

Aplicações da impressão 3D na Ortodontia e Cirurgia bucomaxilofacial

Applications of 3D printing technology in Orthodontics and Oral and Maxillofacial Surgery

Marlos Loiola¹, Wendel Shibusaki², Joaquim Dultra³, Flavio Cotrim-Ferreira⁴

RESUMO

Ao longo da última década, avanços na prototipagem rápida vêm acontecendo, resultando no desenvolvimento de novas técnicas e abordagens. É o resultado de tecnologias de fabricação em 3D, como a estereolitografia (SLA), modelagem fundida (FDM) e, mais recentemente, a sinterização seletiva a laser (SLS). Entre suas aplicações, os guias cirúrgicos são gerados via computador e posteriormente fabricados por uma impressora 3D, sendo utilizado durante a cirurgia, possibilitando assim, posicionar de forma precisa os segmentos ósseos. A prototipagem também pode ser usada associada à tecnologia CAD/CAM (desenho assistido por computador) na Ortodontia, para personalizar a posição de braquetes e preparar guias personalizados para colagem ortodôntica indireta. Também, pode ser aplicada na customização e fabricação da aparatologia ortodôntica, através da fusão de imagens de modelos 3D. É notório que cada vez mais a prototipagem rápida vai se tornar uma rotina no dia a dia do ortodontista e do cirurgião, pois facilitam sobremaneira os procedimentos clínicos e possibilitam ao profissional ter maior previsibilidade dos seus resultados.

Unitermos – Prototipagem rápida; Impressão 3D; CAD/CAM; Ortodontia; Cirurgia bucomaxilofacial.

ABSTRACT

During the last decade, advances in rapid prototyping have resulted in the development of new techniques and approaches including 3D manufacturing technologies such as stereolithography (SLA), molten modeling (FDM), and more recently, selective laser sintering (SLS). Among its applications, the surgical guides are computer-generated, and then manufactured by a 3D printer for use during surgery, thus enabling precisely positioning of bone segments. Prototyping can be also used with CAD/CAM technology (computer aided design) in orthodontic brackets to customize its position and prepare customized guides for indirect orthodontic bonding. It's also applied for customization and manufacturing of orthodontic appliance by the 3D model image fusion. It is clear that rapid prototyping will become a routine for the orthodontist and surgeon. It will facilitate the clinical procedures in such a way that professionals will have more predictable outcomes.

Key words – Rapid prototyping; 3D printing; CAD/CAM; Orthodontics; Oral and maxillofacial surgery.

¹Mestre em Ortodontia – Unicid; Coordenador do curso de especialização em Ortodontia – IAPPEM/Funorte; Coordenador do curso de especialização em Ortodontia – Instituto Lumier/Farnosp-BA; Coordenador científico – Academia da Ortodontia Contemporânea; Membro da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica (SBPQO).

²Mestre em Ortodontia – Unicid; Coordenador dos cursos de especialização em Ortodontia – Instituto Lumier/Farnosp e do Funorte/Iappem-BA; Especialista em Ortodontia – Cebeo/BA; Membro da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica (SBPQO).

³Mestre em Odontologia – UFBA; Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial e Preceptor da Residência/Especialização em CTBMF – HSA/Osíd; Professor de Odontologia – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia; Membro titular – Colégio Brasileiro de CTBMF.

⁴Mestre em Ortodontia e doutor em Diagnóstico Bucal – Faculdade de Odontologia da USP; Professor associado dos cursos de especialização e mestrado em Ortodontia – Instituto Vellini; Editor científico – Revista OrtodontiaSPO.

Introdução

A evolução tecnológica no campo das imagens e impressões tridimensionais vem ocorrendo de forma acelerada. Na área médica e especificamente odontológica, diversos protocolos de diagnóstico, planejamento e execução de tratamento vêm sofrendo modificações que buscam oferecer maiores previsibilidade, confiabilidade e precisão. Dentre estes protocolos, a prototipagem rápida ou impressão tridimensional (3D) vem assumindo um importante papel dentro das diversas especialidades odontológicas, entre elas a Ortodontia e a Cirurgia bucomaxilofacial.

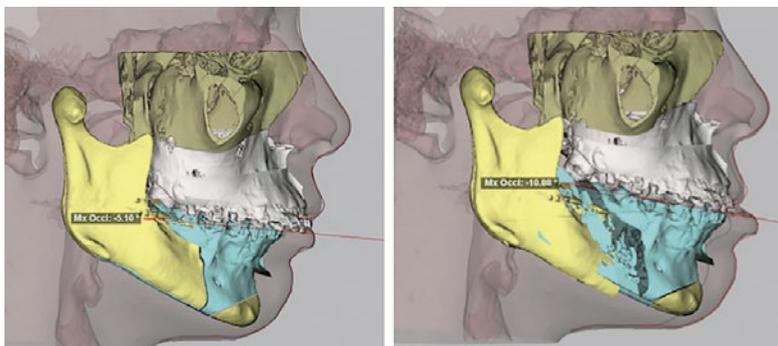
A prototipagem rápida

Ao longo da última década, avanços na prototipagem rápida vêm acontecendo, resultando no desenvolvimento de novas técnicas e abordagens aplicadas na fabricação de diversos itens ligados à ciência odontológica. A prototipagem rápida é usada na produção de modelos sólidos personalizados, usando dados digitais em três dimensões, e é resultado de tecnologias de fabricação como a estereolitografia (SLA, a primeira técnica de prototipagem rápida), modelagem fundida (FDM) e, mais recentemente, a sinterização seletiva a laser (SLS). Atualmente, a tecnologia de SLA é a mais popular aplicada. O método SLA utiliza resinas líquidas fotopoliméricas que são polimerizadas por um laser que gera os protótipos. No entanto, uma grande desvantagem da tecnologia SLA é que ela só pode fabricar protótipos de resina, que não podem ser utilizados diretamente em processos laboratoriais. Desta forma, os técnicos devem replicar os protótipos de resina em um padrão de cera utilizando métodos de impressão ou replicação

convencionalmente usados na Odontologia. Obviamente, estes processos adicionais resultam em significativamente maior complexidade e requerem maior tempo, correndo o risco de perder precisão nestas fases¹.

Um método que elimina a replicação necessária de padrões da resina de SLA é a utilização de tecnologia de SLS, que permite a fabricação direta de protótipos para o desenvolvimento de diversos produtos. Nos últimos anos, a tecnologia de SLS vem sendo utilizada na medicina e já foi relatada a fabricação de um modelo de laringe 3D para cirurgia desta região². No entanto, a literatura raramente relata a utilização da tecnologia SLS para a fabricação de acessórios utilizados na Odontologia.

O processo de SLS foi desenvolvido na Universidade do Texas, em Austin, e é um processo patenteado (DTM Corp., Austin, Texas). Ao contrário da SLA, a tecnologia SLS gera padrões de cera sólida diretos, em vez de padrões de resina. É um método de fabricação de forma livre, que cria padrões usando fusão térmica (sinterização) de materiais em pó. Os modelos SLS são gerados diretamente de dados de computador 3D convertidos em arquivos STL, que são então cortados em finas camadas. A máquina de sinterização a laser produz os modelos em uma plataforma móvel, aplicando camadas incrementais do material padrão. Para cada camada, o equipamento estabelece uma película de material em pó, com uma espessura precisa (aproximadamente 0,1 mm/0,004 polegadas). O laser então derrete áreas selecionadas de modo que estejam em conformidade com a camada anterior. A plataforma, em seguida, se move para baixo da espessura da camada pré-programada. Este processo repete camada por camada, até que o padrão seja concluído. O tempo de produção é reduzido e seu custo é menor, em comparação com a abordagem SLA¹.



Figuras 1
Planejamento das osteotomias cirúrgicas virtuais.

Aplicações da prototipagem na rotina clínica

Existem diversos problemas associados com os métodos tradicionais de planejamento para a cirurgia ortognática, e cada um destes problemas pode resultar na redução da taxa de sucesso de um resultado cirúrgico ideal. O desenvolvimento da simulação cirúrgica assistida por computador representa uma mudança de paradigma no planejamento para pacientes com deformidades craniomaxilofaciais. Em 2013, foi publicado um artigo em que os autores descrevem um protocolo de simulação desenvolvido para a cirurgia ortognática. Neste protocolo, um modelo computadorizado do crânio do paciente foi gerado para representar exatamente as estruturas ósseas, a dentição, e o tecido mole facial, além da postura neutra da cabeça do paciente, que foram digitalizados e transferidos para os modelos 3D. Além disso, o usuário executa osteotomias virtuais e simula a cirurgia ortognática. Os guias cirúrgicos e modelos são gerados no computador, e posteriormente fabricados por uma máquina de prototipagem rápida, sendo utilizados durante a cirurgia, possibilitando assim, posicionar de forma precisa os segmentos ósseos. Os autores concluíram que, utilizando este protocolo de simulação cirúrgica assistida por computador, o planejamento pode ser transferido de forma precisa e consistente ao paciente, posicionando corretamente a maxila e a mandíbula no momento da cirurgia (Figuras 1)³.

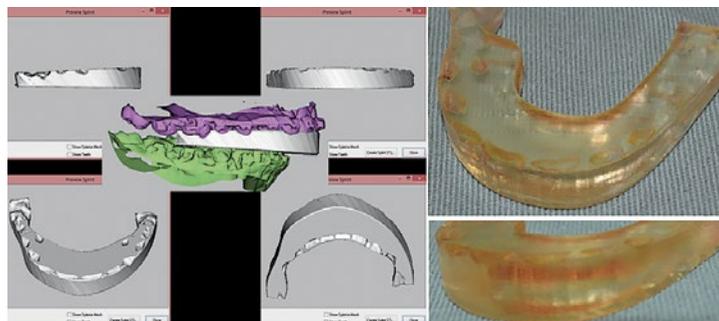
A impressão 3D já foi utilizada também como recurso em um procedimento cirúrgico que visava reconstruir uma mandíbula e restaurar sua anatomia complexa, com funcionalidade máxima possível e alta precisão. Um estudo avaliou a precisão da cirurgia assistida por computador na reconstrução mandibular primária, associada à utilização de um fragmento de osso da crista ilíaca. Informações coletadas da tomografia computadorizada no pré-operatório da mandíbula, e no sítio da crista ilíaca do doador, foram importados por um *software* de planejamento cirúrgico específico. Guias cirúrgicos foram fabricados utilizando uma técnica de prototipagem rápida para a conversão do planejamento virtual, incluindo informações sobre as dimensões e forma do transplante, e utilizados na cirurgia em tempo real. Usando dados de uma tomografia computadorizada no pós-operatório e um algoritmo de comparação automático de superfície, a situação pós-operatória real foi comparada com a simulação virtual pré-operatória. Os autores concluíram que o planejamento cirúrgico virtual foi um método eficaz para a realização da reconstrução mandibular com retalhos ósseos vascularizados, e pode ajudar a restaurar a anatomia da mandíbula com alta precisão de posição e forma⁴.

A correção da assimetria facial significativa representa um desafio, devido à complexidade da geometria óssea e

das outras estruturas faciais. A cirurgia de modelo manual é uma parte essencial do planejamento do tratamento, mas pode ser complicada, demorada e pode conter erros potenciais. Foi relatado um caso de assimetria facial, em que a simulação da cirurgia virtual computadorizada foi realizada em vez da cirurgia de modelo manual, e um guia cirúrgico foi planejado e fabricado através da impressão 3D. Em um paciente do sexo masculino, 26 anos de idade, portador de um grande alongamento hemimandibular do lado direito, após a realização da ortodontia pré-cirúrgica, uma tomografia computadorizada foi realizada. As imagens foram processadas e se criou virtualmente a estrutura tridimensional. Foi realizada uma osteotomia virtual de Le Fort-I e a simetria da maxila foi corrigida com a ajuda de um *software* de planejamento tridimensional. O guia cirúrgico intermediário virtual foi concebido e produzido com tecnologia de prototipagem rápida tridimensional (Figuras 2). A mandíbula foi girada para a posição correta com uma osteotomia sagital bilateral virtual para visualizar os movimentos dos segmentos inferiores osteotomizados. O procedimento foi realizado de acordo com o plano virtual. A simetria facial foi significativamente melhorada e oclusão estável alcançada. Os autores concluíram que em casos complexos o planejamento cirúrgico assistido por computador e a prototipagem rápida tridimensional para a correção das assimetrias faciais possuem diversas vantagens⁵.

Uma nova técnica para a produção de guias para cirurgia ortognática usando uma impressora 3D foi apresentada. Após a aquisição de dados por meio de tomografia computadorizada de pacientes com deformidades ortognáticas, é possível executar o reposicionamento virtual das bases ósseas. Para reduzir os artefatos, modelos dentários podem ser digitalizados diretamente no paciente durante a aquisição de dados 3D, ou separadamente, usando um *scanner* de superfície com o modelo de gesso. A combinação desses dados para o planejamento pré-operatório permite a transformação do reposicionamento planejado e a oclusão ideal. A definição de um guia virtual entre as linhas dos dentes tornou possível determinar o reposicionamento. Depois de realizar uma operação booleana, as imagens dentárias são subtraídas do *splint* virtual. Logo após, um guia cirúrgico "definitivo" é impresso por uma impressora 3D. Os autores concluíram que a técnica apresentada combina as vantagens dos modelos de gesso convencional, com o planejamento virtual 3D preciso, e a possibilidade de transformar a informação adquirida em um guia cirúrgico impresso em 3D confiável⁶.

O posicionamento do braquete ortodôntico de forma precisa exprime todo o potencial do aparelho ortodôntico de arco reto, e leva a melhores resultados de tratamento e a um período mais curto. A precisão da colocação dos braquetes



Figuras 2
Planejamento virtual em CAD/CAM e impressão 3D do guia cirúrgico.

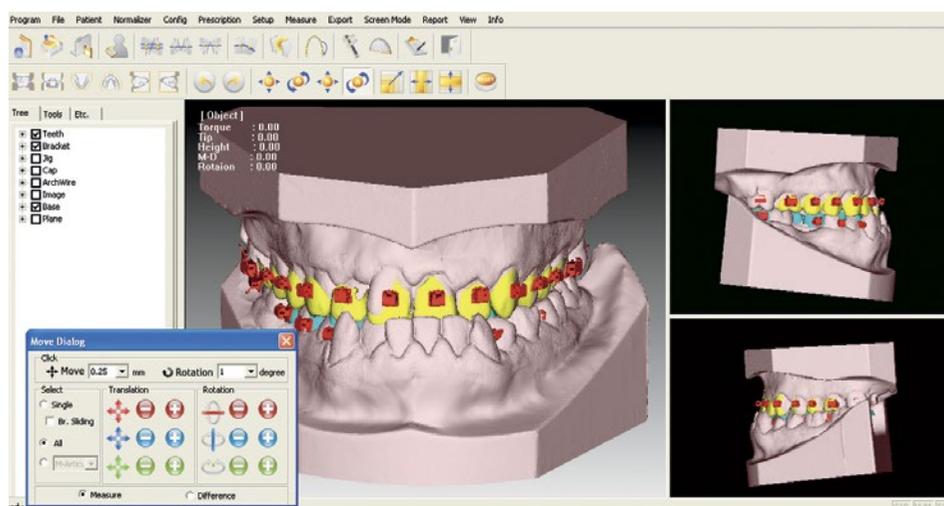


Figura 3
Posicionamento virtual dos braquetes para posterior impressão dos guias de colagem indireta.

com as duas técnicas de colagem: a direta e a indireta têm sido estudadas, e não há diferenças estatisticamente significativas encontradas entre os dois procedimentos em relação à angulação ou posição mesiodistal, independentemente de saber se a técnica direta ou indireta foi usada, os erros de posicionamento menores ocasionais na colocação inicial do braquete são inevitáveis.

No entanto, procedimentos de alta tecnologia envolvendo concepção/fabricação assistida por computador destes guias de colagem poderiam ajudar a reduzir o número de erros. A prototipagem rápida é um procedimento de alta tecnologia no qual um objeto sólido é produzido a partir de um modelo de computador. Ela tem sido usada com CAD/CAM (desenho assistido por computador) na Ortodontia para personalizar a posição de braquetes, e na cirurgia bucomaxilofacial para fabricar guias personalizados para reconstruções

esqueléticas. Os ortodontistas poderiam usar esta tecnologia para preparar guias personalizados para colagem ortodôntica, guias estes que são projetados por computador e produzidos por um processo de prototipagem rápida. Eles auxiliam o clínico a economizar tempo e conseguir a colocação mais precisa do braquete⁷.

Para isso é utilizando um software específico, no qual o operador posiciona o braquete virtualmente, da marca comercial escolhida (previamente incorporada no banco de dados), para cada dente na altura desejada (Figura 3). As medições são exatas para 0,1 mm. Quando os braquetes forem posicionados corretamente, a fabricação de moldeiras de prototipagem rápida pode começar. Uma impressora de prototipagem rápida é utilizada para converter as imagens virtuais dos guias de colagem de CAD/CAM em um produto final real, feito de um material rígido, elástico e plástico⁷.

A disponibilidade da tecnologia de digitalização 3D de modelos dentários, combinada com a capacidade de registrar dados da tomografia de feixe cônico (TCFC) com modelos digitais, permite a fabricação de guias cirúrgicos para cirurgia ortognática concebidos por CAD/CAM, braquetes customizados e sistemas de colagem indireta. Em um artigo de 2014, os aparelhos ortodônticos linguais foram praticamente personalizados e projetados pela fusão de imagens de modelos 3D com o cefalograma lateral e frontal do paciente. Ao exportar informações de *design* de software CAD 3D, foi produzido um protótipo por estereolitografia (SLA), que foi convertido em um aparelho de liga de cromo-cobalto. Os autores concluíram que a tecnologia CAD, associada à fusão de imagens de modelo 3D e cefalogramas ou exames tomográficos, determinou uma melhor precisão do *design* do aparelho ortodôntico. O uso do *design* assistido por computador e fabricação do aparelho possibilitou a redução do uso de fios auxiliares, reduzindo a distorção do aparelho durante a fabricação, e o diâmetro do fio utilizado pode ser maior que 0,9 mm e, assim, resistir melhor às forças de retração⁸.

Conclusão

A tecnologia ligada à materialização através da impressão 3D das imagens tridimensionais, associadas a projetos e concepção de acessórios e produtos através do CAD/CAM, vem cada vez mais ganhando espaço e aplicação nas diversas especialidades da Odontologia, entre elas a Ortodontia e a Cirurgia bucomaxilofacial. Inúmeras pesquisas publicadas vêm demonstrando a precisão e confiabilidade destes produtos que facilitam sobremaneira os procedimentos clínicos, e possibilitam ao profissional ter maior previsibilidade dos seus resultados, conferindo, desta forma, maior segurança e conforto ao paciente.

É notório que cada vez mais a prototipagem rápida vai se tornar uma rotina no dia a dia do ortodontista e do cirurgião, à medida que as impressoras 3D se tornem mais acessíveis e rápidas. É imprescindível também que o profissional possua o treinamento necessário e a possibilidade de adquirir softwares específicos para sua área de atuação.

Referências

1. Guofeng Wu, Bing Zhou, Yunpeng Bi, Yimin Zhao. Selective laser sintering technology for customized fabrication of facial prostheses. *J Prosthet Dent* 2008;100:56-60.
2. Hiramatsu H, Tokashiki R, Yamaguchi H, Suzuki M, Ono H. Three-dimensional laryngeal model for planning of laryngeal framework surgery. *Acta Otolaryngol* 2006;126:515-20.
3. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraber JF et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71(1):128-42.
4. Modabber A, Ayoub N, Möhlhenrich SC, Goloborodko E, Sönmez TT, Ghassemi M et al. The accuracy of computer-assisted primary mandibular reconstruction with vascularized bone flaps: iliac crest bone flap versus osteomyocutaneous fibula flap. *Medical Devices: Evidence and Research* 2014;7:211-7.
5. Seres L, Varga E Jr, Kocsis A, Rasko Z, Bago B, Varga E et al. Correction of a severe facial asymmetry with computerized planning and with the use of a rapid prototyped surgical template: a case report/technique article. *Head & Face Medicine* 2014;11(10):27.
6. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(2):e1-7.
7. Ciuffolo F, Epifania E, Duranti G, De Luca V, Raviglia D, Rezza S et al. Rapid prototyping: A new method of preparing trays for indirect bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(1):75-7.
8. Soon-Yong Kwon, Yong Kim, Hyo-Won Ahn, Ki-Beom Kim, Kyu-Rhim Chung, Seong-Hun Kim. Computer-aided designing and manufacturing of lingual fixed orthodontic appliance using 2d/3d registration software and rapid prototyping. *International Journal of Dentistry* 2014;1:1-8.