YOLANDA NATALI RAICO GALLARDO

**Comparação da exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de
dois aplicativos: Bellus3D® versus +ID Recap®**

São Paulo

2021

YOLANDA NATALI RAICO GALLARDO

**Comparação da exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de
dois aplicativos: Bellus3D® versus +ID Recap®**

Versão Corregida

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Odontológicas para obter o título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Reabilitação em odontologia

Orientador: Prof. Dr. Newton Sesma

São Paulo

2021

Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Gallardo, Yolanda Natali Raico.

Comparação da exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de dois aplicativos: Bellus3D® versus +ID Recap® / Yolanda Natali Raico Gallardo; orientador Newton Sesma. -- São Paulo, 2021.

75 p. : fig. , tab. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) -- Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas. Área de concentração: Reabilitação em Odontologia. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Escaneamento facial. 2. Odontologia digital. 3. Planejamento. 4. Paciente virtual. I. Sesma, Newton. II. Título.

Fábio Jastwebski – bibliotecário - CRB8/5280

Gallardo YNR. Comparação da exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de dois aplicativos: Bellus3D versus +ID Recap. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: 18 /03 /2021

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). Luis André Mendonça Mezzomo

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a) Dalva Cruz Laganá

Instituição: Universidade de São Paulo Julgamento: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Mayra Torres Vasques

Instituição: Universidade de São Paulo Julgamento: Aprovado

Dedico este trabalho a minha família, minha base.

Aos meus pais Yolanda Gallardo de Raico e Luciano Raico Azañero que sempre me brindaram seu suporte e amor. Por todo o incentivo que me deram desde criança para acreditar que os sonhos podem ser conseguidos com perseverança e fé. As minhas irmãs Sonia e Tania por apoiarem minhas decisões e ideias. Por estar sempre do meu lado nos momentos difíceis e alegres. Aos meus sobrinhos Carlitos, Santi, Diego e Fabrizio por me lembrar de quanto é bom sorrir com o coração. Sem vocês não tivesse conseguido chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

À FOU SP e aos funcionários da comissão de pós graduação, em especial a Cátia Tiezzi dos Santos e Alessandra Moreira.

Ao meu orientador Prof. Dr. Newton Sesma, que sempre me brindou suporte, confiança e acolhimento durante todos estes anos. Obrigada pelos conhecimentos compartilhados.

À Prof. Dra. Dalva Cruz Laganá, que eu tive o prazer de conhecer e ser sua aluna. Pessoa admirável na sua carreira que compartilha o seu amor pela odontologia ao longo de todos estes anos como docente. Obrigada por me fazer sentir acolhida e pelo carinho.

Aos professores Luiz Gonzaga e William Martin, por me permitir fazer o doutorado sanduiche na Universidade de Florida. Obrigada pelos conhecimentos compartilhados e hospitalidade.

À minha colega Professora Lauren Bohner, quem fez a análise estatística deste trabalho, obrigada pela parceria.

Aos professores Rodrigo Salazar Gamarra e Luciano Dib, pelo auxilio na condução deste estudo.

Aos meus colegas, aos funcionários e a todos os professores do departamento de prótese que ajudaram significativamente no meu crescimento profissional e pessoal.

Aos funcionários do serviço de documentação odontológica da FOU SP, em especial a Glauci Elaine Damasio e Vania Martins Bueno de Oliveira.

À empresa Vtech Brasil, em especial a Ing. Isabela Quadros. Agradeço pelo empréstimo do escâner e pelo suporte fornecido na avaliação dos dados.

Aos meus amigos paulistanos: Pedro, Rodrigo, Isadora, Maryleen, Erika, Mario e Andres. Agradeço o suporte, carinho, risadas, conversas, conselhos e amizade verdadeira.

To my friends in Gainesville, for supported me throughout the short period of time that I spend there. A special thanks to Sandra Graham, Eleanor Waugh and Sharon Rudd Walters. I will always appreciate our friendship.

À CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Gallardo YNR. Comparação da exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de dois aplicativos: Bellus3D versus +ID Recap [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2021. Versão corrigida.

Nos últimos anos têm sido documentados na literatura vários estudos que apresentam diversas tecnologias para a aquisição de modelos 3D da face. Devido a esses desenvolvimentos, práticas clínicas e técnicas de laboratório estão mudando para processos baseados em tecnologias virtuais, criando assim o chamado “paciente virtual”. A ideia principal é integrar o encerramento digital com uma réplica 3D da face do paciente e avaliar digitalmente o impacto da posição, forma e cor dos dentes na aparência facial. Assim sendo, é possível realizar avaliações pré-tratamento para planejar melhor os procedimentos cirúrgicos ou reabilitadores complexos com a equipe clínica e com o laboratório de prótese odontológica. Além disso, a pré-visualização digital de uma reabilitação em 3D ou de um tratamento estético é uma ferramenta importante para melhorar a comunicação com os pacientes e avaliar suas expectativas. O presente trabalho propôs-se comparar a exatidão do escaneamento facial 3D de dois métodos: Bellus 3D versus +ID Recap. Material e Métodos: Foi utilizada uma cabeça de manequim como modelo mestre. O grupo controle foi criado a partir da obtenção do modelo 3D com um escâner industrial ATOS-GOM. Para os grupos experimentais foram utilizados dois métodos de escaneamento facial: Bellus 3D e +ID Recap. A captura das imagens de ambos métodos foi através do iPhone X com a mesma fonte de luz natural calibrada através de um aplicativo (Light Meter). A exatidão foi avaliada através do erro de medição 3D que foi calculado num programa de análise de malhas 3D. Foram criados dois grupos de comparação: 1) ATOS vs Bellus 3D e o 2) ATOS vs +ID Recap. Os resultados foram avaliados estatisticamente usando os testes de Shapiro-Wilk e teste t-pareado. A análise estatística mostrou que o Bellus 3D apresentou um maior erro de medição em relação ao +ID Recap nas regiões de lábio superior e inferior, nariz e mento ($p < 0.01$). Na região do lado direito, este erro foi estatisticamente maior para o +ID Recap ($p < 0.01$), enquanto para o lado esquerdo não houve diferença estatisticamente significativa entre os métodos de escaneamento avaliados ($p = 0.93$). O erro global de medição em

comparação ao ATOS foi de $0,34 \pm 0,14$ mm para o Bellus 3D e de $0,28 \pm 0,06$ de mm para o +ID Recap Photo. Conclui-se que ambos métodos permitem obter um modelo 3D da face com uma exatidão clinicamente aceitável e com um desvio menor que 0,5 mm.

Palavras-chave: imageamento tridimensional, diagnóstico por imagem, pesquisa laboratorial, aplicativos para dispositivos móveis

ABSTRACT

Gallardo YNR. Comparison of the 3D error of 2 face-scanning systems: Bellus 3D and + ID RECAP, an in vitro analysis [thesis]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2021. . Versão corrigida.

Facial scanning systems have been developed as auxiliary tools for diagnosis and planning in dentistry. However, little is known about the trueness of these new free software and apps for facial scanning. The purpose of this in vitro study was to evaluate the trueness of 3D facial scanning, using two methods: Bellus 3D and + ID Recap Photo. A head phantom was used as the master model. The control group was created, by scanning the head phantom with an ATOS Triple Scan (GOM, Germany). Two facial scanning methods were used for the experimental groups: 1) Bellus 3D and 2) + ID Recap Photo. In both methods, image capturing was performed under the same natural lighting conditions, using iPhone X, calibrated with an app. Trueness was assessed by using 3D measurement error, which was calculated with a special 3D mesh analysis software (GOM Inspect, Germany). Two comparison groups were created: 1) ATOS vs Bellus 3D and 2) ATOS vs + ID Recap Photo. The results were statistically evaluated by using the Shapiro-Wilk test and paired t-test. Statistical analysis showed that Bellus 3D presented a greater measurement error in comparison to + ID Recap Photo in the measurement of the regions of the upper and lower lip, nose and mentum ($p < .01$). However, this error was statistically higher for + ID Recap Photo ($p < .01$) in the right face area, while the left face area showed no statistically significant difference between the evaluated scanning methods ($p = .93$). The 3D global trueness of Bellus 3D and + ID Recap Photo were, 0.34 ± 0.14 mm and 0.28 ± 0.06 mm, respectively. It was concluded that both methods evaluated in this study provided a 3D model of the face with clinically acceptable trueness, thus proving to be reliable tools for aesthetic rehabilitation planning.

Keywords: diagnostic imaging, imaging three-dimensional, laboratory research, mobile apps

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Métodos de escaneamento facial	22
Figura 4.1 - Posicionamento da cabeça do manequim com o fundo branco e plano de Frankfurt paralelo ao chão	42
Figura 4.2 - Calibração da luz com o aplicativo Light Meter.....	42
Figura 4.3 - Escâner ATOS CORE.....	43
Figura 4.4 - Projeção da luz azul durante o escaneamento	44
Figura 4.5 -Procedimento do escaneamento com iPhone X a traves do aplicativo Bellus 3D	44
Figura 4.6 Princípio do triplo escaneamento do ATOS Core	46
Figura 4.7 - Captura das 45 fotografias com o iPhone X	47
Figura 4.8 - Calibração do modelo 3D no RecapPhoto.....	47
Figura 4.9 - A) Modelo 3D original, B) Modelo 3D com a região facial delimitada no RecapPhoto.....	48
Figura 4.10 - A) STL do grupo controle, B) STL do grupo Bellus 3D, C) STL do grupo +IDRecap.....	49
Figura 4.11 - Alinhamento das malhas 3D no programa GOM Inspect.....	49
Figura 4.12 Análise 3D dos pontos selecionados para cada grupo facial: A) lábio superior, B) lábio inferior, C) nariz, e D) mento.....	51
Figura 4.13 Análise 3D dos pontos selecionados para cada grupo facial: A) face direita e B) face esquerda.....	52
Figura 5.1 - Teste t pareado lábio superior	58

Figura 5.2 - Teste t pareado lábio inferior.....	58
Figura 5.3 - Teste t pareado lábio nariz.....	59
Figura 5.4 - Teste t pareado lábio mento.....	59
Figura 5.5 - Teste t pareado lado direito.....	60
Figura 5.6 - Teste t pareado lado esquerdo.....	60
Figura 5.7 - Erro de mensuração (desvio padrão) entre os métodos Bellus 3D e +ID Recap em relação ao grupo referência (ATOS)	61
Figura 5.8 - Vista frontal do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS.....	62
Figura 5.9- Vista lateral lado direito do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS	62
Figura 5.10- Vista lateral lado esquerdo do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 -Aderência à curva normal	55
Tabela 5.2 - Estatística descritiva de ambos os sistemas: Bellus 3D e + ID Recap.....	56
Tabela 5.3 -Teste T pareado ($p=0.05$)	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD/CAM	Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing
3D	tridimensional
2D	bidimensional
mm	milímetro
p-valor	valor de significância
STL	standard tessellation language
TC	tomografia computadorizada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
3 PROPOSIÇÃO	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
5 RESULTADOS.....	55
6 DISCUSSÃO	65
7 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

O diagnóstico inicial e um plano de tratamento adequado são essenciais para o sucesso do tratamento a longo prazo. Métodos de diagnóstico e planejamento rotineiros para um tratamento protético incluem: exame clínico, modelos de estudo montados num articulador semi-ajustável e radiografias. Fotografias intra e extraorais têm sido usadas como ferramentas auxiliares no planejamento, porém essa avaliação não descreve o paciente em 3 dimensões (3D) fornece apenas uma representação bidimensional (2D) limitada da região maxilo-facial¹⁻⁴. Uma avaliação inicial deveria de incluir informações abrangentes sobre o perfil dentário, esquelético e de tecidos moles do paciente.

O fluxo de trabalho no consultório odontológico está evoluindo rapidamente em direção a um fluxo mais eficiente e econômico, usando tecnologia de ponta. A digitalização dos arcos dentários por meio do escaneamento intraoral, cirurgias guiadas assistidas por computador e planejamentos virtuais revolucionaram a prática clínica nos últimos 10 anos⁵⁻⁸. A fusão de todas estas peças do quebra-cabeças digital dá origem ao paciente virtual tridimensional. A criação do paciente virtual 3D poder prover muitas vantagens no planejamento restaurador, tais como: simulação não invasiva do plano de tratamento, potencializar os resultados do tratamento, melhorar a comunicação com o paciente, técnico e o clínico.^{2,9}

O escaneamento digital facial 3D é uma tecnologia em rápida evolução com uma ampla gama de aplicações nos campos de engenharia biomédica, design industrial e animação 3D.^{10,11} Esta tecnologia promete completar o registro de paciente virtual fornecendo informações sobre o perfil externo. Nos últimos anos têm sido documentados na literatura vários estudos que apresentam diversas tecnologias para a aquisição de modelos 3D da face. Assim, a abordagem para a seleção do método a ser utilizado fica a critério do profissional, que deve levar em conta a praticidade, a simplicidade da técnica, o seu custo e a sua acurácia.^{1,2,7} Os sistemas de escaneamento facial reportados na literatura científica podem ser divididos de acordo com a tecnologia de escaneamento utilizada para criar um modelo tridimensional (Figura 1.1).¹⁰⁻²⁴ A técnica da fotogrametria é o método que cria um

modelo 3D a partir de fotografias 2D. Esta metodologia pode ser dividida em: a) estereofotogrametria; que apresenta como característica principal a presença de várias câmeras localizadas em diferentes ângulos em relação ao indivíduo, portanto as imagens podem ser capturadas em uma única exposição, e b) fotogrametria monoscópica: esta técnica utiliza uma única câmera para fazer a captura das imagens em diferentes ângulos e alturas respeito ao indivíduo.²⁴⁻²⁶ A fotogrametria monoscópica permite que o programa examine características comuns em cada imagem, sendo capaz de construir um modelo 3D a partir de características sobrepostas por um algoritmo complexo que minimiza a soma de erros sobre as coordenadas e deslocamentos relativos dos pontos de referência.²⁶ Em 2016, um estudo²⁵ apresentou um protocolo de fotogrametria monoscópica através de um smartphone para obter modelos 3D faciais com uma acurácia elevada. Esta técnica foi chamada de protocolo +ID Recap. Além disso, existem outros aplicativos disponíveis no mercado, de custo baixo e de fácil acesso para se obter modelos faciais 3D. Dentro destas opções podemos encontrar o aplicativo Bellus3D®, que cria os modelos tridimensionais do rosto do usuário a partir de uma câmera com luz infravermelha disponível para iPhoneX® ou iPad Pro® em diante.¹

Figura 1.1- Métodos de escaneamento facial

Fonte: a autora.

Ambos aplicativos permitem uma boa velocidade de captura e processo, ausência de radiação para o paciente, bons resultados e treinamento não complexo para a obtenção de um modelo 3D. Entretanto, apesar desses avanços, muitos aspectos do fluxo de trabalho digital ainda não foram completamente investigados e o uso ou entendimento inadequado desta tecnologia pode levar a um acúmulo de erros que podem diminuir essas vantagens em relação às técnicas de fluxo de trabalho convencional. Considerando o exposto acima, o presente trabalho *in vitro* propôs-se a avaliar a exatidão do escaneamento facial 3D utilizando dois métodos: Bellus3D® versus +ID Recap®.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Pesquisadores apresentaram o conceito da integração de modelos dentários digitais com modelos faciais extraorais em um indivíduo com dentição natural intacta. Os autores sugeriram que este método poderia ser muito valioso para aplicações ortodônticas.¹⁴

Uma revisão sobre a estereofotogrametria–descreveu este método como um sistema capaz de reproduzir com precisão a geometria da superfície da face e mapear dados realistas de cores e texturas numa forma geométrica. Outra vantagem dessa técnica é o custo baixo que torna a técnica mais comum e frequente em ambientes clínicos e de pesquisa. Neste trabalho, são descritas algumas recomendações para a aquisição de modelos 3D de alta qualidade: orientar o paciente a uma expressão facial neutra; selecionar ambiente com luz adequada; remover qualquer objeto que possa interferir durante o escaneamento, como cabelo, joias, piercings ou outros objetos que emitam brilho. Além disso, os autores afirmaram que para maximizar a cobertura da superfície facial deve-se posicionar a cabeça do paciente de forma que as áreas prioritárias fiquem visíveis para as câmeras do sistema; caso contrário, seria recomendado considerar realizar capturas adicionais de vistas alteradas mudando o ângulo da cabeça.¹⁹

Um estudo clínico com 15 adultos comparou dois métodos: a estereofotogrametria (3dMDface System) e um escâner de laser 3D (ZScanner 700). A análise facial foi feita a traves de 11 medições lineares de tecidos moles. Os resultados mostraram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os dois métodos de obtenção de modelos 3D para as seguintes medições: largura da boca, altura mediana do filtro e largura nasal. Os autores ressaltaram que o escaneamento a laser ainda não é sensível o suficiente para visualizar os sulcos mais profundos como as narinas. Adicionalmente, concluíram que a estereofotogrametria é uma técnica promissora para medições faciais tridimensionais.²⁴

A sobreposição de arquivos STL de escaneamentos de arcadas e facial foi avaliada num estudo clínico com 11 participantes. Os autores avaliaram distâncias

entre o plano oclusal e pontos anatômicos. Os resultados mostraram que os arquivos 3D dos dois escaneamentos foram sobrepostos com uma média de erro de 0.4 mm. Os movimentos involuntários dos músculos e as diferentes posições da cabeça (principalmente rotações nos planos frontal e sagital) podem ocorrer durante a captura das imagens, o que pode levar a erros durante a sobreposição dos arquivos. No entanto, os autores afirmaram que esses desvios foram clinicamente imperceptíveis e o erro pode ser considerado desprezível.¹³

Um estudo in vitro fez uma comparação entre o Vectra® e o 123D Catch® em uma cabeça de manequim de plástico onde foram marcados pontos de referência anatômicos. Nenhuma diferença significativa ($p > 0,05$) foi encontrada entre a medição manual e as distâncias digitais do 123D Catch® e Vectra®. Os autores também descobriram que o 123D Catch® precisou de 10 minutos em média para capturar e computar modelos 3D (5 vezes mais do que o Vectra).¹⁰

A acurácia da fotogrametria Vectra 3D para medições antropométricas craneomaxilofaciais foi avaliada a través de um estudo in vitro. Foi utilizada uma cabeça de manequim que foi marcada com 52 pontos de referência e 28 imagens tridimensionais foram tiradas a partir de um sistema fotossensível 3D de cinco cápsulas (3D VECTRA; Canfield). As distâncias entre os pontos de referência foram medidas manualmente com um compasso de calibre convencional e foram comparadas com as distâncias calculadas digitalmente adquiridas por dois observadores independentes. Os autores concluíram que a precisão e exatidão deste sistema fotográfico 3D sugerem sua aplicação clínica, particularmente, para estudos antropométricos. Adicionalmente, o posicionamento adequado do paciente é essencial para imagens de alta qualidade.¹²

Uma revisão sistemática da literatura sobre as técnicas tridimensionais de sobreposição para criar um paciente virtual foi apresentada. Foram avaliados 18 estudos com 112 pacientes em total. Os autores observaram que a replicação de um paciente virtual 3D requer a fusão bem-sucedida de vários formatos de dados: 1) A tomografia computadorizada (CT) usa o DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), formato padrão geral para manuseio, armazenamento, impressão e transmissão de informações em medicina; 2) No escaneamento extraoral, que captura

a pele facial extraoral, os dados geralmente são armazenados como arquivos OBJ universais (desenvolvidos pela Wavefront Technologies), formato de definição de geometria amplamente aceito que apresenta informações como cor e textura tridimensionais; 3) O escaneamento intraoral geralmente usa arquivos STL (linguagem de superfície ou estereolitografia), que descrevem superfícies de geometrias trianguladas de objetos 3D, mas armazenam dados sem informações de cor. Os autores concluíram que a produção de pesquisas que investigam tecnologias virtuais tem aumentado continuamente nos últimos anos e 61% dos estudos incluídos tiveram data de publicação nos últimos 3 anos.⁹

Os sistemas disponíveis para escaneamento facial podem ser divididos em dois tipos: varredura de superfície a laser e varredura como um diodo emissor de luz (LED). Além disso, com base no método de captura de dados, existem dois tipos de dispositivos que usam luz LED branca: a estereofotogrametria e os sistemas estruturados de luz. Um clínico incluiu 30 pacientes homens e foram marcados 21 pontos de referência anatômicos. O escaneamento facial foi realizado com o escâner Morpheus 3D®. Foram feitas as comparações das medidas dos pontos anatômicos com um paquímetro digital. A magnitude geral das diferenças foi inferior a 1,0 mm em média. Os resultados indicam que as medidas lineares obtidas com o escâner Morpheus 3D® apresentaram altos níveis de precisão e uma congruência bastante boa com a antropometria tradicional.²⁷

Uma comparação das técnicas de escaneamento facial foi realizada num estudo clínico com 80 participantes. Seis parâmetros de perfil e quatro parâmetros frontais foram medidos diretamente na face dos participantes. As mesmas medidas foram repetidas usando fotogrametria bidimensional (2D) e estereofotogrametria 3D (3dMDflex System, 3dMD, Atlanta, Ga). Além disso, foi avaliada a reprodutibilidade interobservador, assim, um segundo observador fez as mesmas medidas nas imagens obtidas. Ambos os observadores mediram novamente as imagens em 3D um mês depois e a reprodutibilidade intraobservador foi avaliada. A análise estatística foi realizada usando o teste t de amostras pareadas, coeficiente de correlação intraclass e limites de concordância de Bland-Altman. Os resultados mostraram que as medidas usando a estereofotogrametria 3D foram consistentes com as medidas antropométricas diretas e fotogramétricas 2D. Foi observado também uma alta

reprodutibilidade intraobservador e interobservador, o que sugere que este método pode ser utilizado com confiabilidade.²⁸

Pesquisadores apresentaram uma técnica de fotogrametria para obter um modelo 3D a partir de uma sequência de fotos para a confecção de próteses faciais. Os autores observaram que: 1) se o padrão de iluminação for diferente entre cada captura, 2) se o sujeito não ficar imóvel durante as capturas e 3) se as fotos forem tiradas aleatoriamente ou arbitrariamente, a captura de fotos sobrepostas pelo algoritmo pode não ser possível e a qualidade do modelo pode ser baixa, aparecendo regiões com defeitos.²⁵

A acurácia, reprodutibilidade e confiabilidade de dois sistemas diferentes de digitalização facial em 3D foi avaliada num estudo clínico. Esse estudo teve uma amostra de 10 participantes. Após a marcação dos pontos anatômicos, foram feitos os escaneamentos por um sistema de luz estruturada (3D CaMega, BWFIX) e um sistema de estereofotogrametria (3dMD). As imagens tridimensionais (3D) foram reconstruídas com o programa correspondente. Para cada voluntário, a digitalização foi realizada duas vezes após a calibração. As medidas lineares foram calculadas e comparadas para as duas técnicas de escaneamento com as medidas feitas manualmente com um calibrador. Os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as duas técnicas de escaneamento (0,891; $p < 0,999$). Ambos os sistemas de escaneamento demonstraram alta acurácia (AE = 0,58; $\pm 0,37$ mm e APE = 1,11 $\pm 0,73\%$ para o escâner de luz estruturada; EA = 0,62 $\pm 0,39$ mm e APE 1,17 $\pm 0,71\%$ para o sistema de estereofotogrametria). Os dois sistemas demonstraram confiabilidade extremamente alta em comparação com a medição (0,982 < ICC < 0,998 para o escâner de luz estrutura; 0,984 < ICC < 0,999 para o sistema de estereofotogrametria). Além disso, foi observada uma alta reprodutibilidade nos dois sistemas (0,981 < ICC < 0,999 para o escâner de luz estrutura; 0,984 < ICC < 1,000 para a estereofotogrametria). Os autores concluíram que apesar de não existir diferenças estatisticamente significativas entre as três técnicas de medição, o escâner de luz estruturada e a estereofotogrametria demonstraram ter alta precisão, confiabilidade e reprodutibilidade.¹¹

Um caso clínico de reabilitação oral foi relatado com um paciente virtual. Neste

relato de caso foi feito o escaneamento extraoral com um escâner de baixo custo (Sense 3D, Systems); o modelo 3D obtido foi sobreposto com: a) o arquivo STL do escaneamento intraoral; b) os arquivos JPEG das fotografias e c) os arquivos DICOM da tomografia computadorizada. O resultado foi a obtenção de um paciente virtual no qual foi feito o planejamento da instalação de implantes por meio de cirurgia guiada e próteses imediatas fresadas por CAD-CAM que foram instaladas com sucesso depois da cirurgia.⁷

Pesquisadores realizaram um relato de 10 casos clínicos de edentulismo total integrando o escaneamento facial na fase de planejamento protético. O escaneamento facial foi feito com o escâner Pritimirror (Pritidenta GmbH). Foram instaladas 20 próteses totais imediatas (10 maxila e 10 mandíbula), as quais foram fresadas com o sistema CAD-CAM. A integração de uma fase de avaliação clínica virtual com o exame facial permitiu ajustes instantâneos da futura morfologia e posição dos dentes com a inspeção imediata do impacto na aparência facial do paciente antes de realizar as extrações. Os autores concluíram que todas as próteses exibiram retenção satisfatória, estabilidade e resultados estéticos sem complicações técnicas ou biológicas notáveis.³

Um estudo piloto como continuação do estudo anterior foi realizado. Os 10 pacientes edêntulos totais bimaxilares foram reabilitados com próteses fixas implanto-suportadas. Foi feito um planejamento virtual para a instalação dos implantes por meio de cirurgia guiada com próteses implanto-suportadas confeccionadas por CAD-CAM. Os autores relataram algumas desvantagens do fluxo de trabalho digital. A primeira foi a questão da precisão na integração dos diferentes dados dos escaneamentos. A sobreposição do registro oclusal no escaneamento facial dependia da visibilidade das superfícies vestibulares dos dentes antero-superiores. A segunda desvantagem foi a sobreposição dos 3 escaneamentos faciais (sorriso neutral, sorriso exagerado e com afastador), isso dependia da visibilidade da testa como um ponto de referência anatômico. Porém, em pacientes idosos com rugas faciais profundas, essa região deformava-se quando o paciente sorria, dificultando, assim, um procedimento de registro preciso.⁴

Um estudo feito em 9 cadáveres para avaliar a acurácia de uma nova técnica

virtual para medir volume facial foi publicado. A metodologia incluiu pinos coloridos que foram fixados nos seguintes pontos antropométricos: glabella, násis, mentum, ligamento ocular externo e ligamento ocular interno. Esses pontos de referência foram usados para alinhar as malhas digitais 3D. O escaneamento facial foi realizado através de um escâner de luz estruturada (Artec 3D MHT, Artec 3D, Luxembourg). Os arquivos foram exportados para o programa Blender (Blender Org., Países Baixos) no qual foram analisadas todas as malhas 3D e comparadas com as medidas reais. Os autores concluíram que a avaliação volumétrica facial em cadáveres foi possível com métodos virtuais de malhas digitais 3D usando um escâner de luz estruturada. Além disso, o método demonstrou ser eficiente para calcular a variação volumétrica local a baixo custo utilizando um programa livre de código aberto.¹⁶

Outro estudo clínico com 10 pacientes que apresentavam diferentes deformidades faciais foi realizado para comparar dois sistemas de escaneamento facial. O modelo STL de controle foi feito com o escâner industrial Line-laser. A comparação foi feita com os seguintes sistemas: FaceScanSystem (Isravisision, Darmstadt, GER), escâner de luz estruturada com uma acurácia de 0,2 mm, e o 3dMD Face System (3dMD, Atlanta, USA) baseia-se na tecnologia de estereofotogrametria e possui acurácia de 0,2 mm. Para fazer a análise dos modelos 3D obtidos foi utilizado o programa Geomagic. Os autores relatam que existem dois tipos de acurácia: acurácia nominal (NA), medida através de objetos standardizados ou manequins; acurácia prática (PA), medida a partir do escaneamento da face de um paciente. A precisão 3D respectiva de estereofotografia e do escâner de luz estruturada foi de $0,58 \pm 0,11$ mm e $0,57 \pm 0,07$ mm, respectivamente. Foi observado também que a precisão era inconsistente nas diferentes regiões faciais e o terço médio facial teve o melhor desempenho. Embora a acurácia prática (PA) tenha sido inferior entre os dois sistemas, comparada com a acurácia nominal (NA), ambos métodos cumpriram o requisito para o uso clínico.¹⁵

Uma nota técnica sobre o paciente virtual na odontologia foi publicada. O autor relatou que a digitalização foi adotada nas três principais etapas do fluxo de trabalho convencional, o que resulta em três processos distintos: 1) Paciente digital: a aquisição de dados do paciente é digitalizada (informações clínicas, informações baseadas em raio-x ou modelos de estudo) e pode ser armazenada ou arquivada nos

registros digitais do paciente; 2) Paciente virtual: o planejamento da reabilitação do paciente, agora, pode ser assistido por meio de um planejamento digital, o que permite a simulação na tela (desenho auxiliado por computador ou CAD); 3) Paciente real: todos os procedimentos planejados podem ser fabricados por meio de um computador (CAM), a partir da tecnologia de fresagem ou impressão 3D.²⁹

Um fluxo de trabalho digital foi apresentado. Este método incluiu um paciente virtual 3D que em conjunto com uma abordagem de desenho digital do sorriso, permitiu a restauração dos incisivos centrais superiores com facetas cerâmicas de disilicato de lítio monolítico em CAD-CAM. Nesta técnica, os autores utilizaram um escâner extraoral, Sense 3D (3D Systems Inc) e um escâner intraoral, Itero (Align Technology Inc), para obter os modelos 3D da face e das arcadas dentárias. Além disso, foram feitas fotografias extraorais do paciente. A sobreposição dos arquivos 3D com as fotografias 2D foi feita no programa Geomagic Studio, seguindo pontos anatômicos constantes da face, obtidas no paciente virtual. O próximo passo desta técnica foi a elaboração do enceramento digital, o qual foi aprovado pelo paciente e pelo clínico. Depois de ter sido aprovado, foi impresso o modelo, feito o mock-up e provado na boca do paciente. Posteriormente foi feito o preparo e as restaurações definitivas, seguindo o padrão e desenho previamente criados no paciente virtual. Os autores concluíram que a criação de um paciente virtual em 3D com escâneres faciais e intraorais tem algumas limitações. Os procedimentos para sobrepor fotografias digitais extraorais, digitalizações faciais extraorais e intraorais para a criação do paciente virtual em 3D exigem tempo, recursos, treinamento adicional do clínico ou técnico do laboratório dentário e podem, ainda, gerar custos adicionais para o clínico e para o paciente.³⁰

Pesquisadores realizaram um estudo clínico com 30 voluntários, comparando a análise facial de pontos anatômicos com fotografias 2D versus escaneamento facial 3D. Foram identificados 15 pontos anatômicos por 3 observadores. As fotografias foram tiradas com uma câmera digital de 5 megapixels (Dimage 7i, Konica Minolta, Osaka, Japan), enquanto o escaneamento facial foi feito com o recurso ProMax® 3D Mid (Planmeca, Helsinki, Finland). Em comparação com a fotografia 2D clássica, o escaneamento facial 3D demonstrou ilustrar melhor as medidas anatômicas clínicas do rosto humano para as proporções lineares que ligam as regiões orbital, nasal e oral

e demonstrou ter a mesma qualidade que as fotografias 2D para medições angulares envolvendo os lábios e arcos subnasais. Os autores concluíram que a reconstrução facial a laser pode, portanto, ser uma ferramenta útil e confiável para analisar a face para diagnóstico e planejamento cirúrgico ortodôntico e ortognático. Os autores sugeriram que para tirar vantagem clínica desta nova tecnologia, a digitalização facial 3D pode ser combinada com a tomografia para medir a espessura dos tecidos moles periorais.³¹

A satisfação dos usuários e qualidade das imagens 3D obtidas a partir de um sistema de estereofotogrametria foi avaliada num estudo clínico. Este estudo piloto incluiu 19 pacientes totalmente edêntulos. As imagens foram obtidas através de dois sistemas. O primeiro método foi de estereofotogrametria estática, realizado por 6 câmeras Canon EF-S 60 mm f/2.8 Macro USM; Canon Europa N.V. As câmeras estavam distribuídas ao redor do participante com uma configuração fixa para capturar várias imagens em uma única exposição sincronizada. O segundo método foi o móvel e, para isso, utilizou-se a mesma câmera, com as mesmas configurações, todavia o operador se movimentava para capturar as imagens. Três operadores realizaram a captura das imagens, e cada participante era fotografado 1 vez, por 1 operador escolhido. Os pacientes foram instruídos a ficar em posição de repouso e com sorriso forçado. Depois, foram instruídos a remover as próteses e foram capturadas, mais uma vez, as imagens na posição de repouso e com o sorriso forçado. Os resultados mostraram que a preferência do operador foi a favor do sistema móvel, devido o tempo de trabalho ($P=.002$) e nível de dificuldade (instalação: $P=.002$, manipulação: $P=.045$). Porém, os operadores preferiram o sistema estático no que se refere à qualidade de imagem ($P=.003$) e conforto ($P=.013$). Por outro lado, os participantes avaliaram toda a experiência fotográfica de maneira favorável e 10 dos 12 participantes preferiram a câmera estática à câmera móvel. Os autores concluíram que uma vantagem deste método de reconstrução facial é a imagem 3D não ser gerada por um escâner facial profissional, mas sim, por um sistema de câmeras D-SLR convencionais com algoritmo de processamento de imagem. O sistema apresentado pode ser usado como uma alternativa a um escâner facial disponível comercialmente e de alto custo.⁵

Uma revisão sistemática da literatura avaliou a acurácia das tecnologias digitais para escaneamento dos tecidos faciais, intraorais e esqueléticos. Esta revisão incluiu

34 dos 2903 estudos para análise qualitativa e quantitativa. Só três estudos avaliaram a acurácia do escaneamento facial, 4 estudos avaliaram o uso de tomografia Cone Beam ou tomografia computadorizada para criar imagens 3D do osso, e 27 estudos avaliaram o escaneamento intraoral. Os escâneres faciais demonstraram valores de desvio que variavam entre 140 a 1330 μm , para a maioria dos escâneres a acurácia era aproximadamente 500 μm , o qual foi considerado como aceitável para o uso clínico. Dentro das tecnologias que foram comparadas para a obtenção de modelos faciais 3D, a estereofotogrametria e os lasers com luz estruturada demonstraram similar acurácia e menor desvio que os métodos com ressonância magnética e os escâneres com luz infravermelha. Os autores concluíram que as tecnologias atuais de escaneamento oferecem uma acurácia aceitável para aplicações específicas, embora isto dependa de outros fatores tais como a tecnologia do escâner, forma do objeto e o padrão de escaneamento.³²

Amornvit&Sasiwimol²¹ realizaram um estudo in vitro comparando 4 escâneres faciais: a) EinScan Pro (EP), b) EinScan Pro 2X Plus (EP+) (Shining 3D Tech. Co., Ltd. Hangzhou, China), c) iPhone X (IPX) (Apple Store, Cupertino, CA, USA), and d) PlanmecaProMax 3D Mid (PM) (Planmeca USA, Inc. IL, USA). Foi utilizado um modelo desenhado no programa Rhinoceros 3D (Rhino, Robert McNeeland Associates for Windows, Washington DC, USA), com pontos de referência anatômicos e impresso em ácido polilático em uma resolução de 200 microns nos eixos x,y e z. Este modelo foi escaneado, 4 vezes por cada escâner a ser comparado. Depois, foram feitas as comparações das medidas dos pontos de referência nos arquivos STLs com a medida real feita no modelo impresso, através de um paquímetro digital Vernier (Mitutoyo 150mm Digital Caliper, Mitutoyo, Japan). Os resultados mostraram que o STL obtido através do EinScan Pro 2X Plus foi o que apresentou maior acurácia com uma distância de até 150 mm. O escaneamento mais rápido foi feito com o iPhone X (IPX), que obteve uma média de 0.57 minutos. Os autores concluíram que são muitos os fatores que podem influir na precisão de um escaneamento, tais como: a capacidade de registrar detalhes, precisão, princípios de digitalização, extensão da digitalização, tamanho da área de digitalização, irregularidades da superfície e a iluminação.

Um estudo prospectivo foi realizado com 15 pacientes que foram reabilitados com overdentures na maxila com um fluxo de trabalho digital. O escaneamento facial

foi feito com um escâner facial profissional OBI® (Fifthingenium, Milan, Italy). Foi feita a sobreposição do escaneamento intraoral com o extraoral em um programa gratuito Meshmixer® (Autodesk, USA), e o desenho das barras foi feito no Exocad (Darmstadt, Germany) e foram impressos numa resina transparente para poder fazer os testes de passividade na boca. Para a confecção da barra final foi utilizado polyether-etherketone (PEEK), posteriormente fresado. Neste estudo, a maioria das barras de CAD-CAM apresentou excelente ajuste e adaptação passiva (80%), com apenas um número limitado de barras (3/15: 20%), que apresentaram problemas de ajuste e adaptação durante o teste da resina. Adicionalmente, os resultados mostraram que todos os implantes sobreviveram por um ano com taxa de sobrevida de 100%. Esta técnica permitiu a possibilidade de usar as imagens do rosto do paciente e trabalhar com os arquivos das bases protéticas nas respectivas posições espaciais corretas, em total conformidade com a dimensão vertical da oclusão. Os procedimentos digitais têm o potencial de diminuir o desconforto do paciente e reduzir o trabalho do laboratório associado à fabricação de sobredentaduras suportadas por implantes. Além disso, o uso do PEEK pode eliminar a necessidade de usar metais para a fabricação da barra.³³

Uma técnica para a criação do paciente virtual em 4 dimensões foi descrita. Os autores obtiveram os modelos 3D com os seguintes escâneres: 3D face scanner (FaceScan3D; 3Shape) e o TRIOS (3Shape). Além disso, foi feita uma sequência de fotografias intraorais com uma câmera digital Canon EOS. Todos os escaneamentos obtidos foram exportados no formato OBJ num programa digital Geomagic Studio. O alinhamento dos objetos foi feito seguindo o algoritmo do próprio programa utilizando a ferramenta do “Best fit alignment”. Depois disto, a imagem 3D foi exportada como um arquivo de modelagem 3D no formato WRP para um programa de desenho dental (Dental System, 3Shape), no qual foi feito o enceramento digital de acordo com os princípios estéticos. O próximo passo foi exportar este arquivo 3D no formato STL para o programa Geomagic Studio e sobrepor com as fotografias intraorais, obtendo, assim, o resultado estético no paciente virtual. Os autores acrescentam, ainda, a esta técnica de fluxo digital um método para poder fazer um vídeo do paciente com e sem o enceramento, fazendo capturas da tela em distintos ângulos e posições. Eles concluíram que em vez de usar imagens do sorriso em 3D (que são estáticas em uma expressão facial), a presente técnica pode melhorar muito o estado realista do

processo de sorriso dinâmico e fornecer uma visualização satisfatória para aplicações clínicas.³⁴

A integração do escaneamento intraoral com o escaneamento facial na reabilitação de dentes anteriores foi relatada na literatura. Esta técnica consistia em obter um modelo 3D da face através do escâner Morpheus 3D e um modelo 3D intraoral com o escâner TRIOS (3 Shape, Dinamarca). Os arquivos STLs dos dois escaneamentos foram sobrepostos no programa Exocad (Darmstadt, Germany). Logo, foram feitos o planejamento e o enceramento digital, o qual foi impresso e obtido um modelo físico para ser testado na boca do paciente. Os autores ressaltaram que com esta técnica a prótese pode ser avaliada quanto ao paralelismo com a linha interpupilar, relação entre a linha média dental e facial sem ter o paciente na cadeira.³⁵

Outro relato de caso clínico descrevendo uma técnica de fluxo digital numa reabilitação oral minimamente invasiva foi publicado. A técnica consistia em utilizar um dispositivo extraoral (AFT System), durante o escaneamento facial feito através de um aplicativo (Bellus 3D). Foi feito, também, o escaneamento intraoral e todas as imagens 3D obtidas foram sobrepostas em um programa (Exocad, Darmstadt, Germany). Este dispositivo extraoral fez o alinhamento e sobreposição das imagens ser mais preciso. Em seguida, foram feitos o planejamento e o enceramento digital. Os arquivos digitais permitiram, então, a criação de uma imagem virtual tridimensional do paciente, que ajudou o clínico a planejar o tratamento e tomar decisões, reduzindo a incerteza e melhorando a comunicação com a equipe de trabalho. Os autores ressaltaram ainda que a principal vantagem desta abordagem foi a avaliação precisa fornecida pela digitalização 3D dos dados de diagnóstico, que possibilitou a preparação minimamente invasiva e ajudou a quantificar o espaço necessário para as restaurações em uma reabilitação completamente adesiva.³⁶

Pesquisadores relataram uma técnica para utilizar um fluxo digital completo através de um escâner intraoral e facial. Os autores apresentaram uma técnica para fazer o escaneamento facial com um dispositivo pré-fabricado Scanbody Face e o ScanbodyMouth (AFT Dental System). Este dispositivo permite fazer uma sobreposição mais precisa dos arquivos 3D. Nesta técnica, o escaneamento facial foi feito com um aplicativo do celular o Bellus 3D. Para fazer o escaneamento intraoral,

foi utilizado o Itero e todas as sobreposições foram feitas no Exocad (Darmstadt, Germany). Depois de criado o paciente virtual, foi realizado um enceramento digital. O STL desse enceramento já aprovado, foi, então, transferido para o programa gratuito o Blender, no qual foi desenhado um index que foi impresso em resina transparente e utilizado para realizar as restaurações diretas em compósito. Os autores concluíram que o uso deste dispositivo extraoral pode melhorar a eficiência dos alinhamentos e todas estas novas técnicas que vão surgindo na literatura precisam ainda de uma curva de aprendizado para conseguir uma reabilitação de pacientes com precisão e eficiência.³⁷

A acurácia do escaneamento facial por meio de um laser dual de luz estruturada foi avaliada num estudo clínico. A amostra incluiu 10 participantes nos quais foram determinados 6 pontos antropométricos. A medição das distancias foi feita em cada um dos participantes, sendo feita manualmente para o grupo controle e digitalmente no programa Meshlab para o grupo experimental. O escâner utilizado nesta pesquisa foi o Face Câmera Pro (Bellus 3D, USA). Foi avaliada a veracidade, precisão e a correlação intraclasse. Os resultados mostraram que diferenças significativas foram encontradas entre as medidas manuais e digitais dos pontos antropométricos em todos os participantes. A média de desvio entre ambos grupos foi de $0,91 \pm 0,32$ mm. O escâner facial de luz estruturada dual obteve um valor médio de veracidade de 0,91 mm e um valor médio de precisão de 0,32 mm. Por outro lado, o coeficiente de correlação intraclasse entre os 2 operadores foi de 0,99. Os autores concluíram que o procedimento de digitalização facial avaliado produz resultados clinicamente aceitáveis para o planejamento virtual na odontologia.¹

Um estudo clínico com 16 participantes avalio a precisão e acurácia dos escaneamentos faciais feitos com o iPhoneX. Foram feitos 4 escaneamentos por cada participante em diferentes intervalos de tempo. Para evitar qualquer erro consequente de alguma movimentação involuntária por parte do paciente, foram impressas máscaras faciais 3D (ProJet 660; 3D Systems, Rock Hill, N.C). Este estudo comparou os modelos 3D obtidos com dois métodos de escaneamento facial: iPhoneX versus sistema Vectra (Canfield Vectra; CanfieldScientific, Inc., Parsippany, N.J). Os resultados deste estudo mostraram a raiz do erro quadrático médio para ambos métodos foi de 0,35 mm no grupo de pacientes. No grupo de máscaras faciais 3D, a

raiz do erro quadrático médio para ambos métodos foi de 0,28 mm. A conclusão deste estudo foi de que o iPhone X oferece um escaneamento facial com uma acurácia e precisão menor de 0,5 mm quando comparado com o sistema de escaneamento Vectra.³⁸

3 PROPOSIÇÃO

Comparar a exatidão e precisão do escaneamento facial 3D por meio de dois métodos: Bellus3D® versus + ID Recap®.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Para a realização da pesquisa foi necessário o seguinte material:

- Cabeça de manequim
- Paquímetro digital (Mitutoyo, Japão)
- IphoneX (Apple Inc, USA)
- Laptop (Dell, China)
- Programa RecapPhoto® (Autodesk, USA)
- Aplicativo Bellus3D® (Bellus3D, USA)
- Programa GOM Inspect® (GOM, Alemanha)
- Escâner ATOS (GOM, Alemanha)

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Aquisição dos dados

- Foi utilizada uma cabeça de manequim como modelo mestre.
- Para evitar algum viés durante o processo de digitalização, a cabeça do manequim foi fixada numa posição natural sobre uma mesa (linha horizontal de Frankfurt paralela ao chão) com um fundo branco (Figura 4.1).
- Para padronizar o ambiente onde foi feita a captura das imagens, foi selecionado um ambiente com luz natural e foi feito uma calibração da luz através de um aplicativo de celular: Light Meter. Todos os escaneamentos foram feitos com uma calibração de luz de 1600 lux e com o mesmo celular (iPhone X) (Figura 4.2).
- Foram feitos 10 escaneamentos por cada escaneamento experimental, seguindo a média amostral encontrada na literatura.^{1,11,15}

Figura 4.1 - Posicionamento da cabeça do manequim com o fundo branco e plano de Frankfurt paralelo ao chão

Fonte: a autora.

Figura 4.2- Calibração da luz com o aplicativo Light Meter

Fonte: a autora.

4.2.2 Grupo controle

- Para obter o modelo 3D do grupo controle, foi utilizado um escâner industrial de luz azul estruturada ATOS CORE (GOM, Alemanha). Este escâner utiliza o princípio de triplo escaneamento e conta com duas câmeras (Figura 4.3). Durante a medição, padrões de franja precisos são projetados sobre a superfície do objeto e são capturados pelas duas câmeras, com base no princípio da estereofotogrametria (Figura 4.4). Este princípio automático oferece vantagens na medição de superfícies refletoras ou objetos com superfícies complexas. Este escâner tem demonstrado na literatura uma veracidade de 3 μm e uma precisão de 2 μm nos escaneamentos de arcada completa.³⁹
- Adesivos em forma de círculos pequenos foram colocados em pontos aleatórios no rosto do manequim para garantir a precisão durante a medição da superfície seguindo o princípio do triple escaneamento do ATOS Core (Figura 4.5)
- Um único escaneamento da cabeça do manequim foi realizado para obter o modelo 3D do grupo controle.

Figura 4.3 - Escâner ATOS CORE

Fonte: Atos core (40, [tela 1]).

Figura 4.4 - Projeção da luz azul durante o escaneamento

Fonte: a autora.

Figura 4.5 - Princípio do triplo escaneamento do ATOS Core

Fonte: Atos core (40, [tela 5]).

4.2.3 Grupos experimentais

a) *Bellus 3D*:

- Este sistema realiza o escaneamento facial através de um aplicativo que utiliza a câmera frontal do iPhone X, produzindo uma reconstrução facial 3D em um único procedimento, da orelha esquerda até orelha direita. O tempo de digitalização é relativamente curto (aproximadamente 15 segundos). Com relação à tecnologia do escaneamento facial, o iPhone X conta com um sistema laser infravermelho frontal também conhecido como True depth Camera, que tem uma resolução de 7 MP (f/2,2, 32 mm). Este sistema foi desenhado originalmente como uma ferramenta de segurança para a identificação dos usuários, porém, hoje em dia, pode ser utilizado também como uma ferramenta para escaneamento facial. O princípio de escaneamento deste sistema baseia-se num laser que projeta 30.000 pontos infravermelhos exclusivos no rosto do usuário, capturando a distância desses pontos no dispositivo usando um sensor separado.
- Foram realizados 10 escaneamentos da cabeça do manequim. O celular então foi segurado pelo examinador 1 e a cabeça do manequim girada, seguindo as indicações do aplicativo, pelo mesmo examinador 1. Após a aquisição das imagens, a reconstrução facial 3D foi aberta no aplicativo para verificar a qualidade do procedimento de digitalização (Figura 4.6).
- Uma vez aprovado o modelo 3D no aplicativo então foi feita a exportação do arquivo STL para o desktop. Este modelo facial 3D não precisava ser calibrado, pois o mesmo aplicativo já exporta o modelo com as medidas reais da cabeça do manequim.

Figura 4.6 - Procedimento do escaneamento com iPhone X a través do aplicativo Bellus 3D

Fonte: a autora.

b) +ID Recap:

- Para a obtenção do modelo 3D, por meio do segundo método foram feitas as fotografias através da câmera traseira do iPhone X que tem como característica ser uma câmera dual: 12 MP (f/1.8, 28mm) + 12 MP (f/2.4, 52mm). O princípio para obter o modelo 3D foi gerar uma sequência de 45 fotografias com a técnica de fotogrametria monoscópica que, através de um programa de engenharia reversa, é gerado um modelo 3D (Recap Photo, Autodesk, USA).
- A captura das imagens foi realizada seguindo a técnica descrita no artigo do Salazar et al.²⁵ pelo examinador 2 e utilizando as mesmas condições de luz que o Bellus 3D (Figura 4.7).
- Uma vez que as 45 fotografias eram obtidas, todas elas eram descarregadas no desktop para logo ser processadas no programa que gerou o modelo 3D (Recap Photo, Autodesk, USA).
- Depois que o modelo 3D era gerado no programa foi feita a calibragem deste modelo virtual com a medida real do manequim utilizando o paquímetro digital para mensurar a distância entre o canto do olho direito e esquerdo (Figura 4.8).
- Foram gerados então 10 modelos faciais 3D com este método.

Figura 4.7 - Captura das 45 fotografias com o iPhone X

Fonte: a autora.

Figura 4.8-Calibração do modelo 3D no RecapPhoto

Fonte: a autora.

- O conjunto de dados experimentais e de controle foram exportados em formato estereolitográfico (STL) e processados no programa da Autodesk RecapPhoto. Para permitir dados de alta precisão, apenas o campo de interesse foi mantido no conjunto de dados. Para esse fim, foi delimitada a região facial e foram eliminados todos os tecidos adjacentes com a ferramenta “cropp” deste programa (Figura 4.8).
- Logo, foram exportados os arquivos STLs processados para o programa de análise: GOM inspect (Figura 4.9). Para fazer a comparação dos dois métodos experimentais com o de controle, foi feito o alinhamento das malhas no mesmo programa. A análise foi separada em dois grupos: a) ATOS versus Bellus 3D e b) ATOS versus + ID Recap. O alinhamento das malhas foi feito seguindo o algoritmo do próprio programa de “Best-fit Alignment” e o alinhamento dos três pontos (Figura 4.10).

Figura 4.9 - A) Modelo 3D original, B) Modelo 3D com a região facial delimitada no RecapPhoto

Fonte: a autora.

Figura 4.10 - A) STL do grupo controle, B) STL do grupo Bellus 3D, C) STL do grupo +ID Recap

Fonte: a autora.

Figura 4.11 - Alinhamento das malhas 3D no programa GOM Inspect

Fonte: a autora.

4.2.5 Comparação de superfícies

- O programa de metrologia GOM inspect utilizado neste estudo trabalha com o “Root mean square”, ou seja, “desvio”. Este programa usa um algoritmo para definir a diferença entre dois escaneamentos em uma escala x, y, z, calculando, assim, o erro de medição. De acordo com a metrologia, o erro de medição é a diferença entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor verdadeiro.

O erro de medição é composto por 2 tipos:

- a) Erro sistemático: valor médio do erro de medição. Para determinar o erro sistemático, devem ser efetuadas medições repetitivas de um objeto cujo valor verdadeiro é conhecido. Ou seja, se você quer obter o erro de medição de um escâner, você deve escanear o mesmo objeto X vezes.⁴¹ Neste estudo, o erro sistemático foi definido como exatidão e foi representado pelo valor da média.
 - b) Erro aleatório: variações encontradas em medições repetidas. O erro aleatório é definido pela variabilidade das medições repetidas. Existe uma faixa de valores em torno de um valor médio dentro do qual o erro aleatório é aceitável. Se as medições obtiverem um valor próximo entre si, o sistema é preciso, o que não significa que ele é exato. Se elas variarem muito entre si, o sistema não é preciso.⁴¹ Neste estudo o erro aleatório foi definido com precisão e foi representado pelo valor do desvio padrão.
- Após a comparação dos pares de malhas (ATOS vs Bellus 3D e ATOS vs +ID RECAP) foi gerado um mapa de cores, no qual foi determinada a menor distância entre o conjunto de dados, o desvio máximo foi configurado para ser de 1 mm.
 - Para facilitar a análise estatística, foi feita uma sub divisão das regiões faciais resultando em seis: 1) lábio superior, 2) lábio inferior, 3) mento, 4) nariz, 5) lado direito e 6) lado esquerdo. Cada uma das 6 regiões foi selecionada e foram criados pontos únicos de medição distribuídos ao longo da superfície de acordo com a representação codificada por cores. Segundo a literatura, foi definida uma média de 30 a 50 pontos como aceitável (Figura 4.12 e 4.13).⁴²
 - Foi calculado também o erro de mensuração global definido como a média do desvio das dez repetições feitas por cada método de escaneamento utilizado.

- Para isto foi utilizada uma ferramenta disponível no programa de análise chamada de “etiqueta de desvio médio”, a qual calcula o desvio médio de toda a malha analisada (6 regiões faciais).

Figura 4.12 - Análise 3D dos pontos selecionados para cada grupo facial: A) lábio superior, B) lábio inferior, C) nariz, e D) mento

Fonte: a autora.

Figura 4.13 - Análise 3D dos pontos selecionados para cada grupo facial: A) face direita e B) face esquerda

Fonte: a autora.

4.2.6 Hipótese do estudo

A hipótese nula é que não há diferença estatisticamente significativa na exatidão e precisão entre os sistemas Bellus 3D e +ID Recap.

4.2.7 Estatística

- Todos os valores obtidos no programa de análise (GOM Inspect) dos 10 escaneamentos de cada grupo experimental por cada uma das 6 regiões foram digitados numa planilha do Excel.
- A análise estatística foi realizada utilizando o programa SPSS 0,26 (IBM). A distribuição normal dos dados foi confirmada utilizando o teste Shapiro-Wilk e os valores médios do desvio do Bellus 3D e +ID Recap foram comparados utilizando o teste T pareado ($p < 0,05$).
- Para o cálculo do desvio médio global, foram tabulados numa planilha de Excel todos os valores fornecidos pelo programa para cada uma das 10 repetições feitas por cada um dos métodos experimentais utilizados. Logo, foi feito o cálculo da média destes valores utilizando uma formula predeterminada no Excel (cálculo de media).

5 RESULTADOS

Conforme demonstrado na Tabela 5.1, todos os grupos apresentaram aderência à normalidade ($p>0.05$). Portanto, a estatística para os grupos Bellus 3D e + ID Recap foi representada por valores de média e desvio-padrão (Tabela 5.2).

Tabela 5.1- Aderência à curva normal

Fonte: a autora.

LS= lábio superior; LI = lábio inferior; N= nariz; M= mento; LD= lado direito; LEsq= lado esquerdo.

Localização	Método de escaneamento	Shapiro-Wilk		
		Estatística	Graus de liberdade	Valor de p
LS	Bellus 3D	,924	10	,392
	+ ID Recap	,946	10	,623
LI	Bellus 3D	,959	10	,770
	+ ID Recap	,909	10	,275
N	Bellus 3D	,891	10	,174
	+ ID Recap	,943	10	,590
M	Bellus 3D	,861	10	,078
	+ ID Recap	,892	10	,179
LD	Bellus 3D	,941	10	,566
	+ ID Recap	,945	10	,613
LEsq	Bellus 3D	,865	10	,088
	+ ID Recap	,900	10	,218

Tabela 5.2 - Estatística descritiva de ambos os sistemas: Bellus 3D e + ID Recap

Área da face	Sistema de escaneamento	Média/ $\pm$ SD	Intervalo de Confiança 95% (valor mínimo; valor máximo)
Lábio superior	Bellus 3D +ID Recap	0.49 $\pm$ 0.04	0.46; 0.52
		0.19 $\pm$ 0.04	0.15; 0.22
Lábio inferior	Bellus 3D + ID Recap	0.58 $\pm$ 0.05	0.54;0.62
		0.31 $\pm$ 0.11	0.23;0.40
Nariz	Bellus 3D + ID Recap	0.38 $\pm$ 0.05	0.34; 0.41
		0.18 $\pm$ 0.05	0.14; 0.22
Mento	Bellus 3D + ID Recap	0.36 $\pm$ 0.03	0.33; 0.38
		0.20 $\pm$ 0.11	0.11; 0.28
Face direita	Bellus 3D +ID Recap	0.53 $\pm$ 0.13	0.43; 0.63
		1.09 $\pm$ 0.52	0.71; 1.46
Face esquerda	Bellus 3D + ID Recap	0.79 $\pm$ 0.15	0.67; 0.90
		0.66 $\pm$ 0.21	0.50; 0.81

Fonte: a autora.

A comparação entre as médias obtidas para cada região facial avaliada foi realizada a partir do Teste T pareado com significância estatística de $p=0.05$ (Tabela 5.3)(Figura 5.1,5.2,5.3,5.4,5.5 e 5.6). Houve uma diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos de escaneamento para as seguintes áreas anatómicas: lábio superior, lábio inferior, mento, nariz e lado direito. Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos na região do lado esquerdo. Para todas as regiões, os desvios médios diferiram menos de 0,5

mm entre grupos. A maior diferença média foi de 0,41 mm na região do lado esquerdo. O grupo Bellus 3D mostrou um erro 3D mais elevado quando comparado com o grupo +ID RecapPhoto nas seguintes regiões: lábio superior e inferior, nariz e queixo ($p < 0,01$). Para a região do lado direito, o erro 3D foi estatisticamente maior para o grupo +ID RecapPhoto ($p < 0,01$) (Figura 5.7).

Tabela 5.3- Teste T pareado ($p=0.05$)

Localização	Erro médio	Intervalo de confiança 95%		Valor de t	Graus de liberdade	Valor de p
		Valor mínimo	Valor máximo			
Lábio superior	0.30	0.24	0.35	12.03	9	,000
Lábio inferior	0.26	0.18	0.35	7.15	9	,000
Nariz	0.20	0.15	0.24	11.02	9	,000
Mento	0.16	0.06	0.25	3.65	9	,005
Lado direito	0.55	-0.91	-0.20	-3.53	9	,006
Lado esquerdo	0.01	-0.45	0.41	-0.08	9	,932

Fonte: a autora.

Figura 5.1 - Teste t pareado lábio superior

Fonte: a autora.

Figura 5.2- Teste t pareado lábio inferior

Fonte: a autora.

Figura 5.3 - Teste t pareado nariz

Fonte: a autora.

Figura 5.4- Teste t pareado mento

Fonte: a autora.

Figura 5.5 - Teste t pareado lado direito

Fonte: a autora.

Figura 5.6 - Teste t pareado lado esquerdo

Fonte: a autora.

Figura 5.7 - Erro de mensuração (desvio padrão) entre os métodos Bellus 3D e +ID Recap em relação ao grupo referência (Atos)

1 = Lábio superior; 2= lábio inferior; 3= nariz; 4= mento; 5= lado direito; 6= lado esquerdo.

Fonte: a autora.

As figuras 5.8, 5.9 e 5.10 mostram o mapa de cores faciais de cada grupo, representando as diferenças de superfície entre Bellus 3D e ATOS e entre +ID RecapPhoto e ATOS. Este histograma exibe uma escala de cores diferentes, onde o verde se refere ao mínimo, quer dizer, representa um ajuste perfeito entre o conjunto de dados experimentais e o de controle (aproximadamente 00 mm); o vermelho, ao negativo, o que significa que a região apresentou uma dimensão menor que o observado no modelo mestre (<1 mm); e o azul, ao positivo, o que significa que a região apresentou uma diferença na qual ocorreu uma dimensão maior que o observado no modelo mestre (> 1 mm). O cinza refere-se à extrapolação da escala, ou seja, maior que 1 mm de diferença.

Figura 5.8 - Vista frontal do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS

Fonte: a autora.

Figura 5.9 - Vista lado direito do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS

Fonte: a autora.

Figura 5.10 - Vista lado esquerdo do mapa de cores da sobreposição do grupo controle versus os grupos experimentais. (A) Bellus 3D vs ATOS, (B) +ID Recapvs ATOS.

Fonte: a autora.

Os dois sistemas de escaneamento facial testados neste estudo tiveram um erro de mensuração global 3D muito próximo: Bellus 3D de $0,34 \pm 0,14\text{mm}$ e +ID RecapPhoto $0,28 \pm 0,06$ de mm.

6 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a exatidão de dois métodos de digitalização facial: Bellus 3D versus +ID Recap. Foi observada uma diferença estatisticamente significativa no erro de medição 3D, entre os dados adquiridos por cada técnica de escaneamento facial testada, em todas as regiões anatômicas, exceto na área do lado esquerdo. Assim, a hipótese nula do estudo foi rejeitada.

O erro de medição 3D neste trabalho foi avaliado através de um arquivo STL utilizando um programa para análise de malhas 3D. Os métodos tradicionais de avaliação das técnicas de digitalização facial incluem comparações de medições lineares antropométricas.^{5,6,21,24} Estas técnicas podem ser limitadas quando se deseja fazer uma avaliação de uma área específica. Além disso, estes métodos podem estar sujeitos ao erro humano ou imprecisões no momento da colocação dos pontos de referência e da análise dos dados. Porém, quando é utilizado o algoritmo "erro 3D", o erro humano e o viés de medições manuais são eliminados, pois a análise vai depender exclusivamente de cálculos computadorizados. Outra vantagem deste método, é que pode ser feita uma análise qualitativa através do mapa de cores de toda a região facial ou de uma região específica da face.^{15,17,20,22} Por outro lado, neste tipo de análise é necessário o uso de um escâner de referência para poder ser feita a comparação dos dados obtidos com os sistemas dos grupos experimentais. Neste estudo o escâner de referência utilizado foi o ATOS Core (GOM, Alemanha), que é um escâner industrial usado na metrologia de controle de qualidade na indústria automobilística. A tecnologia do ATOS baseia-se em três características: a) triplo escaneamento, dois câmeras e um projetor operam em simultâneo, projetando padrões de franja, assim, pontos de superfície 3D de três diferentes intersecções de raios podem ser calculados de forma precisa, b) tecnologia de luz estruturada azul, o que permite que qualquer interferência da luz do ambiente possa ser filtrada. Além disso, essa poderosa fonte de luz acelera o processo do escaneamento, e c) sistema de auto monitoramento, o sensor reconhece qualquer mudança da luz do ambiente que possa acontecer durante o procedimento de escaneamento e compensa essas mudanças.⁴⁰

Os resultados obtidos referem-se ao erro de medição 3D, definido como a

diferença entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor verdadeiro. O erro de medição é composto por: a) erro sistemático (Systematic Error of Measurement - SEM), definido como valor médio do erro de medição e, b) erro aleatório (Random Measurement Error - RME), definido como grau de concordância entre indicações ou valores de quantidade medida obtidos por medições replicadas sobre o mesmo objeto ou objetos semelhantes em condições especificadas.^{15,18,41} Neste estudo, a SEM é definida como a exatidão e representada pelos valores médios e a RME é definida como a precisão ou repetibilidade e representada pelos valores SD (desvio padrão). O nosso estudo demonstra que as imagens capturadas pelo fluxo de trabalho + ID com RecapPhoto podem ser adquiridas com elevado grau de veracidade (0,28 mm) e são altamente repetíveis ($\pm 0,06$ mm). Por outro lado, o sistema Bellus 3D mostrou um grau de exatidão semelhante (0,34 mm), mas uma menor precisão (0,14 $\pm$). Resultados semelhantes foram encontrados por Piedra-Cascon et al.¹ Os autores relataram um valor médio de exatidão e precisão de 0,91 mm e 0,32 mm, respectivamente, utilizando a Câmara Face Pro (Bellus 3D). Além disso, Knoops et al.²² investigaram a precisão de dois escâneres: 1) Structure (Occipital Inc., Colo), um escâner de luz branca estruturada e M4D (Rodin 4D, France), um escâner de luz infravermelha. Os autores encontraram um desvio de $0,71 \pm 0,28$ e um desvio de $1,33 \pm 0,46$ mm respectivamente.

Os resultados mostraram um erro de medição 3D elevado em ambos os sistemas quando as áreas laterais foram avaliadas (lado direito e esquerdo). Uma possível explicação para estes resultados é que mesmo que os sistemas analisados ofereçam uma capacidade de captura de 180 graus, a cobertura de orelha a orelha pode ser fraca numa única captura frontal, particularmente em indivíduos com uma face superior muito larga. Se o objetivo for capturar ambas as orelhas, podem ser necessárias capturas adicionais, seguindo um protocolo específico para regiões laterais da face ou outras regiões do corpo.^{19,26} Esta questão também foi observada por Koban et al.¹⁰, que obtiveram um maior desvio na região da bochecha (0,68 mm) em comparação com uma região central (0,25 mm). Durante a captura das imagens é necessário um excesso de cobertura de todos os ângulos faciais para garantir que a região central seja precisa.^{25,26}

Uma vantagem do método Bellus 3D aqui apresentado é que a imagem 3D foi

gerada em 30" e a exportação do modelo STL foi mais fácil e rápida do que o método +ID Recap, pois o modelo 3D é gerado automaticamente e pode ser exportado diretamente do dispositivo móvel em muitos formatos de arquivos em menos de 1 minuto. A técnica Bellus 3D tem também outras vantagens: não é invasiva, é reproduzível, tem auto calibração, é precisa, é um sistema de baixo custo e é de fácil manipulação. Em contrapartida, este método tem as desvantagens da sensibilidade à luz e da dificuldade em digitalizar o cabelo.^{1,4,38} Respeito a tecnologia de escaneamento que este método utiliza, o iPhone X usa um sistema de laser infravermelho para obter informação topográfica 3D e um sistema de câmara ótica e projetor de luz para obter a informação das cores do modelo 3D criado a partir dos pontos infravermelhos.³⁸

Por outro lado, o tempo de captura de imagem para o método +ID Recap mais o tempo de processamento das imagens através do programa, que depende do hardware do computador, pode ser um pouco mais longo quando comparado ao Bellus 3D. Contudo, este problema pode ser compensado pelo melhor desempenho que este método demonstrou no presente estudo. Os nossos resultados são comparáveis a estudos que avaliam o erro 3D com outros sistemas de escaneamento. Na literatura o desempenho dos escâneres faciais foi relatado com um desvio médio inferior a 2 mm.^{6,11,15,17} Neste estudo, a diferença da média para ambos métodos foi inferior a 1mm. Essas diferenças observadas não teriam provavelmente um impacto clínico significativo, considerando que a literatura sugere que os desvios inferiores a 2 mm são considerados aceitáveis.²⁰ Além disso, vale a pena salientar que os principais desvios neste estudo foram localizados nas regiões laterais da face, por conseguinte, uma precisão da área facial central incluindo a boca parece ser alcançável com estes métodos e eles podem ser uma ferramenta aceitável como instrumento de diagnóstico ou planeamento na área de reabilitação oral como, por exemplo, poderá ser útil num desenho do sorriso digital.

Muitos estudos têm investigado a precisão e reprodutibilidade de diferentes sistemas de escaneamento facial.¹⁰⁻²³ No entanto, a maioria destes dispositivos de captação de imagem têm um custo elevado ou não são acessíveis para a prática diária. Uma vantagem de ambos os sistemas de digitalização utilizados no presente estudo é que são extremamente acessíveis. Ambos sistemas de escaneamento avaliados neste estudo podem ser baixados gratuitamente, porém os usuários que desejem exportar o arquivo 3D têm que pagar. As taxas de exportação podem variar em ambos sistemas, para o Bellus 3D a taxa de exportação de um arquivo 3D é de 4.9 reais, por outro lado a taxa do RecapPhoto é de 325 dólares anuais, podendo ser gratuito se for para uso educacional. Considerando esta informação, podemos dizer que os dois métodos de escaneamento comparados neste estudo teriam um custo-benefício favorável quando comparados com sistemas ou equipamentos de escaneamento facial de alto custo e inviáveis na prática clínica do dia a dia. Os autores selecionaram estes sistemas para permitir que colegas troquem informações, desenvolvam indicações e disseminem estes métodos como uma ferramenta para um planejamento estético reabilitador.

Os resultados do presente estudo estão limitados aos de um estudo in vitro feito com um manequim e não com pacientes. Por conseguinte, a interpretação dos resultados deve ser cautelosa. O clínico deve considerar variáveis adicionais, tais como: movimentos involuntários, cabelo, barba, sulcos faciais profundos e fonte de luz quando estas técnicas forem utilizadas com pacientes. São necessários mais estudos clínicos para avaliar estes fatores relacionados e a sua influência na precisão dos sistemas de digitalização facial 3D.

7 CONCLUSÕES

- A aquisição de imagens faciais 3D com ambos os métodos utilizados neste estudo (Bellus 3D e + ID Recap) demonstrou uma exatidão favorável com um desvio menor de 0,5mm.

REFERÊNCIAS¹

1. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent*. 2020 Nov;124(5):567-74. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.10.010.
2. Joda T, Gallucci GO. The virtual patient in dental medicine. *Clin Oral Implants Res*. 2015 Jun;26(6):725-6. doi: 10.1111/clr.12379.
3. Hassan B, Greven M, Wismeijer D. Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation. *J Adv Prosthodont*. 2017a Oct;9(5):381-6. doi: 10.4047/jap.2017.9.5.381.
4. Hassan B, Gimenez Gonzalez B, Tahmaseb A, Greven M, Wismeijer D. A digital approach integrating facial scanning in a CAD-CAM workflow for complete-mouth implant-supported rehabilitation of patients with edentulism: A pilot clinical study. *J Prosthet Dent*. 2017b Apr;117(4):486-92. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.07.033.
5. Sailer I, Liu S, Mörzinger R, Lancelle M, Beeler T, Gross M, Wu C, Fehmer V, Srinivasan M. Comparison of user satisfaction and image quality of fixed and mobile camera systems for 3-dimensional image capture of edentulous patients: A pilot clinical study. *J Prosthet Dent*. 2018 Oct;120(4):520-4. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.04.005.
6. Liu S, Srinivasan M, Mörzinger R, Lancelle M, Beeler T, Gross M, et al. Reliability of a three-dimensional facial camera for dental and medical applications: A pilot study. *J Prosthet Dent*. 2019 Sep;122(3):282-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.10.016.
7. Harris BT, Montero D, Grant GT, Morton D, Llop DR, Lin WS. Creation of a 3-dimensional virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 2017 Feb;117(2):197-204. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.06.012.
8. Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron-Chabouis H, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations--accuracy from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent*. 2015;18(4):343-67.
9. Joda T, Brägger U, Gallucci G. Systematic literature review of digital three-dimensional superimposition techniques to create virtual dental patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2015 Mar-Apr;30(2):330-7. doi: 10.11607/jomi.3852.

¹ De acordo com Estilo Vancouver.

10. Koban KC, Leitsch S, Holzbach T, Volkmer E, Metz PM, Giunta RE. 3D Bilderfassung und Analyse in der Plastischen Chirurgie mit Smartphone und Tablet: eine Alternative zu professionellen Systemen? [3D-imaging and analysis for plastic surgery by smartphone and tablet: an alternative to professional systems?]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2014 Apr;46(2):97-104. German. doi: 10.1055/s-0034-1371822.
11. Ye H, Lv L, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Evaluation of the Accuracy, Reliability, and Reproducibility of Two Different 3D Face-Scanning Systems. *Int J Prosthodont.* 2016 May-Jun;29(3):213-8. doi: 10.11607/ijp.4397.
12. Metzler P, Sun Y, Zemmann W, Bartella A, Lehner M, Obwegeser JA, et al. Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *Oral Maxillofac Surg.* 2014 Sep;18(3):297-304. doi: 10.1007/s10006-013-0404-7.
13. Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, Sforza C, Ferrario VF. Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 Jul;138(1):84-8. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.10.035.
14. Rangel FA, Maal TJ, Bergé SJ, van Vlijmen OJ, Plooij JM, Schutyser F, et al. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Dec;134(6):820-6. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.11.026.
15. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: a new evaluation method for facial scanner accuracy. *PLoS One.* 2017 Jan 5;12(1):e0169402. doi: 10.1371/journal.pone.0169402.
16. Dornelles RFV, Alonso N. New virtual tool for accurate evaluation of facial volume. *Acta Cir Bras.* 2017 Dec;32(12):1075-86. doi: 10.1590/s0102-865020170120000009.
17. Maués CPR, Casagrande MVS, Almeida RCC, Almeida MAO, Carvalho FAR. Three-dimensional surface models of the facial soft tissues acquired with a low-cost scanner. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018 Sep;47(9):1219-25. doi: 10.1016/j.ijom.2018.03.028.
18. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A.* 2005 Oct 15;138A(3):247-53. doi: 10.1002/ajmg.a.30959.
19. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med.* 2010 Jul 28;6:18. doi: 10.1186/1746-160X-6-18.
20. Artopoulos A, Buytaert JA, Dirckx JJ, Coward TJ. Comparison of the accuracy of digital stereophotogrammetry and projection moiré profilometry for three-dimensional imaging of the face. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014 May;43(5):654-62. doi: 10.1016/j.ijom.2013.10.005.

21. Amornvit P, Sanohkan S. The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: An in vitro study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Dec 12;16(24):5061. doi: 10.3390/ijerph16245061.
22. Knoops PG, Beaumont CA, Borghi A, Rodriguez-Florez N, Breakey RW, Rodgers W, et al. Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017 Apr;70(4):441-9. doi: 10.1016/j.bjps.2016.12.015.
23. Kook MS, Jung S, Park HJ, Oh HK, Ryu SY, Cho JH, et al. A comparison study of different facial soft tissue analysis methods. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014 Jul;42(5):648-56. doi: 10.1016/j.jcms.2013.09.010.
24. Germec-Cakan D, Canter HI, Nur B, Arun T. Comparison of facial soft tissue measurements on three-dimensional images and models obtained with different methods. *J Craniofac Surg*. 2010 Sep;21(5):1393-9. doi: 10.1097/SCS.0b013e3181ec6976.
25. Salazar-Gamarra R, Seelaus R, da Silva JV, da Silva AM, Dib LL. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. *J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016 May 25;45(1):33. doi: 10.1186/s40463-016-0145-3.
26. Salazar-Gamarra R, Moraes C, Seelaus R, Lopes da Silva JV, Juauregui J, Dib LL. Introdução à metodologia “mais identidade”: próteses faciais 3D com a utilização de tecnologias acessíveis para pacientes sobreviventes de cancer no rosto. In: Santos EC, organizadora. *Comunicação Científica e Técnica em Odontologia 2*. Ponta Grossa; Athena; 2019. p. 251–72. doi: 10.22533/at.ed.265192903.
27. Kim SH, Jung WY, Seo YJ, Kim KA, Park KH, Park YG. Accuracy and precision of integumental linear dimensions in a three-dimensional facial imaging system. *Korean J Orthod*. 2015 May;45(3):105-12. doi: 10.4041/kjod.2015.45.3.105.
28. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *Angle Orthod*. 2016 May;86(3):487-94. doi: 10.2319/041415-244.1.
29. Vandenberghe B. The digital patient - Imaging science in dentistry. *J Dent*. 2018 Jul;74 Suppl 1:S21-S26. doi: 10.1016/j.jdent.2018.04.019.
30. Lin WS, Harris BT, Phasuk K, Llop DR, Morton D. Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 2018 Feb;119(2):200-5. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.03.007.
31. Zogheib T, Jacobs R, Bornstein MM, Agbaje JO, Anumendem D, Klazen Y, et al. Comparison of 3D scanning versus 2D photography for the identification of facial

soft-tissue landmarks. *Open Dent J*. 2018 Jan 31;12:61-71. doi: 10.2174/1874210601812010061.

32. Bohner L, Gamba DD, Hanisch M, Marcio BS, Tortamano Neto P, Laganá DC, et al. Accuracy of digital technologies for the scanning of facial, skeletal, and intraoral tissues: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2019 Feb;121(2):246-51. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.01.015.

33. Mangano F, Mangano C, Margiani B, Admakin O. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (CAD/CAM) polyether-ether-ketone (PEEK) implant-supported bars for maxillary overdentures. *Scanning*. 2019 Aug 22;2019:4274715. doi: 10.1155/2019/4274715.

34. Ye H, Wang KP, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Four-dimensional digital prediction of the esthetic outcome and digital implementation for rehabilitation in the esthetic zone. *J Prosthet Dent*. 2020 Apr;123(4):557-63. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.04.007.

35. Park JM, Oh KC, Shim JS. Integration of intraoral digital scans with a 3D facial scan for anterior tooth rehabilitation. *J Prosthet Dent*. 2019 Mar;121(3):394-7. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.03.018.

36. Ferrando-Cascales Á, Astudillo-Rubio D, Pascual-Moscardó A, Delgado-Gaete A. A facially driven complete-mouth rehabilitation with ultrathin CAD-CAM composite resin veneers for a patient with severe tooth wear: A minimally invasive approach. *J Prosthet Dent*. 2020 Apr;123(4):537-47. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.04.011.

37. Revilla-León M, Raney L, Piedra-Cascón W, Barrington J, Zandinejad A, Özcan M. Digital workflow for an esthetic rehabilitation using a facial and intraoral scanner and an additive manufactured silicone index: A dental technique. *J Prosthet Dent*. 2020 Apr;123(4):564-70. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.03.014.

38. Rudy HL, Wake N, Yee J, Garfein ES, Tepper OM. Three-dimensional facial scanning at the fingertips of patients and surgeons: accuracy and precision testing of iPhone X three-dimensional scanner. *Plast Reconstr Surg*. 2020 Dec;146(6):1407-17. doi: 10.1097/PRS.00000000000007387.

39. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, Lauer A. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*. 2017 Jul;118(1):36-42. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.09.024.

40. ATOS Core. Optical 3D scanner for quality control.[citado 20 dez 2020]. Disponível em: https://www.metronicnet.com/uploads/archivos/GOM_Brochure_ATOS_Core_EN.pdf

41. International Vocabulary of Metrology. Basic and general concepts and associated terms. 3rd. ed. [place unknown]: JCGM; 2012. JCMG 200:2012. [citado

14 ago 2020]. Disponível em:

https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf.

42. Bohner LOL, De Luca Canto G, Marció BS, Laganá DC, Sesma N, Tortamano Neto P. Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *J Prosthet Dent*. 2017 Nov;118(5):617-23. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.11.018.