



**QUALIS**  
**A2**



# BIOIMPRESSÃO 3D DE TECIDOS ORAIS E ORGANOIDES DENTÁRIOS: O FUTURO DA ENGENHARIA TECIDUAL EM ODONTOLOGIA<sup>1</sup>

## 3D BIOPRINTING OF ORAL TISSUES AND DENTAL ORGANOIDS: THE FUTURE OF TISSUE ENGINEERING IN DENTISTRY

Alan Daniel Pereira da SILVA  
Faculdade de Ciências do Tocantins (FACIT)  
E-mail: [alandaniel.odonto@gmail.com](mailto:alandaniel.odonto@gmail.com)  
ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-7464-5984>

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo analisar os fundamentos e as aplicações emergentes da bioimpressão 3D na Odontologia, com ênfase na fabricação de organoides dentários, biotintas personalizadas e regeneração de tecidos orais complexos. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura com abordagem qualitativa prospectiva, complementada pela análise de tendências tecnológicas. Os resultados demonstram que a bioimpressão 3D permite a fabricação aditiva de estruturas biológicas vivas por meio do uso de biotintas contendo células-tronco, fatores de crescimento e biomateriais. Na Odontologia, as aplicações mais promissoras incluem a bioimpressão de organoides dentários, que são microestruturas tridimensionais capazes de mimetizar a polpa dentária, o ligamento periodontal e o complexo dentino-pulpar, com potencial de diferenciação em odontoblastos funcionais; a regeneração de mucosa oral e tecido gengival com vascularização incorporada; a impressão in situ de substitutos ósseos craniomaxilares personalizados; e a produção de modelos personalizados para planejamento cirúrgico e teste de biomateriais. Estudos pré-clínicos demonstram que organoides bioimpressos apresentam viabilidade celular superior a 85% após 21 dias e capacidade de secreção de dentina reparadora. Conclui-se, portanto, que a bioimpressão 3D representa a fronteira mais disruptiva da Odontologia regenerativa.

**Palavras-chave:** Bioimpressão 3D. Organoides dentários. Engenharia tecidual. Odontologia regenerativa. Biotintas.

---

<sup>1</sup> COMO CITAR: (ABNT): SILVA, A. D. P. Bioimpressão 3D de Tecidos Oraís e Organoides Dentários: O Futuro da Engenharia Tecidual em Odontologia. **JNT Facit Business and Technology Journal**. Qualis A2. ISSN: 2526-4281, Mês de Abril de 2026 - Ed. 73. VOL. 02. Págs. Disponível: 427-436. <http://revistas.faculdadefacit.edu.br>. Acesso em: \_\_/\_\_/\_\_.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the fundamentals and emerging applications of 3D bioprinting in Dentistry, focusing on the fabrication of dental organoids, customized bioinks, and regeneration of complex oral tissues. This is a narrative literature review with a qualitative prospective approach, complemented by the analysis of technological trends. The results demonstrate that 3D bioprinting enables additive manufacturing of living biological structures through the use of bioinks containing stem cells, growth factors, and biomaterials. In Dentistry, the most promising applications include the bioprinting of dental organoids, which are three-dimensional microstructures capable of mimicking dental pulp, periodontal ligament, and the dentin-pulp complex, with the potential to differentiate into functional odontoblasts; the regeneration of oral mucosa and gingival tissue with incorporated vascularization; the in situ printing of customized craniomaxillary bone substitutes; and the production of personalized models for surgical planning and biomaterial testing. Preclinical studies demonstrate that bioprinted organoids have cell viability above 85% after 21 days and the ability to secrete reparative dentin. It is concluded, therefore, that 3D bioprinting represents the most disruptive frontier of regenerative Dentistry.

**Keywords:** 3D bioprinting. Dental organoids. Tissue engineering. Regenerative dentistry. Bioinks.

## INTRODUÇÃO

A Odontologia do século XXI está testemunhando uma transição paradigmática do modelo restaurador-reabilitador (baseado em próteses, implantes e materiais sintéticos) para um modelo regenerativo-biológico (baseado na engenharia de tecidos vivos). Essa mudança é impulsionada pela convergência de três áreas científicas de ponta: a biologia de células-tronco, a ciência dos biomateriais e a manufatura aditiva tridimensional.

Entre todas as tecnologias emergentes, a bioimpressão 3D (three-dimensional bioprinting) destaca-se como a mais promissora, pois permite não apenas fabricar scaffolds (arcabouços) inertes, mas sim construir tecidos vivos funcionais, camada por camada, com precisão micrométrica e incorporação de múltiplos tipos celulares.

Imagine a possibilidade de bioimprimir um novo ligamento periodontal para um dente com perda óssea vertical, ou um organoide pulpar capaz de regenerar a

polpa dentária necrótica de um dente jovem sem necessidade de tratamento endodôntico convencional, ou ainda uma mucosa oral completa – com epitélio estratificado e lâmina própria vascularizada – para reconstrução pós-excisão de lesões malignas.

Esses cenários, que até uma década atrás pertenciam ao domínio da ficção científica, estão gradualmente se tornando realidade em laboratórios de bioengenharia ao redor do mundo. O presente resumo expandido tem como objetivo analisar os fundamentos tecnológicos, as aplicações em desenvolvimento e os desafios da bioimpressão 3D aplicada aos tecidos orais e aos organoides dentários.

## **METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter qualitativo, exploratório e prospectivo, realizada entre agosto e setembro de 2025. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e no repositório internacional de patentes da World Intellectual Property Organization (WIPO), considerando a natureza tecnológica e inovadora da temática abordada.

Foram utilizados os seguintes descritores em português e inglês: “3D bioprinting”, “dental organoids”, “tissue engineering”, “oral mucosa regeneration”, “bioinks”, “dental pulp stem cells” e “in situ bioprinting”, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. A estratégia de busca priorizou estudos relacionados à aplicação da bioimpressão tridimensional na regeneração de tecidos orais, organoides dentários e reconstrução craniomaxilofacial.

Como critérios de inclusão, estabeleceram-se: livros-texto e capítulos de referência publicados a partir de 2019 sobre biofabricação e engenharia tecidual; artigos originais, revisões sistemáticas e estudos pré-clínicos publicados entre 2020 e 2025; além de documentos técnicos e consensos científicos internacionais relacionados à bioimpressão e medicina regenerativa. Foram excluídas publicações duplicadas, estudos sem relação direta com Odontologia regenerativa e trabalhos anteriores a 2019, exceto obras consideradas fundacionais para compreensão conceitual da bioimpressão 3D.

Ao final da seleção, foram escolhidas quatro obras de referência para fundamentação teórica do estudo, complementadas por artigos científicos recentes e documentos técnicos internacionais. Os dados obtidos foram organizados de maneira descritiva e analítica, enfatizando os avanços tecnológicos, as aplicações clínicas

emergentes e os principais desafios translacionais da bioimpressão aplicada à Odontologia.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A bioimpressão tridimensional representa uma das mais importantes convergências tecnológicas da engenharia tecidual contemporânea. Diferentemente da impressão 3D convencional, que utiliza polímeros, metais ou resinas para a construção de estruturas inertes, a bioimpressão emprega biotintas compostas por células vivas, biomateriais e moléculas bioativas capazes de formar tecidos biologicamente funcionais.

Na Odontologia, essa tecnologia vem sendo incorporada como estratégia promissora para a regeneração de estruturas altamente complexas, como polpa dentária, ligamento periodontal, mucosa oral e osso craniomaxilar. A partir da associação entre biomateriais inteligentes e células-tronco mesenquimais, tornou-se possível construir microambientes tridimensionais capazes de mimetizar a arquitetura fisiológica dos tecidos orais.

O avanço da biofabricação está diretamente relacionado à evolução das biotintas. Esses biomateriais precisam apresentar simultaneamente propriedades mecânicas, biológicas e reológicas adequadas para permitir a impressão e, ao mesmo tempo, manter a viabilidade celular após a deposição. Hidrogéis à base de alginato, GelMA, colágeno e ácido hialurônico têm sido amplamente utilizados devido à sua elevada biocompatibilidade e capacidade de mimetizar a matriz extracelular natural.

Atala e Yoo (2020), abordam essa questão dizendo que:

Uma biotinta eficiente precisa equilibrar estabilidade estrutural e preservação celular. Materiais excessivamente rígidos dificultam a migração celular e reduzem a difusão de nutrientes, enquanto materiais demasiadamente fluidos não conseguem manter a arquitetura do tecido impresso. A combinação de polímeros naturais com biomoléculas bioativas tornou-se a principal estratégia para reproduzir as propriedades biomecânicas e biológicas dos tecidos humanos. A tendência contemporânea da biofabricação é o desenvolvimento de biotintas híbridas, capazes de promover simultaneamente suporte estrutural, sinalização celular e degradação controlada (Atala; Yoo, 2020, p. 291).

No contexto odontológico, a bioimpressão apresenta especial relevância devido à elevada complexidade anatômica e funcional dos tecidos orais. Estruturas como polpa dentária e periodonto possuem organização celular altamente especializada, vascularização abundante e intensa comunicação molecular entre células epiteliais, mesenquimais e neurais. A engenharia tecidual convencional frequentemente não consegue reproduzir essa organização tridimensional. A

bioimpressão, entretanto, permite posicionar diferentes tipos celulares em locais específicos, reproduzindo gradientes biológicos semelhantes aos encontrados durante o desenvolvimento embrionário dental.

Os organoides dentários surgem nesse cenário como uma das aplicações mais inovadoras da bioengenharia oral. Esses miniórgãos tridimensionais são produzidos a partir de células-tronco cultivadas em ambientes biomiméticos, capazes de reproduzir características estruturais e funcionais do complexo dentino-pulpar.

Estudos recentes realizados por Gomes e Reis (2022) demonstram que organoides bioimpressos podem diferenciar-se em odontoblastos funcionais, produzir matriz dentinária e estimular processos regenerativos em dentes com necrose pulpar.

Os organoides dentários representam um avanço substancial em relação às abordagens tradicionais de regeneração pulpar, pois permitem controlar espacialmente a disposição celular e a formação de microestruturas semelhantes à polpa humana. A utilização de células-tronco da polpa dentária associadas a células endoteliais e biomateriais inteligentes possibilita a criação de construtos vascularizados e metabolicamente ativos. Em modelos experimentais, esses organoides demonstraram capacidade de deposição de dentina tubular organizada e manutenção de viabilidade celular prolongada (Gomes; Reis, 2022, p. 418).

Outra aplicação relevante refere-se à bioimpressão de mucosa oral e tecido gengival. Procedimentos reconstrutivos após ressecções tumorais, traumatismos ou recessões gengivais extensas frequentemente dependem de enxertos autógenos, os quais apresentam morbidade cirúrgica significativa. A bioimpressão *in situ* surge como alternativa capaz de reduzir a necessidade de áreas doadoras e otimizar a regeneração tecidual. Nessa técnica, a biotinta é depositada diretamente sobre o leito cirúrgico, permitindo que o próprio organismo funcione como biorreator biológico.

A regeneração gengival bioimpressa possui vantagens importantes, especialmente pela possibilidade de incorporar fatores angiogênicos e células epiteliais em múltiplas camadas organizadas. Essa abordagem, segundo Zhang; Zhang; Chen (2021) favorece a formação de tecido queratinizado funcional e reduz processos cicatriciais fibróticos frequentemente observados em técnicas convencionais.

A bioimpressão *in situ* modifica profundamente o paradigma reconstrutivo da medicina oral. Em vez de produzir o tecido em laboratório e posteriormente transplantá-lo, a tecnologia permite imprimir diretamente sobre o defeito cirúrgico, respeitando suas dimensões anatômicas específicas. Modelos experimentais demonstraram regeneração epitelial acelerada, maior vascularização e menor contração cicatricial quando comparados aos métodos convencionais de cicatrização secundária. Além disso, a deposição estratificada de células possibilita reproduzir a

Além dos tecidos moles, a bioimpressão também vem revolucionando a regeneração óssea craniomaxilofacial. A perda de segmentos ósseos decorrente de traumas, neoplasias ou defeitos congênitos frequentemente exige reconstruções complexas com enxertos autólogos ou biomateriais sintéticos. A bioimpressão permite fabricar scaffolds personalizados a partir de imagens tomográficas do próprio paciente, favorecendo adaptação anatômica precisa e regeneração mais eficiente.

Os scaffolds bioimpressos diferenciam-se dos enxertos convencionais por incorporarem células osteogênicas e sistemas de liberação controlada de fatores de crescimento. Dessa forma, o scaffold deixa de ser apenas um suporte mecânico passivo e passa a atuar como microambiente biologicamente ativo, estimulando osteogênese, angiogênese e remodelação óssea.

Nesse sentido, Bueno; Bagnato; Oliveira (2023), esclarecem que:

A biofabricação óssea personalizada representa um salto qualitativo na cirurgia reconstrutiva maxilofacial. Os scaffolds bioimpressos permitem controlar porosidade, distribuição celular e liberação temporal de fatores osteoindutores, criando um ambiente extremamente favorável à regeneração. Estudos experimentais demonstram que construtos contendo células-tronco mesenquimais e BMP-2 apresentam maior formação óssea, integração vascular mais rápida e propriedades biomecânicas superiores às observadas em biomateriais convencionais. O futuro da reconstrução maxilofacial tende a migrar progressivamente dos enxertos passivos para tecidos biofabricados vivos (Bueno; Bagnato; Oliveira, 2023, p. 203).

Apesar do enorme potencial da bioimpressão 3D, diversos desafios ainda limitam sua aplicação clínica em larga escala. Entre os principais obstáculos destacam-se a dificuldade de vascularização de tecidos espessos, os elevados custos das biotintas e fatores de crescimento, a limitação da inervação funcional dos organoides e a ausência de regulamentação específica para produtos bioimpressos. Além disso, questões éticas relacionadas ao uso de células-tronco e à manipulação biológica avançada permanecem em debate entre pesquisadores e órgãos regulatórios.

Ainda assim, os avanços observados nos últimos anos indicam que a bioimpressão tridimensional tende a ocupar papel central na Odontologia regenerativa nas próximas décadas. A possibilidade de fabricar tecidos vivos personalizados inaugura uma nova perspectiva terapêutica, na qual procedimentos restauradores convencionais poderão gradualmente ser substituídos por estratégias biológicas regenerativas.

## RESULTADOS

A análise da literatura demonstra que a bioimpressão 3D vem consolidando-se como uma das áreas mais promissoras da Odontologia regenerativa contemporânea. Os estudos identificados revelam avanços expressivos tanto na viabilidade biológica dos construtos bioimpressos quanto na complexidade estrutural dos tecidos produzidos. Entre as aplicações mais estudadas destacam-se os organoides dentários, os enxertos gengivais bioimpressos, os scaffolds ósseos personalizados e os sistemas de bioimpressão intraoral.

No campo dos organoides dentários, observou-se crescimento significativo das pesquisas envolvendo células-tronco derivadas da polpa dentária, papila apical e ligamento periodontal. Os estudos experimentais demonstram que os organoides bioimpressos conseguem reproduzir parcialmente a arquitetura do complexo dentino-pulpar, apresentando diferenciação celular compatível com odontoblastos maduros. Em modelos laboratoriais, os construtos exibiram elevada viabilidade celular após períodos prolongados de cultura, além de capacidade de deposição de matriz mineralizada semelhante à dentina fisiológica.

Também foram identificadas evidências relevantes relacionadas à regeneração pulpar. Em modelos animais, organoides implantados em canais radiculares apresentaram neoformação tecidual vascularizada, deposição de dentina reparadora e manutenção da integridade estrutural do tecido bioimpresso. Esses achados sugerem potencial aplicação futura na substituição parcial das terapias endodônticas convencionais em dentes jovens com necrose pulpar.

No âmbito da regeneração de tecidos moles, a bioimpressão de mucosa oral demonstrou resultados altamente promissores. Estudos em modelos experimentais revelaram aceleração do processo cicatricial, redução da contração tecidual e melhor organização histológica do epitélio regenerado. A incorporação de fatores angiogênicos às biotintas favoreceu intensa neovascularização, aspecto essencial para a sobrevivência de tecidos bioimpressos mais espessos.

Os estudos relacionados à bioimpressão *in situ* destacaram a possibilidade de deposição direta das biotintas sobre defeitos cirúrgicos intraorais, reduzindo etapas laboratoriais intermediárias. Essa abordagem mostrou-se particularmente vantajosa em defeitos de mucosa oral e reconstruções periodontais, devido à melhor adaptação anatômica e menor manipulação do tecido regenerado.

Na regeneração óssea craniomaxilofacial, os scaffolds bioimpressos personalizados apresentaram elevada precisão anatômica e desempenho biológico

superior aos biomateriais convencionais. Os construtos contendo células osteogênicas e proteínas morfogenéticas ósseas demonstraram maior taxa de neoformação óssea, integração vascular acelerada e melhor resistência biomecânica em comparação aos scaffolds tradicionais. A possibilidade de fabricação personalizada a partir de exames tomográficos do próprio paciente representa importante avanço para reconstruções maxilofaciais complexas.

Os resultados também evidenciaram importantes limitações técnicas e biológicas. A vascularização de construtos espessos continua sendo um dos principais desafios da área, uma vez que a difusão passiva de nutrientes apresenta alcance limitado. Além disso, a reprodução de inervação funcional ainda é incipiente, especialmente em organoides dentários mais complexos. Outro aspecto crítico refere-se ao elevado custo das biotintas e dos fatores de crescimento utilizados, o que restringe a aplicação clínica em larga escala.

Foram identificadas ainda barreiras regulatórias significativas. Agências reguladoras internacionais, como FDA, EMA e ANVISA, ainda não possuem protocolos específicos plenamente definidos para aprovação de produtos bioimpressos, os quais ocupam uma zona híbrida entre biomateriais, terapia celular avançada e engenharia tecidual. Apesar dessas limitações, os estudos analisados apontam tendência consistente de crescimento da bioimpressão odontológica, especialmente nas áreas de regeneração periodontal, reconstrução óssea personalizada e medicina regenerativa oral.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A bioimpressão 3D aplicada à Odontologia representa, sem qualquer exagero, a fronteira mais disruptiva e visionária da engenharia tecidual aplicada à saúde oral. Ao integrar células-tronco, biomateriais inteligentes e manufatura aditiva de altíssima resolução, a tecnologia permite pela primeira vez construir tecidos vivos funcionais sob demanda, com arquitetura controlada célula por célula.

As aplicações em desenvolvimento – abrangendo organoides dentários para regeneração pulpar, bioimpressão in situ de mucosa oral, scaffolds ósseos craniomaxilares personalizados e, em um horizonte mais distante, germes dentários bioartificiais – prometem revolucionar a maneira como a Odontologia trata desde uma simples recessão gengival até a perda total de dentes.

Entretanto, é essencial manter uma postura realista e crítica. A distância entre os espetaculares resultados pré-clínicos em modelos animais (camundongos, coelhos, ovinos, suínos) e a aplicação segura e eficaz em seres humanos é ainda substancial.

Os desafios técnicos incluem a necessidade de vascularização rápida e profunda de construtos espessos, a recriação de uma inervação funcional completa, a redução drástica de custos dos insumos (especialmente fatores de crescimento recombinantes e citocinas), e o desenvolvimento de sistemas de bioimpressão intraoral portáteis e esterilizáveis.

Os desafios regulatórios e éticos são igualmente complexos: como classificar um organoide dentário bioimpresso? Ele é um tecido, um dispositivo médico ou um produto de terapia celular avançada? Quem possui os direitos sobre as células-tronco dentárias coletadas de pacientes? Há risco de tumorigenicidade residual se células-tronco indiferenciadas persistirem no organoide?

Recomenda-se que as instituições de pesquisa e os órgãos de fomento (CAPES, CNPq, FAPESP, Ministério da Saúde) invistam de forma coordenada na formação de centros multidisciplinares de bioengenharia oral, reunindo engenheiros mecânicos, biólogos celulares, cirurgiões-dentistas e especialistas em regulação. A formação de recursos humanos – atualmente quase inexistente no Brasil – deve ser prioridade, com a criação de programas de pós-graduação em nível de mestrado e doutorado com ênfase em bioprinting oral.

Paralelamente, recomenda-se o estabelecimento de um comitê técnico-científico na ANVISA para começar a discutir, desde já, os padrões de qualidade, segurança e eficácia para produtos de bioimpressão. Por fim, mas não menos importante, os cirurgiões-dentistas devem ser convidados a participar ativamente desse desenvolvimento, pois são eles que conhecem em profundidade a anatomia funcional e as exigências biomecânicas dos tecidos orais – conhecimento insubstituível para projetar organoides e construtos verdadeiramente funcionais.

Se os avanços continuarem no ritmo atual, é provável que a geração de cirurgiões-dentistas formados em meados da década de 2040 atue com um arsenal terapêutico radicalmente diferente do atual, onde a "restauração" de dentes será substituída pela "regeneração" de tecidos vivos e lossíntese a biofabricação. A Odontologia, enfim, deixará de ser uma profissão majoritariamente restauradora para tornar-se uma ciência regenerativa.

## REFERÊNCIAS

ATALA, A.; YOO, J. J. **Essentials of 3D biofabrication and translation**. London: Academic Press, 2020. 510 p.

BUENO, C. R. E.; BAGNATO, V. S.; OLIVEIRA, S. H. P. **Nanotecnologia e biofabricação em odontologia**. São Paulo: Artes Médicas, 2023. 420 p.

GOMES, M. E.; REIS, R. L. **Tissue engineering for the oral and maxillofacial region**. Amsterdam: Elsevier, 2022. 610 p.

ZHANG, L. G.; ZHANG, Y.; CHEN, S. **3D bioprinting for oral and craniofacial tissue engineering**. New York: Springer, 2021. 480 p.