

Modelos digitais tridimensionais

Digital models 3D

Coordenação de conteúdo:
Flavio Cotrim-Ferreira

Marlos Eurípedes de Andrade Loiola*
Wendel Minoro Muniz Shibasaki**

RESUMO

A Ortodontia vem se atualizando ao longo dos anos e incorporando tecnologia nos procedimentos que usualmente seriam feitos de forma manual, como já faziam os grandes ortodontistas da história no século passado. A confecção e a análise de modelos ortodônticos em gesso configuram procedimentos da rotina clínica dos ortodontistas há mais de 100 anos e muitos autores idealizaram protocolos de diagnóstico utilizando-se desta ferramenta. Mais recentemente foram introduzidas técnicas de virtualização digital dos modelos de gesso, o que gerou uma série de discussões quanto à sua viabilidade na Ortodontia. O presente artigo fez uma revisão recente da Literatura a respeito da utilização dos modelos digitais tridimensionais quanto à sua confiabilidade e precisão.

Unitermos – Modelos de estudo; Modelos ortodônticos; Modelos digitais; E-models.

ABSTRACT

Orthodontics has been updated over the years and incorporating technology in procedures that usually would be done manually, like as the great history of orthodontists in the last century. The preparation and analysis of orthodontic plaster models make up the routine procedures of clinical orthodontists for over 100 years and many authors have devised diagnostic protocols using this tool. More recently, virtualization techniques were introduced digital plaster models which generated a series of discussions about its viability in orthodontics. This article reviews recent literature on the use of digital models tridimension as to its reliability and accuracy.

Key Words – Study models; Orthodontic models; Digital models; E-models.

*Aluno do Programa de Mestrado em Ortodontia – Unicid; Professor dos Cursos de Especialização em Ortodontia – Cebeo/BA e Funorte/lappem/BA; Especialista em Ortodontia – Cebeo/BA; Membro da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica – SBPQO.

**Professor do Curso de Especialização em Ortodontia – Funorte/lappem/BA; Especialista em Ortodontia – Cebeo/BA.

Na última década, a Ortodontia vem passando por enormes transformações, guiadas pela introdução dos sistemas de ancoragem máxima, pelo aperfeiçoamento da filosofia de tratamento com os bráquetes autoligados, além da introdução de novos recursos e tecnologias tridimensionais no campo do diagnóstico e do planejamento dos casos. Sem dúvida, o ortodontista contemporâneo terá que, paulatinamente, se familiarizar e incorporar na sua rotina clínica diária todos estes novos elementos já disponíveis.

Os primeiros ortodontistas da história da nossa especialidade, como o Dr. Edward Hartley Angle, utilizavam modelos de gesso como elementos de diagnóstico e planejamento do tratamento dos seus casos¹ (Figura 1). Passados mais de 100 anos, a forma como este recurso é utilizado pouco mudou e são utilizados rotineiramente com estes mesmos objetivos, acrescidos da imposição legal de sua guarda como prova em situações de litígio entre profissional e paciente, na esfera jurídica².

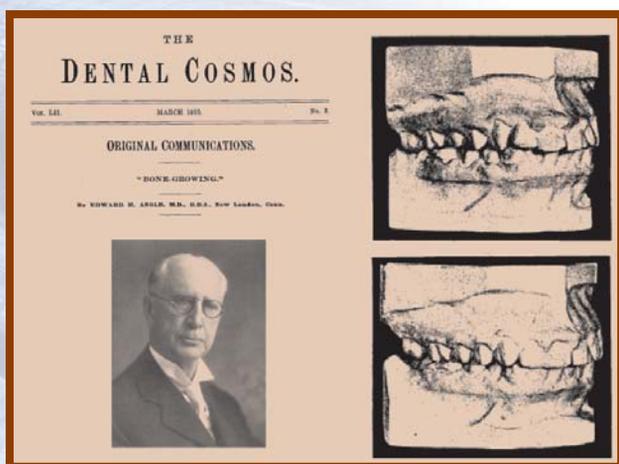


Figura 1
Dr. Edward Angle e seu artigo publicado em 1910.

Muitos protocolos de diagnóstico ortodôntico que se utilizam dos modelos em gesso foram desenvolvidos ao longo da história por vários autores^{3,6}, entre outros. Também são utilizados como peça importante no planejamento de tratamentos através da realização de *setups* ortodônticos e no planejamento de cirurgias ortognáticas, além dos planejamentos sedimentados na filosofia de tratamento⁷, na qual os autores preconizam a montagem prévia dos modelos dos pacientes em articuladores que permitem aferição dos posicionamentos condilares. Os modelos ortodônticos, portanto, se constituem em um recurso indispensável para diversas situações clínicas na rotina do especialista.

A crescente demanda pelo tratamento ortodôntico por pacientes de todas as classes sociais trouxe, para muitos

profissionais, um grande problema: a necessidade de se ter um espaço físico no consultório especialmente voltado para estocagem dos modelos de gesso, o que tem sido visto como um grande estorvo. O risco da sua quebra acidental e consequentemente a destruição permanente do registro inicial daquele paciente, além da grande dificuldade na troca de informações à distância entre profissionais são desvantagens inerentes a este recurso.

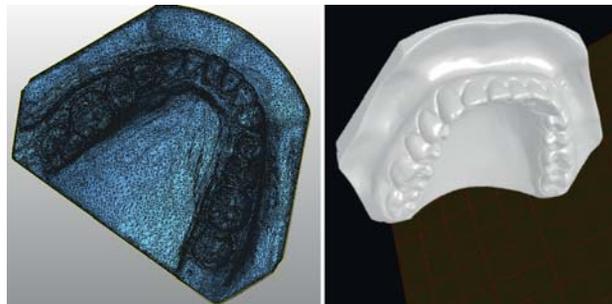


Figura 2
Modelo digital tridimensional.

Buscando sanar muitos desses problemas, a Ortodontia aliou-se a outras áreas do conhecimento ao incorporar recursos gráficos tridimensionais para virtualizar os modelos (Figura 2), trazendo, incontestavelmente, inúmeras vantagens: a conveniência de arquivá-los no computador, a virtualização dos planejamentos de casos com *softwares* de última geração, a possibilidade de trocas de informações com colegas de outros centros via *web*, principalmente quando o planejamento do caso exige uma abordagem multidisciplinar integrada, e a possibilidade de materializar a imagem virtual através do processo de prototipagem rápida. Obstante a isso, mesmo com a sua redução causada pela maior difusão da técnica, o custo ainda pode ser considerado relativamente alto quando se tem um grande volume de material (modelos) a ser digitalizado, além da concentração de clínicas especializadas na execução deste trabalho estar restrita a grandes centros e ainda em número reduzido, configuram fatores que elevam a dificuldade de acesso a este recurso. Na esfera jurídica, a insegurança, antes amplamente atribuída aos meios digitais de documentação, parece estar se afastando com o surgimento dos sistemas de autenticação nos quais se utiliza uma “chave” de assinatura digital e posterior envio de cópia eletrônica a um cartório digital⁷.

São citados na Literatura dois métodos para construir virtualmente os modelos dentários digitais: o primeiro é o “escaneamento destrutivo a laser” (*laser destructive scanning*)^{8,9}, processo no qual o modelo de gesso é revestido por uma matriz

sólida e de cor contrastante. Em seguida, a superfície do objeto é cortada paralelamente ao plano oclusal até que o primeiro traço do modelo de gesso se torne aparente. A partir de então, um escaneamento a laser da superfície bidimensional é feito e todos os seus dados são armazenados como uma camada em um arquivo de computador. Posteriormente, outra fatia de 0,003" do bloco é cortada, um novo escaneamento é feito e suas informações novamente armazenadas⁹. Já o "escaneamento a laser não destrutivo" (*laser non-destructive scanning*) é o protocolo utilizado para a obtenção de um modelo dentário tridimensional a partir do escaneamento do modelo de gesso como um todo, girando-o nos três planos do espaço, obtendo desta forma a cópia do modelo original (Figura 3). A precisão do sensor a laser é de 0,01 mm, o que irá gerar um modelo digital com precisão da superfície de aproximadamente 0,01 mm⁹.



Figuras 3
Scanner Laser "não destrutivo" da empresa 3Shape.

Os modelos digitalizados podem ser visualizados em qualquer posição no ambiente virtual. Os aplicativos desenvolvidos para a manipulação das imagens virtuais geradas no processo de escaneamento permitem ao operador realizar mensurações em qualquer escala (Figura 4), girá-los 360° em torno de qualquer um dos seus eixos, em todos os planos do espaço, além de realizar *setups* ortodônticos com movimentações dentárias e visualizar as consequentes mudanças nas três dimensões dos arcos dentários superiores e inferiores, isoladamente ou articulados.

Este recurso vem sendo estudado por vários pesquisadores e seus trabalhos sistematicamente publicados, tanto na literatura nacional como na internacional^{1,3-20}. A maioria dos periódicos publicados na última década compara, através de mensurações, o modelo virtual com o modelo real de gesso, testando a precisão e a confiabilidade dos mesmos. Os mais atuais já demonstram a gama de possibilidades em aplicações clínicas desta nova ferramenta tecnológica.

Buscando avaliar a confiabilidade do sistema OrthoCAD, dois examinadores independentes¹⁰, em 2003, mensuraram o tamanho dos dentes, *overbite* e *overjet* em ambos modelos, digitais e de gesso. Os resultados foram comparados e a confiabilidade interexaminadores avaliada. A amostra consistia de 76

pacientes selecionados aleatoriamente. Os resultados mostraram uma diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos para o tamanho dos dentes e *overbite*, com as medições digitais menores do que as medições manuais. A magnitude dessas diferenças variou de 0,16 mm a 0,49 mm. Relevante estatisticamente, porém, considerada clinicamente irrelevante. Não foram encontradas diferenças entre os dois grupos na mensuração do *overjet*. A confiabilidade interexaminadores foi consistente tanto para os modelos de gesso como para os digitais.

A partir de 1999, o Board Americano de Ortodontia (ABO) implementou um sistema de classificação para avaliar os modelos ortodônticos de pós-tratamento e radiografias panorâmicas, para fase III dos seus processos de avaliação. Neste sistema de classificação objetiva e justa da ABO, sete critérios oclusais são medidos nos modelos de gesso (alinhamento dos dentes, posicionamento vertical das cristas marginais, inclinação vestibulolingual dos dentes posteriores, relação oclusal, contatos oclusais, sobressaliência e contatos interproximais) para avaliar oclusão final de um paciente. Objetivando avaliar se os modelos digitais poderiam ser utilizados com razoável precisão e confiabilidade na avaliação da oclusão final dos pacientes foi realizado um estudo, em 2005, onde um grupo de pesquisadores¹¹ avaliou modelos de gesso e digitais (OrthoCAD, Cadent Inc, Carlstadt, NJ) pós-tratamento de 24 pacientes que foram coletados na clínica de Pós-graduação em Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade de Columbia. Os modelos de gesso foram marcados usando o gabarito de medição da ABO e os seus sete critérios do sistema de classificação foram avaliados. Uma segunda análise foi realizada nos modelos digitais. Para determinar o erro interexaminadores, um estudante do quarto ano da Universidade de Columbia serviu como um segundo examinador. Deste estudo concluiu-se que, em geral, os modelos de gesso e digitais mostraram valores semelhantes na pontuação das medidas gerais para cinco dos sete critérios referenciais da ABO. Algumas melhorias na precisão do *software* ou na habilidade de sua utilização pelos examinadores foram julgadas necessárias para alcançar maior confiabilidade na mensuração do alinhamento e das inclinações vestibulolinguais das unidades dentárias. Apesar da confiabilidade interexaminadores ter se mostrado um pouco melhor com os modelos digitais, foi evidenciada a necessidade da calibração dos examinadores para ambos os métodos, manual e digital, de mensuração. Concluíram afirmando que o uso dos modelos digitais produzidos pelo sistema OrthoCAD parece ser uma alternativa viável aos modelos de gesso.

Ainda para testar a confiabilidade do uso dos modelos dentários digitais como exame complementar ao diagnóstico

ortodôntico, em 2007, três examinadores⁹ mediram a largura dos dentes permanentes nos quatro segmentos dos arcos superiores e inferiores, as distâncias intercaninos, as distâncias intermolares, os trespasses horizontal e vertical em modelos de gesso e em seus correspondentes digitais de seis pacientes, utilizando um paquímetro digital e o programa e-Model, respectivamente. Comprovaram, neste estudo, a confiabilidade do uso dos modelos dentários digitais com exame complementar ao diagnóstico ortodôntico. Os autores⁹ citaram como vantagens a facilidade de armazenamento de informações, o menor risco de perda de dados durante sua manipulação e transporte, bem como a diminuição do tempo gasto para realizar as medições.

Seguindo a mesma linha de questionamento, em 2007, outros autores¹² analisaram a precisão e a reprodutibilidade de medições feitas em modelos digitais. Dez conjuntos de modelos de estudo ortodôntico foram escaneados usando o Sistema Arius3D e suas imagens tridimensionais (3D) foram produzidas. Dois examinadores, individualmente, mediram 11 parâmetros nos modelos convencionais e nos digitais, em duas ocasiões. Os parâmetros incluídos foram o diâmetro mesiodistal da coroa, largura intercaninos e intermolares, comprimento do arco, *overjet* e altura do coroa do incisivo. As técnicas de medição foram comparadas estatisticamente utilizando o teste *t* pareado. Os resultados demonstraram que a maioria dos parâmetros poderia ser medida de forma confiável nos modelos digitais, podendo potencialmente eliminar a necessidade de produção e armazenamento de modelos de gesso, mas ponderaram quanto ao custo dos mesmos.

Ainda em 2007 foi publicado um estudo¹³ cujo objetivo foi determinar a precisão e a velocidade de mensuração do comprimento do arco e a discrepância de Bolton. Avaliou-se o tempo necessário para realizar o procedimento em cada modelo de paciente, utilizou-se um *software* (e-Model, versão 6.0, GeoDigm Corp, Chanhassen, Minn) para fazer a comparação com os modelos tradicionais de gesso. Modelos de 30 pacientes foram selecionados dos arquivos do Departamento de Ortodontia da West Virginia University. A largura mesiodistal de cada dente do primeiro molar a primeiro molar do lado oposto foi medida com precisão de 0,1 mm através de um paquímetro digital, e a discrepância de Bolton foi calculada para cada paciente. O tempo necessário para fazer as medições e para realizar as análises foi registrado em segundos, usando um cronômetro. Este processo foi repetido para gravar as medições digitais com o *software*. Com o intuito de avaliar se houve alguma ampliação nos modelos digitais, esferas de rolamentos com 1/4 de polegada foram montadas em um modelo de estudo modificado. A diferença entre os dois métodos foi calculada, e um



Figuras 4
Mensurações
nos modelos
tridimensionais
e tradicionais de
gesso.

teste *t* pareado foi feito para analisar estatisticamente os dados. Os resultados demonstraram que para realizar a análise de Bolton, o modelo digital é tão preciso quanto o de gesso, e a mensuração significativamente mais rápida do que o método tradicional com paquímetro digital.

Foi publicado em 2008 um artigo¹⁴ onde se demonstrou que desde 1915 vários pesquisadores tentavam fazer um modelo tridimensional (3D) da face completa, com a dentição na posição anatômica correta. Isto configurava um processo difícil e demorado. O trabalho apresentou um estudo de viabilidade da integração de elementos dentais digitais em uma imagem facial 3D. Para a integração, os três conjuntos de dados digitais foram construídos: um elenco dental digital, uma fotografia digital 3D do paciente com os dentes visíveis e uma fotografia digital 3D do paciente com os dentes em oclusão. Usando um algoritmo de ponto espacial, os três conjuntos de dados foram combinados para, desta forma, colocá-los na posição anatômica correta. Após a combinação dos três conjuntos de dados, obteve-se um modelo digital 3D com o elenco dental visível através da imagem transparente do rosto do paciente. Os autores concluíram que é possível tecnicamente fazer um conjunto de dados do rosto de um paciente com a dentição posicionada para gerar uma imagem 3D. Mais pesquisas futuras precisam estabelecer o valor deste conjunto de dados 3D fundidos da face e da dentição para o diagnóstico e planejamento do tratamento ortodôntico.

Um outro estudo para avaliar a precisão e a reprodutibilidade de uma imagem tridimensional (3D) gerada em um aparelho de varredura óptica a *laser* para gravar os detalhes da superfície de modelos de estudo em gesso foi realizado no ano de 2008¹⁵.

Para este intento utilizou-se o processo de fabricação de prototipagem rápida. O estudo de comparação de métodos foi realizado usando 30 modelos de estudo do Departamento de Ortodontia da Faculdade de Odontologia, Universidade de Cardiff. Concluiu-se que a medição nas superfícies dos modelos digitais 3D foi reproduzível; os valores de medições entre os modelos digitais 3D e os de gesso das mesmas dentições demonstraram-se de acordo, mas o detalhe e a precisão dos modelos físicos, reconstruídos a partir de dados digitais, podem não ser suficientes para certas aplicações, usando a técnica descrita de estereolitografia *standart*, o que sugeriu a melhoria das técnicas de prototipagem rápida para esta finalidade. Os autores¹⁵ sugeriram trabalhos futuros baseados em outras técnicas de processos de impressão tridimensionais como a modelagem poli-jet (Objet Geometries Ltd, Rehovot, Israel), modelagem multi-jet (3D Systems Inc. Rock Hill, SC, EUA) e em cabeças de jateamento únicas (SolidScape Inc., Merrimack, NH, EUA).

Já se aproximando do final desta última década, foi realizado mais um estudo com o objetivo de avaliar a exatidão, a precisão e a reprodutibilidade de medições obtidas em modelos digitais¹⁶. Neste estudo, utilizou-se modelos de gesso mensurados pelo paquímetro digital (Mitutoyo Digimatic, Mitutoyo (UK) Ltd), pelo sistema MicroScribe 3DX (Immersion, San Jose, Calif) e por imagem tridimensional dos modelos de gesso escaneados e digitalizados utilizando o *software* do programa Sistema O3d (Widialabs, Brasil). Compararam-se medidas lineares, análises obtidas em modelos de gesso e imagem tridimensional. E ainda, em um segundo estudo, avaliou-se a exatidão de medidas lineares obtidas em modelos de gesso em função da posição da moldeira durante o tempo de presa do gesso. Concluiu-se que o modelo digital do O3d mostrou-se exato, preciso e pode ser considerado um dispositivo confiável para o uso clínico e científico do ortodontista. Além disso, o paquímetro e o O3d apresentaram desempenhos semelhantes na obtenção de medidas e análises.

Mais atualmente, em 2010, foi publicado um estudo no qual os autores¹⁷ compararam medidas obtidas a partir de modelos digitais gerados por tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) com modelos de estudos digitais tradicionais. Modelos digitais de 30 pacientes foram utilizados. O *software* da InVivoDental (Anatomege, San Jose, Calif) foi utilizado para analisar as imagens geradas pela TCFC. E o *software* OrthoCAD (cadente, Fairview, NJ) foi utilizado para analisar as moldagens realizadas com alginato, que foram enviadas e convertidas digitalmente. Os modelos foram então analisados utilizando o índice de Little como referência. Os autores concluíram que os Modelos digitais TCFC são tão precisos quanto os modelos

digitais gerados pelo OrthoCAD nas tomadas de medidas lineares de sobressaliência, sobremordida e medidas apinhamento.

Neste mesmo ano de 2010, ratificando os resultados dos estudos mais novos, outros autores¹⁸ avaliaram a precisão da superposição de modelos digitais tridimensionais (3D) utilizando a superfície palatal como referência para medir os movimentos dentários. Foram selecionados 20 modelos superiores de gesso. Os caninos direito e esquerdo, pré-molares, e molares foram cortados individualmente na região da margem gengival e foi criado um *setup* em cera. Os *setups* foram digitalizados para criar modelos digitais 3D. As unidades dentárias foram aleatoriamente movimentadas e, posteriormente, digitalizadas para produzir outro conjunto de modelos digitais 3D. Os mesmos foram sobrepostos usando a área palatina como referência por meio de um *software* de superfície-superfície de correspondência e as mudanças no movimento dentário foram calculadas. Nos modelos de gesso, os movimentos dos dentes foram medidos diretamente através do instrumento de medição de referência. Concluiu-se que, do ponto de vista técnico, a sobreposição dos modelos digitais 3D utilizando a superfície palatal fornece medições precisas e confiáveis e apenas ponderam quanto à estabilidade da superfície palatal longitudinalmente após o crescimento e/ou tratamento ortopédico.

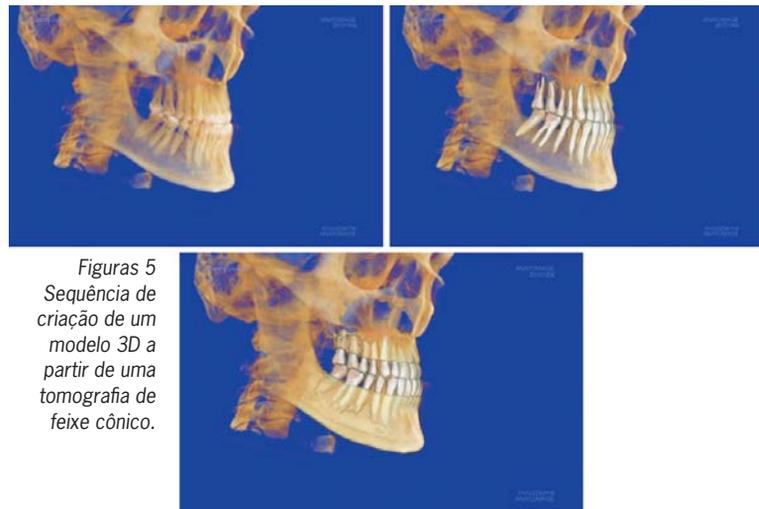
Mais recentemente, em 2011, foi realizado um levantamento sistematizado da literatura disponível¹⁹ com o objetivo de observar a validade do uso de modelos digitais para avaliar o tamanho do dente, comprimento do arco, o índice de irregularidade, a largura do arco e os apinhamentos em relação a medições geradas em modelos de gesso com paquímetros digitais em pacientes com e sem má-oclusão. Os estudos comparando as medições lineares e angulares obtidas em modelos de gesso padrão e digital foram feitos através de pesquisa em múltiplos bancos de dados, incluindo Medline, Lilacs, BBO, ClinicalTrials.gov, National Research Register e Abstracts Pro-Quest Dissertation e Thesis database, sem restrições relativas ao *status* de publicação ou à linguagem da publicação. Dois autores ficaram envolvidos na seleção dos estudos, na avaliação da qualidade e da extração de dados. Foram incluídos 17 estudos relevantes onde se relatou, em geral, a diferença média absoluta entre as medidas diretas e indiretas em modelos de gesso e digitais que foram reduzidos e clinicamente insignificantes. Concluiu-se que as mensurações em modelos digitais oferecem alto grau de validade quando comparados com as medições diretas realizadas em modelos de gesso; as diferenças entre as diversas formas de abordagens nos diversos estudos foram clinicamente aceitáveis.

Em 2011, ainda procurou-se determinar se os modelos digitais gerados de tomografias de feixe cônico eram tão precisos como os digitais gerados pelo OrthoCAD (cadente, Inc, Carlstadt, NJ) para fins de diagnóstico ortodôntico e plano de tratamento²⁰. Registros digitais de 30 indivíduos foram selecionados, e os modelos digitais foram obtidos com o OrthoCAD e InVivoDental (San Jose, CA). Sete parâmetros, indicando medidas lineares de monumentos pré-determinados foram medidos e analisados. Os resultados demonstraram que as medidas lineares obtidas a partir da imagem dos modelos de TCFC indicaram um bom nível de precisão quando comparado com os modelos digitais gerados pelo OrthoCAD. A precisão foi considerada satisfatória para o diagnóstico inicial e para o planejamento de tratamento em Ortodontia (Figuras 5).

Conclusão

Incontestavelmente os modelos digitais tridimensionais são elementos de diagnóstico e planejamento ortodôntico contemporâneo. Inúmeros estudos comprovam sua confiabilidade e facilidade de manipulação. Muitas são as possibilidades disponíveis, como a mensuração e a manipulação de *setups* virtuais, sobreposição do pré e pós-tratamento, possibilitando avaliar a sua eficiência e atualmente a possibilidade de se gerar modelos digitais a partir de cortes tomográficos de feixe cônico. Se ainda for necessário o modelo físico, pode-se materializar a imagem digital através da prototipagem rápida.

Como desvantagens, ratifica-se ainda a dificuldade na aquisição deste recurso pelos centros de radiologia odontológico, o que determina um custo relativamente alto para os padrões atuais. Há necessidade de readequação da rotina de trabalho por



Figuras 5
Sequência de criação de um modelo 3D a partir de uma tomografia de feixe cônico.

parte dos ortodontistas, o que exige uma curva de aprendizado para a manipulação das imagens e ferramentas disponíveis.

Não há dúvidas de que com o desenvolvimento de aplicativos ainda mais intuitivos, incorporando tecnologias de comando por gestos e realidade aumentada, paralelamente com a sua disseminação entre as clínicas de documentação odontológica e consequente diminuição dos custos, a virtualização dos modelos será algo rotineiro ao ortodontista.

Agradecimento: ao Dr. Chung How Kau, Chairman and Professor of The University of Alabama at Birmingham - School of Dentistry, que gentilmente colaborou com os autores, cedendo as imagens que ilustram a criação do modelo 3D a partir da tomografia computadorizada de feixe cônico.

Endereço para correspondência:

Marlos Loiola

AV. ACM, 1034 – Ed. Pituba Parque Center – Sala 346 – Ala A - Pituba
41858-900 – Salvador – Bahia
marlosloiola@gmail.com

Referências

1. Angle EH. Bone-growing. *Dent Cosmos* 1910;52:261-7.
2. Holanda DA, Mello VVC, Zimmermann RD. Documentação Digital em Odontologia. *Odontol Clin-Cient* 2010;9(2):111-3.
3. Little RM. The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod* 1975;68(5):554-63.
4. Tanaka MM, Johnston LE. The prediction of the size of unerupted canines and premolars in a contemporary orthodontic population. *J Am Dent Assoc* 1974;88:798-801.
5. Moyers RE. Analysis of the dentition and occlusion. In: Moyers RE, editor. *Handbook of orthodontics*. 4th ed. Chicago: Year Book Medical Publishers; 1988:221-46.
6. Bolton WA. Disharmonies in Tooth Size and its Relation to the Analysis and Treatment of Malocclusion. *Angle Orthod* 1958;28:113-30.
7. Roth RH, Williams RE. Comment on Condylar Movement and Mandibular Rotation during Jaw Opening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110(3):21-2.
8. Baumrind S. Introduction. *Semin Orthod*, 2001;7(4):222.
9. Oliveira DD, Ruellas ACO, Drummond MEL, Pantuzo MCG, Lanna AMQ. Confiabilidade do uso de modelos digitais tridimensionais como exame auxiliar ao diagnóstico ortodôntico: um estudo piloto. *Dental Press Orthodon Orthop Facial* 2007;12(1):84-93.
10. Santoro M, Galkin S, Teredasai M, Nicolay O, Cangialosi TJ. Comparison of measurements made on digital and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:101-5.
11. Costalos PA, Sarraf K, Cangialosi TJ, Efstratiadis S. Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:624-9.
12. Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *European Journal of Orthodontics* 2007;29:517-22.
13. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:346-52.
14. Rangel FA, Maal TJJ, Bergé SJ, Van Vlijmen OJC, Plooi JM, Schutyser F et al. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:820-6.
15. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *Journal of Orthodontics* 2008;35:191-201.
16. Grehs B. Exatidão, precisão e reprodutibilidade de medidas dentárias em modelos de gesso e imagem tridimensional. [Dissertação]. Araraquara: Universidade Estadual Paulista, 2009.
17. Kau CH, Field JL, Rainy N, Nguyen JTN, Creed B. Evaluation of CBCT Digital Models and Traditional Models Using the Little's Index. *Angle Orthod* 2010;80(3):435-9.
18. Choi DS, Jeong YM, Jang I, Brinkmann PGJ, Cha BK. Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *Angle Orthod* 2010;80(4):685-91.
19. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 2011;14:1-16.
20. Creed B, Kau CH, English JD, Xia JJ, Lee RP. A Comparison of the Accuracy of Linear Measurements Obtained from Cone Beam Computerized Tomography Images and Digital Models. *Seminars in Orthodontics* 2011;17(1):49-56.