



ÓXIDO DE GRAFENO E SEUS USOS NA ODONTOLOGIA: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

GRAPHENE OXIDE AND ITS USES IN DENTISTRY: INTEGRATIVE LITERATURE REVIEW

José Vitor Carneiro MOURA

Faculdade de Teologia, Filosofia e Ciências Humanas Gamaliel (FATEFIG)

E-mail: 6155209@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-6120-1513>

380

Fabiano de Paiva SALES

Faculdade de Teologia, Filosofia e Ciências Humanas Gamaliel (FATEFIG)

E-mail: fabiano.sales@faculdadegamaliel.com.br

ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-3677-6996>

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, as principais aplicações e potencialidades do óxido de grafeno na odontologia. O óxido de grafeno é um nanomaterial derivado do grafeno que apresenta propriedades notáveis, como alta resistência mecânica, condutividade elétrica e estabilidade térmica. Tais características permitem sua incorporação em materiais odontológicos, aprimorando suas propriedades físico-químicas e biológicas. Os estudos indicam que a adição do óxido de grafeno pode aumentar a durabilidade, melhorar a adesão e favorecer a regeneração tecidual. Contudo, são necessários novos estudos que confirmem sua biocompatibilidade e segurança clínica. Conclui-se que o óxido de grafeno representa um avanço tecnológico promissor para o desenvolvimento de materiais odontológicos de alta performance.

Palavras-chave: Óxido de grafeno. Odontology. Óxido de grafeno reduzido. Adesivo.

ABSTRACT

This study aims to analyze, through an integrative literature review, the main applications and potential of graphene oxide in dentistry. Graphene oxide is a nanomaterial derived from graphene that exhibits remarkable properties, such as high mechanical strength, electrical conductivity, and thermal stability. These

characteristics allow its incorporation into dental materials, improving their physicochemical and biological properties. Studies indicate that the addition of graphene oxide can increase durability, improve adhesion, and promote tissue regeneration. However, further studies are needed to confirm its biocompatibility and clinical safety. It is concluded that graphene oxide represents a promising technological advancement for the development of high-performance dental materials.

Keywords: Graphene oxide. Dentistry. Reduced graphene oxide. Adhesive.

381

INTRODUÇÃO

A ciência dos nanomateriais na odontologia vem se desenvolvendo rapidamente. O grafeno e seus derivados se destacam por suas excelentes propriedades mecânicas, alta condutividade e grande estabilidade térmica, tornando-se promissores para o desenvolvimento odontológico.

Nanopartículas de grafeno podem assumir uma variedade de formas. As duas formas mais comuns são folhas planas de grafeno e nanotubos de grafeno. As folhas planas de grafeno são simplesmente pequenos pedaços de uma única camada de uma folha de grafeno, enquanto os nanotubos de grafeno, também conhecidos simplesmente como nanotubos de carbono, consistem em folhas de grafeno enroladas. Um nanotubo de parede única consiste em uma única folha de grafeno enrolada, enquanto nanotubos de múltiplas paredes podem ser compostos por várias camadas de grafeno (Willians et al, 2023).

O grafeno tem dois derivados principais, o óxido de grafeno (GO) e o óxido de grafeno reduzido (rGO). O GO pode ser obtido por oxidação do grafite e o rGO pode ser sintetizado por redução do GO. O grafeno é usado para aumentar a resistência e as propriedades mecânicas de compósitos e nano compósitos e tem aplicações potenciais no diagnóstico de doenças, terapia e direcionamento do câncer, bioimagem e administração de medicamentos e genes. Além disso, o grafeno apresenta biocompatibilidade aprimorada em comparação com outras classes de nanoestruturas de carbono devido às suas características de superfície únicas (M. Tahriri, et al, 2019).

O grafeno é o material mais fino e resistente que existe, ele é composto principalmente por folhas bidimensionais com menos de 10nm(nanômetro) de espessura. Essas folhas são formadas por átomos de carbono hibridizados que são ligados em uma estrutura semelhante a um favo de mel. O grafeno é composto por átomos de carbono hibridizados sp₂ dispostos em uma estrutura hexagonal, e a estrutura do grafeno é composta de anéis de seis membros empilhados em formato paralelo, sem grupos químicos na superfície do grafeno (B Huang, et al. 2015).

A toxicidade do grafeno é baseada em características físicas e químicas incluindo o número de camadas, grupos funcionais químicos, densidade de carga superficial e outros fatores. Existem muitos relatos sobre biocompatibilidade e toxicidade de nanoestruturas à base de grafeno, mas ainda não foram discutidas de forma abrangente. A escolha dos correta dos materiais odontológicos tem impacto direto no sucesso do tratamento, nesta revisão de literatura serão analisadas as propriedades químicas do grafeno e os benefícios do seu uso na odontologia moderna.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo revisão integrativa da literatura, que tem como objetivo reunir e analisar criticamente produções científicas relacionadas ao tema “Óxido de grafeno e seus usos na odontologia”. O estudo incluiu consultas nas seguintes bases: PUBMED, SCIELO e Google Scholar.

Os descritores utilizados para a busca dos artigos analisados foram “Graphene”, “Graphene oxide”, “Reduced graphene oxide”, “Dental”, “Odontology”. Utilizando os descritores e operadores booleanos foram selecionados artigos para o desenvolvimento do artigo, a seleção criteriosa desses descritores permitiu uma busca focalizada, buscando estudos relevantes ao tema para contribuir para uma significativa evolução do tema.

Foram encontrados cerca de 2.200 artigos, em sua maioria recentes dos anos 2018 à 2024, sendo selecionados os artigos mais recentes e relevantes ao tema proposto para aprofundamento e análise mais atualizada.

REVISÃO DA LITERATURA

A nanotecnologia pode ser definida como uma tecnologia que lida com pequenas estruturas ou materiais de tamanho reduzido. Nanoestruturas ou materiais de tamanho nanométrico podem ser criados por duas estratégias diferentes. A estratégia de cima para baixo normalmente começa com um material em massa muito maior que "nano" e, em seguida, usa forças aplicadas externamente mecânicas ou outras para quebrar o material, por exemplo, em nanopartículas (Klaus D Jandt *et al*, 2020).

A principal aplicação de nanopartículas na odontologia é seu uso como cargas em nanocompósitos. Ao projetar um novo material composto à base de partículas, a regra das misturas simples nos permite prever o módulo de Young (medida de rigidez de um sólido) ou a resistência do material.

Os principais materiais odontológicos que podem ser reforçados exclusivamente com nanopartículas são certas formulações de adesivos odontológicos. Virtualmente todos os "nanocompósitos" restauradores são, na verdade, "nano-híbridos" que contêm frações volumétricas muito maiores de partículas submicrométricas ou micrométricas não nano. Do ponto de vista da compactação, as nanopartículas em combinação com partículas maiores permitem uma densidade de compactação teórica mais alta. Isso não é relevante apenas para compósitos odontológicos, mas também para cerâmicas odontológicas, onde ajuda a criar materiais densos e resistentes com menos defeitos (Klaus D Jandt *et al*, 2020).

Síntese e Estrutura do Grafeno e seus Derivados

Xiaojing Li *et al* (2022), descreve O óxido de grafeno (GO) e o óxido de grafeno reduzido (rGO) como os dois principais derivados do grafeno. O grafeno e seus derivados possuem estruturas semelhantes, mas diferentes grupos funcionais, o que pode levar a diferenças nas propriedades físicas e químicas. Nesta seção, serão discutidas a síntese e a estrutura do grafeno e seus derivados.

O grafeno obtido por esfoliação mecânica apresenta alta pureza e baixo teor de defeitos, porém o rendimento é muito baixo. Para aumentar o rendimento de grafeno, muitos métodos de síntese foram desenvolvidos. Existem duas principais abordagens de síntese: a abordagem de cima para baixo e a abordagem de baixo para

cima (Liao *et al*, 2018). Por um lado, a abordagem de baixo para cima inclui a síntese direta do grafeno a partir de materiais de carbono, como métodos de deposição química de vapor (CVD), grafitização de substratos contendo carbono por recozimento em alta temperatura, deposição em fase sólida (Guo *et al*, 2009; Xiao *et al*, 2011). Por outro lado, a abordagem de cima para baixo envolve clivagem micromecânica, esfoliação química de GO seguida de tratamento de redução e esfoliação em fase líquida.

Entre as principais formas de sintetização temos, exfoliação mecânica sendo realizada a primeira vez com uma fita adesiva de cristais de grafite, em seguida a fita foi tratada com solventes específicos e, então, o grafeno foi dissolvido e coletado. A exfoliação em fase líquida, é feita com em uma suspensão de grafite preparada em um solvente orgânico para enfraquecer as forças entre as camadas de grafite, em seguida, sendo esfoliada em folhas de grafeno por ultrassom a uma determinada voltagem, após é centrifugada em grandes quantidades de grafeno mono e em multicamadas.

Deposição química de vapor uma das abordagens de maior sucesso, tem sido amplamente realizada, quanto a síntese, metano, etano ou propano são pirolisados em alta temperatura para formar carbono sobre folhas metálicas. Em seguida, o filme de grafeno é formado a partir de átomos de carbono livres (Liao *et al*, 2018). Esfoliação Química, utilizando inicialmente a técnica de Hummers, em agitação ou ultrassom do grafite com ácido sulfúrico, nitrato de sódio e permanganato de potássio em água, mantido a 1000°C, resultando no rGO (Óxido de grafeno reduzido).

As células-tronco da polpa dentária são comumente utilizadas para testar a biocompatibilidade, a diferenciação celular e a proliferação de materiais com grafeno incorporado, utilizando o método de deposição química de vapor para aplicações odontológicas. As DPSCs possuem um potencial de diferenciação multilinagem que lhes permite diferenciar-se em odontoblastos, que auxiliam na regeneração da dentina dentária, ou em osteoblastos, que formam a matriz óssea no dente (Sabbagh *et al*, 2020).

Aplicações do Óxido de Grafeno em Materiais Odontológicos

Em um estudo realizado por Doina Prodan *et al*, (2024), foram analisadas as vantagens do uso do óxido de grafeno em resina composta, o estudo demonstrou que

mesmo em quantidades pequenas o acréscimo de grafeno melhorou significativamente as propriedades da resina.

Dados da literatura mostram que a adição de pó de GO funcionalizado com silano torna a adesão e as propriedades mecânicas dos compósitos de resina mais fortes devido à presença de grupos hidroxila e epóxi no plano basal e grupos carbonila e carboxila na borda das folhas de GO, os quais são capazes de formar ligações covalentes com a matriz de resina. Assim, as folhas de GO sinalizado podem fornecer uma camada elástica capaz de absorver choques e distribuir o estresse de forma mais uniforme por todo o material, melhorando sua rigidez (Medeiros *et al.* 2020).

O grafeno possui efeito antibacteriano, Doina Prodan *et al.* (2024), afirma que isso se dá devido os efeitos antibacterianos podem ser devidos às bordas com cantos afiados das folhas de grafeno, que podem causar danos à parede da membrana celular quando em contato com bactérias. Ao mesmo tempo, o grafeno também pode atuar como um acceptor de elétrons, sendo capaz de extrair elétrons da membrana bacteriana e comprometer sua integridade. Estudos realizados por Jang *et al.* (2021) demonstram alta redução de atividade bacteriana, o estudo foi feito em um depósito de óxido de grafeno em zircônia, Além do efeito antibacteriano, o GO depositado diretamente na zircônia também aumentou a atividade celular, o que foi eficaz na adesão, proliferação e diferenciação óssea. Outro mecanismo antibacteriano do Óxido de grafeno envolve a dispersabilidade e a capacidade de aprisionamento de seus grupos funcionais contendo oxigênio (Rayannavar *et al.*, 2017).

Pesquisas realizadas com adicionais de óxido de grafeno em sistemas adesivos demonstram grande potencial, por ser extremamente leve o grafeno têm um peso que gira em torno de menos de 1% ao adesivo, Renata Pereira *et al.* (2024) concluiu que ao modificar o grafeno com L-DOPA, as propriedades do grafeno e, consequentemente, as propriedades dos adesivos por ele incorporados, foram, em geral, melhoradas.

Um total de 0,75% em peso incorporado ao adesivo dental manteve a resistência de união e o módulo de elasticidade semelhantes aos do grupo controle, enquanto melhorou a atividade antibacteriana e diminuiu a citotoxicidade, a resistência à flexão, a sorção de água e a solubilidade. Os resultados aqui

apresentados indicam que o grafeno modificado com DOPA representa um composto promissor a ser adicionado em adesivos dentais.

Achados sugerem uma adesão aprimorada ao periósteo. Notavelmente, pesquisas demonstraram que o revestimento de óxido de grafeno reduzido, quando combinado com fatores de crescimento concentrados, facilita a diferenciação dos implantes em osteoblastos. Esse reconhecimento destaca seu potencial como um material revolucionário para alterar implantes dentários e atuar como uma estrutura de base para a regeneração do tecido ósseo.

Shin *et al.* e Kwak *et al.* Sugeriram que o aumento da concentração de óxido de grafeno reduzido nas superfícies de implantes de titânio leva a superfícies mais rugosas, capazes de absorver proteínas, promovendo assim a proliferação celular e a diferenciação osteogênica.

Autores, como M. Tahriri, *et al* e Xiaojing, *et al*, concordam em que até o momento, não há consenso sobre a citotoxicidade e os riscos potenciais de materiais à base de grafeno, de acordo com diversos estudos. O que se concorda é que o primeiro passo essencial é considerar a biocompatibilidade do material.

Os antibióticos têm sido usados para controlar a formação de biofilmes, enquanto enfrentam um sério problema de resistência a antibióticos, devido ao uso abusivo desses medicamentos. Muitos novos métodos para inibir a formação de biofilmes foram explorados. O efeito antibacteriano de materiais à base de grafeno foi descoberto pela primeira vez por Hu et al. Em concordância com essa afirmação M. Tahriri, *et al*, afirma que o efeito antibacteriano geral resulta da capacidade do grafeno de danificar fisicamente os microrganismos penetrando e cortando a membrana celular.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conclui-se que apesar do grande número de estudos sobre o grande potencial do óxido de grafeno, este campo ainda é recente alguns desafios a longo prazo precisam ser explorados para que possamos utilizar com sucesso essa inovação odontológica.

Além disso, estudos recentes têm demonstrado que o óxido de grafeno pode atuar como um potencial reforçador mecânico e funcional em materiais odontológicos,

especialmente devido à sua elevada área superficial, capacidade de interação com macromoléculas e propriedades antibacterianas intrínsecas. Segundo Williams et al. (2023), a incorporação de derivados de grafeno em compósitos e biomateriais não apenas melhora as características mecânicas e adesivas, mas também contribui para a redução significativa da proliferação bacteriana, tornando esses materiais particularmente promissores para aplicações clínicas futuras. Esses achados reforçam que o avanço tecnológico baseado no grafeno depende diretamente da continuidade de pesquisas que explorem suas interações biológicas, desempenho clínico e segurança em longo prazo.

Sindi et al, afirma que é importante determinar a biocompatibilidade do óxido de grafeno (GO) ao considerar aplicações biomédicas. Pesquisadores continuam investigando o impacto do GO em sistemas biológicos e desenvolvendo novas estratégias para torná-lo mais seguro e eficaz. A biocompatibilidade do material de grafeno depende muito de seu tamanho, forma, grau de oxidação, estado particulado, funcionalização da superfície, número de camadas, método de preparação e contexto biológico em que o GO é utilizado.

Um dos desafios do grafeno e seus derivados em casos clínicos é o entendimento da toxicidade a longo prazo e aos mecanismos de toxicidade *in vivo*. A potencial toxicidade do grafeno e seus derivados em sistemas biológicos tem sido estudada recentemente. Há relatos onde a pureza do grafeno durante processos de funcionalização deve ser rigorosa, pois o nível de pureza do grafeno e suas propriedades físico-químicas influenciam diretamente na toxicidade.

Em outras palavras, os perfis de toxicidade *in vitro* e *in vivo*, biocompatibilidade e a biodegradabilidade do grafeno e seus derivados devem ser considerados para o desenvolvimento de perfis de liberação *in vivo* adequados e distribuição de fármacos, seguidos pela busca de processos exatos de modificação química do grafeno e seus derivados para penetração na barreira da membrana celular e liberação intracelular para administração de fármacos.

Em conjunto, dois dos principais desafios na aplicação do grafeno e seus derivados são os parâmetros de produção e sua toxicidade *in vivo*, que precisam ser avaliados com precisão.

Analizar a degradação enzimática do grafeno é essencial para entender se há algum microrganismo capaz de degradar o grafeno, considerando isso a resistência

desses materiais será reduzida notavelmente. Esses estudos são necessários para examinar a natureza do produto, considerando uma enzima, é necessário descobrir os seus efeitos na saúde.

CONCLUSÃO

A presente revisão permitiu identificar que o óxido de grafeno se destaca como um dos nanomateriais mais promissores na odontologia, em compósitos, cimentos, adesivos, biomateriais regenerativos e revestimentos com ação antimicrobiana suas propriedades se tornam excelentes para desenvolvimento tecnológico.

Estudos demonstraram que o óxido de grafeno pode melhorar significativamente o desempenho de materiais odontológicos, com maior durabilidade, melhor adesão, regeneração tecidual e ação antibacteriana. Porém, ainda há limitações quanto a padronização dos métodos de síntese e avaliações biológicas.

Além disso, a versatilidade estrutural do óxido de grafeno permite sua combinação com diversas matrizes poliméricas e cerâmicas, ampliando ainda mais seu campo de aplicação. Essa capacidade de modificação química favorece o desenvolvimento de materiais personalizados, que podem ser ajustados conforme as necessidades clínicas específicas, como maior resistência mecânica, maior estabilidade térmica ou propriedades antimicrobianas reforçadas. Essa adaptabilidade abre espaço para inovações na área restauradora, endodôntica e protética, tornando o óxido de grafeno um candidato estratégico na evolução dos biomateriais odontológicos.

São necessárias mais pesquisas *in vitro*, e ensaios clínicos de longo prazo que confirmem sua segurança, eficácia e biocompatibilidade. Avançar nos estudos pode significativamente contribuir para aprimorar o uso dessas novas tecnologias em materiais odontológicos com melhor desempenho e busca para o melhor tratamento ao paciente. Apesar o óxido de grafeno se apresentar um grande potencial ao uso odontológico, pesquisas *in vitro* e *in vivo* são necessárias.

REFERÊNCIAS

HUANG, B. et al. Preparation and characterisation of graphene. **Journal of Materials Science**, v. 19, sup. 9, p. S9-344-S9-350, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/1432891715Z.0000000002010>. Acesso em: 28-nov-2025.

JANDT, K. D.; WATTS, D. C. Nanotechnology in dentistry: present and future perspectives on dental nanomaterials. **Dental Materials**, v. 36, n. 11, p. 1365–1378, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7516471/>. Acesso em: 28-nov-2025.

JANG, W. et al. Direct-deposited graphene oxide on dental implants for antimicrobial activities and osteogenesis. **International Journal of Nanomedicine**, v. 16, p. 5745–5754, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8404087/>. Acesso em: 28-nov-2025.

KWAK, J. et al. Graphene oxide as a biocompatible and osteoinductive agent to promote implant osseointegration in a rabbit tibia model. **Advanced Materials Interfaces**, v. 9, p. 2201116, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364172054_Graphene_Oxide_as_a_Biocompatible_and_Osteoinductive_Agent_to_Promote_Implant_Osseointegration_in_a_Rabbit_Tibia_Model. Acesso em: 28-nov-2025.

LI, X. et al. Graphene-based nanomaterials for dental applications: principles, current advances, and future outlook. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, p. 804201, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8961302/>. Acesso em: 28-nov-2025.

LIAO, C.; LI, Y.; TJONG, S. C. Graphene-based nanomaterials for biomedical applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 11, p. 3564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms19113564>. Acesso em: 28-nov-2025.

MEDEIROS, A. M. Z. de; CÔA, F.; ALVES, O. L.; MARTINEZ, D. S. T.; BARBIERI, E. Metabolic effects in the freshwater fish *Geophagus iporangensis* in response to single and combined exposure to graphene oxide and trace elements. **Chemosphere**, v. 243, p. 125316, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125316>. Acesso em: 28-nov-2025.

PEREIRA, R. et al. Properties of a dental adhesive containing graphene and DOPA-modified graphene. **Polymers**, v. 16, n. 14, p. 2081, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/14/2081>. Acesso em: 28-nov-2025.

PRODAN, D. et al. Advanced dentistry biomaterials containing graphene oxide. **Polymers**, v. 16, n. 12, p. 1743, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/12/1743>. Acesso em: 28-nov-2025.

RAYANNAVAR, S. et al. Osseointegrative and antimicrobial properties of graphene oxide nano coated dental implants: a systematic review. **F1000Research**, v. 13, p. 281, 2024. Disponível em: <https://PMC11325139/>. Acesso em: 28-nov-2025. Acesso em: 28-nov-2025.

SABBAGH, J. et al. Differences in osteogenic and odontogenic differentiation potential of DPSCs and SHED. **Journal of Dentistry**, v. 101, p. 103413, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103413>. Acesso em: 28-nov-2025.

SHIN, S. R. et al. Graphene-based materials for tissue engineering. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 105, pt. B, p. 255–274, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X1630093X>. Acesso em: 28-nov-2025.

SINDI, A. M. Applications of graphene oxide and reduced graphene oxide in advanced dental materials and therapies. **Journal of Taibah University Medical Sciences**, v. 19, n. 2, p. 403–421, 2024. Disponível em: <https://PMC10885788/>. Acesso em: 28-nov-2025.

TAHRIRI, M. et al. Graphene and its derivatives: opportunities and challenges in dentistry. **Materials Science and Engineering C**, v. 102, p. 171–185, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493119302097>. Acesso em: 28-nov-2025.

WILLIAMS, A. G. et al. Graphene-based materials in dental applications: antibacterial, biocompatible, and bone regenerative properties. **International Journal of Biomaterials**, v. 2023, p. 8803283, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/share/SD3SBNFHEGENAWTZCNNF?target=10.1155/2023/8803283>. Acesso em: 28-nov-2025.

XIAO, J. et al. Electrochemically induced high capacity displacement reaction of PEO/MoS₂/graphene nanocomposites with lithium. **Advanced Functional Materials**, v. 21, p. 2840–2846, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adfm.201002752>. Acesso em: 28-nov-2025.