



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS OBTIDOS ATRAVÉS DE SILICONE
DE ADIÇÃO E IMPRESSÕES 3D

Niterói
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS OBTIDOS ATRAVÉS DE SILICONE
DE ADIÇÃO E IMPRESSÕES 3D**

ANDRÉ SALGADO DA COSTA

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: CLÍNICA
ODONTOLÓGICA

Orientadores: Prof. Dr. Cresus Vinícius Depes de Gouvêa, Prof. Waldimir Rocha de Carvalho

Niterói

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica automática - SDC/BNO Gerada com informações fornecidas pelo autor

C837a

Costa, André Salgado da
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS OBTIDOS ATRAVÉS DE SILICONE DE ADIÇÃO E IMPRESSÕES 3D / André Salgado da Costa ; Cresus Vinícius Depes de Gouvea, orientador ; Waldimir Rocha de Carvalho, coorientador. Niterói, 2016.
47 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGO.2016.d.05141829707>

1. Silicone. 2. Produção intelectual. I. Gouvea, Cresus Vinícius Depes de, orientador. II. Carvalho, Waldimir Rocha de, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Faculdade de Odontologia. IV. Título.
CDD -

Bibliotecária responsável: Lúcia Espogeiro - CRB7/4708

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cresus Vinicius Depes de Gouvêa

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense

Decisão: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Waldimir Rocha de Carvalho

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense

Decisão: _____ Assinatura: _____

Profa. Dra. Eliane dos Santos Porto Barboza

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense

Decisão: _____ Assinatura: _____

Profa. Dra. Mônica Zacharias Jorge

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Decisão: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. Elson Fontes Cormack

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Decisão: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

A Deus e Nossa Senhora Aparecida que guia os caminhos da minha vida, me protegendo e iluminando a cada momento.

A minha Noiva Monique e as minhas filhas Luana e Melissa que são a minha força e o meu empenho no trabalho, estudo e na vida.

Ao meu pai Francisco Pontes homem mais honesto e íntegro que conheço e que me tornou o que sou hoje, com bases de educação sólidas e concretas para que no futuro possa também passar esses valores para meus filhos.

A minha mãe Regina Célia que é meu aconchego, meu colo, simplesmente...
Mãe!

A todos os outros membros da minha família que não foram citados nessas pequenas palavras mas que fizeram parte da minha caminhada desde os primeiros passos da infância até esta glória alcançada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Fluminense que me acolheu na figura do meu orientador, o Professor Doutor Cresus Vinícius Depes de Gouvêa que me guiou pelos caminhos do conhecimento do início ao final deste projeto.

Ao Professor Waldimir Rocha de Carvalho, que me mostrou os caminhos da pesquisa científica com maestria, com incansável dedicação, não poupando esforços para ensinar como grande mestre que é.

Aos meus amigos da ABO-Niterói, que me apoiaram e incentivaram na minha caminhada profissional.

Aos amigos e funcionários do LABA-UFF que tanto ajudam não só a mim como muitos outros jovens pesquisadores.

À tantos outros que não citei, mas sabem que tiveram profunda participação no meu processo de aprendizagem.

RESUMO

Costa AS. Análise comparativa entre modelos obtidos através de silicone de adição e impressões 3D. Niterói: Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Odontologia; 2019.

O propósito deste estudo foi avaliar e comparar a acurácia dimensional dos modelos obtidos através de moldagem convencional e impressões digitais 3D. Um modelo mestre em Teflon foi fabricado simulando preparos dos elementos dentários 47 e 45. Trinta modelos foram fabricados e divididos em 3 grupos (G, F e B): 10 a partir de moldagem convencional em silicone de adição (Grupo G) e 20 em resina acrílica a partir de impressão 3D utilizando as impressoras 10 na máquina Formilabs (Grupo F) e outras 10 com a máquina Bego (Grupo B). O modelo mestre e os corpos de prova foram enviados para medição utilizando uma Máquina de Medição por Coordenadas 3D, com precisão de 0,00001mm ou 0,01 μ m. Medidas volumétricas foram obtidas do modelo mestre e comparadas aos resultados encontrados nos modelos de gesso e nas impressões 3D. Apesar dos grupos apresentarem diferenças significativas entre si (Kruskal-Wallis; $P > 0,05$), não houve diferença nas comparações pareadas entre os grupos. É lícito concluir que as impressões 3D, assim como os modelos de gesso obtidos através de silicone de adição, são boas opções para a prática clínica.

Palavras-chave: impressão 3D, modelo de gesso, silicone de adição

ABSTRACT

Costa AS. Comparative analysis between models obtained through addition silicone and 3D impressions. Niterói: Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Odontologia; 2019.

The purpose of this study was to evaluate and compare the dimensional accuracy of the models obtained through conventional and 3D impressions. A Teflon master model was fabricated simulating preparations of dental elements 31 and 29. Thirty models were fabricated and divided into 3 Groups (G, F and B); 10 from conventional impressions in addition silicone (Group G) and 20 in acrylic resin from 3D printing using Formlabs (Group F) and Bego (Group B) printers. The master model and the test specimens were sent for measurement. Volumetric measurements were obtained from the master model and compared to the results found in gypsum models and 3D prints. Although the groups showed significant differences (Kruskal-Wallis; $P > 0.05$), there was no difference in the paired comparisons between the groups. It is fair to conclude that 3D prints as well as plaster models appear to be good options for clinical practice.

Keywords: 3D printing, plaster model, addition silicone

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais pilares do sucesso das reabilitações protéticas, são as moldagem e os modelos obtidos através delas. Os materiais de moldagem sofreram grande evolução desde os primeiros estudos, passando pelos gessos, hidrocolóides, poliésteres e silicones. Os materiais de moldagem mais comuns utilizados nas restaurações dentárias incluem os hidrocolóides, silicones de adição, silicones de condensação, poliésteres e polissulfetos.¹

O padrão ouro para uma impressão intraoral é a moldagem convencional feita com moldeira rígida e material de impressão elastomérico. Vários materiais e técnicas de impressão foram investigados *in vitro* e mostram um alto nível de precisão.^{2, 3, 4}

O silicone de adição é o material de melhor estabilidade dimensional mostrado na literatura.^{5, 6}

Dois fatores influenciam a acurácia: a veracidade, a qual descreve o desvio da geometria do modelo da geometria original. E a precisão, que descreve o desvio entre modelos obtidos ao invés de compará-los a geometria original (ISO 5725-1).^{7,8} A precisão reflete o grau de desvio entre modelos dentro de um grupo teste.⁹

A veracidade das impressões convencionais é comumente testada por medir as alterações nas distâncias lineares entre um modelo mestre e um modelo de gesso obtido.^{3, 10, 11}

Este procedimento não pode ser realizado intraoralmente portanto, muitos estudos *in vivo* usam uma abordagem indireta e verificam a veracidade da impressão ao medir o ajuste da restauração definitiva com base nos modelos obtidos nessa impressão.^{12, 13}

O CAD/CAM foi introduzido na Odontologia em restaurações unitárias há mais de trinta anos, e os avanços na tecnologia possibilitaram a produção de restaurações completas de vários elementos dentários e implantes.¹⁴

O CAD/CAM é um sistema usado desde os anos 80 e tem conquistado cada vez mais o seu espaço dentro da Odontologia Restauradora. Nos últimos anos, com o avanço tecnológico, com o alvo de diminuir custos e maior informação, os sistemas CAD/CAM tem se tornado cada vez mais populares.¹⁵

As tecnologias de fabricação auxiliadas por computador (CAM) são baseadas em moagem ou fabricação de aditivos, onde neste último o objeto é fabricado através de um processo de construção camada a camada. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM), determinou sete categorias de fabricação auxiliadas por computador (CAM): estereolitografia, jato de material, extrusão de material ou modelagem de deposição fundida, jato de aglutinante, fusão de camada em pó, laminação de folhas e deposição direta de energia. As tecnologias mais comuns para a impressão 3D de polímeros na Odontologia são os métodos de estereolitografia, jato de material e a deposição fundida.¹⁶

Desde o final dos anos 2000, houve um rápido aumento no número de escâneres intraorais (EIO) comerciais com câmeras capazes de capturar arcos dentários completos.¹⁷

Os sistemas CAD/CAM presentes na odontologia contemporânea podem ser classificados em duas diferentes vertentes: direto ou indireto. O CAD Direto (de consultório) pode acelerar muito os procedimentos da clínica diária da odontologia restauradora. O CAD Indireto (de bancada) está relacionado a otimização das técnicas e agilidade nas atividades desenvolvidas em laboratório. O CAD Indireto, pode acelerar muitos procedimentos como enceramento, inclusão, fundição e aplicação de porcelana.¹⁵

Alguns estudos que compararam EIO e impressões convencionais descobriram que os EIO demonstraram uma menor precisão estatisticamente significativa.^{18, 19} No entanto, variações no design, execução e propriedades do material no estudo tornou-se um viés na comparação dos resultados encontrados, mesmo quando conduzido em condições ideais e longe da realidade clínica. Um estudo encontrou diferentes estratégias de digitalização entre os EIO para obter como resultado diferenças estatisticamente significativas na precisão.²⁰ Diferenças foram detectadas quando capturas de imagens de usuários experimentados e inexperientes, digitalizando modelos de implantes, foram comparadas.²¹

Estudos *in vivo* focaram na precisão de inúmeros escâneres intraorais e moldagens convencionais de quadrante e arco completo. Estes estudos não avaliaram a precisão de cada sistema.^{22, 23}

Uma abordagem para avaliar a precisão dos EIO e as moldagens convencionais *in vivo* foi realizada utilizando um sistema de referência baseado em esferas coladas nos dentes e um guia de transferência personalizado. No entanto,

como a análise de precisão só é feita na localização das esferas, existe uma possibilidade limitada na avaliação da precisão de quaisquer desvios de superfície além das esferas, ou para avaliar a precisão *in vivo* das guias de transferência usadas para fixar as esferas ligadas.²⁴

Para avaliar a precisão dos materiais de impressão, a situação clínica deve ser ótima. Assim, a precisão dos moldes digitais é melhor obtida ao sobrepor a impressão na geometria original.^{25,26} Neste procedimento, os desvios entre a impressão e a geometria original mestre, em cada ponto da superfície, são determinados a partir de distâncias 3D calculadas.^{27, 28}

Uma varredura de referência altamente precisa pode ser usada em estudos *in vitro* para escanear a geometria mestre, que é então comparada com os grupos de teste.²⁹ Na prática clínica, no entanto, a geometria mestre original da superfície intraoral é desconhecida. Uma abordagem é definir uma impressão como referência e compará-la contra todas as outras técnicas de impressão. No entanto, isso limita a capacidade de detectar desvios de impressão porque o desvio da varredura mestre pode ser causado por erros na varredura mestre ou na impressão digital.³⁰

Devido a essas limitações, a precisão das impressões digitais tem sido investigada principalmente em pequenas regiões do arco dentário ou em formas geométricas.^{25,31}

O objetivo do presente estudo *in vitro* foi avaliar a acurácia entre modelos obtidos através do método convencional de moldagem e impressões 3D.

2. PROPOSIÇÃO

O propósito deste estudo foi avaliar e comparar a acurácia dimensional nos modelos obtidos através de moldagem convencional e impressões digitais 3D.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo mestre simulando preparos dos elementos dentários 47 e 45 foi elaborado por um desenhista industrial e torneado em teflon (Figuras 1 e 2).

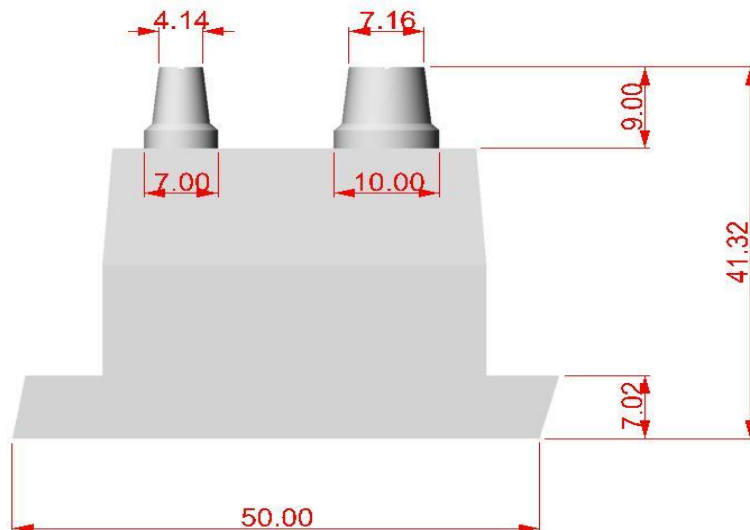


Figura 1. Desenho do modelo mestre.

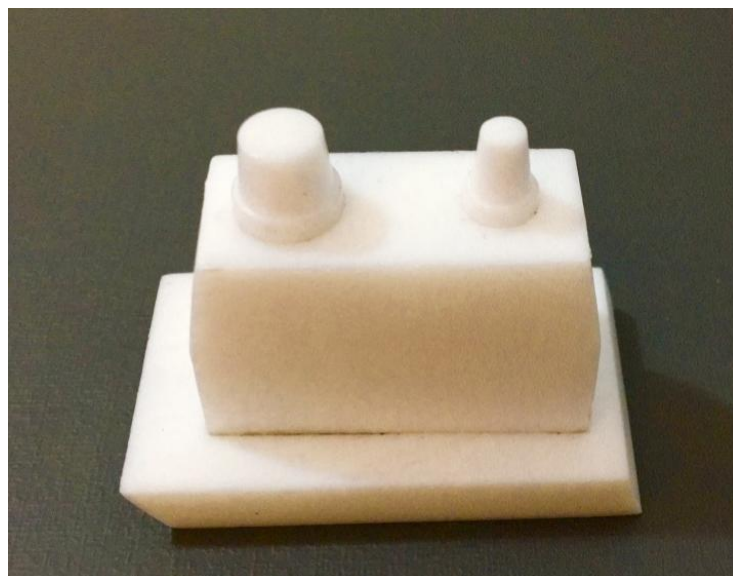


Figura 2. Modelo mestre em teflon

Dez moldagens em silicone de adição Express XT – 3M Espe® (Seefeld - Germany) foram obtidas por um único profissional experiente utilizando um verticulador odontológico Bio Art® (BioArt - São Carlos - Brasil) de modo a padronizar todas as moldagens (Figura 3).

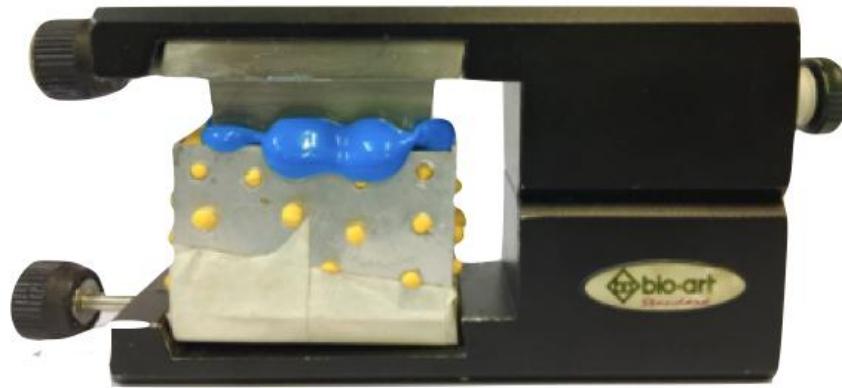


Figura 3. Moldagem com silicone de adição e verticulador.

As moldagens foram então vazadas com gesso tipo IV Resin Rock® (WhipMix Corporation - Louisville - USA) em ambiente controlado de umidade e temperatura, processadas em uma manipuladora de gesso a vácuo, WHIP-MIX, Modelo (WhipMix Corporation - Louisville – USA), obtendo os modelos em gesso de acordo com a ISO 6873 (Grupo G) (Figuras 4 e 5).



Figura 4. Moldagem após vazar o gesso.



Figura 5. Modelo obtido em gesso tipo IV.

O modelo mestre em teflon foi pigmentado por um spray de contraste (Sirona Optispray, Sirona Dental Systems, Bensheim, Germany) com a finalidade de capturar imagens em 3D utilizando o escâner intraoral CEREC Bluecam (Sirona Dental Systems, Bensheim, Germany) (Figura 6).

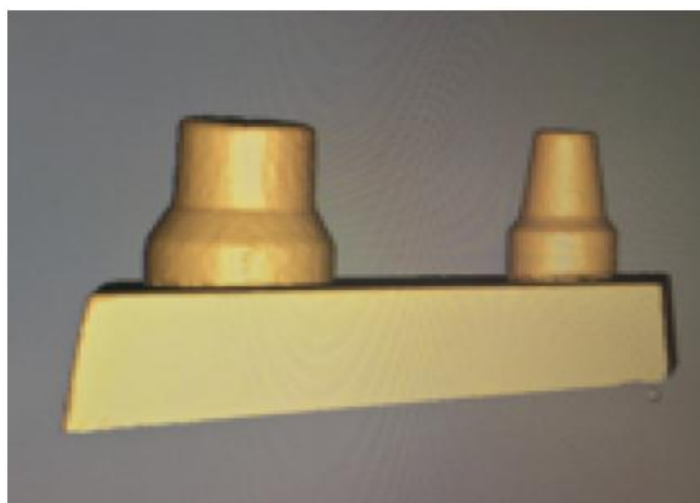


Figura 6. Imagem 3D obtida do modelo mestre

Os arquivos digitalizados foram convertidos no formato de estereolitografia (STL). Um arquivo STL é um formato usado pelo software para gerar informações necessárias para produzir modelos 3D em máquinas de estereolitografia por processos rápidos de prototipagem. Vinte modelos foram obtidos através da impressão 3D, 10 modelos na máquina Bego (Bego, GmbH& Co. KG, Bremen, Germany), (Grupo B) (Figura 7) e 10 na impressora

Formlabs (Formlabs Inc., Somerville, MA, USA), (Grupo F) (Figura 8). Os modelos foram impressos com camadas entre 50 e 100 μ m, submetidos a um tempo de cura de 15 minutos antes de serem limpos com jato de água. O tempo total de impressão foi de aproximadamente de 2 horas.



Figura 7. Modelo em 3D, impressora Bego.



Figura 8. Modelo em 3D, impressora Formlabs.

Todos os modelos, o mestre, os de gesso e os impressos em 3D, foram enviados para medição no Laboratório de Metrologia da Mitutoyo Sul Americana Ltda, Suzano, SP, Brasil, utilizando uma Máquina de Medição por Coordenadas 3D, com precisão de 0,00001mm ou 0,01 μ m. As amostras foram enviadas antecipadamente com o finalidade de alcançar estabilidade térmica, de acordo com a ISO 6873. Os modelos de gesso foram medidos após 07 dias de sua obtenção, quando atingiram sua resistência ideal. A medição foi realizada por um apalpador com ponta de rubi, dispositivo da máquina de coordenadas 3D.

Após as medições os resultados foram submetidos a tratamento estatístico.

4. RESULTADOS

O modelo mestre apresentou volumes de $882,09\text{mm}^3$ e $351,01\text{mm}^3$ para os cones 1 (47) e 2 (45), respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores das médias e desvio padrão obtidos após as medições dos corpos de prova.

Grupo		G	F	B
Cone 1	Média	855,09	928,97	892,03
	Desvio Padrão	5,38	3,93	2,67
Cone 2	Média	336,57	374,06	335,31
	Desvio Padrão	2,13	2,38	1,70

O grupo G apresentou valores de volume inferiores aos do padrão para o cone 1 e 2 enquanto os grupos F e B apresentaram valores superiores, sendo que o grupo B mostrou valores mais próximos ao padrão mesmo tendo seu volume maior. O grupo B apresentou maior veracidade em relação aos outros grupos tanto para o cone 1 como para o cone 2.

O grupo B apresentou maior precisão entre os grupos seguido do grupo F e G respectivamente na análise do cone 1. Em relação ao cone 2 o grupo B também mostrou maior precisão seguido dos grupos G e F.

Os grupos avaliados não apresentaram distribuição normal (Shapiro-Wilk; $P > 0,05$), portanto, foi utilizado o método não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 0,05 e intervalo de confiança de 95%.

Apesar dos grupos apresentarem diferenças significativas entre si (Kruskal-Wallis; $P > 0,05$), não houve diferença nas comparações pareadas

entre os grupos G-B, G-F, F- PADRÃO ($P < 0,01$), tanto para o cone 1 quanto para o cone 2.

Os gráficos apresentam as médias, intervalos de confiança limites.

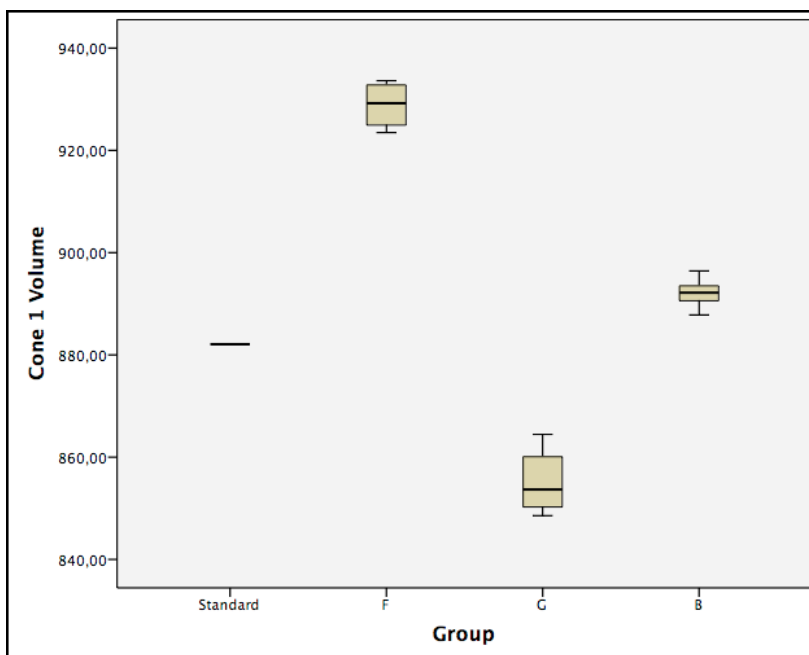


Gráfico 1: Boxplot - Cone 1 (47) mostrando as médias, limites e intervalo de confiança para os grupos avaliados.

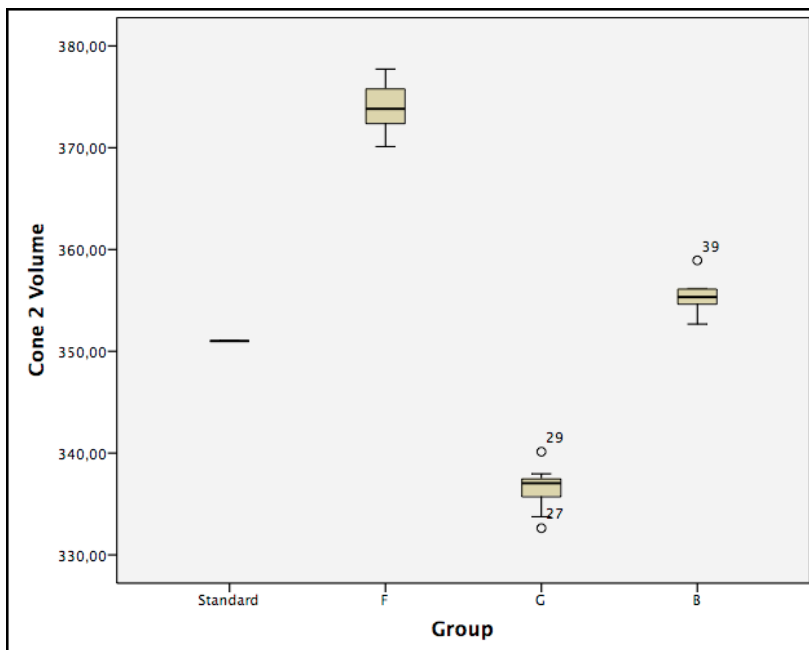


Gráfico 2: Boxplot - Cone 2 (45) mostrando as médias, limites e intervalo de confiança para os grupos avaliados.

5. DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi comparar os volumes dos modelos obtidos através de moldagem convencional e impressões digitais 3D. A avaliação tridimensional da precisão entre modelos de gesso obtidos de moldagens tradicionais e impressões 3D é rara na literatura.

Os modelos são réplicas fieis dos tecidos bucais preparados para receber próteses dentárias que serão utilizados no laboratório para as etapas de fabricação da prótese. A moldagem dos tecidos bucais é uma etapa de fundamental importância. Essa moldagem deve ser o mais precisa possível para produzir uma réplica fiel e possibilitar a confecção das restaurações. A precisão do molde é influenciada pelo tipo de material, método de impressão e o material da moldeira. A distorção causada pela expansão e contração dos materiais de impressão leva à discrepâncias no modelo de gesso e, por fim, pode gerar falha na adaptação da prótese.³²

O método digital, usando um escâner intraoral e uma impressora 3D, é amplamente utilizado para minimizar erros. A alta precisão das impressoras 3D tem sido relatada em estudos de modelos de diagnósticos e a utilização clínica das impressoras 3D têm aumentado significativamente.³³

Um estudo comparou o método digital e convencional utilizando um segundo escaneamento seguido de sobreposição das imagens e concluiu que o método convencional era mais preciso do que a impressão 3D.³⁴ No entanto, o presente trabalho que utilizou uma máquina de medição por coordenadas 3D, com precisão de 0,00001mm ou 0,01µm não mostrou diferenças significativas entre os volumes dos modelos obtidos pelo modo convencional dos obtidos por impressão 3D. Além disso, um dos Grupos de impressão 3D (Grupo B) foi mais preciso do que as impressões convencionais. (Gráficos 1 e 2).

Outro estudo avaliou a acurácia e a reprodutibilidade de modelos de dentes fabricados pelo método digital, comparando e analisando as alterações volumétricas com um modelo convencional. Três tipos de modelos impressos em 3D foram utilizados e a análise foi por meio de software de contraste de superfície 3D que faz sobreposição das imagens e um algoritmo de ajuste de quadrado mínimo para comparar a variação de distância mínima de cada ponto

medido. O intervalo de erro máximo foi definido em +/- 1,00mm e o erro permitido de +/-0,5mm. Também foi utilizada uma análise bidimensional 2D para avaliar a alteração dos dados sobrepostos. Neste estudo os modelos convencionais mostraram menor discrepância de volume ($P < 0,05$). Os valores de discrepância foram mais baixos do que a discrepância aceitável dos modelos de gesso tipo IV (ISO 6873).³⁵

No presente estudo 2 tipos de modelos impressos e um por moldagem convencional foram analisados. As medidas volumétricas foram obtidas medindo diretamente cada corpo de prova com uma máquina de medição por coordenadas 3D, com precisão de 0,00001mm ou 0,01 μ m. Os modelos de gesso tipo IV (Grupo G) mostraram média de volume menor quando comparados ao modelo mestre, diferentemente dos modelos impressos (Grupo F e B) onde a média de volume foi maior do que o volume do modelo mestre. O Grupo B mostrou resultados mais próximos das medidas obtidas do modelo mestre. As médias dos valores obtidos pelas medições encontram-se na Tabela 1.

A mensuração das moldagens intraorais convencionais com modelos de gesso é frequentemente obtida através de medidas lineares de distância.^{37,38} Entretanto esse método se restringe a poucos pontos de medição não sendo sensível detecção de mudanças tridimensionais do modelo dentário tais como torções e desvios do eixo.^{36,38}

No presente estudo o método de medição utilizado foi uma máquina por coordenadas 3D com precisão de 0,01 μ m onde foram marcados pontos com coordenadas nos três eixos dimensionais e registrados em arquivo. O arquivo possibilita reconstituir o sólido tridimensionalmente em um ambiente virtual. Além de possibilitar visualizações em diversos ângulos, rotação e movimentação do sólido, o software calcula o volume do mesmo com precisão de 0,01 μ m e milhões de pontos coletados. Trata-se de um método bem sensível e específico para captar bolhas, torções, áreas repuxadas e outras tantas imperfeições possíveis nos modelos de gesso obtidos por moldagem com silicone de adição. Esse método ainda apresenta inúmeras vantagens sobre um projetor de perfil que permite a medição linear e a área do sólido resultante das medidas mais externas do modelo. Portanto, a escolha pela

máquina de coordenadas 3D se deu com o melhor intuito de eliminar erros metodológicos e limitações técnicas para a medição do volume dos modelos. Uma vez que a clínica se desenvolve em um ambiente tridimensional, acreditamos que esse seja o método mais preciso para obtenção do volume dos modelos obtidos pela técnica convencional com gesso e silicone de adição e impressão 3D em resina do padrão digitalizado.

Com as crescentes possibilidades de sistemas CAD/CAM, está se tornando cada vez mais importante obter dados precisos das preparações. No entanto, existem dados limitados para validar se o *scanner* intraoral pode substituir as impressões convencionais.³⁹

É vital que um *scanner* intraoral tenha precisão igual ou maior do que as impressões convencionais, porém a precisão varia entre os escâneres intraorais e as impressões convencionais.³⁹

Neste estudo utilizamos apenas um *scanner* intraoral para evitar a influência que diferentes marcas e modelos poderiam gerar.⁴⁰ Para tanto, optou-se por um *scanner* amplamente utilizado na literatura.¹⁹

Um estudo comparou 4 impressoras 3D que utilizam técnicas de impressão diferentes, (estereolitografia, processamento de luz digital, filamentos fundidos e polyjet). Os resultados mostraram diferenças significativas entre as 4 técnicas nas medidas lineares, com uma superioridade da técnica polyjet sobre as demais. Os resultados foram obtidos através de sobreposição das imagens após um segundo escaneamento.⁴⁰

Os resultados desta pesquisa sugerem que tanto o volume dos modelos de gesso obtidos através de moldagem convencional quanto os modelos 3D impressos em resina utilizando a técnica de estereolitografia em ambas as impressões se comportam de maneira semelhante (Kruskall-Walis $p < 0,01$).

O método mais utilizado para a medição e comparação dos corpos de prova utilizados em estudos anteriores é a sobreposição de imagens obtidas através de um escâner de referência obtendo resultados lineares.^{41,19,42,29}

Neste trabalho o método utilizado para avaliação e comparação dos

corpos de prova foi medição volumétrica por coordenadas 3D, o que favorece uma obtenção das medidas volumétricas com maior precisão.

Tanto os modelos de gesso obtidos através de impressões convencionais com silicone de adição quanto os modelos obtidos através das impressões 3D, podem ser usados clinicamente.

6. CONCLUSÕES

Os modelos de gesso comprovaram sua eficiência de reprodutibilidade já descrita pela literatura.

Os modelos impressos em 3D mostraram uma acurácia superior aos modelos convencionais.

Tanto o gesso obtido através de moldagem convencional quanto as impressões 3D avaliadas neste estudo apresentaram resultados aceitáveis.

As impressões em 3D assim como os modelos de gesso obtidos por silicone de adição podem ser boas opções para a prática clínica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Johnson GH, Mancini LA, Schwedhelm ER, Verhoef DR, Lepe X. Clinical trial investigating success rates for polyether and vinylpolysiloxane impressions made with full-arch and dual-arch plastic trays. *J Prosthet Dent* 2010;103:13-22.
- 2- Balkenhol M, Ferger P, Wostmann B. Dimensional accuracy of 2-stage putty-wash impressions: influence of impression trays and viscosity. *Int J Prosthodont* 2007;20:573-5.
- 3- Caputi S, Varvara G. Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2008;99:274-81.
- 4- Hoyos A, Soderholm K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. *Int J Prosthodont* 2011;24:49-54.
- 5- Pereira JR, Murata KY, Valle AL, Ghizoni JS, Shiratori FK. Linear dimensional changes in plaster die models using different elastomeric materials. *Braz Oral Res* 2010;24:336-41.
- 6- Johnson GH, Mancini LA, Schwedhelm ER, Verhoef DR, Lepe X. Clinical trial investigating success rates for polyether and vinylpolysiloxane impressions made with full-arch and dual-arch plastic trays. *J Prosthet Dent* 2010;103:13-22.
- 7- VIM 2012 – International Vocabulary of Metrology: Basic and general concepts and associated terms – JCGM 200:2012.

- 8- Chandran DT, Jagger DC, Jagger RG, Barbour ME. Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. *Biomed Mater Eng* 2010;20:243-9.
- 9- Ziegler M. Digital impression taking with reproducibly high precision. *Int J Comput Dent* 2009;12:159-63.
- 10- Balkenhol M, Ferger P, Wostmann B. Dimensional accuracy of 2-stage putty-wash impressions: influence of impression trays and viscosity. *Int J Prosthodont* 2007;20:573-5.
- 11- Hoyos A, Soderholm K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. *Int J Prosthodont* 2011;24:49-54.
- 12- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2014;112:555-60.
- 13- Almeida e Silva JS, Erdelt K, Edelhoff D, Araújo É, Stimmelmayer M, Vieira LC, et al. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clin Oral Investig* 2014;18:515-23.
- 14- J. Katsoulis, R. Mericske-Stern, L. Rotkina, C. Zbaren, N. Enkling, M.B. Blatz, Precision of fit of implant-supported screw-retained 10-unit computer-aided-designed and computer-aided-manufactured frameworks made from zirconium dioxide and titanium: an in vitro study, *Clin Oral Implants Res* 2014;25:165-74.
- 15- Neves FD, Prado CJ, Prudente MS, Carneiro TA, Zancopé K, Davi LR, Micro-computed tomography evaluation of marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated by using chairside CAD/CAM systems or the heat-pressing technique. *J Prosthet Dent* 2014;112:1134-40.

- 16- ASTM, Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, West Conshohocken, Pa. 2009.
- 17- W. Renne, M. Ludlow, J. Fryml, Z. Schurch, A. Mennito, R. Kessler, A. Lauer, Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an in vitro analysis based on 3- dimensional comparisons, *J Prosthet Dent* 2017;118:36-42.
- 18- A. Ender, A. Mehl, In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions, *Quintessence Int* 2015;46:9-17.
- 19- A. Ender, A. Mehl, Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision, *J Prosthet Dent* 2013;109:121-28.
- 20- P. Muller, A. Ender, T. Joda, J. Katsoulis, Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner, *Quintessence Int* 2016;47:343-49.
- 21- B. Gimenez, M. Ozcan, F. Martinez-Rus, G. Pradies, Accuracy of a digital impression system based on parallel confocal laser technology for implants with consideration of operator experience and implant angulation and depth, *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:853-62.
- 22- A. Ender, T. Attin, A. Mehl, In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions, *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20.
- 23- A. Ender, M. Zimmermann, T. Attin, A. Mehl, In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions, *Clin Oral Investig* 2016;20:1495-504.

- 24- F. Kuhr, A. Schmidt, P. Rehmann, B. Wostmann, A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients, *J Dent* 2016;55:68-74.
- 25- Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int* 2015;46:9-17.
- 26- Nedelcu RG, Persson AS. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent* 2014;112:1461-71.
- 27- Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014;18:1687-94.
- 28- Mehl A, Ender A, Mörmann W, Attin T. Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int J Comput Dent* 2009;12:11-28.
- 29- Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:11-21.
- 30- Renne W, McGill ST, Forshee KV, DeFee MR, Mennito AS. Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors. *J Prosthet Dent* 2012;108:310-5.
- 31- An S, Kim S, Choi H, Lee JH, Moon HS. Evaluating the marginal fit of zirconia copings with digital impressions with an intraoral digital scanner. *J Prosthet Dent* 2014;112:1171-5.
- 32- Harry B Schwartz, Robert J. Leupold, Van P. Thompson. Linear dimensional accuracy of epoxy resin and stone dies. *The J Prosthet Dent*, 1981;45:621-5.

- 33- Aletta Hazeveld, James J. R. Huddleston Slater, Yijin Ren. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2014;145:108-15.
- 34- Seok-Hwan Cho, Oliver Schaerfer, Geoffrey A. Thompson, Arndt Guentsch. Comparison of accuracy and reproducibility of cast made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2015;113:310-5.
- 35- Mid-Eum Park, Soo-Yeon Shin. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent* 2018;119:861.e1-e7.
- 36- Chandran D, Jagger D, Jagger R, & Barbour, M. Two-and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination *Biomed Mater Eng*, 2010;5:243-9.
- 37- Hoyos, A., & Soderholm, K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions *Int J Prosthodont*, 2011;24:49-54.
- 38- Caputi, S., & Varvara, G. Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study *J Prosthet Dent*, 2008;99:274-81.
- 39- R. Nedelcu, P. Olsson, I. Nystrom, J. Rydém, A. Thor. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *Journal of Dentistry* 2018; 69:110-8.
- 40- Soo-Yeon Kim, Yoo-Seok Shin, Hwi-Dong Jung, Chung-Ju Hwang, Hyoung-Seon Baik, Jung-Yul Cha. Precision and trueness of dental models

manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:144-53.

- 41- Renne W, Luddlow 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;118:36-42.
- 42- Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions: an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 2011;14:11–21.

ANEXO 1**ARTIGO PRODUZIDO**

Title Page

Comparative analysis between addition silicones and 3D-printed casts with 3D coordinate measuring technique.

Authors: André Salgado^a, Vinicius Farias Ferreira^b, Eliane Porto Barboza^c Waldimir Carvalho^d, Cresus Vinicius Depes de Gouvêa^d

- . ^a Graduate Student, Federal Fluminense University, Rio de Janeiro, Brazil;
- . ^b Professor, Department of Dentistry, Military Police of Rio de Janeiro;
- . ^c Professor, Department of Periodontology, Federal Fluminense University, Rio de Janeiro, Brazil;
- . ^d Professor, Department of Prosthodontics, Federal Fluminense University, Rio de Janeiro, Brazil.

* Corresponding author:

Dra. Eliane Porto Barboza

Department of Periodontology, Federal Fluminense University, Rio de Janeiro, Brazil

Rua Mário Santos Braga, 28.

+55 21 97980-8811

Email: elianeporto.uff@gmail.com

Niterói: Fluminense Federal University, School of Dentistry; 2019.

ABSTRACT

Statement of problem. There is scarcity of studies investigating the accuracy of the casts for 3D printed fixed prosthesis.

Purpose. The goal of this study was to evaluate and compare the dimensional accuracy of casts obtained through conventional molding and 3D digital printing.

Material and methods. A master Teflon cast simulating the preparation of dental elements lower second molar right and lower second premolar right was fabricated. Thirty casts were fabricated and divided into 3 groups: 10 from conventional addition silicone molding (Group G); and 20 acrylic resin casts obtained from 3D printing, 10 obtained with a Formilab apparatus (Group F), and 10 obtained with a Bego apparatus (Group B). The master cast and test specimens were sent for measurement with a 3D coordinate measuring machine with an accuracy of 0.00001 mm (or 0.01 μm). Volumetric measurements were obtained from the master cast and compared with those of the gypsum and 3D-printed casts.

Results. Although the groups showed significant differences amongst themselves (Kruskal-Wallis; $P > .05$), there were no differences in the pairwise group comparisons.

Conclusions. One may thus conclude that both 3D-printed and gypsum casts represent viable options for clinical practice.

CLINICAL IMPLICATIONS

The reproducibility of details is the key in prosthodontics, studies must be done to validate the use of three-dimensional printers in the daily clinic.

INTRODUCTION

Molding and molded casts constitute one of the main pillars of successful prosthetic rehabilitation. Molding materials have greatly evolved since their emergence and currently include gypsum, hydrocolloids, polyethers, and silicones. The most common molding materials used in dental restorations include hydrocolloids, addition silicones, condensation silicones, polyethers, and polysulfides.¹ The gold standard for intraoral impression consists of conventional molding with a rigid tray and an elastomeric printing material. Various materials and printing techniques have been studied *in vitro*, exhibiting high precision levels,^{2, 3, 4} and previous studies have shown that addition silicones are the most dimensionally stable materials.^{5, 6}

Two factors influence cast accuracy: veracity, which describes the deviation of the geometry from that of the original; and precision, which describes the deviation among obtained casts, rather than in comparison with the original (ISO 5725-1).^{7, 8} Thus, precision reflects the degree of deviation among casts within a test group.⁹ The veracity of conventional prints is commonly tested by measuring changes in linear distances between a master cast and a gypsum cast.^{3, 10, 11} This procedure cannot be performed intraorally; hence, many *in vivo* studies apply an indirect approach to verify impression accuracy by measuring the final restoration adjustment based on the casts obtained in the specific print.^{12, 13}

Computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) was introduced to dentistry over 30 years ago for unitary restorations, and subsequent technological advances have enabled its use for the production of complete restorations of various dental elements and implants.¹⁴ The CAD/CAM system has been used since the 1980s and has increased its influence in restorative dentistry ever since. The popularity of the system has increased due to technological advances aimed at reducing costs and gathering additional information.¹⁵

CAM technologies are based on additive milling or manufacturing, where manufacturing involves a layer-by-layer construction process. The *American Society for Testing*

and Materials (ASTM) has determined seven CAM categories: stereolithography, material jetting, material extrusion or cast deposition casting, binder jetting, powder layer fusion, sheet lamination, and directed energy deposition. The most common technologies for 3D polymer printing in dentistry are stereolithography, material jetting, and material extrusion.¹⁶

The number of commercial intraoral scanners equipped with cameras capable of capturing complete dental arches has increased rapidly since the late 2000s.¹⁷ CAD/CAM systems applied to contemporary dentistry can be classified as either direct or indirect. Direct CAD (in dental offices) can greatly accelerate daily restorative dentistry procedures in clinical practice. Indirect (bench) CAD is related to the optimization of techniques and speed in laboratory activities. Indirect CAD can accelerate many procedures like waxing, embedding, casting, and porcelain application.¹⁵

Some studies comparing intraoral scanners and conventional impressions have shown that intraoral scanners have a statistically significant lower accuracy. However, variations in the design, execution, and properties of materials in these studies introduced a bias in the comparison of the results, even when experiments were conducted under ideal conditions and far from clinical reality. One study found that different scanning strategies among intraoral scanners yielded statistically significant accuracy differences.²⁰ Differences were also detected when comparing images of scanned implant casts captured by experienced or inexperienced users.²¹ Some in vivo studies have focused on the precision of several intraoral scanners and conventional quadrant and full denture moldings. However, none of the studies evaluated the accuracy of each system.^{22, 23}

One approach to evaluating the accuracy of intraoral scanners and conventional in vivo moldings involves the use of a reference system based on spheres glued to teeth and a customized transfer guide. However, because this analysis considers solely the sphere locations, measuring the precision of the surface deviations of any other point and assessing the in vivo precision of the transfer guides used to attach the bound spheres are difficult.²⁴

The precision of printed materials should be assessed under an optimal clinical situation thus, it is best achieved by overlapping the impression of a digital mold over the original geometry.^{25, 26} In this procedure, the deviations between the impression and the original master geometry at each surface point are determined from calculated 3D distances.^{27, 28} A highly accurate reference scan can be applied to in vitro studies to scan the master geometry, which is then compared to test groups.²⁹ In clinical practice, however, the original master geometry of the intraoral surface is unknown. One approach is to set one print as a reference that is then compared with other printing techniques. However, this limits the ability to detect printing deviations, because deviations from the master scan may arise from errors either in the master scan or in the digital print.³⁰ Due to these limitations, digital print precision has been investigated primarily by using small regions of the dental arch or geometric shapes.^{25, 31}

The objective of the present in vitro study was to evaluate the accuracy among casts obtained through conventional molding methods and 3D printed casts. The null hypothesis was that the precision of the casts evaluated would be similar

MATERIAL AND METHODS

A master cast simulating the preparation of dental elements lower second molar and second right lower premolar was prepared by an industrial designer and turned in Teflon (Fig. 1). Ten Express XT – 3M Espe addition silicone moldings (Seefeld, Germany) were obtained by one experienced professional with a Bio Art dental verticulator (BioArt - São Carlos - Brazil) to standardize all moldings. The moldings were then cast with Resin Rock[®] type IV plaster (WhipMix Corporation, Louisville, USA) under controlled humidity and temperature and processed with a vacuum gypsum manipulator (WHIP-MIX, WhipMix Corporation, Louisville, USA) to yield gypsum casts compliant with ISO 6873 (Group G, Fig. 2).

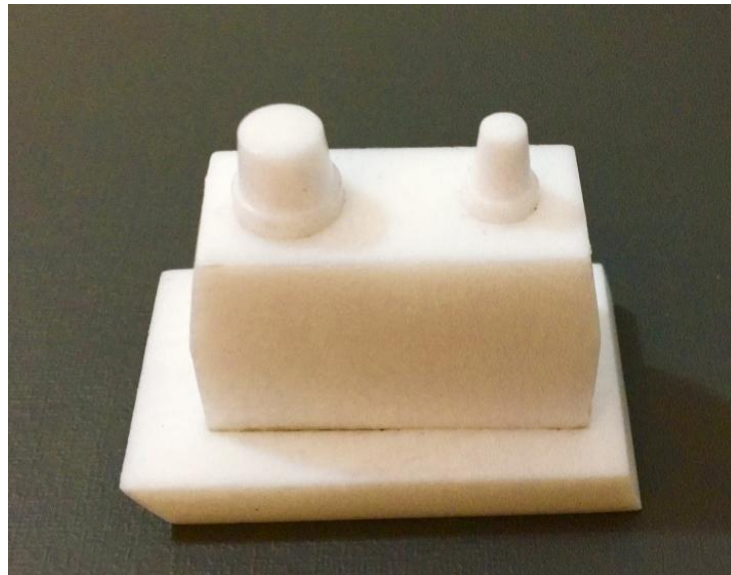


Figure 1. Teflon master cast



Figure 2. Plaster cast

The master Teflon cast was pigmented with a contrast spray (SironaOptispray, Sirona Dental Systems, Bensheim, Germany) to capture 3D images with a CEREC Bluecam intraoral scanner (Sirona Dental Systems, Bensheim, Germany, Fig. 3). The scanned files were converted into stereolithography format, which the software uses to generate the necessary information to produce 3D casts on stereolithography machines by rapid prototyping processes. Twenty casts were obtained through 3D printing, 10 casts with a Bego machine (Bego, GmbH & Co. KG, Bremen, Germany) (Group B, Fig. 4), and 10 with a Formlabs printer (Formlabs Inc., Somerville, MA, USA), (Group F, Fig. 5). The casts were printed with 50-100 μm -thick layers,

subjected to a polymerization time of 15 minutes, and subsequently flushed with a water jet. The total printing time was approximately 2 hours.

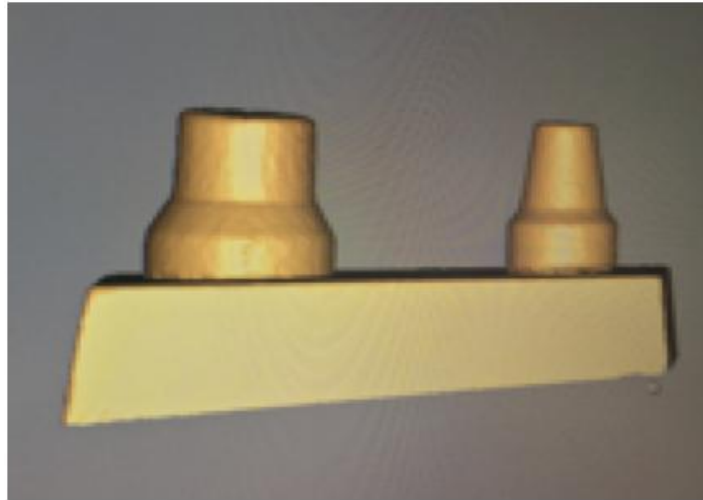


Figure 3. 3D image of master cast

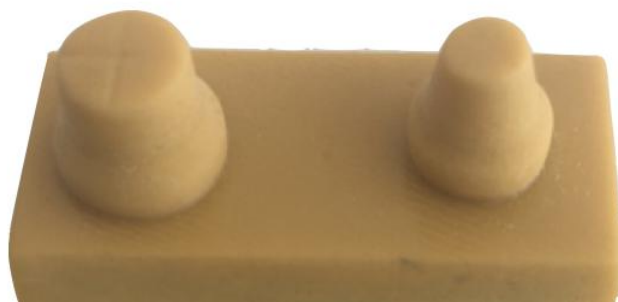


Figure 4. 3D cast, Bego printer

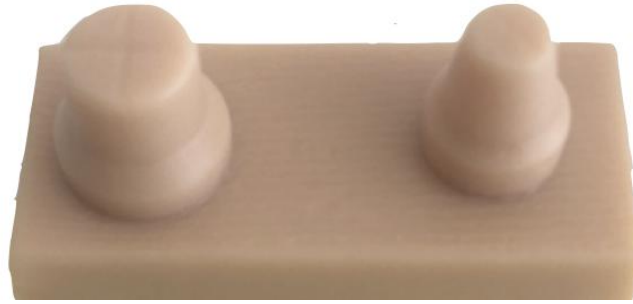


Figure 5. 3D cast, Formilab printer

All casts (master, gypsum, and 3D-printed) were sent for measurement to the Metrology Laboratory of Mitutoyo Sul Americana Ltda, Suzano, SP, Brazil with a 3D coordinate measuring machine with a precision of 0.00001 mm or 0.01 μm . The samples were sent in advance to achieve thermal stability in compliance with ISO 6873. The plaster casts were measured 7 d after their acquisition when they reached their ideal resistance. Measurements were performed with a ruby tip probe on the 3D coordinate machine. After the measurements, the results were submitted to statistical analysis.

RESULTS

The master cast volumes were 882.09 mm^3 and 351.01 mm^3 for cones 1 (second molar) and 2 (second premolar), respectively. Table 1 shows the mean and standard deviation values obtained after specimen measurements. Group G had lower volumes than those of the standard for cones 1 and 2, whereas groups F and B had higher volumes, with those of Group B being closer to those of the standard despite the higher volume. Group B had a greater veracity in relation to the other groups for both cone 1 and cone 2. The precision analysis of cone 1 casts showed that Group B was the most precise followed by Groups F and G, and for the cone 2 casts, Group B also had the highest precision followed by Groups G and F.

Group		G	F	B
Cone 1	Mean	855,09	928,97	892,03
	Std. Deviation	5,38	3,93	2,67
Cone 2	Mean	336,57	374,06	335,31
	Std. Deviation	2,13	2,38	1,70

Since the evaluation results did not follow a normal distribution (Shapiro-Wilk; $P > .05$), the Kruskal-Wallis non-parametric method was used with a significance level of 0.05 and a 95% confidence interval. Although the groups presented significant differences (Kruskal-Wallis; $P > .05$), there were no differences in the pairwise comparisons between the G-B, G-F, and F-STANDARD groups ($P < .01$) for cones 1 and 2. The plots present the mean values and confidence interval limits (Fig. 6 and 7).

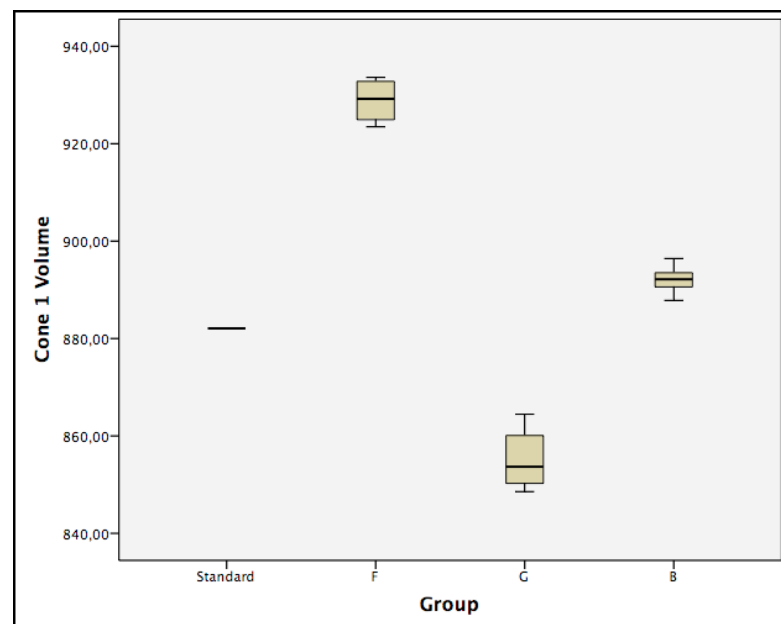


Figure 6. Cone 1 (molar) showing the means, limits and confidence interval for the groups evaluated.

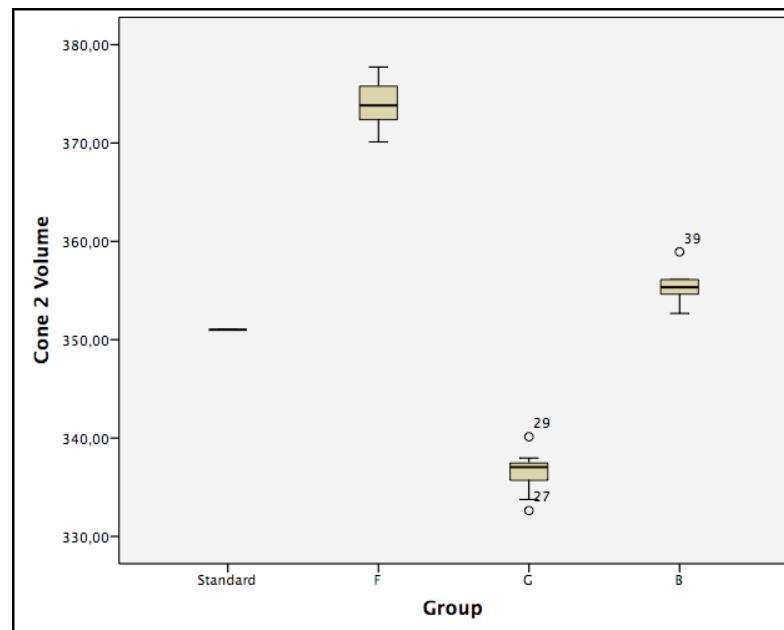


Figure 7. Cone 2 (premolar) showing the means, limits and confidence interval for the groups evaluated.

DISCUSSION

The objective of this study was to compare the volumes of casts obtained through conventional molding and 3D digital printing. The 3D evaluation of precision between gypsum casts obtained from traditional moldings and 3D impressions has seldom been addressed in the literature.

Casts are reliable replicas of oral tissues prepared to receive dental prostheses, which are used in the laboratory during dental prosthesis manufacturing stages. Molding of the buccal tissues is a fundamentally important stage, as the molding should be as accurate as possible to generate a faithful replica and enable restorations. The precision of the mold is influenced by the type of material, printing method, and tray material. Distortions caused by expansion and contraction of printing materials lead to discrepancies in the plaster cast, which may cause failure of the prosthesis adaptation.³²

The digital method with an intraoral scanner and a 3D printer is widely used to minimize errors. The high accuracy of 3D printers has been reported in studies of diagnostic casts, and the clinical use of 3D printers has increased significantly.³³ One study compared digital and conventional methods with a second scan followed by image overlapping and demonstrated that the conventional method was more accurate than 3D printing.³⁴ However, the present work employed a 3D coordinate measuring machine with an accuracy of 0.00001 mm or 0.01 μm to show that the volumes of conventional and 3D-printed casts did not differ significantly. Furthermore, one of the 3D printed groups (Group B) was more accurate than the conventional prints (Figs 6 and 7).

Another study evaluated the accuracy and reproducibility of teeth casts manufactured with the digital method by comparing and analyzing volumetric changes with respect to a conventional cast.³⁵ Three types of 3D-printed casts were used, and a 3D surface contrast software that overlaps images with a minimum square adjustment algorithm to compare the minimum distance variation of each measured point was employed. The maximum error interval was set to ± 1.00 mm and the allowed error to ± 0.5 mm. A 2D analysis was also used to evaluate overlapping data changes. The study concluded that conventional casts had smaller volume discrepancies ($P < .05$), which were lower than the discrepancy threshold of type IV gypsum casts (ISO 6873). In the present study, two types of printed casts and one conventional molding cast were analyzed. Volumetric measurements were obtained by directly measuring each specimen with a 3D coordinate measuring machine with a 0.00001 mm (or 0.01 μm) precision. The type IV gypsum casts (Group G) had lower mean volumes compared with that of the master cast. In contrast, the printed casts (Groups F and B) had higher mean volumes than that of the master cast, where Group B volumes were closer to the measured master cast volume. The mean measurement values are listed in Table 1.

The measurement of conventional intraoral plaster casting casts is often performed through linear distance measurements.^{37,38} However, this method is restricted to a few measurement points and is not sensitive to the detection of 3D changes in the dental cast, such

as torsions and axis deviations.^{36,38} In the present study, the measurement method consisted of a 3D coordinate machine with a precision of 0.01 μm , where points were marked with coordinates in the 3D axes and recorded in a file. The file enables a 3D solid reconstruction in a virtual environment. In addition to enabling multi-angle views, rotation, and solid motion, the software calculates the volume with a 0.01 μm precision using millions of collected points. This is a very sensitive and specific method for capturing bubbles, torsions, drawn areas, and as many imperfections as possible in the gypsum casts obtained by addition silicone molding. This method has many advantages over a profile projector, which yields linear measurements and solid area calculations from measurements of the cast edges. Therefore, the 3D coordinate machine was chosen toward most effectively eliminating methodological errors and technical limitations in cast volume measurements. Since clinical practice is developed in a 3D environment, this is likely the most accurate method to determine the volume of casts obtained by conventional gypsum and addition silicone techniques and 3D resin printing of a digitized standard.

With the increasing potential of CAD/CAM systems, the acquisition of accurate data from preparations is becoming increasingly important. However, there is limited data available for validating whether intraoral *scanners* can replace conventional impressions.³⁹ It is vital that the precision of an intraoral scanner is equal to or greater than that of conventional impressions, but precision varies among intraoral scanners and conventional prints.³⁹ In this study, only one intraoral scanner was used to avoid the influence of different brands and casts (with different results).⁴⁰ Hence, a *scanner* widely used in the literature was chosen.¹⁹

One previous study compared four 3D printers with different printing techniques (stereolithography, digital light processing, fused filaments, and polyjet). The results showed significant differences among the four techniques in linear measurements, with the polyjet technique being superior compared with the others. The results were obtained by image overlapping after a second scan.⁴⁰ The results of the present research suggest that the volume of both the gypsum casts obtained through conventional molding and the 3D-printed resin casts

with stereolithography in both impressions behave similarly (Kruskal-Wallis $P < .01$).

The most commonly used method for measuring and comparing test specimens in previous studies is the overlap of images obtained through a reference scanner to yield linear results.^{41,19,42,29} In this work, the evaluation and comparison were performed through volumetric measurement by 3D coordinates, which yields more accurate volumetric measurements. Both the conventional gypsum and 3D-printed casts evaluated in this study presented similar results, thus suggesting that 3D-printed casts, like gypsum casts, may also be used clinically.

CONCLUSIONS

Gypsum casts proved the reproducibility efficiency that has already been described in the literature. 3D-printed casts showed superior accuracy over conventional casts, but both conventional gypsum molding and 3D-printed casts evaluated in this study generated acceptable results. Thus, 3D-printed and gypsum casts appear to be good options for clinical practice.

REFERENCES

- 1- Johnson GH, Mancini LA, Schwedhelm ER, Verhoef DR, Lepe X. Clinical trial investigating success rates for polyether and vinylpolysiloxane impressions made with full-arch and dual-arch plastic trays. *J ProsthetDent* 2010;103:13-22.
- 2- Balkenhol M, Ferger P, Wostmann B. Dimensional accuracy of 2-stage putty-wash impressions: influence of impression trays and viscosity. *Int J Prosthodont* 2007;20:573-5.
- 3- Caputi S, Varvara G. Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2008;99:274-81.
- 4- Hoyos A, Soderholm K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. *Int J Prosthodont* 2011;24:49-54.
- 5- Pereira JR, Murata KY, Valle AL, Ghizoni JS, Shiratori FK. Linear dimensional changes in plaster die models using different elastomeric materials. *Braz Oral Res* 2010 jul-sep;24(3):336-41.
- 6- Johnson GH, Mancini LA, Schwedhelm ER, Verhoef DR, Lepe X. Clinical trial investigating success rates for polyether and vinylpolysiloxane impressions made with full-arch and dual-arch plastic trays. *J Prosthet Dent* 2010;103:13-22.
- 7- VIM 2012 – International Vocabulary of Metrology: Basic and general concepts and associated terms – JCGM 200:2012.
- 8- Chandran DT, Jagger DC, Jagger RG, Barbour ME. Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. *Biomed Mater Eng* 2010;20:243-9.

- 9- Ziegler M. Digital impression taking with reproducibly high precision. *Int J ComputDent* 2009;12:159-63.
- 10- Balkenhol M, Ferger P, Wostmann B. Dimensional accuracy of 2-stage putty-wash impressions: influence of impression trays and viscosity. *Int J Prosthodont* 2007;20:573-5.
- 11- Hoyos A, Soderholm K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. *Int J Prosthodont* 2011;24:49-54.
- 12- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2014;112:555-60.
- 13- Almeida e Silva JS, Erdelt K, Edelhoff D, Araújo É, Stimmelmayer M, Vieira LC, et al. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clin Oral Investig* 2014;18:515-23.
- 14- J. Katsoulis, R. Mericske-Stern, L. Rotkina, C. Zbaren, N. Enkling, M.B. Blatz, Precision of fit of implant-supported screw-retained 10-unit computer-aided-designed and computer-aided-manufactured frameworks made from zirconium dioxide and titanium: an in vitro study, *Clin Oral Implants Res* 2014;25:165-74.
- 15- Neves FD, Prado CJ, Prudente MS, Carneiro TA, Zancopé K, Davi LR, Micro-computed tomography evaluation of marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated by using chairside CAD/CAM systems or the heat-pressing technique. *J Prosthet Dent* 2014; 112:1134-40.
- 16- ASTM, Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, West Conshohocken, Pa. 2009.
- 17- W. Renne, M. Ludlow, J. Fryml, Z. Schurch, A. Mennito, R. Kessler, A. Lauer, Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons, *J Prosthet Dent* 2017;118:36-42.

- 18- A. Ender, A. Mehl, In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions, *Quintessence Int* 2015;46:9-17.
- 19- A. Ender, A. Mehl, Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision, *J Prosthet Dent* 2013;109:121-8.
- 20- P. Muller, A. Ender, T. Joda, J. Katsoulis, Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner, *Quintessence Int* 2016;47:343-9.
- 21- B. Gimenez, M. Ozcan, F. Martinez-Rus, G. Pradies, Accuracy of a digital impression system based on parallel confocal laser technology for implants with consideration of operator experience and implant angulation and depth, *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:853-62.
- 22- A. Ender, T. Attin, A. Mehl, In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions, *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20.
- 23- A. Ender, M. Zimmermann, T. Attin, A. Mehl, In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions, *Clin Oral Investig* 2016;20:1495-504.
- 24- F. Kuhr, A. Schmidt, P. Rehmann, B. Wostmann, A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients, *J Dent* 2016;55:68-74.
- 25- Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int* 2015;46:9-17.
- 26- Nedelcu RG, Persson AS. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent* 2014;112:1461-71.
- 27- Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014;18:1687-94.

- 28- Mehl A, Ender A, Mörmann W, Attin T. Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int J Comput Dent* 2009;12:11-28.
- 29- Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent* 2013;16:11-21.
- 30- Renne W, McGill ST, Forshee KV, DeFee MR, Mennito AS. Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors. *J Prosthet Dent* 2012;108:310-15.
- 31- An S, Kim S, Choi H, Lee JH, Moon HS. Evaluating the marginal fit of zirconia copings with digital impressions with an intraoral digital scanner. *J Prosthet Dent* 2014;112:1171-5.
- 32- Harry B Schwartz, Robert J. Leupold, Van P. Thompson. Linear dimensional accuracy of epoxy resin and stone dies. *J Prosthetic Dent*, 1981;45:621-5.
- 33- Aletta Hazeveld, James J. R. Huddleston Slater, Yijin Ren. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2014;145:108-15.
- 34- Seok-Hwan Cho, Oliver Schaerfer, Geoffrey A. Thompson, Arndt Guentsch. Comparison of accuracy and reproducibility of cast made by digital and conventional methods. *J Prosthetic Dent* 2015; 113(4), 310-315.
- 35- Mid-Eum Park, Soo-Yeon Shin. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent* 2018;119:861-7.
- 36- Chandran D, Jagger D, Jagger R, & Barbour, M. Two- and three- dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination *Biomed Mater Eng*, 2010;243-249.

- 37- Hoyos, A., & Soderholm, K. Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions *Int J Prosthodont*, 2011;24:49-54.
- 38- Caputi, S., & Varvara, G. Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study *J Prosthet Dent*, 2008;99:274-81.
- 39- R. Nedelcu, P. Olsson, I. Nystrom, J. Rydém, A. Thor. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *Journal of Dentistry* 2018;69:110-8.
- 40- Soo-Yeon Kim, Yoo-Seok Shin, Hwi-Dong Jung, Chung-Ju Hwang, Hyung-Seon Baik, Jung-Yul Cha. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:144-53.
- 41- Renne W, Luddlow 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;118:36-42.
- 42- Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions: an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 2011;14:11-21.