

## Aplicabilidade da prototipagem rápida na Odontologia – uma revisão de literatura

### *Applicability of rapid prototyping in Dentistry – a review of literature*

Dasaiev Monteiro Dutra<sup>1\*</sup>, Lidiane Gonçalves do Nascimento<sup>2</sup>, Amanda Maria Medeiros de Araujo-Luck<sup>3</sup>,  
Patrícia Meira Bento<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Clínica Integrada. UFPE; UFPE; <sup>2</sup>Acadêmica de Odontologia. UFPB; <sup>3</sup>Doutora em Radiologia, Professora Radiologia Odontológica UFPB; <sup>4</sup>Doutora em Patologia Oral, Professora Titular de Processos Patológicos e Diagnóstico. UEPB

#### Resumo

**Introdução:** a prototipagem rápida é uma tecnologia de fabricação aditiva onde um modelo tridimensional é construído pela deposição de sucessivas camadas de material. **Objetivo:** Realizar uma revisão de literatura sobre a aplicabilidade da prototipagem rápida em especialidades da odontologia. **Metodologia:** foram selecionados 49 trabalhos a partir das bases de dados Pubmed, LILACS, BBO, SciELO e Google Acadêmico. **Resultados:** ao término da revisão, foi possível verificar que o desenvolvimento do estágio virtual ocorre a partir de softwares de modulação sólida (Computer-Aided Design – CAD) ou da aquisição da imagem por scanner 3D, tomografia computadorizada ou ressonância magnética. Os processos mais usualmente aplicados são a estereolitografia, a modelagem por deposição fundida, a sinterização seletiva a laser, a impressão tridimensional, a thermojet e a polyjet. Essa técnica é utilizada na cirurgia bucomaxilofacial para o planejamento virtual de procedimentos cirúrgicos e personalização de placas de reconstrução; na implantodontia para a fabricação de biomodelos e guias cirúrgicas; na ortodontia para o diagnóstico e tratamento de caninos maxilares impactados e colagem de bráquetes; na prótese sua utilização consiste na confecção de próteses metálicas totais, próteses metalocerâmicas, coroas cerâmicas, próteses totais e próteses orbitárias, faciais e do septo nasal; e na endodontia para a documentação de casos não usuais. **Conclusão:** os sistemas mais usualmente aplicados à Odontologia compreendem a estereolitografia, a modelagem por deposição fundida, a sinterização seletiva a laser, impressão tridimensional, thermojet e polyjet. A técnica vem sendo utilizada para contribuir com o diagnóstico, fabricação de implantes, próteses e placas de reconstrução personalizadas, aperfeiçoamento do planejamento cirúrgico, estudo das técnicas de ressecção, simulação de intervenções pré-operatória e didática com o paciente. **Palavras-chave:** Projeto auxiliado por computador. Tomografia Computadorizada por Raios X. Clínicas Odontológicas.

#### Abstract

**Introduction:** rapid prototyping is an additive manufacturing technology in which a three-dimensional model is constructed by the deposition of successive layers of material. **Objective:** this study aimed to conduct a literature review on the applicability of rapid prototyping in dental specialties. **Methodology:** 49 studies were collected from the Pubmed, LILACS, BBO, SciELO e Google Acadêmico databases. **Results:** the review showed that the virtual stage is developed by Computer-Aided Design (CAD) or from image acquisition applying 3D scanner, CT or MRI. The most commonly applied methods are stereolithography, fused deposition modeling, selective laser sintering, three-dimensional printing, thermojet and PolyJet. This technique is used in Maxillofacial Surgery for the virtual planning of surgical procedures and the customization of reconstruction plates; in Oral Implantology for the manufacture of surgical guides and biomodels; in Orthodontics for the diagnosis and treatment of impacted maxillary canines and the bonding of brackets; in Prosthodontics the technique is applied to the manufacture of total metallic prostheses, metal-ceramic dentures, crowns and dentures, in addition to orbital, facial and nasal septum prostheses; Rapid prototyping is used in Endodontics for the documentation of unusual cases. **Conclusion:** the most commonly applied systems to dentistry comprise stereolithography, fused deposition modeling, selective laser sintering, three-dimensional printing, thermojet and PolyJet. The technique has been used in diagnosis, production of implants, prostheses and customized reconstruction plates. Besides, in the improvement of surgical planning, in the study of resection techniques, in preoperative simulation and in didactic interventions with the patient. **KeyWords:** Computer-Aided Design. Computed Tomography. Dental Clinics.

#### INTRODUÇÃO

A prototipagem rápida é o termo utilizado para fabricação de modelos físicos com alta precisão anatômica

utilizando imagens tridimensionais, através de máquinas guiadas por computador<sup>1</sup>. Consiste em uma poderosa tecnologia com potencial de revolucionar certas áreas da ciência médica<sup>2</sup>. Introduzidos na área médica em 1991<sup>3</sup>, os biomodelos produzidos por prototipagem rápida auxiliam no diagnóstico, planejamento cirúrgico, fabricação de implantes personalizados, fabricação de próteses maxi-

**Correspondente/Corresponding:** \*Dasaiev Monteiro Dutra – End: Rua Waldemar Marques Jr, 91 Poço, Cabedelo-PB – Tel: (83) 99896-6133 – E-mail: dasdutra@hotmail.com

lofaciais, comunicação entre o profissional e o paciente e redução do tempo de cirurgia em 20%<sup>4</sup>. A técnica é mais dispendiosa do que o método convencional, mas o custo se torna um fator secundário se forem considerados o menor trauma ao paciente, o menor custo de produção (horas de trabalho por profissional), as habilidades adquiridas pelos profissionais, o armazenamento do protótipo e o desperdício reduzido de material<sup>5</sup>.

A literatura descreve as seguintes técnicas de prototipagem rápida: a estereolitografia, cuja construção dos biomodelos se dá a partir do uso de líquidos, a sinterização seletiva a laser, a impressão tridimensional, cuja fabricação ocorre utilizando-se como base o pó, a modelagem por deposição fundida, a Thermojet e a Polyjet, que empregam sólidos como matéria-prima<sup>6</sup>. Apesar disso, são escassos os trabalhos que atualizam a aplicabilidade dessas técnicas na Odontologia.

Este trabalho teve como objetivo oferecer uma revisão de literatura sobre os vários métodos da prototipagem rápida e sua aplicabilidade na clínica odontológica, contribuindo para as atividades clínicas e laboratoriais e abrindo novos horizontes e perspectivas na Odontologia.

## METODOLOGIA

Os dados obtidos para esta revisão bibliográfica foram coletados a partir de consulta à base de dados eletrônica Pubmed, LILACS, BBO, SciELO e Google Acadêmico. Ao finalizar a pesquisa em cada base, as referências duplicadas foram excluídas. Foram selecionados nos idiomas Inglês e Português, com as seguintes palavras-chave: surgical models, dental materials, dental implantation, dental prosthesis, endodontics, orthodontics e computer-aided design. Foram incluídos todos os trabalhos publicados entre 1997-2015 no formato de artigo científico, capítulo de livro, livro, Anais de encontros científicos e sites, nos quais foram avaliados os sistemas de fabricação dos modelos e a aplicação da prototipagem rápida na clínica odontológica. Foram excluídos trabalhos contendo exclusivamente procedimentos técnicos na utilização da prototipagem rápida. De um total de 77 trabalhos recuperados, foram selecionados 48 para o estudo.

## RESULTADOS

### Prototipagem Rápida

A prototipagem rápida compreende dois estágios de produção: primeiramente o estágio virtual e, em seguida, o estágio físico<sup>7</sup>. O estágio virtual pode se utilizar de softwares de modulação sólida (Computer-aided Design – CAD) para obter a geometria virtual do biomodelo. Como alternativa, pode ser feita a conversão de arquivos obtidos por scanners 3D, tomografia computadorizada ou ressonância magnética para obtenção da geometria virtual do protótipo<sup>8,9,10,11</sup>. O novo dispositivo digital 3dMDface<sup>12</sup> captura imagens externas do paciente de olhos abertos, em posição natural e confortável, utilizando-se a foto-

grafia 3D<sup>13</sup>. Por sua vez, esses dados são exportados para equipamentos que se encarregarão da fabricação, camada por camada, do biomodelo final o que é classificado como estágio físico<sup>7</sup>.

São descritos 3 sistemas para a fabricação de modelos: o substrativo, o aditivo e o conformativo<sup>14</sup>. Relatos apontam a utilidade da abordagem subtrativa para representação da anatomia externa de objetos<sup>15</sup>, e também a descrição do uso da abordagem aditiva para a representação de formas anatômicas humanas complexas<sup>16</sup>.

A tecnologia CAD-CAM (Computer-aided Design and Computer-aided Manufacturing), vem sendo introduzida na comunidade acadêmica desde 1980 e até então muito se tem revolucionado nesse tipo de atividade. Essa tecnologia se baseia em três princípios<sup>17</sup>:

1. O Computer-aided Design (CAD), que corresponde à conversão de desenho 2D em dados geométricos; digitalização/scanner do objeto para transformá-lo em dados geométricos que serão processados pelo sistema inserido no computador; criação de novo arquivo em softwares de modelação 3D ou alteração de um modelo geométrico pré-existente<sup>18</sup>.
2. Software que processa a digitalização e transforma-a na produção de um arquivo com extensão STL (Standard Triangulation Language), que representa os modelos CAD em triângulos e quadriláteros. Contudo, o arquivo pode apresentar problemas intrínsecos, como lacunas, orifícios e faces sobrepostas, os quais são corrigidos posteriormente pelo software<sup>19</sup>. Em seguida, o arquivo STL é fatiado horizontalmente na espessura de deposição da camada, convertido no formato SLI (Slide File)<sup>20</sup>.
3. Fabricação do modelo baseado nas variáveis do sistema utilizado (Computer-aided Manufacturing)<sup>17</sup>.

A estereolitografia baseia-se na polimerização de uma resina líquida foto-sensível (resina acrílica, epóxica ou vinil) composta por monômeros, fotoiniciadores e aditivos que em reação vão desencadear uma cadeia polimérica<sup>10</sup>.

Na modelagem por deposição fundida, a resina termoplástica aquecida é depositada em filetes finos através de bicos extrusores alimentados por guias giratórias<sup>6,21</sup>. O processo continua até que o protótipo seja finalizado. As resinas termoplásticas empregadas incluem poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera<sup>14</sup>.

A sinterização seletiva a laser é o terceiro processo mais frequentemente utilizado na odontologia<sup>21</sup>. O sistema possui um laser de CO<sub>2</sub> com sistema óptico e espelhos robóticos, uma plataforma descendente e um subsistema que distribui o pó pela plataforma<sup>6</sup>.

A tecnologia de impressão tridimensional é semelhante à impressão de impressoras jato de tinta. Um pó cerâmico ou polimérico é ejetado pela solução e solidificado por meio da interação com luz ultravioleta em

um reservatório, formando estruturas que formarão o arcabouço do protótipo<sup>6</sup>.

No processo Thermojet camadas de cera perdida são expelidas por um cabeçote que se movimenta na direção X, através de 96 orifícios que se abrem e fecham em movimento intermitente<sup>6</sup>.

A Polyjet produz biomodelos de alta qualidade e precisão, fabricadas com resina acrílica fotopolimerizável transparente, que permite visualizar a estrutura interna do protótipo. O processo é compatível com a realização de cortes e perfurações com serras e brocas e imprime camadas de 0,016 mm que dispensam acabamento de superfície. Finalmente, a tecnologia dispõe de um suporte simples que é facilmente removido com água<sup>6</sup>.

### Aplicação na Odontologia

Visando às aplicações na Odontologia, a prototipagem rápida pode ser utilizada para contribuir com o diagnóstico, fabricação de implantes, próteses e placas de reconstrução personalizadas, aperfeiçoamento do planejamento cirúrgico, estudo das técnicas de ressecção, simulação de intervenções pré-operatória e didática com o paciente<sup>22</sup>.

Na cirurgia bucomaxilofacial, a prototipagem rápida pode ser aplicada em casos de limitação de abertura bucal em pacientes que receberam traumatismo e desenvolveram anquilose. Emprega-se a prototipagem rápida para o planejamento cirúrgico, que consiste no planejamento virtual e simulação dos procedimentos em um biomodelo prototipado<sup>23</sup>.

A técnica também é indicada na distração osteogênica unilateral do ramo ascendente da mandíbula em pacientes portadores de microssomia hemifacial direita grau IIA, sendo obtidos excelentes resultados estéticos, estabilidade oclusal, redução do tempo de cirurgia e redução do custo<sup>24</sup>. No tratamento de maloclusão classe II, realiza-se o planejamento virtual para distração osteogênica, alongamento da mandíbula hipoplásica e estabelecimento da oclusão ideal<sup>25</sup>.

Outra utilização consiste no tratamento do câncer bucal. Em casos de ressecção mandibular, constrói-se um biomodelo para determinar o comprimento da placa de titânio e o número de parafusos aplicados na reabilitação<sup>25</sup>.

No caso das fraturas do complexo zigomático-órbito-maxilar, aplica-se a prototipagem rápida nos procedimentos pré-operatórios. Com o auxílio de um software, simulam-se as osteotomias e reduções e delimitam-se os efeitos pós-operatórios esperados. Então, o cirurgião adquire uma preciosa ferramenta para o reconhecimento da fratura e localização exata da osteotomia<sup>26</sup>.

Para o tratamento da microssomia hemifacial, obtém-se o exame de tomografia computadorizada e realiza-se segmentação da mandíbula. Em seguida, um software de engenharia reversa realiza espelhamento da hemimandíbula saudável e posterior construção do implante virtual individual. O modelo virtual é exportado para

prototipagem rápida e a microssomia hemifacial pode ser corrigida sem serem observadas complicações como desconforto ou assimetria facial<sup>27</sup>.

A técnica de mentoplastia pode ser empregada usando-se a cefalometria 3D e a prototipagem rápida. A cefalometria 3D inicialmente determina os limites anterior, posterior e inferior do mento. Através de software, são planejadas as linhas de osteotomia a serem efetuadas durante a cirurgia. Após tomografia computadorizada, é construído um protótipo tridimensional do mento a ser usado durante o procedimento cirúrgico para osteossíntese<sup>28</sup>.

A prototipagem rápida é um método avançado e preciso na reconstrução simétrica da ATM. Após exame de tomografia computadorizada (TC), realiza-se simulação virtual da segmentação, das osteotomias, movimentos mandibulares e disposição das placas de titânio. A prototipagem rápida do crânio auxilia na formatação das placas de titânio no biomodelo e no estabelecimento de guia para utilização do enxerto ósseo fibular e costal<sup>29</sup>.

Na endodontia, a prototipagem rápida pode ser usada na documentação de casos não usuais. A prototipagem rápida de 3 raízes distais do elemento dentário 46 em tratamento endodôntico de abscesso apical crônico contribui para o conhecimento da anatomia e do sistema de canais radiculares de primeiros molares em tratamento endodôntico<sup>30</sup>.

No que se refere à aplicação na Prótese, pode-se usar a prototipagem rápida na fabricação de próteses dentárias metálicas, que são produzidas tridimensionalmente pela deposição de camadas sucessivas de pó e polimerizadas por um feixe de raio laser<sup>31</sup>. O processo de fabricação de próteses metalocerâmicas envolve a impressão do modelo cerâmico rígido e sua posterior imersão em metal fundido, para produzir a parte funcional do coping metálico<sup>32</sup>.

Por outro lado, os sistemas CAD/CAM (Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing) têm sido utilizados com sucesso em próteses All Ceram<sup>32</sup>. A tecnologia CAD da prototipagem rápida pode ser usada na fabricação de coroas dentárias, por exemplo, de incisivo central superior esquerdo. A técnica consiste no escaneamento do elemento dentário contra-lateral, nesse caso, o dente 11, por meio de scanner 3D, e posterior transferência da imagem para um laboratório comercial, onde será construída a imagem espelhada do elemento dentário 21, utilizando-se o software CAD ICON. Em seguida, os dados são transferidos para impressora 3D e um padrão de resina é construído. Este, após ser pressionado, recebe porcelana IPS Empress e o processo de fabricação é finalizado com a redução do terço incisal da face vestibular, para restauração com porcelana feldspática<sup>33</sup>.

A fabricação de próteses totais pode ser realizada usando-se a prototipagem rápida. A técnica consiste no escaneamento por tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) das próteses totais previamente utilizadas pelos pacientes, para obtenção da relação intermaxilar e superfície mucosa. Os arquivos DICOM são então expor-

tados para o software 3D CAD, no qual o modelo virtual das próteses será construído, usando-se tecnologia CAD<sup>34</sup>.

Na implantodontia a aplicabilidade da prototipagem rápida consiste na fabricação de biomodelos e guias cirúrgicas, obtidas por planejamento cirúrgico virtual<sup>35</sup>. O método pode ser também empegado em pacientes com epidermólise bolhosa distrófica recessiva na prototipagem rápida da mandíbula, possibilitando reabilitação oral precisa e não invasiva<sup>37</sup>.

Na ortodontia, a prototipagem rápida pode ser utilizada para colagem de bráquetes para reduzir o seu posicionamento incorreto e tempo de atendimento. Aplicando-se um scanner 3D no modelo de gesso do paciente, os bráquetes são posicionados virtualmente e o dispositivo fabricado ultrapassa a borda incisal ou cúspides dos elementos dentários, para auxiliar na precisa colagem dos bráquetes.<sup>38</sup>

Outra aplicação consiste no diagnóstico e plano do tratamento de caninos maxilares impactados. Exames de tomografia computadorizada do crânio de pacientes com impactação do elemento dentário em formato STL são usados para fabricação de protótipos dos elementos dentários. Assim, isola-se o modelo do elemento dentário estudado e confecciona-se um acessório de metal para facilitar a tração do canino. A técnica possibilita a visualização do relacionamento do dente em estudo com os outros dentes e facilita o diagnóstico e tratamento do caso<sup>39</sup>.

## DISCUSSÃO

Nos últimos anos, houve avanço na aplicação dos sistemas de Prototipagem Rápida na Odontologia em diversas especialidades. Assim, torna-se necessário desenvolver uma revisão de literatura sobre a aplicabilidade da técnica nessa área da saúde, considerando a escassez de trabalhos na literatura que possam, de maneira sintética, auxiliar no tratamento odontológico.

### Prototipagem Rápida

No que se refere aos sistemas de fabricação de modelos, as vantagens da estereolitografia são precisão dimensional, reprodução de estruturas finas, possibilidade de fixação de parafusos e de criação de modelos coloridos e transparência do material<sup>16</sup>. Enquanto que as desvantagens são o alto custo pós-processamento e difícil visualização da superfície.<sup>15,40</sup>

A modelagem por deposição fundida é uma técnica que possui boa precisão dimensional, boa reprodução de estruturas finas e excelente fixação de parafusos. Entretanto, as desvantagens consistem no longo tempo de fabricação, que vai até 24h<sup>16</sup>

As vantagens da sinterização seletiva a laser são a excelente reprodução de estruturas finas e fixação de parafusos, boa precisão dimensional, aparência semelhante ao osso e capacidade de esterilização em autoclave. Sendo as desvantagens o alto custo, o excesso de dureza

do material<sup>40</sup> e a superfície abrasiva dos modelos finais<sup>13</sup>.

A impressão tridimensional tem as vantagens da facilidade de corte, aparência semelhante ao osso e possibilidade de construção de modelos coloridos, estruturas menores e mais complexas, além de permitir a prototipagem de biomodelos mais rapidamente e a um custo menor que as anteriores. Entretanto, as desvantagens são a razoável precisão dimensional, imprecisão na produção de estruturas finas, a porosidade superficial e a liberação de pó ao corte<sup>6,40,41</sup>.

No que concerne aos estágios de produção para a realização da tecnologia de prototipagem rápida, existe um consenso na literatura consultada quanto à necessidade de utilização do estágio virtual previamente ao estágio físico<sup>7,9</sup>. O detalhamento dos métodos para aquisição da imagem utilizada no estágio virtual é acordado por diversos autores, como sendo unificado<sup>7,8</sup>.

Embora o protocolo para realização de exames de tomografia computadorizada multislice e de feixe cônico tenham características diferentes durante o estágio virtual, o protocolo de aquisição é semelhante no que diz respeito à separação da oclusão do paciente<sup>10,11</sup>.

Os materiais empregados na fabricação de modelos podem ser o papel e a cera<sup>3</sup>, embora os materiais mais utilizados sejam o plástico, madeira, cerâmica e metais<sup>5</sup>.

Quanto ao protocolo de fabricação de modelos usando-se o processo da estereolitografia, sabe-se que este sistema é baseado na polimerização de resina líquida fotossensível por meio de luz ultravioleta<sup>6,14,21</sup>. Apesar das desvantagens da utilização da estereolitografia<sup>15</sup>, as vantagens<sup>43</sup> parecem justificar a razão pela qual esse é o processo mais utilizado na odontologia<sup>21</sup>.

No que se refere ao protocolo de fabricação por modelagem por deposição fundida, as etapas de construção apresentadas por esse método são constantemente utilizadas<sup>6,14</sup>. Embora existam as desvantagens da modelagem por deposição fundida<sup>13</sup>, as vantagens do processo<sup>43</sup> diz respeito à segunda maior utilização da modelagem por deposição fundida na odontologia<sup>21</sup>.

Materiais como elastômeros, cerâmicas, termoplásticos, compósitos e metais podem ser utilizados para a fabricação de biomodelos através da sinterização seletiva a laser<sup>2</sup>. O náilon serve como uma alternativa ao pó fusível no processo da sinterização seletiva a laser de gás carbônico (CO<sub>2</sub>)<sup>6,8,14</sup>.

Apesar das vantagens da sinterização seletiva a laser<sup>6</sup>, o alto custo e o excesso de dureza do material em associação com a superfície abrasiva dos biomodelos finais<sup>44</sup>, podem ter impedido a sua aplicação em larga escala na odontologia<sup>41</sup>.

Há certo consenso na descrição do protocolo de fabricação de biomodelos utilizando-se a impressão tridimensional, no que se refere à sucessiva aplicação de pó cerâmico ou polimérico sobre uma plataforma descendente<sup>6,14</sup>.

## Aplicação na Odontologia

A aplicação da prototipagem rápida na Cirurgia Bucomaxilofacial tem a vantagem de representar a anatomia óssea do paciente antes da cirurgia com fidelidade e erro máximo de 0.1mm<sup>42</sup>. Além disso, reduz a morbidade do procedimento, auxilia no treinamento de residentes e contribui na orientação do paciente durante o tratamento<sup>24</sup>. Os autores também apontam a redução do tempo de cirurgia, pré-determinação da dimensão de osteotomias, enxertos ósseos e implantes e descrevem o favorecimento da conformação do material de osteossíntese empregado na fixação dos segmentos ósseos<sup>25</sup>. Contudo, erros maiores que 1.0 mm podem acontecer devido ao uso da tomografia computadorizada<sup>42</sup>. O biomodelo também requer alto custo de fabricação e não pode ser cortado ou alterado durante o planejamento cirúrgico<sup>25</sup>.

A vantagem da fabricação de próteses utilizando o sistema CAD/CAM está relacionada à alta precisão do produto, custo favorável e mínimo desperdício de material<sup>43</sup>. Entretanto, a utilização de zircônia na fabricação leva a desperdício do material, a abrasão intensa das ferramentas envolvidas e falhas microscópicas<sup>44</sup>. Com relação à fabricação de próteses fixas por meio da prototipagem rápida, a reprodução de contorno e textura foram aceitáveis, porém a sombra e translucidez não foram satisfatórias<sup>33</sup>. Os pacientes usuários de próteses totais prototipadas relataram semelhança entre o método convencional e a prototipagem rápida no que se refere à estética, predição da forma final, estabilidade, conforto e satisfação. Para os protesistas, foi observada maior satisfação com a estética e estabilidade no método convencional<sup>34</sup>.

A técnica de prototipagem rápida em Implantodontia pode reduzir o trauma na cirurgia colocando-se o implante no biomodelo, favorecendo seu correto posicionamento. Esse procedimento pode ser desenvolvido em pacientes com limitação de abertura bucal, desconforto, lesões e sangramento<sup>45</sup>. Entretanto, a estabilidade da guia cirúrgica é reduzida em modelos dentados<sup>36</sup>.

Na ortodontia, a colagem de bráquetes através da técnica de prototipagem rápida tem a vantagem de reduzir o tempo clínico do Ortodontista e posicionar o bráquete no elemento dentário com mais precisão. Entretanto, a posição do bráquete não pode ser corrigida devido à presença da moldeira durante o procedimento<sup>38</sup>. Com relação ao custo, o método tem se tornado gradualmente mais acessível. Apesar de todas as vantagens, os autores consideram a exposição do paciente à radiação pelo exame tomográfico<sup>39</sup>. A prototipagem rápida pode auxiliar no planejamento virtual dos procedimentos cirúrgicos de distração osteogênica que possibilitem a determinação do alongamento do RAM, a instalação do dispositivo distrator, a movimentação da mandíbula e a realização da osteotomia sagital bilateral<sup>25</sup>.

## Tomografia Computadorizada

A TC se classifica em TC *Multislice* e TCFC. Principal forma de aquisição da imagem para prototipagem rápida,

a TC é indicado na Odontologia para estudos de maxila e mandíbula, avaliação para colocação de implantes, avaliação pós-operatória, localização e delimitação de lesões e avaliação da articulação temporomandibular<sup>46</sup>. As principais indicações da TCFC são em casos de Cirurgia Bucomaxilofacial, patologias, planejamento de múltiplos implantes, fraturas complexas da face e impacções dentárias<sup>47</sup>. O protocolo de aquisição de alguns equipamentos possui espessura de corte de 0,5 mm, que produz excelente resultado. Contudo, haverá necessidade de ajuste conforme a dose. Assim, nas cirurgias maxilofaciais, a espessura de corte adequada estará entre 0,5-1,0mm. Além disso, deve-se optar pelo menor intervalo de reconstrução possível entre as imagens<sup>1</sup>.

Entre as vantagens da TC estão a realização de um procedimento não-invasivo, rápido, com acurácia, tolerância maior a movimentos, e boa visualização de ossos, tecido mole e vasos sanguíneos, comparado à ressonância magnética (RM). Além disso, a técnica permite o uso de dispositivos médicos. Entre as desvantagens, encontram-se exposição à radiação, exame inadequado para gestantes e potencial alérgico da substância de contraste<sup>48</sup>.

As vantagens da TCFC sobre a TC *Multislice* são a forma mais compacta do equipamento, o custo reduzido e a realização de exames da região de cabeça e pescoço com maior nitidez e acurácia. Além disso, o exame tem menor dose de radiação. Dos 10-70 segundos de duração, a exposição à radiação ocorre de 3-6 segundos, enquanto na TC *Multislice* acontece de forma ininterrupta. Outra vantagem é a produção reduzida de artefato na presença de metais. Contudo, a TCFC apresenta baixo contraste entre tecido duro e tecido mole comparado à TC *Multislice*<sup>49</sup>.

## CONCLUSÃO

A tecnologia de prototipagem aditiva é uma das utilizadas na fabricação de biomodelos em odontologia. Nesse sentido, os processos mais usualmente aplicados à área compreendem a estereolitografia, a modelagem por deposição fundida, a sinterização seletiva a laser, impressão tridimensional, thermojet e polyjet.

Visando as aplicações na Odontologia, a prototipagem rápida foi utilizada para contribuir com o diagnóstico, fabricação de implantes, próteses e placas de reconstrução personalizadas, aperfeiçoamento do planejamento cirúrgico, estudo das técnicas de ressecção, simulação de intervenções pré-operatória e didática com o paciente.

## REFERÊNCIAS

1. BIBB, R.; WINDER, J. A review of the issues surrounding three-dimensional computed tomography for medical modelling using rapid prototyping techniques. **Radiography**, London, v. 16, n. 1, p.78-83, 2010.
2. YAXIONG, L. et al. The customized mandible substitute based on rapid prototyping. **Rapid. Prototyping J.**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 167-174, 2003.
3. ANTAS, A. F. F. **Utilização das tecnologias de prototipagem rápida na área médica**. Porto: Universidade do Porto, 2007. p.8.

4. SAMMARTINO, G. et al. Stereolithography in oral implantology: a comparison of surgical guides. **Implant. Dent.**, Baltimore, v. 13, n. 2, p. 133-139, 2004.
5. WINDER, J.; BIBB, R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. **J. Oral Maxillofac Surg.**, Philadelphia, v. 63, n. 7, p. 2006-1015, 2005.
6. CARVALHO, E. M. Prototipagem na odontologia: obtenção e uso. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TÉCNICOS EM PRÓTESE DENTÁRIA. 10., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2007. p.1-12.
7. SILVA, J. V. L. et al. Prototipagem rápida: conceitos e aplicações. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CAD/CAM ROBOTICS & FACTORIES OF THE FUTURE. 15., 1999, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1999. 15 p.
8. ALVES, L.; BRAGA, F. **Protoclick**: prototipagem rápida. Porto: Protoclick, INEGI, 2001. 184p.
9. SALLES, F. A.; ANCHIETA, M. V. M.; CARVALHO, G. P. Estereolitografia auxiliando o planejamento cirúrgico em enfermidades orais. **Rev. Bras. Patol. Oral**, Natal, v. 1, n.1, p. 54-60, 2002.
10. ARTIS. **Protocolo para exame tomográfico com a finalidade de confecção de protótipos**. Disponível em <<http://www.artis.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2015.
11. BIOPARTS. **Saiba como proceder com a aquisição de protótipos**. Disponível em: <<http://www.bioparts.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2015
12. ALDRIDGE, K. et al. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. **Am. J. Med. Genet. A.**, New York, v. 138A, n. 3, p. 247-253, Oct. 2005.
13. 3dMD. **3dMD Systems**. Disponível em: <<http://www.3dmd.com>>. Acesso em: 28 maio 2013.
14. GORNI, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Plástico Industrial**, São Paulo, n. 32, p. 230-239, mar. 2001.
15. PETZOLD, R.; ZEILHOFER, H. F.; KALENDER, W. A. Rapid prototyping technology in medicine: basics and applications. **Comput. Med. Imaging Graph.**, Elmsford, v. 23, n. 5, 277-284, Oct. 1999.
16. WOHLERS, T. **State of the industry**: Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins: Wohlers Associates, 2008. 12p.
17. TORABI, K; FARJOOD, E; HAMEDANI, S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics a Review of Literature. **J. Dent. Shiraz.**, Iran, v. 16, n. 1, p.1-9, Mar. 2015.
18. WONG, M. S. et al. A work study of the CAD/CAM method and conventional manual method in the fabrication of spinal orthoses for patients with adolescent idiopathic scoliosis. **Prosthet. Orthot. Int.**, Hellerup, v. 29, n. 1, p. 93-104, 2005.
19. NÉMETH, I. **3D Design Support for Rapid Virtual Prototyping of Manufacturing Systems**. Procedia CIRP 7; Elsevier, 2013. p. 431-436.
20. HACKNEY, P; CHRISTOPHER, A. Rapid manufacturing – state of the art, analysis and future perspectives. In: **ICAM 2011**: International Conference on Advanced Manufacturing. Malásia, May 2011.
21. CHUA, C. K.; LEONG, K. F.; LIM, C. S. **Rapid prototyping**: Principles and Applications. Singapura: Wold Scientific, 2003. 540p.
22. SHEREKAR, R. M.; PAWAR, A. Application of biomodels for surgical planning by using rapid prototyping: a review and case studies. **IJIRAE**, [S. l.], v. 1, n. 6, p. 263-271, 2014.
23. ROSA, E. L. S. da; OLESKOVICZ, F. C.; ARAGÃO, B. N. Rapid prototyping in Maxillofacial Surgery and Traumatology: case report. **Braz. Dent. J.**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p. 243-247, Sept./Dec. 2004.
24. ROBIONY, M. et al. Virtual reality surgical planning for maxillofacial distraction osteogenesis: the role of reverse engineering rapid prototyping and cooperative work. **J. Oral. Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v. 65, n. 6, p. 1198-1208, 2007.
25. ROBIONY, M. et al. Accuracy of virtual reality and stereolitographic models in maxillo-facial surgical planning. **J. Craniof. Surg.**, Philadelphia. v. 19, n. 2, p. 482-489, Apr. 2008.
26. LI, W. Z. et al. Application of computer-aided three-dimensional skull model with rapid prototyping technique in repair of zygomatico-orbito-maxillary complex fracture. **Int. J. Med. Robotics Comput. Assit. Surg.**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 158-163, 2009.
27. ZHOU, L. et al. Correction of hemifacial microsomia with the help of mirror imaging and rapid prototyping technique: case report. **Br. J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v. 47, n. 6, p. 486-488, 2009.
28. OLSKEWSKI, R.; TRANDUY, K.; REYCHLER, H. Innovative procedure for computer-assisted genioplasty: three-dimensional cephalometry, rapid prototyping model and surgical splint. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v. 39, n. 7, p. 721-724, 2010.
29. ZHANG, S. Y. et al. Application of Rapid Prototyping for Temporomandibular Joint Reconstruction. **J. Oral Maxillofac. Surg.**, Philadelphia, v. 69, n. 2, p. 432-438, Feb. 2011.
30. LEE, S.; KIM, E. Minimizing the extra-oral time in autogenous tooth transplantation: use of computer-aided rapid prototyping (CARP) as a duplicate model tooth. **Restor. Dent. Endod.**, Korea, v. 37, n. 3, p. 136-141, 2012.
31. SUN, J.; ZHANG, F. The application of rapid prototyping in prosthodont. **J. Prosthodont.**, Philadelphia, v. 21, n. 8, p. 641-644, 2012.
32. CURODEAU, A.; SACHS, E.; CALDARISE, S. Design and fabrication of cast orthopedic implants with freedom surface textures from 3-D printed ceramic shell. **J. Biomed. Mater. Res.**, Hoboken, v. 53, n. 5, p. 525-535, 2000.
33. CHO, S.; CHANG, W. Mirror-image anterior crown fabrication with computer-aided design and rapid prototyping technology: a clinical report. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v. 109, n. 2, p. 75-78, 2013. .
34. INOKOSHI, M.; KANAZAWA, M.; MINAKUCHI, S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. **Dent. Mater. J.**, Tokyo, v. 31, n.1, p. 40-46, Feb. 2012.
35. MENEZES, P. D. F.; SARMENTO, V.; LAMBERTI, P. Aplicação da prototipagem rápida em implantodontia. **Innov. Implant. J. Biomater. Esthet.**, São Paulo, v. 3, n. 6, p. 39-44, set. 2008.
36. CURCIO, R. et al. Use of models in surgical predictability of oral rehabilitations. **Acta cir. bras.**, São Paulo, v. 22, n. 5, p. 387-395, Sept./Oct. 2007.
37. OLIVEIRA, M. A. et al. Recessive dystrophic epidermolysis bullosa – oral rehabilitation using stereolithography and immediate endosseous implants. **Spec. Care Dentist.**, Chicago, v. 30, n. 1, p. 23-26, 2010.
38. CIUFFOLO, F. et al. Rapid prototyping: a new method of preparing trays for indirect bonding. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 129, n. 1, p. 75-77, Jan. 2006.
39. FABER, J.; BERTO, P. M.; QUARESMA, M. Rapid prototyping as a tool of diagnosis and treatment planning for maxillary canine impaction. **Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.**, St. Louis, v. 129, n. 4, p 583-589, 2006.
40. MEURER, M. I. et al. Aquisição e manipulação de imagens por tomografia computadorizada da região maxilofacial visando à obtenção

- de protótipos biomédicos. **Radiol. Bras.**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 49-54, jan./fev. 2008.
41. KIM, M. S. et al. Rapid prototyping: a new tool in understanding and treating structural heart disease. **Circulation**, Dallas, v. 117, n. 18, p. 2388-2394, 2008.
42. MCGURK, M. et al. Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. **Ann. R. Coll. Surg. Engl.**, London, v. 79, p. 169-174, 1997.
43. ÖZKOL, E. et al. Development of high solid content aqueous 3Y-TZP suspensions for direct inkjet printing using a thermal inkjet printer. **J. Eur. Ceram. Soc.**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 403-409, 2009.
44. EBERT, J. et al. Direct inkjet printing of dental prosthesis made of zirconia. **J. Dent. Res.**, Washington, v. 88, n. 7, p. 673-676, 2009.
45. LEE, H. et al. Oral rehabilitation of a completely edentulous epidermolysis bullosa patient with a implant-supported prosthesis: a clinical report. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v. 97, n. 2, p. 65-69, 2007.
46. RUSCHEL, G. et al. Tomografia linear x tomografia computadorizada. **Rev. Odonto Ciênc.**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 264-267, 2001.
47. GARIB, D. G. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (*Cone beam*): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. **R. Dental. Press Ortodon. Orthop. Facial**, Paraná, v. 12, n. 2, p. 139-156, 2007.
48. CHARTERED MEDICAL GROUP. **CT overview**. 2007. Disponível em <<http://www.chartermedical.ie/diagnostic-imaging/ct>>. Acesso em: 19 nov 2009.
49. GARIB, D. G. et al. Tomografia Computadorizada de feixe cônico (*Cone beam*): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. **R. Dental Press Ortodon. Orthoped. Facial.**, Paraná, v.12,n.2,p.139-156,2007.

---

Submetido em: 02/09/2015

Aceito em:14/06/2016