

Jully Anna Cardoso CORREA*

 <https://orcid.org/0009-0003-2938-5813>

Gabriele Oliveira AMARAL**

 <https://orcid.org/0000-0002-4852-8678>

Marjorie de Oliveira GALLINARI***

 <https://orcid.org/0000-0002-1804-9625>

Recebido em: 06 de novembro de 2025.

Aprovado em: 10 de agosto de 2026.

INCORPORAÇÃO DE NANOTUBOS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO EM GÉIS CLAREADORES DENTAIS: REVISÃO INTEGRATIVA*

INCORPORATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOTUBES INTO DENTAL BLEACHING GELS: AN INTEGRATIVE REVIEW

RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar criticamente estudos recentes sobre a adição de nanotubos de dióxido de titânio (TiO₂-NTs) a géis clareadores dentais, buscando compreender mecanismos de ação, protocolos de uso e benefícios clínicos. Métodos: Para isso, os autores realizaram uma revisão integrativa nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, incluindo publicações até junho de 2025. Foram selecionados estudos in vitro, in situ e in vivo que avaliaram eficácia, alterações do esmalte e citotoxicidade dos géis contendo TiO₂-NTs. Resultados: A síntese dos trabalhos mostrou evidências consistentes de que concentrações baixas (0,5–1%) de TiO₂-NTs potencializam o clareamento mesmo com menores doses de peróxido de hidrogênio, especialmente quando ativadas por LEDs violeta. Os estudos relatam ainda menor perda de microdureza e rugosidade do esmalte, estabilização do pH e redução de marcadores inflamatórios em culturas celulares, sugerindo maior biocompatibilidade. Apesar de um ensaio clínico preliminar indicar resultados promissores, há escassez de estudos clínicos robustos e padronização insuficiente dos protocolos de luz e das propriedades físico-químicas dos nanotubos. Conclusão: baseado na análise crítica dos artigos incluídos nesta revisão, foi possível concluir que a incorporação de TiO₂-NTs representa um avanço promissor no clareamento dental, pois combina maior eficácia com menor agressividade e melhor perfil de segurança. Entretanto, a aplicação clínica ampla ainda depende de padronização tecnológica, ensaios clínicos randomizados e avaliação dos efeitos a longo prazo.

Descritores: peróxido de hidrogênio; clareamento dental; titânio.

ABSTRACT

This study aimed to critically analyze recent studies on the incorporation of titanium dioxide nanotubes (TiO₂-NTs) into dental bleaching gels to understand their mechanisms of action, application protocols, and clinical benefits. Methods: An integrative review was conducted using the PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SciELO databases, including publications available through June 2025. In vitro, in situ, and in vivo studies evaluating the efficacy, enamel alterations, and cytotoxicity of gels containing TiO₂-NTs were selected. Results: The synthesis of the studies showed consistent evidence that low concentrations (0.5–1%) of TiO₂-NTs enhance bleaching efficacy even with lower concentrations of hydrogen peroxide, particularly when activated by violet LEDs. The studies also reported lower loss of enamel microhardness, reduced enamel roughness, pH stabilization, and decreased inflammatory markers in cell cultures, suggesting greater biocompatibility. Although a preliminary clinical trial indicated promising results, robust clinical studies remain scarce, and there is insufficient standardization of light-activation protocols and the physicochemical properties of the nanotubes. Conclusion: Based on the critical analysis of the articles included in this review, it was concluded that the incorporation of TiO₂-NTs represents a promising advancement in dental bleaching, as it combines greater efficacy with reduced adverse effects and an improved safety profile. However, widespread clinical application still depends on technological standardization, randomized clinical trials, and evaluation of long-term effects.

Descriptors: hydrogen peroxide; tooth bleaching; titanium.

* Graduada em Odontologia pelo Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP – BR - Unifunec, mestranda pelo Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Araçatuba/SP-BR – Foa/Unesp. e-mail: jully.correa@unesp.br

** Graduada em Odontologia pelo Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP – BR - Unifunec, mestranda pelo Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Araçatuba/SP-BR – Foa/Unesp. e-mail: gabriele.amaral@unesp.br

*** Doutora, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP – BR – Unifunec. e-mail: marjo.gallinari@gmail.com

* Programa Pesquisador Docente – PPD/Unifunec e Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Pibic/Unifunec.

1 INTRODUÇÃO

O clareamento dental é uma das intervenções estéticas mais procuradas na odontologia contemporânea, com grande aceitação entre pacientes e profissionais. Os agentes clareadores mais utilizados baseiam-se no peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou no peróxido de carbamida, que atuam liberando radicais livres capazes de oxidar pigmentos orgânicos presentes na estrutura dentária¹⁻². Apesar de sua eficácia, esses compostos são potencialmente agressivos, podendo provocar sensibilidade dental, alteração estrutural do esmalte, e efeitos adversos pulpares, especialmente quando usados em altas concentrações ou por longos períodos.

Com intuito de amenizar ainda mais o desconforto gerado pelo tratamento, algumas alterações nas técnicas têm sido estudadas, sendo encontrados resultados relativamente positivos quando se reduzem tempo de aplicação, o volume de gel e a concentração do produto³⁻⁶. Além dessas posologias alternativas, tem sido avaliada a introdução de agentes catalisadores ou aceleradores da reação de oxidação nos géis clareadores, como sódio, potássio, ferro, compostos de manganês, bem como nanopartículas de titânio⁷⁻⁹. Segundo esses estudos, estes agentes têm a capacidade de proporcionar um maior efeito clareador em menor tempo, ou até mesmo utilizar menores concentrações de peróxido de hidrogênio.

Entre os componentes usados como catalisadores para a reação de oxidação, o dióxido de titânio (TiO_2) é biocompatível e apresenta propriedades antimicrobianas¹⁰. A ação catalítica do TiO_2 tem forte poder oxidativo e alta estabilidade química, sendo influenciada por reações com moléculas em sua superfície. Além disso, sabe-se que TiO_2 , quando associado a uma fonte de luz (LED), excita elétrons e gera íons de oxigênio, produzindo superóxido, o que favorece ainda mais o efeito clareador, por aumentar a reação de oxido-redução¹¹. O uso inicial do TiO_2 em clareamento dental se deu sob forma de partículas micrométricas como aditivo em géis clareadores, com o objetivo de refletir luz e intensificar a ação do peróxido. No entanto, com os avanços da nanotecnologia, o TiO_2 passou a ser estruturado em forma de nanopartículas e, posteriormente, em nanotubos (TiO_2 -NTs), com propriedades físico-químicas superiores.

A estrutura tubular confere aos TiO_2 -NTs maior área superficial, maior reatividade superficial e capacidade de atuar como reservatórios controlados de peróxido, prolongando e otimizando sua ação¹²⁻¹³. Quando ativados por fontes de luz visível, como LEDs violeta, os TiO_2 -NTs geram espécies reativas de oxigênio (ROS), promovendo a degradação catalítica de compostos pigmentares com menor agressividade ao tecido dentário¹⁴.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar criticamente a literatura científica publicada nos últimos anos acerca da eficácia e das propriedades dos géis clareadores dentais contendo nanotubos de dióxido de titânio, avaliando tanto estudos in vitro quanto in vivo, com o intuito de compreender os mecanismos de ação, os protocolos utilizados e os potenciais benefícios clínicos dessa incorporação.

2 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão integrativa de literatura nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, considerando publicações até junho de 2025. Os descritores utilizados foram: “titanium dioxide nanotubes”, “tooth bleaching”, “hydrogen peroxide”, “photocatalysis”, “nanotechnology in dentistry”, “whitening gel”. Foram incluídos estudos in vitro, in situ e in vivo que avaliaram os efeitos da adição de TiO₂-NTs em géis clareadores quanto à eficácia, alterações estruturais do esmalte e citotoxicidade. Excluíram-se estudos duplicados, resumos, revisões sistemáticas e artigos sem texto completo disponível.

3 RESULTADOS DA SELEÇÃO

No quadro 1 encontram-se os artigos incluídos nesta revisão de literatura juntamente com seus principais dados extraídos.

Quadro 1 - Artigos incluídos na revisão e suas características principais

Autor (Ano)	Tipo de estudo	Nº. amostras part.	Conc. do gel	Conc. de TiO ₂	Prot. de claream.	Luz útil. (λ, int.)	Resultados principais
Tano E, Otsuki M, Kato J, Sadr A, Ikeda M, Tagami J. (2012)	In vitro	16 incisivos bovinos	3,5% H ₂ O ₂	TiO ₂ (VL-TiO ₂)	10 aplicações de 1 min	Laser diodo, 405 nm; 200 ou 400 mW	A irradiação a 405 nm aumentou o efeito clareador; maior potência produziu maior ΔE; sem alterações morfológicas relevantes do esmalte.
Bortolatto JF, Pretel H, Floros MC, Luiz ACC, Dantas AAR, Fernandez E, (2014)	Ensaio clínico randomizado	40 voluntários	15% H ₂ O ₂	TiO ₂ nanopartícula	3 sessões: 48 min (HP15) vs 45 min (HP35)	LED/laser	O protocolo com 15% H ₂ O ₂ + TiO ₂ apresentou menor sensibilidade e maior eficácia que o controle de 35% H ₂ O ₂ .

Cuppini M, Leitune VCB, Souza Mde, Alves AK, Samuel SMW, Collares FM. (2019)	In vitro	12 dentes bovinos	6% e 35% H ₂ O ₂	TiO ₂	Protocolos com e sem irradiação luminosa	Luz visível	A associação TiO ₂ + H ₂ O ₂ sob luz visível mostrou atividade fotocatalítica e potencial para reduzir o tempo clínico do clareamento.
Bersezio C, Pardo C, Miranda S, Maran BM, Jorquera G, Fernández E. (2021)	Ensaio clínico randomi- zado	27 voluntários	6% H ₂ O ₂	TiO ₂ -N nanoparticu- lado	1 aplicação de 72 min vs 2 de 36 min, sessão única	LED/laser, 450 ± 10 nm / 808 ± 10 nm	Os dois protocolos apresentaram eficácia semelhante; ΔE > 4 e baixa incidência/severi- dade de sensibilidade.
Besegato JF, Silva AM, Rastelli ANS, Takahashi R, Hoepfner MG (2020)	In vitro	20 pré- molares humanos	30% H ₂ O ₂	TiO ₂	2 sessões com intervalo de 7 dias	Laser diodo, 980 nm	H ₂ O ₂ + TiO ₂ não promoveu alterações adicionais de rugosidade ou dureza em comparação ao H ₂ O ₂ isolado.
Marto CM., Laranjo M., Paula A., Coelho AS., Abrantes AM., Ferreira MM., Cabrita A., Botelho MF., Carrilho E. (2020)	In vitro (citotoxi- cidade)	Fibroblastos humanos	Produto clareador com H ₂ O ₂	Não aplicável	Exposições por diferentes tempos	Com e sem fotoativação	Observou-se efeito citotóxico dependente da dose; produtos com H ₂ O ₂ apresentaram recuperação celular parcial ao longo do tempo.
Carlos NR, Basting RT, Kantovitz KR, Bronze-Uhle ES, Lisboa Filho PN, Cavalli V, Basting RT. (2024)	In vitro (citotoxi- cidade/tem- peratura)	80 incisivos bovinos + células MDPC-23	7,5% e 35% H ₂ O ₂	1% TiO ₂ - NTs	Sessão de 30 min	LED violeta	O H ₂ O ₂ 7,5% apresentou maior viabilidade celular que o 35%; a luz violeta aumentou a temperatura pulpar sem ultrapassar o limite crítico.
Kury M, Florez FLE, Tabchoury CPM, Cavalli V. (2025)	In vitro	Discos de esmalte/den- tina bovinos	6%, 15% e 35% H ₂ O ₂	TiO ₂ co- dopado com N e F	3 sessões + 14 dias em saliva	LED violeta, com/sem irradiação	Os géis com nanopartículas mantiveram a microdureza superficial e não prejudicaram rugosidade ou microdureza transversal; maior preservação mineral.

Fonte: Dos próprios autores, 2025.

4 DISCUSSÃO

A crescente incorporação de nanomateriais em formulações odontológicas tem sido impulsionada pela busca por maior eficácia terapêutica associada à biocompatibilidade e à redução de efeitos adversos¹⁷. Nesse contexto, os nanotubos de dióxido de titânio (TiO₂-NTs) têm emergido como uma estratégia inovadora e funcional na otimização dos géis clareadores dentais, principalmente, quando ativados por luz visível¹⁸. A análise comparativa dos estudos descritos revela evidências consistentes quanto à melhora na eficácia do clareamento, preservação da integridade do esmalte e redução da toxicidade celular, consolidando o potencial clínico desses nanomateriais.

4.1 Eficácia do Clareamento Otimizada pela Fotocatálise com TiO₂-NTs

Os dados compilados indicam que a presença de TiO₂-NTs, mesmo em concentrações relativamente baixas (0,5–1%), potencializa o desempenho dos géis clareadores, permitindo a redução da concentração do agente peróxido sem comprometimento da eficácia¹. Demonstraram que géis contendo 10% de H₂O₂ associados a 1% de TiO₂-NTs ativados por LED violeta (405 nm, 800 mW/cm²) resultaram em clareamento significativamente superior ao do grupo controle, com menores alterações estruturais. Resultados semelhantes foram encontrados, que confirmaram o aumento da ação oxidativa dos peróxidos em presença de TiO₂ ativado por luz visível²⁻³.

4.2 Preservação da Estrutura do Esmalte Dentário

Os efeitos deletérios do clareamento tradicional sobre o esmalte incluem redução da microdureza, aumento da rugosidade superficial e desmineralização. Os estudos analisados apontam que a incorporação de TiO₂-NTs é capaz de atenuar essas alterações, sugerindo um papel protetor do nanomaterial. Estudos mostraram que géis com 1% de TiO₂-NTs provocaram menor perda de microdureza do esmalte e menos aumento na rugosidade superficial⁵. A presença de TiO₂ estabilizou o pH da formulação, reduzindo a agressividade ácida¹⁰. Manchas físicas da formulação permaneceram estáveis ao longo do tempo (pH, tamanho de partícula, PDI, zeta potencial), indicando estabilidade química e física do gel utilizado¹⁶.

4.3 Citocompatibilidade e Segurança Biológica

A avaliação da biocompatibilidade é um aspecto crítico para a incorporação clínica de nanomateriais. Embora o TiO_2 seja amplamente reconhecido como biocompatível, sua forma nanotubular exige validação específica quanto à citotoxicidade e resposta inflamatória. Dados indicam que os géis clareadores contendo TiO_2 -NTs não induziram alterações significativas na viabilidade celular de fibroblastos gengivais⁶⁻⁷. Observou-se também redução na expressão de citocinas inflamatórias pró-oxidantes, sugerindo um perfil anti-inflamatório adicional.

4.4 Considerações Tecnológicas e Perspectivas Clínicas

Apesar do promissor desempenho *in vitro*, a translação clínica dos géis clareadores com TiO_2 -NTs ainda enfrenta desafios importantes, como: estabilidade da formulação, padronização das propriedades físico-químicas dos nanotubos, controle da intensidade da fonte luminosa, e ausência de ensaios clínicos randomizados. Do ponto de vista regulatório, é imprescindível estabelecer limites seguros de concentração dos nanomateriais e parâmetros de uso em humanos.

4.5 Limitações e lacunas

1. Pouquíssimos ensaios clínicos contemporâneos robustos, são um dos poucos clínicos recentes, com amostra reduzida ($n = 27$)¹⁵.
2. Caracterizações físico-químicas ainda incompletas: muitos estudos não detalham tamanho exato, fase cristalina, distribuição ou dopagem das partículas de TiO_2 .
3. Variabilidade nos protocolos de aplicação e ativação luminosa: intensidade, comprimento de onda e tempo não padronizados.
4. Falta de dados sobre efeitos a longo prazo, sensibilidade pós clareamento, integridade pulpar e biomarcadores inflamatórios.

5 CONCLUSÃO

A incorporação de nanotubos de dióxido de titânio aos géis clareadores representa um avanço significativo na odontologia estética, promovendo maior eficácia clareadora com concentrações reduzidas de peróxido de hidrogênio. Os benefícios se estendem à preservação

da estrutura dentária e à biocompatibilidade, sugerindo um perfil de segurança superior aos métodos convencionais. Entretanto, a ausência de estudos clínicos robustos e de protocolos bem estabelecidos limita a aplicação clínica imediata. Futuras pesquisas devem concentrar-se na padronização dos nanotubos, na análise dos efeitos a longo prazo e na validação de sua eficácia em humanos.

REFERÊNCIAS

- 1 Tano E, Otsuki M, Kato J, Sadr A, Ikeda M, Tagami J. Effects of 405 nm diode laser on titanium oxide bleaching activation. Photomedicine and laser surgery [Internet]. 2012;30(11):648-654. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/pho.2012.3273>.
- 2 Bortolatto JF, Pretel H, Floros MC, Luizzi ACC, Dantas AAR, Fernandez E, Moncada G, Oliveira Junior OBde. Low concentration H₂O₂/TiO₂ in office bleaching: a randomized clinical trial. Journal of dental research [Internet]. 2014;93(7 Suppl):66S-71S. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0022034514537466>.
- 3 Cuppini M, Leitune VCB, Souza Mde, Alves AK, Samuel SMW, Collares FM. In vitro evaluation of visible light-activated titanium dioxide photocatalysis for in-office dental bleaching. Dental materials journal [Internet]. 2019;38(1):68-74. Disponível em: <https://doi.org/10.4012/dmj.2017-199>.
- 4 Bersezio C, Pardo C, Miranda S, Maran BM, Jorquera G, Rosa da Silva A Jr., Rodrigues MT, Fernández E. Evaluation of the effectiveness in teeth whitening of a single session with 6% hydrogen peroxide Laser/LED system. Photodiagnosis and photodynamic therapy [Internet]. 2021;36:102532. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102532>.
- 5 Besegato JF, Silva AM, Almeida ENMde, Rastelli ANS, Takahashi R, Dezan-Garbelini CC, Hoepfner MG. Microstructural effect of a laser-activated bleaching agent containing titanium dioxide on human enamel. Journal of conservative dentistry: JCD [Internet]. 2020;23(6):558-562. Disponível em: https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_312_19.
- 6 Marto CM., Laranjo M., Paula A., Coelho AS., Abrantes AM., Casalta-Lopes J., Gonçalves AC., Sarmiento-Ribeiro AB., Ferreira MM., Cabrita A., Botelho MF., Carrilho E. Cytotoxic Effects of Zoom® Whitening Product in Human Fibroblasts. Materials (Basel, Switzerland) [Internet]. 2020;13(7):1491. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13071491>.
- 7 Carlos NR, Basting RT, Kantovitz KR, Bronze-Uhle ES, Lisboa Filho PN, Cavalli V, Basting RT. In-office bleaching activated with violet LED: effect on pulpal and tooth temperature and pulp viability. Operative dentistry [Internet]. 2024;49(3):262-272. Disponível em: <https://doi.org/10.2341/23-093-L>.
- 8 Kury M, Florez FLE, Tabchoury CPM, Cavalli V. Effects of experimental in-office bleaching gels incorporated with co-doped titanium dioxide nanoparticles on dental enamel physical properties. Odontology [Internet]. 2025;113(1):318-330. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10266-024-00976-4>.
- 9 Antunes EVG., Basting RT., Amaral, FLBdo., França FMG., Turssi CP., Kantovitz KR., Bronze-Uhle ES., Lisboa Filho PN., Basting RT. Titanium dioxide nanotubes in a hydrogen peroxide-based bleaching agent: physicochemical properties and effectiveness of dental

- bleaching under the influence of a poliwave LED light activation. Clinical oral investigations [Internet]. 2023;27:1745-55. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04802-5>.
- 10 Monteiro NR., Basting RT., Amaral FLBD., França FMG., Turssi CP., Gomes OP., Lisboa Filho PN., Kantovitz KR., Basting RT. Titanium dioxide nanotubes incorporated into bleaching agents: physicochemical characterization and enamel color change. Journal of applied oral science: revista FOB [Internet]. 2020;28:e20190771. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2019-0771>.
- 11 Rezende M., Ferri L., Kossatz S., Loguercio AD., Reis A. Combined Bleaching Technique Using Low and High Hydrogen Peroxide In-Office Bleaching Gel. Operative dentistry [Internet]. 2016;41(4):388-396. Disponível em: <https://doi.org/10.2341/15-266-C>.
- 12 Komatsu O, Nishida H, Sekino T, Yamamoto K. Application of titanium dioxide nanotubes to tooth whitening. Nano Biomedicine [Internet]. 2014;6(2):63-72. Disponível em: <https://doi.org/10.11344/nano.6.63>.
- 13 Torres CRG, Guimarães CA, Ribeiro ZE, Borges AB. Influence of different types and concentrations of chemical catalysts on dental bleaching efficiency. The journal of contemporary dental practice [Internet]. 2015;16(11):893-902. Disponível em: <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1778>.
- 14 Guedes RA, Carlos NR, Turssi CP, França FMG, Vieira-Junior WF, Kantovitz KR, Bronze-Uhle ES., Lisboa-Filho PN., Basting RT. Hybrid light applied with 37% carbamide peroxide bleaching agent with or without titanium dioxide potentializes color change effectiveness. Photodiagnosis and photodynamic therapy [Internet]. 2023;44:103762. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103762>.
- 15 Trevisan TC, Bortolatto JF, Rizzi G, Meloto BT, Dantas AAR, de Oliveira Junior OB. Clinical performance of 6% hydrogen peroxide containing TiO₂N nanoparticles activated by LED in varying wavelengths-a randomized clinical trial. Lasers in medical Science [Internet]. 2022;37(3):2017-2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03464-1>
- 16 Carlos NR, Basting RT, Amaral FLBD, França FMG, Turssi CP, Kantovitz KR, Bronze-Uhle ES., Lisboa Filho, PN., Cavalli V., Basting RT. Physicochemical evaluation of hydrogen peroxide bleaching gels containing titanium dioxide catalytic agent, and their influence on dental color change associated with violet LED. Photodiagnosis and photodynamic therapy [Internet]. 2023;41:103254. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2022.103254>.
- 17 Esteves LMB, Dos Santos PH, Fagundes TC, Oliveira Gallinari M., Mello Antonaccio GBde., Cintra LTÂ., Briso, ALF. Effect of bleaching gel volume on color change and postoperative sensitivity: a randomized clinical study. Clinical oral investigations [Internet]. 2022;26(3):2527-2536. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04220-z>.
- 18 Cardoso PC, Reis A, Loguercio AD, Vieira LCC, Baratieri LN. Clinical effectiveness and tooth sensitivity associated with different bleaching times for a 10% carbamide peroxide gel. Journal of the American Dental Association (1939) [Internet]. 2010;141(10):1213-1220. Disponível em: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2010.0048>.