



**Prêmio Jovem Pesquisador**  
Revista OrtodontiaSPO  
Edição 2016

Integração de aspectos clínicos e científicos em  
Ortodontia e Ortopedia Funcional dos Maxilares

## Acurácia de modelos ortodônticos por escaneamento a laser, luz estruturada e tomografia computadorizada

*Accuracy of orthodontic models scanned by laser,  
structured light, and computed tomography*

Leonardo Tavares Camardella<sup>1</sup>  
David Silveira Alencar<sup>2</sup>  
Felipe Assis Ribeiro Carvalho<sup>3</sup>  
Oswaldo de Vasconcellos Vilella<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Ortodontia – Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB/USP); Doutor em Clínica Odontológica e aluno de pós-doutorado em Clínica Odontológica – Universidade Federal Fluminense (UFF).

<sup>2</sup>Mestre em Ortodontia – Universidade Federal Fluminense (UFF).

<sup>3</sup>Professor adjunto da disciplina de Ortodontia – Universidade Estadual do Rio de Janeiro (Uerj).

<sup>4</sup>Professor doutor da disciplina de Ortodontia – Universidade Federal Fluminense (UFF).

**RESUMO**

Introdução: com a crescente utilização dos modelos digitais em Ortodontia, aumenta também a necessidade de se conhecer as opções disponíveis para sua obtenção. Atualmente, a alternativa mais utilizada é o escaneamento de modelos de gesso, que pode ser realizado em scanners a laser, por luz estruturada ou por tomografia computadorizada. O objetivo deste trabalho foi avaliar, através de uma análise por sobreposição de modelos digitais, a acurácia dos modelos digitais gerados por estes três métodos de escaneamento e a influência de dois diferentes níveis de resolução de escaneamento. Material e métodos: 30 pares de modelos de gesso foram escaneados utilizando as três tecnologias. O escaneamento por luz estruturada foi realizado com duas configurações do nível de resolução: máxima e padrão. Os modelos digitais gerados foram sobrepostos e as diferenças entre as superfícies foram calculadas. Mapas de cores foram utilizados para evidenciar as discrepâncias entre os modelos. Resultados: para todos os parâmetros avaliados, foram obtidas diferenças estatisticamente significantes. As diferenças entre os modelos escaneados a laser e por luz estruturada foram menores, o que sugere maior similaridade entre eles. Conclusão: as diferenças encontradas entre os modelos digitais obtidos pelas três tecnologias de escaneamento estudadas foram estatisticamente significantes. No entanto, por serem muito pequenas quantitativamente, não foram consideradas clinicamente significantes. Não houve diferença entre os dois níveis de resolução estudados, portanto, os três métodos de escaneamento avaliados possuem uma acurácia clinicamente aceitável para ser utilizado em Ortodontia.

**Unitermos** – Modelos dentários; Modelos digitais; Ortodontia.

**ABSTRACT**

*Introduction: the increasing use of digital models in orthodontics demands knowledge of the available options for their acquisition. Currently, the most used option is the plaster model scanning, which can be made by laser, structured light and computed tomography scanners. The aim of this study was to evaluate, by a model superimposition analysis, the accuracy of digital models acquired by these three scanning methods and the influence of two different resolution levels of scanning. Methods: thirty pairs of plaster models were scanned using three different scanning technologies: laser, structured light and computed tomography. The structured light scanning was performed using two different resolution levels: maximum and standard. The respective digital models were superimposed and their mean differences were compared using color maps by Geomagic Qualify software. Results: for all parameters studied, statistically significant differences were found. Lower differences were presented between models scanned by laser and structured light techniques, which suggests a higher similarity between them. Conclusion: the differences found between digital models obtained by the three scanning technologies were statistically significant. However, they were quantitatively very small, which was considered clinically insignificant. There was no difference between the two resolution levels of scanning studied. Therefore the three scanning methods studied presented accuracy clinically acceptable to be used in orthodontics.*

**Key words** – Dental models; Digital models; Orthodontics.

## Introdução

A utilização dos modelos digitais é cada vez mais frequente na rotina clínica em Ortodontia<sup>1</sup>. O modelo digital pode ser considerado o novo padrão-ouro na prática ortodôntica, pois é tão confiável quanto o modelo de gesso ao se comparar medidas executadas com paquímetros digitais e em programas de manipulação digital<sup>2</sup>. Além disso, apresenta vantagens, como: alta precisão, confiabilidade, reproduzibilidade, armazenamento digital e facilidade tanto na transmissão de dados quanto na comunicação entre profissional e paciente<sup>3-5</sup>. Portanto, existe uma tendência de substituição dos modelos de gesso pelos modelos digitais como ferramenta para o diagnóstico e planejamento ortodôntico<sup>2</sup>.

É possível obter os modelos digitais por meio do escaneamento de modelos de gesso, escaneamento intra-bucal, escaneamento de moldagens em alginato ou silicone de adição, ou pela segmentação da tomografia computadorizada de feixe cônic (TCFC) do paciente<sup>6-9</sup>. O escaneamento de modelos de gesso ou intrabucal apresentam-se como as opções mais precisas, já que possibilitam estabelecer a relação oclusal no momento do escaneamento. No escaneamento de moldagens, o relacionamento interarcos é definido após o escaneamento com o auxílio do registro de mordida, passo que adiciona um grau de subjetividade e imprecisão por parte do profissional durante o ajuste dos modelos digitais<sup>4,8,10</sup>. A obtenção de modelos digitais pela TCFC, além de possuir menor acurácia frente a outros métodos, expõe o paciente à radiação ionizante<sup>7,11</sup>.

Como os modelos de gesso fazem parte da rotina de um consultório ortodôntico, o seu escaneamento ainda é o método de digitalização mais utilizado pelos ortodontistas. Para isto, existem três tipos de *scanners* de modelos disponíveis no mercado: a *laser*, por luz estruturada e por tomografia computadorizada (TC). Destes, o escaneamento a *laser* é o método mais estudado<sup>5-6,9,12-13</sup>, enquanto que o por luz estruturada é pouco citado na literatura, sendo mais aplicado no escaneamento de face<sup>14</sup>. O escaneamento por TC é utilizado em modelos de gesso, no entanto, é mais estudado na digitalização de moldagens<sup>7,10,15-17</sup>.

Fundamentalmente, um *scanner* 3D consiste de uma fonte de luz com uma ou mais câmeras e um sistema de movimento com vários eixos, para facilitar a captação do objeto a ser escaneado. A fonte de luz projeta linhas bem definidas sobre a superfície do objeto e a câmera capta as imagens. Baseando-se na distância e no ângulo destas linhas entre a câmera e a fonte de luz, obtém-se o mapeamento ponto a ponto, gerando uma nuvem de pontos. A nuvem de pontos obtida a partir de todas as linhas captadas pela câmera necessita de um pós-processamento, com suavização, aplicação de filtros, triangulação de pontos

e geração de malha. A geração ou triangulação de pontos é um processo automático de ligação dos três pontos mais próximos para formar um triângulo. Este processo é repetido até que toda a nuvem de pontos forme uma rede de triângulos representativa da superfície do objeto.

Quanto maior a resolução utilizada pelo *scanner*, maior será a capacidade de captação de pontos, o número de triângulos e o tamanho dos arquivos para os modelos digitais adquiridos. Entretanto, a geração de malhas muito refinadas ou de triângulos muito pequenos originam arquivos com excesso de informação, difíceis de manipular e incompatíveis com a utilização clínica diária. A utilização de algoritmos inteligentes pode reduzir o número de triângulos de um objeto sem sacrificar sua precisão, diminuindo assim o tempo de processamento de objetos 3D em programas específicos<sup>18</sup>.

Ainda que, basicamente, os *scanners* apresentem um mesmo princípio, existem diferenças entre eles em relação à forma de aquisição dos modelos digitais. *Scanners a laser* geram múltiplas linhas com mínimas larguras, movendo um feixe de *laser* ao longo de um preciso eixo linear que é refletido para um sensor que capta a imagem. A cada ponto captado, é atribuído um valor angular horizontal e vertical nas coordenadas XYZ. Uma desvantagem deste método é a possibilidade de ocorrer desfocagem na imagem se as fontes de iluminação não forem cuidadosamente calibradas<sup>18</sup>.

Os sistemas de escaneamento por luz estruturada emitem linhas de luz de diferentes padrões a partir de uma fonte fixa, enquanto o objeto escaneado é rotado. Como resultado, obtém-se as coordenadas correspondentes a cada ponto dos modelos digitalizados, além de suas cores e texturas<sup>19</sup>. Um ponto negativo destes *scanners* é um fenômeno chamado de “efeito arco-íris”, no qual ocorre desfocagem do objeto escaneado pela refração dos diferentes componentes de cor que existem na luz branca<sup>18</sup>.

Em um escaneamento por TC, um objeto é colocado em uma plataforma e escaneado pela incidência de centenas de radiografias (cortes tomográficos) digitais, por meio de um sensor de raio X de silício amorfo. A série de cortes é convertida em imagens, que posteriormente são processadas sobrepondo fatias de 116 micrônus por meio de algoritmos matemáticos, para reconstruir um objeto 3D<sup>20</sup>. Este *scanner* pode digitalizar modelos de gesso e moldagens, pois quaisquer áreas de retenção da moldagem são perfeitamente captadas. Com o *scanner* por TC, muitos objetos podem ser escaneados simultaneamente com ótima rapidez e precisão, entretanto, pelo seu custo mais elevado e por ocupar grande área de espaço físico, este *scanner* é mais utilizado por empresas com um grande volume de escaneamento.

A variabilidade entre os sistemas de escaneamento disponíveis em relação ao número de câmeras, tecnologia utilizada, acurácia e velocidade de escaneamento é pouco esclarecida na literatura. O ortodontista que deseja adquirir um *scanner* de modelos de gesso pode ter dúvidas quanto à melhor opção disponível e qual tecnologia utilizar. A acurácia dos modelos digitais por escaneamento de modelos de gesso pode ser determinada pelo nível de precisão do *scanner*. No entanto, existem dúvidas se a aplicação de diferentes tecnologias de escaneamento e a utilização de uma maior resolução durante o escaneamento poderiam influenciar na acurácia dos modelos digitais. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia de modelos digitais gerados por três diferentes tecnologias de escaneamento de modelo de gesso: a *laser*, por luz estruturada e por TC.

## Material e Métodos

Realizou-se um cálculo amostral utilizando a fórmula descrita por Pandis<sup>21</sup>, considerando um poder de teste de 90%,  $\alpha$  de 0,05, diferença a ser detectada de 1 mm e desvio-padrão de 1,16 mm, por meio de um estudo-piloto prévio com dez indivíduos. O cálculo amostral revelou a necessidade de uma amostra composta por, pelo menos, 29 indivíduos. Portanto, foram selecionados 30 voluntários para a pesquisa na disciplina de Ortodontia da Universidade Federal Fluminense. O estudo obteve aprovação pelo Comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal Fluminense (referência: 221,664 | 1/2/2013).

Os critérios de inclusão para os pacientes selecionados foram: presença de todos os dentes permanentes até segundos molares, ausência de anomalias dentárias em tamanho e forma, ausência de recessões gengivais severas, abrasões, atritos, erosões dentárias e de contenção ortodôntica fixa. A idade dos voluntários variou entre 21 e 39 anos, com uma média de 27 anos e nove meses. Em cada voluntário foram realizadas moldagens de alginato do arco superior e inferior

(Hydrogum, Zhermack – Badia Polesine, Rovigo, Itália), seguindo as orientações do fabricante. O registro de mordida foi obtido com cera de número 7 (Clássico – São Paulo, Brasil), este registro de mordida foi utilizado para recortar os modelos de gesso. Seguindo as orientações do fabricante, as moldagens foram mantidas em uma câmara umidificadora durante 20 minutos para finalizar a presa do alginato, e em seguida procedeu-se ao vazamento do gesso.

Os dentes e o rebordo alveolar foram vazados com gesso tipo IV (Vigodent – Rio de Janeiro, Brasil), e a base do modelo de gesso foi vazada com gesso branco (Mossoró, Rio de Janeiro, Brasil). Cada par de modelos de gesso foi escaneado por três tipos de *scanners* com diferentes tecnologias: o *scanner* a *laser* R700 (3Shape – Copenhague, Dinamarca), com resolução máxima de 20 microns; o *scanner* por tomografia computadorizada Flash CT (modelo FCT-1600, Hytec Inc. – Los Alamos/NM, EUA), com voxel de 0,5 mm (500 microns); e o *scanner* por luz estruturada Maestro 3D MDS300 (AGE Solutions – Pisa, Itália), com resolução máxima de 20 microns (Figuras 1). No escaneamento por luz estruturada, os modelos de gesso foram escaneados utilizando dois níveis de configuração de resolução: máxima (20 microns) e padrão (aproximadamente 200 microns). Nos outros dois *scanners* foi utilizada a configuração de escaneamento com resolução padrão.

Nos *scanners* a *laser* e por luz estruturada, os modelos de gesso superiores e inferiores foram escaneados separadamente e, em seguida, em oclusão para obter a relação interarcos. No *scanner* por TC, os modelos superiores e inferiores, e o registro de mordida em cera foram escaneados simultaneamente, e a relação interarcos foi determinada posteriormente pelo técnico com o auxílio do programa Digimodel (OrthoProof – Nieuwegein, Holanda) utilizando o registro de mordida escaneado como referência. Seguindo as instruções do respectivo programa de cada *scanner*, realizaram-se ajustes sagitais, transversais e verticais para criar as bases virtuais superior e inferior em cada modelo digital.



Figuras 1

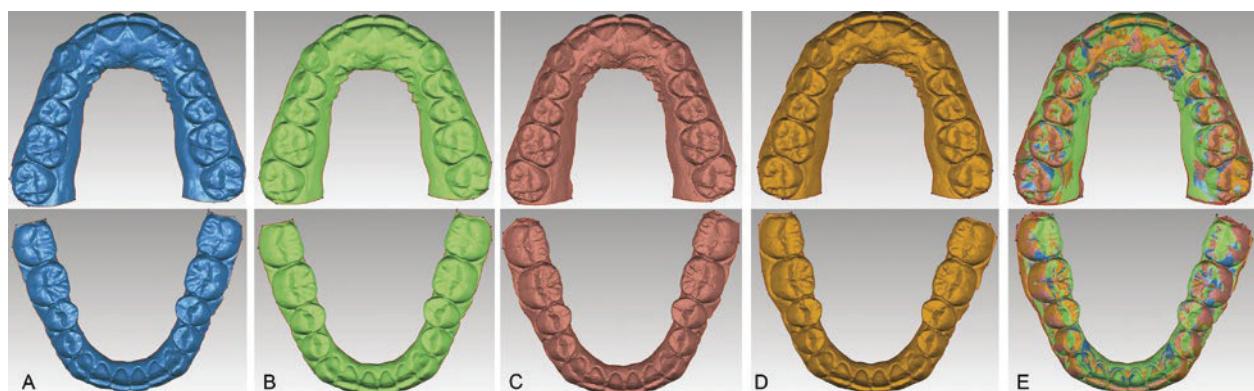
Escaneamento dos modelos de gesso. A. Scanner a laser R700 (3Shape) com modelos ocluídos. B. Scanner por TC Flash CT (Hytec) com modelos desocluídos. C. Scanner por luz estruturada Maestro 3D MDS300 (AGE Solutions) com modelos ocluídos.

Os modelos digitais obtidos pelos três diferentes scanners foram exportados para o programa Geomagic Qualify 2013 (3D Systems – Rock Hill/SC, EUA), para realização da comparação por sobreposição. As bases dos modelos digitais obtidos por todos os scanners foram cortadas ao nível da margem gengival, e os modelos foram sobrepostos entre si utilizando a ferramenta de melhor ajuste de alinhamento de superfície (Figuras 2). Os modelos digitais por escaneamento a laser foram utilizados como referência para as sobreposições, por este método de obtenção ser o mais estudado na literatura. O programa Geomagic Qualify fornece mapas de cores para identificar as diferenças de alinhamento entre as sobreposições de modelos, além de calcular os deslocamentos máximos positivos e negativos, as diferenças médias positivas e negativas, e o desvio-padrão. Estes dados são obtidos a

partir do cálculo das distâncias de pontos entre os modelos digitais sobrepostos. No mapa de cores foi utilizado um limite máximo de deslocamento superior e inferior de 0,50 mm (Figuras 3).

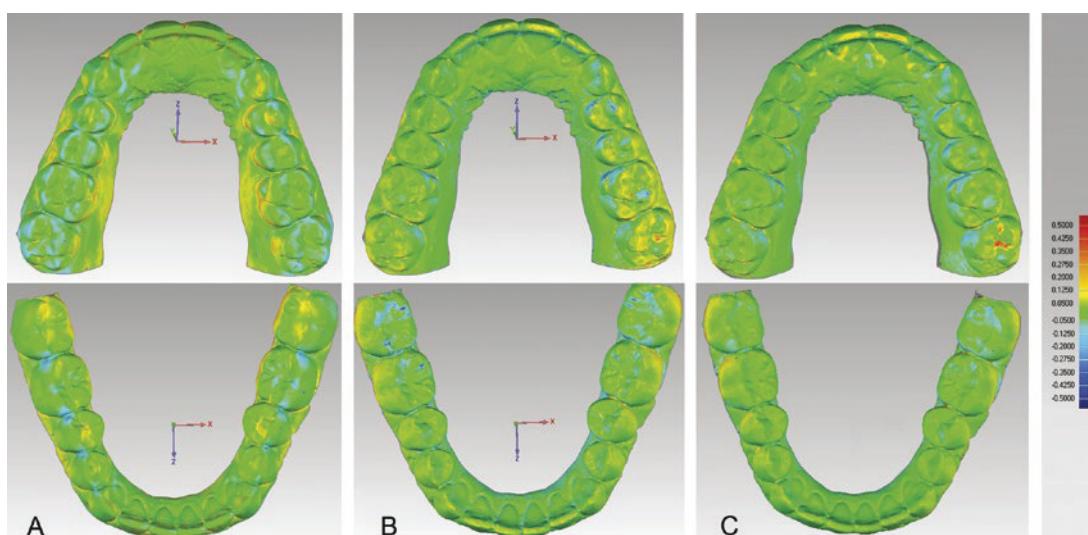
#### Análise estatística

Para realizar a análise estatística deste estudo, foi utilizado o programa SPSS, versão 20.0 (IBM – Chicago/IL, EUA). O teste *t* pareado foi usado para comparar as diferenças entre os parâmetros gerados pela sobreposição dos modelos digitais adquiridos pelos escaneamentos a laser, por TC e por luz estruturada com níveis de resolução máxima e padrão. Realizou-se uma análise estatística descritiva da sobreposição dos modelos digitais escaneados por luz estruturada, com os dois níveis de resolução estudados.



Figuras 2

Modelos digitais após escaneamento com diferentes tecnologias. A. Scanner a laser. B. Scanner por TC. C. Scanner por luz estruturada com resolução máxima. D. Scanner por luz estruturada com resolução padrão. E. Modelos sobrepostos pelo método de melhor ajuste de superfície.



Figuras 3

Mapa de cores das sobreposições entre os modelos digitais, gerado pelo programa Geomagic Qualify. A. Escaneamento a laser versus escaneamento por TC. B. Escaneamento a laser versus escaneamento por luz estruturada com resolução máxima. C. Escaneamento a laser versus escaneamento por luz estruturada com resolução padrão.

## Resultados

A Tabela 1 apresenta o resultado, por meio do teste *t* pareado, das diferenças entre as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por TC, com as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada com resolução máxima. A Tabela 2 apresenta o resultado, por meio do teste *t* pareado, das diferenças entre as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por TC, com as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada com resolução padrão. A Tabela 3 apresenta o resultado, por meio do teste *t* pareado, das diferenças entre

as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada com resolução máxima, com as sobreposições dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada com resolução padrão. A Tabela 4 apresenta uma análise descritiva da sobreposição dos modelos digitais escaneados por luz estruturada, com os dois níveis de resolução estudados.

Houve diferenças estatisticamente significantes em quase todos os parâmetros estudados. Ao se comparar os modelos digitais utilizando o escaneamento a *laser* como referência, os modelos por escaneamento por TC apresentaram maiores diferenças médias e diferenças positivas médias, enquanto os modelos por escaneamento por luz estruturada com os

**TABELA 1 – COMPARAÇÃO PELO TESTE T PAREADO ENTRE AS SUPERPOSIÇÕES DE MODELOS PELOS ESCANEAMENTOS A LASER COM TC E A LASER COM LUZ ESTRUTURADA COM RESOLUÇÃO MÁXIMA**

Variável	Laser x TC (mm) N = 30		Laser x luz estruturada (resolução máxima) (mm) N = 30		Diferenças médias entre as comparações (mm)	Desvio-padrão (mm)	Valor de p
	Média	DP	Média	DP			
<b>Arco superior</b>							
Diferenças médias	0,048	0,017	0,001	0,011	0,048	0,020	<b>0,000</b>
Diferenças positivas médias	0,096	0,028	0,070	0,017	0,026	0,033	<b>0,000</b>
Diferenças negativas médias	-0,056	0,016	-0,074	0,020	0,018	0,022	<b>0,000</b>
<b>Arco inferior</b>							
Diferenças médias	0,050	0,018	-0,009	0,006	0,059	0,020	<b>0,000</b>
Diferenças positivas médias	0,100	0,028	0,075	0,012	0,024	0,028	<b>0,000</b>
Diferenças negativas médias	-0,065	0,020	-0,079	0,011	0,014	0,019	<b>0,000</b>

**TABELA 2 – COMPARAÇÃO PELO TESTE T PAREADO ENTRE AS SUPERPOSIÇÕES DE MODELOS PELOS ESCANEAMENTOS A LASER COM TC E A LASER COM LUZ ESTRUTURADA COM RESOLUÇÃO PADRÃO**

Variável	Laser x TC (mm) N = 30		Laser x luz estruturada (resolução padrão) (mm) N = 30		Diferenças médias entre as comparações (mm)	Desvio-padrão (mm)	Valor de p
	Média	DP	Média	DP			
<b>Arco superior</b>							
Diferenças médias	0,048	0,017	0,008	0,008	0,040	0,019	<b>0,000</b>
Diferenças positivas médias	0,096	0,028	0,071	0,016	0,025	0,034	<b>0,000</b>
Diferenças negativas médias	-0,056	0,016	-0,065	0,019	0,009	0,023	<b>0,037</b>
<b>Arco inferior</b>							
Diferenças médias	0,050	0,018	-0,001	0,010	0,050	0,021	<b>0,000</b>
Diferenças positivas médias	0,100	0,028	0,083	0,019	0,017	0,032	<b>0,007</b>
Diferenças negativas médias	-0,065	0,020	-0,074	0,022	0,093	0,028	0,078

TABELA 3 – COMPARAÇÃO PELO TESTE T PAREADO ENTRE AS SUPERPOSIÇÕES DE MODELOS PELOS ESCANEAMENTOS A LASER COM LUZ ESTRUTURADA COM RESOLUÇÃO MÁXIMA E A LASER COM LUZ ESTRUTURADA COM RESOLUÇÃO PADRÃO

Variável	Laser x luz estruturada (resolução máxima) (mm) N = 30		Laser x luz estruturada (resolução padrão) (mm) N = 30		Diferenças mádias entre as comparações (mm)	Desvio-padrão (mm)	Valor de p
	Média	DP	Média	DP			
<b>Arco superior</b>							
Diferenças médias	0,001	0,011	0,008	0,008	-0,007	0,012	<b>0,002</b>
Diferenças positivas médias	0,070	0,017	0,071	0,016	-0,002	0,013	0,468
Diferenças negativas médias	-0,074	0,020	-0,065	0,019	-0,009	0,018	<b>0,014</b>
<b>Arco inferior</b>							
Diferenças médias	-0,009	0,006	-0,001	0,010	-0,009	0,009	<b>0,000</b>
Diferenças positivas médias	0,075	0,012	0,083	0,019	-0,007	0,018	<b>0,031</b>
Diferenças negativas médias	-0,079	0,011	-0,074	0,022	-0,005	0,023	0,242

TABELA 4 – ANÁLISE DESCRIPTIVA EM MILÍMETROS DA SUPERPOSIÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS ESCANEADOS POR LUZ ESTRUTURADA COM RESOLUÇÃO MÁXIMA E PADRÃO

Variável	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)
<b>Arco superior</b>				
Diferenças médias	-0,006	0,029	0,010	-0,006
Diferenças positivas médias	0,020	0,070	0,035	0,020
Diferenças negativas médias	-0,116	-0,014	-0,035	-0,116
<b>Arco inferior</b>				
Diferenças médias	-0,003	0,028	0,010	-0,003
Diferenças positivas médias	0,022	0,073	0,041	0,022
Diferenças negativas médias	-0,217	-0,017	-0,056	-0,217

dois níveis de resolução aplicados apresentaram maiores diferenças negativas médias. As diferenças médias entre a sobreposição dos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada foram menores, o que sugere maior similaridade entre estes modelos. Na comparação com o escaneamento a *laser*, as diferenças encontradas entre os modelos digitais por escaneamento por luz estruturada com os dois níveis de resolução aplicados foram clinicamente insignificantes, com diferenças médias de milésimos de milímetros.

## Discussão

Com a introdução dos modelos digitais na Ortodontia, o profissional se beneficiou de inúmeras vantagens comparadas à utilização dos modelos de gesso convencionais. A facilidade do armazenamento digital, portabilidade e transmissão de dados são vantagens indiscutíveis, entretanto, além disso, os modelos digitais permitiram o desenvolvimento de outras ferramentas anteriormente impossíveis ou mais difíceis de

serem realizadas pelo método tradicional, como o *set up* virtual. Basicamente, existem dois métodos de comparação de modelos digitais: pela avaliação de medidas lineares e/ou angulares, ou por sobreposição de modelos<sup>22-23</sup>. A medição de modelos digitais é importante para avaliar se possíveis diferenças encontradas podem influenciar clinicamente um diagnóstico e plano de tratamento ortodôntico<sup>24</sup>. Este método pode ser utilizado para comparar modelos de gesso e digitais, no entanto, está sujeito a possíveis erros de interpretação por parte dos examinadores, principalmente quando o método de calibração interexaminadores não é bem executado<sup>7</sup>. O método de sobreposição de modelos é uma excelente técnica de comparação da acurácia entre modelos digitais, em virtude da redução do erro de interpretação, pois a avaliação da diferença entre os objetos é calculada por programas de computadores com ampla margem de acurácia. Por este motivo, este método foi escolhido no presente estudo para avaliar a acurácia dos modelos digitais obtidos pelas diferentes tecnologias de escaneamento.

O programa Geomagic Qualify fornece dados da diferença entre os modelos sobrepostos, por meio do cálculo da distância entre os pontos presentes em cada modelo digital. Utilizou-se como método de sobreposição a ferramenta de melhor ajuste de superfície que busca, a partir de algoritmos de aproximação de diversos pontos aleatórios, uma correspondência máxima entre os modelos para determinar sua sobreposição. Embora este método seja preciso e confiável, o programa pode interpretar uma diferença maior na proximidade de dois pontos na malha de polígonos entre os modelos sobrepostos. Sendo assim, possíveis pontos *outliers* gerados conferem um menor esclarecimento dos dados das distâncias máximas positivas e negativas encontradas, transformando as diferenças médias em informações mais relevantes.

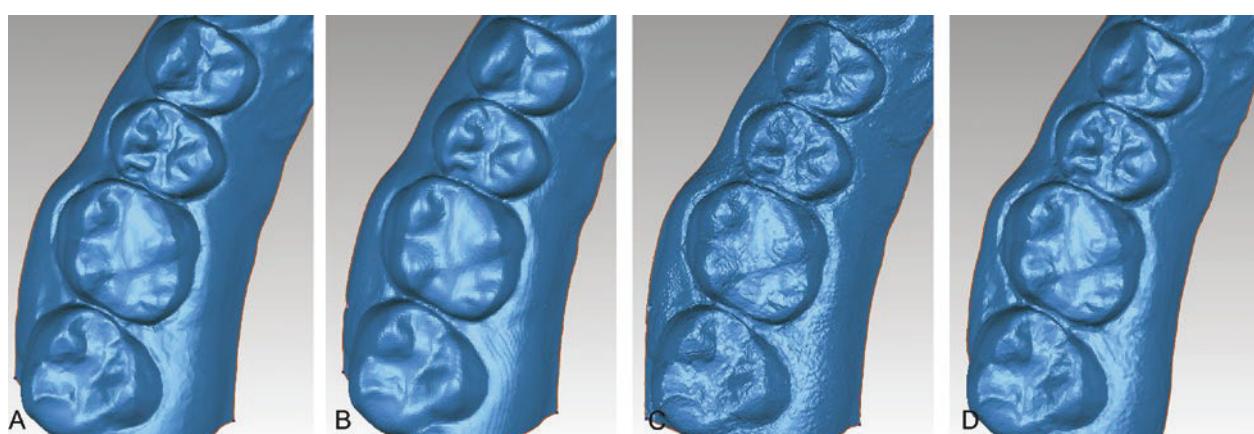
Os resultados demonstraram diferenças estatisticamente significantes entre as sobreposições dos modelos digitais, utilizando o modelo digital por escaneamento a *laser* como referência. Os modelos digitais por escaneamento por TC apresentaram um volume dentário maior, comparados aos outros modelos digitais, o que pode ser comprovado pelas diferenças estatisticamente significantes com valores maiores nas variáveis diferenças médias e diferenças positivas médias, e valores menores nas diferenças negativas médias.

No escaneamento por TC há muitos fatores que podem afetar o resultado final e a precisão do modelo digital, como a qualidade da imagem, a representação adequada do seu contorno, os planos de secção das camadas representados pelos *voxels* e o processo de conversão da malha poligonal em uma superfície ou modelo digital. Segundo a literatura, o escaneamento por TC com espaçamento maior do que 1,5 mm leva à perda de informações<sup>25</sup>. Como o scanner utilizado neste estudo possui resolução de *voxel* de 0,5 mm, a possível perda de acurácia é minimizada. Ao se sobrepor

com os modelos por escaneamento a *laser*, o escaneamento por TC apresentou maiores diferenças médias, comparado ao escaneamento por luz estruturada com os dois níveis de resolução utilizados. Entretanto, as diferenças observadas foram clinicamente insignificantes e muito sutis (menores do que 0,10 mm). Os mapas de cores comprovam a similaridade entre as sobreposições (Figuras 3).

Os modelos digitais escaneados por luz estruturada apresentaram menores diferenças na sobreposição com os modelos escaneados a *laser*, sugerindo uma maior similaridade entre eles. Ao analisar os dois níveis de resolução (máxima e padrão) utilizados neste trabalho, não foram observadas diferenças clinicamente significantes entre os modelos. Portanto, o nível de resolução padrão de aproximadamente 200 microns, determinado pelo scanner Maestro, pode ser utilizado com segurança. A utilização deste nível de resolução fornece diversas vantagens ao profissional, como a utilização de arquivos com um tamanho menor (cerca de 93 Mb de diferença) e um menor tempo de escaneamento e processamento de dados.

A percepção das diferenças entre os modelos digitais pelos diferentes métodos de escaneamento também pode ser determinada a partir de uma análise visual subjetiva. Os modelos digitais por escaneamento a *laser* apresentaram uma anatomia dentária mais lisa e com contornos bem definidos, enquanto os modelos digitais escaneados por TC possuíram uma aparência um pouco mais desfocada e contornos dentários com um volume maior e definição menor. Os modelos digitais por escaneamento por luz estruturada se apresentaram mais texturizados e com contornos mais definidos, sendo que o modelo gerado com resolução máxima apresentou uma anatomia excessivamente detalhada em relação ao modelo gerado com a resolução padrão (Figuras 4). Este fato ocorre em virtude do maior



Figuras 4

Imagen ampliada da aparência dos modelos digitais adquiridos pelas diferentes tecnologias.

A. Scanner a laser. B. Scanner por TC. C. Scanner por luz estruturada com resolução máxima.

D. Scanner por luz estruturada com resolução padrão.

número de pontos formados quando se opta por um escaneamento com resolução máxima. O aumento no número de pontos aumenta a rugosidade superficial, por facilitar a captação dos acidentes ou porosidades encontradas no modelo de gesso. Além disso, pode gerar um maior número de pontos com pequenos erros de posicionamento, que em maior número acabam por alterar os cálculos de média utilizados para suavizar a superfície gerada.

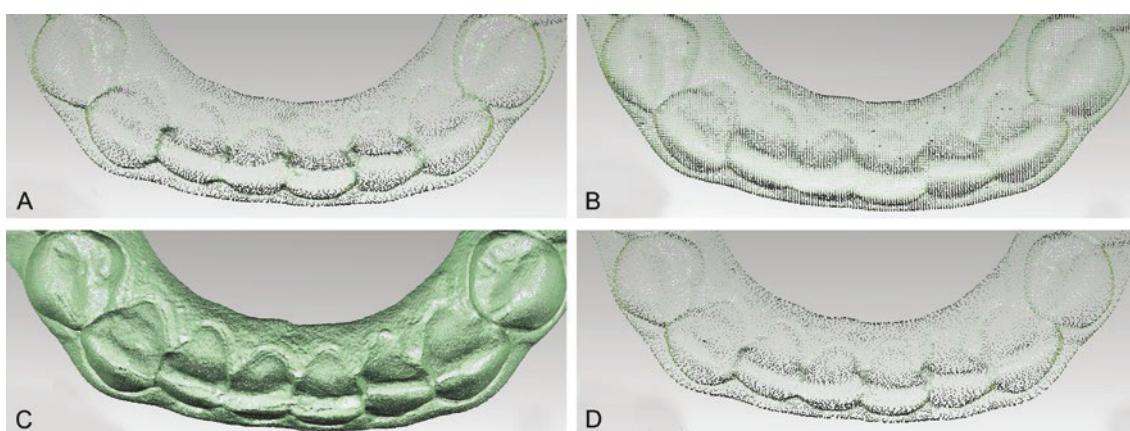
As Figuras 5 ilustram somente os pontos gerados em cada tipo de modelo escaneado. Especificamente neste exemplo, a geração de pontos no modelo por escaneamento a *laser* foi de 29.592, e por CT foi de 58.196 pontos, enquanto o escaneamento por luz estruturada gerou 244.651 pontos com resolução máxima e 23.128 com resolução padrão em cada modelo digital. A distribuição de pontos foi similar e mais esparsa nos modelos digitais por escaneamento a *laser* e por luz estruturada com resolução padrão, enquanto no escaneamento por TC os pontos seguiram um alinhamento de acordo com os cortes tomográficos. O elevado número de pontos no escaneamento por luz estruturada com resolução máxima praticamente permitiu a representação de todos os detalhes anatômicos dentários.

Cada tipo de *scanner* de modelos apresenta vantagens e desvantagens. Como desvantagens dos *scanners* por TC, destacam-se: custo elevado, ocupam amplo espaço físico e emitem radiação, o que inviabiliza sua utilização no consultório. Outra desvantagem é a necessidade de se estabelecer a intercuspidação após o escaneamento dos modelos, tendo como referência o registro de mordida escaneado, o que adiciona um grau de subjetividade do operador durante o ajuste interarcos nos modelos digitais. No entanto, os *scanners* por TC possuem algumas vantagens, como a rapidez no escaneamento (o tempo médio de escaneamento dos modelos de gesso superior e inferior, e do registro de mordida neste

estudo foi de um minuto e 50 segundos). Portanto, é um tipo de *scanner* muito produtivo em centros de documentação com grande volume de escaneamento.

Os *scanners* a *laser* e por luz estruturada possuem vantagens e desvantagens em comum. Suas principais vantagens são: pequenas dimensões, o que facilita sua portabilidade, menor custo e a determinação da intercuspidação dos modelos digitais no momento do escaneamento. Como desvantagens, estes *scanners* apresentam maior tempo de escaneamento e processamento de dados. Neste estudo, o tempo médio de escaneamento dos modelos superior, inferior e dos modelos ocluídos no *scanner* a *laser* foi de oito minutos e 23 segundos, e no *scanner* por luz estruturada com resolução padrão foi de dez minutos e 52 segundos. Entretanto, o tempo de escaneamento também é influenciado pela configuração do computador integrado ao *scanner*, incluindo seu processador, memória e placa de vídeo. No *scanner* por luz estruturada utilizou-se um computador com processador Intel Core 2 Quad Q6700 de 2,66 GHz, 4 Gb de memória ram e placa de vídeo Nvidia GeForce 8600 GT, enquanto no *scanner* a *laser* utilizou-se um processador Intel Core i7 2600 de 3,4 GHz, 8 Gb de memória ram e placa de vídeo Nvidia GeForce GTX 660. A utilização de um melhor processador, memória e placa de vídeo influenciou no menor tempo de escaneamento do *scanner* a *laser*. Ao realizar o escaneamento dos modelos por luz estruturada com resolução máxima, o tempo total de escaneamento aumentou consideravelmente para 26 minutos, além de gerar um arquivo muito pesado (cerca de 100 Mb) para cada modelo, o que aumenta o tempo de processamento durante a utilização de programas de manipulação de modelos digitais.

É importante esclarecer que empresas de tecnologia sempre irão buscar o aperfeiçoamento de seus produtos,



Figuras 5

Nuvem de pontos gerada pelos diferentes métodos de escaneamento. A. Scanner a laser. B. Scanner por TC. C. Scanner por luz estruturada com resolução máxima. D. Scanner por luz estruturada com resolução padrão.

aumentando a velocidade de escaneamento, melhorando a resolução de câmeras de captação e, consequentemente, a precisão dos modelos digitais, além de possibilitar o escaneamento de diferentes modelos simultaneamente com a captura de suas cores e texturas. No entanto, a necessidade de precisão do modelo digital em Ortodontia é diferente de outras especialidades, como na Prótese e Implantodontia, que necessitam de alta precisão na definição da anatomia dos preparamos para uma correta adaptação protética.

Um estudo avaliou que modelos digitais adquiridos pelo scanner a *laser* podem substituir os modelos de gesso com similar acurácia e confiabilidade<sup>9</sup>. O presente estudo não observou diferenças clinicamente significantes na sobreposição entre os modelos gerados pelos três métodos de escaneamento, nem entre os dois tipos de resolução estudados. Portanto, uma precisão do modelo digital de pelo menos 200 microns é suficiente para não influenciar na acurácia do diagnóstico e planejamento ortodôntico, nem na confecção de aparelhos dentossuportados como os alinhadores termoplásticos. Este estudo observou que uma resolução máxima do modelo digital apresentou um maior tempo de escaneamento, um maior tamanho do arquivo e uma maior dificuldade na observação de detalhes anatômicos dos dentes. Como a análise por sobreposição não identificou diferenças clinicamente significantes entre os modelos escaneados com resolução máxima ou padrão, o ortodontista pode optar por utilizar o modelo digital escaneado por luz estruturada com resolução padrão, em virtude de suas vantagens associadas.

Ao escolher um *scanner*, o ortodontista deve avaliar sua precisão baseada na utilização de sensores com alta resolução e pode optar pelas três tecnologias de escaneamento utilizadas neste estudo. No entanto, alguns aspectos devem ser considerados: durabilidade, velocidade de escaneamento, preço, flexibilidade de opções de

escaneamento de modelos, moldagens ou intrabucal, usabilidade dos programas integrados ao *scanner* e o suporte da empresa. Os três tipos de *scanners* avaliados apresentaram uma acurácia clinicamente aceitável para ser aplicada com segurança em Ortodontia.

## Conclusão

Houve diferença estatisticamente significante entre os modelos digitais adquiridos pelos três tipos de escaneamento estudados: a *laser*, por TC e por luz estruturada. O escaneamento por luz estruturada apresentou-se mais similar ao escaneamento a *laser*, em comparação ao escaneamento por TC, e não apresentou diferença entre os dois níveis de resolução estudados. Entretanto, as diferenças encontradas entre os modelos digitais não foram consideradas clinicamente significantes. Portanto, os três métodos de escaneamento podem ser utilizados em Ortodontia, com acurácia clinicamente aceitável.

## Agradecimentos

Às empresas OrthoProof e Smart Solutions, e à Universidade Estadual do Rio de Janeiro, pelo escaneamento dos modelos de gesso utilizados neste estudo.

## Nota de esclarecimento

Nós, os autores deste trabalho, não recebemos apoio financeiro para pesquisa dado por organizações que possam ter ganho ou perda com a publicação deste trabalho. Nós, ou os membros de nossas famílias, não recebemos honorários de consultoria ou fomos pagos como avaliadores por organizações que possam ter ganho ou perda com a publicação deste trabalho, não possuímos ações ou investimentos em organizações que também possam ter ganho ou perda com a publicação deste trabalho. Não recebemos honorários de apresentações vindos de organizações que com fins lucrativos possam ter ganho ou perda com a publicação deste trabalho, não estamos empregados pela entidade comercial que patrocinou o estudo e também não possuímos patentes ou royalties, nem trabalhamos como testemunha especializada, ou realizamos atividades para uma entidade com interesse financeiro nesta área.

## Endereço para correspondência

**Leonardo Tavares Camardella**  
Rua Mário Santos Braga, 30 – Sala 214 – Centro  
24020-140 – Niterói – RJ  
Tel.: (21) 2622-1621  
leocamardella@globo.com

## Referências

- Shastri S, Park JH. Evaluation of the use of digital study models in postgraduate orthodontic programs in the United States and Canada. *Angle Orthod* 2014;84(1):62-7.
- Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149(2):161-70.
- Cuperus AM, Harms MC, Rangel FA, Bronkhorst EM, Schols JG, Breuning KH. Dental models made with an intraoral scanner: a validation study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142(3):308-13.
- Wiranto MG, Engelbrecht WP, Nolthenius HET, van der Meer WJ, Rend Y. Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143(1):140-7.
- Stevens DR, Flores-Mir C, Nebbe B, Raboud DW, Heo G, Major PW. Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(6):794-803.
- Grunheid T, Patel N, De Felippe NL, Wey A, Gaillard PR, Larson BE. Accuracy, reproducibility, and time efficiency of dental measurements using different technologies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145(2):157-64.
- de Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH. Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146(3):328-36.
- Camardella LT, Alencar DS, Breuning H, Vilella OV. Effect of polyvinylsiloxane material and impression handling on the accuracy of digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149(5):634-44.
- Camardella LT, Souza JM, Vilella BS, Vilella OV. Avaliação da acurácia e confiabilidade de modelos digitais por escaneamento do modelo de gesso. *OrtodontiaSPO* 2014;47(6):553-9.
- White AJ, Fallis DW, Vandewalle KS. Analysis of intra-arch and interarch measurements from digital models with 2 impression materials and a modeling process based on cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4):456 e1-9 (discussion 456-7).
- Akyalcin S, Cozad BE, English JD, Colville CD, Larman S. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(6):916-22.
- Asquith J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *Eur J Orthod* 2007;29(5):517-22.
- Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(3):346-52.
- Ahn HW, Chang YJ, Kim KA, Joo SH, Park YG, Park KH. Measurement of three-dimensional perioral soft tissue changes in dentoalveolar protrusion patients after orthodontic treatment using a structured light scanner. *Angle Orthod* 2014;84(5):795-802.
- Watanabe-Kanno GA, Abrao J, Miasiro Junior H, Sanchez-Ayala A, Lagravere MO. Reproducibility, reliability and validity of measurements obtained from Cecile3 digital models. *Braz Oral Res* 2009;23(3):288-95.
- Veenema AC, Katsaros C, Boxum SC, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM. Index of complexity, outcome and need scored on plaster and digital models. *Eur J Orthod* 2009;31(3):281-6.
- Torassian G, Kau CH, English JD, Powers J, Bussa HI, Marie Salas-Lopez A et al. Digital models vs plaster models using alginate and alginate substitute materials. *Angle Orthod* 2010;80(4):474-81.
- Hollenbeck K, van der Poel M. White light or laser-what makes the best dental 3D scanner? *3Shape Technology Research* 2012;1-5.
- Age Solutions. Disponível em <<http://www.maestro3d.com/index.asp?p0=technology>>. Acesso em: 6-6-2016.
- Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123(5):578-81.
- Pandis N. Sample calculations for comparison of 2 means. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(4):519-21.
- Flugge TV, Schläger S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(3):471-8.
- Grunheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146(5):673-82.
- Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A. An evaluation of the use of digital study models in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Angle Orthod* 2005;75(3):300-4.
- Relvas C, Ramos A, Completo A, Simões JA. The influence of data shape acquisition process and geometric accuracy of the mandible for numerical simulation. *Comput Methods Biomed Engin* 2011;14(8):721-8.