociedade, capazes de nos fazer alcançar os ODS e construir um futuro sustentável.

Referências Bibliográficas: Todas acessadas no dia 3 de março de 2026.

- [1] ONU. **The Sustainable Development Goals Report 2025**. Nova York: Nações Unidas, 2025. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/>.
- [2] BASSO, Alex. **Reação de Fotocatálise: Princípios e Aplicações**. YouTube, 14 out. 2024. <https://youtu.be/LMnNy-00FNI>.
- [3] UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Cadernos Temáticos de Química: Fotocatálise**. Campinas: IQ-UNICAMP, 2023. v. 3. <https://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>.
- [4] SILVA, Meirielly Santos da. **Estudo da degradação de poluentes orgânicos via fotocatálise heterogênea utilizando dióxido de titânio**. 2023. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química). https://www.lareferencia.info/vufind/Record/BR_136553f0ce2cae949b1485ceff80b6cc.
- [5] GOUVEIA, Amanda Fernandes; ASSIS, Geovania Cordeiro de; RIBEIRO, Lara Kelly. **Semicondutores e luz contra os microplásticos: como a fotocatálise pode ajudar a limpar rios e mares**. Metrôpoles, Brasília, 25 fev. 2026. Ciência. <https://www.metrôpoles.com/ciencia/fotocatalise-luz-limpar-rios-mares>.
- [6] YANG, Y. et al. Recent Advancements in Photocatalysts for Intelligent Building Materials. **Transactions of Tianjin University**, Tianjin, 2026. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12209-025-00458-w>.
- [7] WANG, Dianyuan; et al. Piezo-photocatalytic H₂O₂ production using Au/Bi₂O₂Se heterostructures. **Applied Catalysis B: Environmental**, 2026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337326000123>.
- [8] VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA. **Czech scientists develop a material for producing chemicals from water and sunlight, inspired by human enzymes**. Ostrava: CEET, 15 jan. 2026. <https://mel.vsb.cz/en/news/czech-scientists-develop-a-material-for-producing-chemicals-from-water-and-sunlight-inspired-by-human-enzymes/>.
- [9] ZHANG, L. et al. Conjugated organic polymer enables external-sacrificial-agent-free photocatalytic uranium extraction with efficiency boosted by oxygen pre-activation. **Science Bulletin**, 2026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095927326001751>.
- [10] UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI. **Main research areas**. Kraków: Electrochemistry Group, 2026. https://elektro.chemia.uj.edu.pl/en_GB/glowne-kierunki-badan.
- [11] MARÍN, Zenydia. et al. Phototransformation of the Aqueous Fungicide Thiabendazole by Direct Photolysis and Heterogeneous Photocatalysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 2025. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.iecr.4c04696>.
- [12] WANG, Dianyuan. et al. Fe/N Co-Doped TiO₂ as Photocatalyst and Photocatalytic Film Synergized With LED Light for Preservation of Prepared Vegetable Mixture. **Journal of Food Science**, 2025. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.17234>.
- [13] RADETIC, M. Functionalization of textile materials with TiO₂ nanoparticles. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389556713000063>.
- [14] JANSSON, Emilia; LUNDQVIST ÅBRINK, Fredrika. **Photocatalytic Degradation of Microplastic with Sunlight**. 2025. Dissertação (Graduação em Engenharia Química), 2025. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1979086>.
- [15] MONTENEGRO, Remedios. et al. Processing of bio-based photocatalytic sponge-like structures containing C, N-TiO₂ colloiddally dispersed onto cellulose nanofibers for microplastic remediation. **Journal of Environmental Management**, 2025. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479725019917>.