

Dayane Batista Santana

**Segmentação e impressão 3D na rotina do diagnóstico
odontológico com finalidade clínica e pericial**

*Segmentation and 3d print in the routine of the dental
diagnosis with clinical and expert purpose*

Dissertação apresentada à Faculdade de
Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito para obtenção do Título de Mestre em
Odontologia na Área de Concentração de Clínica
Odontológica Integrada.

Uberlândia, 2023

Dayane Batista Santana

**Segmentação e impressão 3D na rotina do diagnóstico
odontológico com finalidade clínica e pericial**

*Segmentation and 3d printing in the routine of the dental
diagnosis with clinical and expert purpose*

Dissertação apresentada à Faculdade de
Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito para obtenção do Título de Mestre em
Odontologia na Área de Concentração de Clínica
Odontológica Integrada.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Leite Beaini

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thiago Leite Beaini

Profa. Dra. Priscilla Barbosa Ferreira Soares

Prof. Dr. Rodolfo Francisco Haltenhoff Melani

Uberlândia, 2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S232 2023	Santana, Dayane Batista, 1997- SEGMENTAÇÃO E IMPRESSÃO 3D NA ROTINA DO DIAGNÓSTICO ODONTOLÓGICO COM FINALIDADE CLÍNICA E PERICIAL [recurso eletrônico] / Dayane Batista Santana. - 2023. Orientador: Thiago Leite Beaini. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Odontologia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.370 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Odontologia. I. Beaini, Thiago Leite, 1979-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós- graduação em Odontologia. III. Título. CDU: 616.314
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia
 Av. Pará, 1720, Bloco 4L, Anexo B, Sala 35 - Bairro Umuarama, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3225-8115/8108 - www.ppgoufu.com - copod@umuarama.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Odontologia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, nº 430, PPGODONTO				
Data:	Vinte e Oito de Julho de Dois Mil e Vinte e Três	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:10
Matrícula do Discente:	12122ODO010				
Nome do Discente:	Dayane Batista Santana				
Título do Trabalho:	Segmentação e impressão 3D na rotina do diagnóstico odontológico com finalidade clínica e pericial				
Área de concentração:	Clínica Odontológica Integrada				
Linha de pesquisa:	Patologia e Diagnóstico Bucal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Patologia e Diagnóstico Bucal				

Reuniu-se em Web Conferência pela plataforma Zoom, em conformidade com a PORTARIA Nº 36, DE 19 DE MARÇO DE 2020 da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Odontologia, assim composta: Professores Doutores: Rodolfo Francisco Holtenhoff Melani (USP); Priscilla Barbosa Ferreira Soares (UFU); Thiago Leite Beaini (UFU) orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Thiago Leite Beaini, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

[A]provado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Priscilla Barbosa Ferreira Soares, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/07/2023, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Leite Beaini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/07/2023, às 11:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodolfo Francisco Haltenhoff Melani, Usuário Externo**, em 28/07/2023, às 11:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4664376** e o código CRC **792902C3**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Leite Beaini que se mostrou disposto a ajudar e me orientar com maestria durante toda a pós-graduação, sempre compreendendo as dificuldades encontradas por mim no caminho, muitas vezes abdicando de finais de semana e do seu tempo livre para poder me orientar. Tenho uma admiração sem fim pelo profissional competente e pela pessoa que você é, sempre nos incentivando a dar o nosso melhor e acreditando no nosso potencial como pessoa e profissionais.

Agradeço aos professores que ministraram as aulas teóricas durante o decorrer da pós-graduação, sempre dispostos a ajudar e formar professores qualificados para o mercado de trabalho. Todos me inspiraram a seguir a docência e nela eu consegui me encontrar como profissional.

Um agradecimento em especial aos meus pais Nelson Santana e Norma Santana, a minha irmã Thais e a minha atual namorada Bruna Ribeiro que sempre foram os meus maiores incentivadores nos estudos

E por fim agradeço a Ana Paula Takahashi e família, Carla Machado e Adriano Schalins que de diferentes maneiras contribuíram para o meu crescimento profissional.

Sumário

RESUMO	- 8 -
ABSTRACT	- 9 -
LISTA DE FIGURAS, GRÁFICOS E TABELAS	Erro! Indicador não definido.
1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO	- 10 -
2. PROPOSIÇÃO	- 13 -
3. MATERIAL E METODOS.....	- 13 -
3.1 AMOSTRA.....	- 13 -
3.2 SEGMENTAÇÃO	- 14 -
3.2.1 Software.....	- 14 -
3.2.2 Sequência de segmentação	- 16 -
3.2.3 Avaliação das segmentações	- 18 -
3.2.4 Análise dos dados	- 21 -
4. RESULTADOS	- 22 -
5. Discussão.....	- 29 -
6. Conclusão	- 32 -
REFERÊNCIAS	- 33 -

SEGMENTAÇÃO E IMPRESSÃO 3D NA ROTINA DO DIAGNÓSTICO ODONTOLÓGICO COM FINALIDADE CLÍNICA E PERICIAL

RESUMO

Os Modelos Tridimensionais (3D) ter se tornado um aliado para o cirurgião dentista em sua prática clínica, otimizando resultados e tempo operacional. Este trabalho teve como objetivos definir o *threshold* para cada área de interesse propondo uma metodologia de avaliação da qualidade dos modelos segmentados e comparar a qualidade de segmentação dos dois softwares livres InVesalius® e ITK-SNAP® avaliando a confiabilidade e precisão das superfícies exportadas de maneira semiautomática, produzindo uma referência para utilização em diferentes áreas da Odontologia. Foram selecionadas 50 tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) cujo protocolo de aquisição consiste em 2 capturas com um campo de visão de 20 cm de altura, 16 cm de comprimento e 16 cm de largura com um volume element (*voxel*) de reconstrução de 0,4 mm e fatores de exposição 120 kVp; 36,9 mAs e um tempo de exposição de 20 segundos, totalizando um tempo total de exame de 40 segundos. O *threshold* mínimo mais indicado para a região da mandíbula teve seu valor médio de 370 ITK-SNAP® e 458 InVesalius® sem diferenças significativas entre os programas, já na maxila 212 ITK-SNAP® e 282 InVesalius® e o côndilo a região que se apresentou mais desafiadora 275 ITK-SNAP® e 318 InVesalius® sendo que em ambas as regiões o primeiro software é mais indicado para realizar essa segmentação. A metodologia de avaliação dos modelos segmentados se mostrou uma ferramenta eficaz. De modo geral *software* que apresentou maior qualidade de segmentação foi o ITK-SNAP®, apresentando uma melhor qualidade de superfície, menor quantidade de orifícios e melhor segmentação quando comparado ao InVesalius®. Porém, em ambos os programas é possível obter os modelos de forma eficaz de maneira gratuita.

Palavras-chaves: Segmentação, impressão tridimensional, odontologia.

SEGMENTATION AND 3D PRINTING IN THE ROUTINE OF DENTAL DIAGNOSTICS FOR CLINICAL AND PERIPHERAL PURPOSES

ABSTRACT

The Three-Dimensional Models (3D) have become an ally for the dentist surgeon in their clinical practice, optimizing results and operating time. This work aimed at defining the threshold for each area of interest by proposing a methodology for evaluating the quality of the segmented models and comparing the segmentation quality of both the free software InVesalius® and ITK-SNAP® assessing the reliability and accuracy of the surfaces exported in a semi-automatic way, producing a reference for use in different areas of Dentistry. 50 conical beam computed tomographs (TCFCs) were selected whose acquisition protocol consists of 2 captures with a field of vision of 20 cm in height, 16 cm in length and 16 cm wide with a reconstruction voxel of 0.4 mm and exposure factors 120 kVp; 36.9 mAs and an exposure time of 20 seconds, totaling a total examination time of 40 seconds. The most indicated minimum threshold for the jaw region had its average value of 370 ITK-SNAP® and 458 InVesalius® without significant differences between the programs, already on the jaw 212 ITK -SNAP® and 282 InVeSalius® and the condyle the region that presented itself most challenging 275 ITK – SNAP® & 318 InVESALIUS® being that in both regions the first software is most suited to carry out this segmentation. The methodology for evaluating segmented models has proved to be an effective tool. Generally speaking, the software that showed the highest segmentation quality was ITK-SNAP®, which showed better surface quality, fewer holes and better segmentation when compared to InVesalius®. However, in both programs it is possible to obtain the models effectively and free of charge.

Keywords: segmentation, three-dimensional printing, dentistry.

1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

O diagnóstico clínico facial, a análise do trauma e de lesões orofaciais de interesse clínico e forense são beneficiados pela utilização de exames de imagem detalhados, como a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e a fotogrametria (1,2). A utilização da TCFC dentro da odontologia legal foi associada a estimativa de idade através do volume das câmara pulpares dos dentes (3), determinação do sexo por meio de arcadas dentais(4), pode auxiliar de diversas forma na identificação humana (5).

O processo para a obtenção de modelos tridimensionais (3D) e a prototipagem auxiliam na capacidade do profissional de acessar a anatomia do indivíduo. A produção desses modelos 3D por meio de softwares gratuitos não é um uma tarefa fácil, e cada tecido pode requerer valores e ajustes próprios (6), sendo influenciados por características do equipamento de captura da TCFC, da densidade tecidual (6), do tamanho de *Voxel* utilizado, que na TCFC é um cubo composto de altura x largura x profundidade o qual representa a menor unidade de uma imagem 3D. Para este, é atribuído um valor da escala de cinza que se representa o valor da densidade do tecido ou espaço representado (7–9), e presença de metais (10). Atualmente a inteligência artificial está sendo introduzida nas segmentações de modelos 3D e a utilização das Redes Neurais Convulsionais (RNC) tem sido utilizadas como um facilitador nesse processo (11). Porém, ainda é uma tecnologia em desenvolvimento, sendo e necessário um domínio maior e a produção de dados que embasem o uso dessa técnica.

Modelos obtidos por várias formas de captação podem ser impressos em 3D e auxiliar a análise cirúrgica, planejamentos de cirurgias periodontais (12), protética e outras condutas clínicas (13–15). O processo de obtenção destes modelos é chamado de segmentação e permite que sejam visualizados de forma independente para melhor observação das estruturas (2,6,9,16,17). A segmentação consiste em um método de seleção dos tecidos que farão parte do objeto 3D por meio da escolha de densidades específicas em áreas de interesse nas imagens da TCFC e outros exames 3D (18). A correta seleção possibilita a exportação de modelos das regiões de interesse, mediante propriedades de descontinuidade e similaridade, como os níveis de cinza e a definição precisa de

sua área de extensão (delineamento) (19). A segmentação de TCFC podem ser utilizadas para uma gama de finalidades clínicas, cirúrgicas, além das análises forenses e arqueológicas (18,20,21). A segmentação das regiões é definida através do intervalo de tons de cinza que na maioria dos programas visualizadores de tomografias é identificado pelo termo em inglês: *threshold*. Portanto, este é um limiar que expressa a definição da densidade dos tecidos de interesse, ele utiliza as unidades *hounsfield* a qual expressam os tons de cinza que os *voxels* que correspondem.

Alguns dos softwares existentes no mercado possuem acesso livre, ou seja, são disponibilizados de maneira gratuita que podem ser utilizados em pesquisas, sem a necessidade de se obter licenças de direitos autorais, possibilitando seu acesso a muitos profissionais para uso pessoal. Dentre esses, pode-se citar os seguintes programas que possibilitam a segmentação 3D como principal finalidade: 3D Slicer® (22), ITK-Snap® (versão3.8.0 ; www.itksnap.org). produto de uma colaboração de uma década entre Paul Yushkevich, Ph.D., do *Penn Image Computing and Science Laboratory* (PICS�) da Universidade da Pensilvânia, e Guido Gerig, Ph.D., do *Scientific Computing e Imaging Institute* (SCI) da University of Utah.

e InVesalius® (versão 3.1.1; Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Campinas, SP, Brasil; <https://www.gov.br/cti/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/invesalius>).

Muitos desses programas permitem a seleção automática de tecidos com ajustes previamente estabelecidos pelos desenvolvedores, isto é, o observador pode escolher entre opções comuns como osso, osso compacto, dentes, vias aéreas e outros. No entanto, observa-se que os valores médios nem sempre possibilitam uma boa segmentação de todas as áreas anatômicas de interesse. Dessa forma, pode ser necessária uma abordagem individualizada para cada tecido ou região anatômica, demandando referência das melhores configurações para cada região.

As atividades clínica ou pericial demandam conhecimento anatômico grande, além de familiaridade com os processos digitais que pode requerer um tempo dedicado e uma curva de aprendizado de elevada complexidade. Dessa

forma, o clínico pode se beneficiar de parâmetros definidos para as regiões do seu interesse, além do conhecimento das características de cada programa a ser utilizado.

2. PROPOSIÇÃO

Objetivo primário deste trabalho foi definir o *threshold* para cada área de interesse. Objetivo secundário propor uma metodologia de avaliação da qualidade dos modelos segmentados. Objetivo terciário foi comparar a qualidade de segmentação dos dois softwares livres InVesalius® e ITK-SNAP® avaliando a confiabilidade e precisão das superfícies exportadas de maneira semiautomática, produzindo uma referência para utilização em diferentes áreas da Odontologia.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 AMOSTRA

Este foi um estudo observacional transversal realizado em tomografias computadorizadas anônimas com finalidade de verificar e padronizar os processos para a segmentação de estruturas de interesse clínico e pericial da face em objetos tridimensionais.

A amostra foi composta a partir de uma coleção de exames de tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) de guarda sob responsabilidade do Instituto de Documentação Ortodôntica e Radiodiagnóstico (INDOR) localizado na Av. Brigadeiro Luiz Antônio, número 4778, São Paulo, Brasil. O projeto foi aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa (CEP) com o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE): 52592721.0.0000.5152.

Trata-se de um acervo anônimo de exames de TCFC, isto é, exames pré-existentes realizados entre 2009 e 2013 cujos dados pessoais foram removidos e autorizações foram obtidas para uso em pesquisas desde que não fossem identificados. Os exames foram realizados por motivos clínicos, portanto nenhum ser humano foi exposto à radiação por razão dessa ou qualquer pesquisa que tenha utilizado o acervo no passado.

Tal acervo é composto por 100 exames de TCFC de indivíduos adultos entre 18 e 65 anos de idade, sendo 50 do sexo masculino e 50 do sexo

feminino, dos quais 50 exames foram selecionados por conter as regiões anatômicas de interesse apresentar poucos artefatos metálicos ou de aquisição. O protocolo de aquisição consiste em 2 capturas com um campo de visão de 20 cm de altura, 16 cm de comprimento e 16 cm de largura com um *voxel* de reconstrução de 0,4 mm. Virtualmente, após a aquisição das imagens tomográficas, o programa computacional ICAT Workstation (*Imaging Sciences International, Hatfield, P A*) combina as duas capturas em um procedimento denominado de *stitching*. Esse procedimento sobrepõe as imagens tomográficas, permitindo a visualização da região submandibular até o *vertex* do crânio. Os fatores de exposição das imagens realizadas foram: 120 kVp; 36,9 mAs e um tempo de exposição de 20 segundos, totalizando um tempo total de exame de 40 segundos. As imagens são exportadas em uma série de arquivos de extensão conhecidas como *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM).

Originalmente, a coleção do acervo seguiu critérios de inclusão que consistem em pacientes que já realizaram tomografia computadorizada de feixe cônico no Instituto INDOR, que tenham cedido seus exames para pesquisas complementares que não tenham deformidades dento faciais severas ou ausências dentárias, que tenham mais que 18. Os critérios de exclusão desprezaram exames de TCFC de pacientes que não tenham assinado o TCLE da pesquisa principal e pacientes que não tinham a idade necessária, que apresentaram deformidades dento faciais ou ausência dentária. Adicionalmente foram excluídos exames em que se nota um excesso de artefatos e outras alterações conhecidas em exame de TCFC ou que possam ter porções anatômicas de interesse nessa pesquisa ausentes do registro coletado.

3.2 SEGMENTAÇÃO

3.2.1 *Softwares*

Cada TCFC foi acessada e reconstruída nos dois programas de licença livre denominados:

InVesalius ® (versão 3.1.1; Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Campinas, SP, Brasil; <https://www.gov.br/cti/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/invesalius>).

ITK-SNAP® ([versão3.8.0](#) ; www.itksnap.org). produto de uma colaboração de uma década entre Paul Yushkevich, Ph.D., do *Penn Image Computing and Science Laboratory* (PICSL) da Universidade da Pensilvânia, e Guido Gerig, Ph.D., do *Scientific Computing e Imaging Institute* (SCI) da University of Utah.

O ITK-SNAP® é um software livre, de código aberto e multiplataforma usado para segmentar estruturas em imagens biomédicas 3D e 4D e foi originalmente desenvolvido na Universidade da Carolina do Norte por equipes de estudantes lideradas por Guido Gerig (NYU *Tanden School of Engineering*), que imaginou uma ferramenta que fosse de fácil aprendizado, com um conjunto limitado de recursos centrado especificamente na tarefa de segmentação de imagens. O desenvolvimento atual do ITK-SNAP é liderado por Paul Yushkevich, Jilei Hao, Alison Pouch, Sadhana Ravikumar e colegas do *Penn Image Computing and Science Laboratory* (PICSL) da Universidade da Pensilvânia.

InVesalius é um software gratuito para reconstrução de imagens de tomografia computadorizada e ressonância magnética. O software é usado principalmente para prototipagem rápida, ensino, forense e na área médica. É possível utilizá-lo nas plataformas Microsoft Windows, GNU/Linux e Apple Mac OS X. Os principais recursos do software são a capacidade de importar arquivos DICOM ou *Analyze*, exportar arquivos para os formatos STL, OBJ e PLY, renderização de volume e segmentação de imagem manual ou semiautomática.

O InVesalius® é desenvolvido desde 2001 pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), no Brasil sendo que no contexto daquela época, não havia um software de imagens médicas em português que atendesse às necessidades dos hospitais e clínicas brasileiras. Desde então, o InVesalius® tem sido constantemente aprimorado. Em convênio com o Ministério da Saúde do Brasil, foi desenvolvida a versão 3.

O ITK-SNAP® fornece segmentação semiautomática usando métodos de contorno ativo, bem como delineamento manual e navegação de imagem. Em cada programa há ferramentas de seleção manuais e semiautomáticas capazes de demarcar superfícies além de permitir ao operador estipular um intervalo de tons de cinza que deseja segmentar. Este intervalo é denominado “*Threshold*” e quando regulado para determinado tecido, é possível selecionar apenas os *voxels* com determinada densidade que esteja representada no intervalo por meio de um pincel.

3.2.2 Sequência de segmentação

Das 50 tomografias selecionadas, utilizando dois softwares para a segmentação, foram segmentados 300 modelos, sendo 100 modelos do côndilo, 100 da mandíbula, e 100 da maxila. (Tabela 1)

Tabela 1 Frequência por região

Frequência por Região		
Região	Modelos	% do Total
Côndilo	100	33.3 %
Mandíbula	100	33.3 %
Maxila	100	33.3 %

Foram segmentadas as áreas de interesse para odontologia como: côndilo mandibular, corpo e ramo da mandibular e maxila. Em seguida realizou-se a avaliação de cada estrutura de maneira separada, avaliando a qualidade de superfície, presença de orifícios, qualidade da segmentação de acordo com o Método *Pipeline* de Preda(23) e presença de artefatos nos modelos segmentados.

A segmentação realizada no programa InVesalius® foi realizada de maneira semiautomática. Foi importado o arquivo DICOM, em seguida selecionado um *threshold* personalizado para a área de interesse, acessando

Ferramenta> Máscara> Cortar> seleção da região de interesse para a segmentação. Para otimizar o tempo de trabalho, pode-se utilizar a função ‘criar superfície’ para cada estrutura, obtendo um modelo 3D da região selecionada.

Cada superfície foi exportada em STL e salva em arquivos separados. Os dados de cada segmentação foram tabelados em uma planilha, onde se obteve o valor do *threshold* mínimo e máximo por região, ano de aquisição da TCFC, idade do paciente, e sexo. Após isso cada tomografia foi importada no software Blender® (Versão 3.1, 9 de março de 2022 (<https://www.blender.org/download/releases/3-1/>)) para que pudesse ser avaliada cada estrutura de maneira dinâmica.

A utilização do ITK-SNAP® é feita de maneira diferente, pois não há, em suas configurações, pré-seleções de *threshold* por áreas de interesses, sendo que todas as segmentações devem ser realizadas de maneira individualizada. A seleção é feita por meio observacional até que se obtivesse a melhor seleção das estruturas de interesse. O arquivo é importado em DICOM é selecionado a função *Active Label* e selecionada a cor de preferência, em seguida *Paint Over* e seleciona “*Clear Label*”, seleciona *Active Contour Segmentation Mode* e faz-se o corte da região de interesse. A segmentação é feita com a ferramenta de “*Lower Threshold Only*” onde será feito a seleção crescente do valor do selecionado, selecionado o valor mais adequado, o próximo passo é adicionar o cursor, o qual funciona como pequenas bolhas que somente irão selecionar o valor de interesse, crescendo na região onde são colocadas, a função é “*Add Bubble at Cursor*”, várias “bolhas” podem ser adicionadas em diferentes tamanhos, para facilitar o tempo clínico, recomenda-se adicionar bolhas de tamanhos maiores para que elas reduzam na região de interesse. Nesse ponto, é iniciado a atividade do cursor até que seja selecionado toda parte de interesse e se obtém um modelo segmentado. É comum vir estruturas que não são da região de interesse juntamente na segmentação, isso posteriormente será removido antes da impressão do modelo.

Para exportar a superfície seleciona a função: *Segmentation> Export as surface mesh- Export a mesh for a single Label> Next- Mesh file name- File format STL Mesh File>* selecione a pasta para salvar o arquivo> *Finish*.

Os modelos segmentados da tomografia são produzidos objetivando a melhor qualidade de superfície possível naquele exame, reduzindo ao mínimo a presença de algumas imperfeições possam estar presentes no modelo final. Dentro da lógica de utilização para finalidades de exames 3D e impressão digital, é mais fácil reparar alguns destes defeitos que outros, isto é, comparando um orifício e uma superfície rugosa ou com estruturas e artefatos anexadas a ela, é mais fácil reparar o primeiro que os demais. Isso se justifica à medida que a segmentação utiliza um *threshold* para cada estrutura e pode não haver uma configuração que permita segmentar um modelo perfeito em todos os sentidos. Nesse contexto, foi escolhido um intervalo permitiu obter uma boa qualidade de superfície e poucas estruturas anexas ou descontinuidades nas estruturas ósseas. Dessa forma, foi avaliada a qualidade desse modelo de acordo com algumas metodologias qualitativas que, entre outras coisas, avaliou a ausência ou presença de poucos orifícios, quantidade moderada ou muitos, porém sem que houvesse perda de qualidade de superfície que inviabilizasse a amostra.

3.2.3 Avaliação das segmentações

A avaliação foi realizada por dois observados, os quais foram calibrados para que não ocorresse viés. Os modelos foram avaliados de acordo com as regiões de interesse, utilizando os seguintes critérios: Quanto a qualidade de superfície, foi classificado, ausência de irregularidades, presença de irregularidades moderadas das quais não comprometem a impressão e presença de irregularidades das quais comprometem a impressão do modelo.

Presença de orifícios, avaliado quanto ao tamanho e quantidade o qual foi definida pelos observadores devido à ausência de parâmetros para essa análise, e classificados da seguinte maneira:

Pequenos (menores que 0,5 cm)

- Ausente,
- Poucos (1-5 orifícios),
- Moderado (6-9 orifícios),
- Muitos (10 ou mais orifícios)

Médios (0,6 a 2 cm)

- Ausente
- Poucos (1-3)
- Moderado (4-6),
- Muitos (7 ou mais)

Grandes (maiores que 2 cm):

- Ausente, poucos (1)
- Moderado (2-5)
- Muitos (6 ou mais)

Os artefatos de imagem foram avaliados quanto a presença ou ausência, sendo eles (24): "*rings*", ou em anel, que são provocados pela falta de calibração do aparelho; artefatos — "*distortion*", ou de distorção, que ocorrem devido a erros relacionados a erros de reconstrução volumétrica da imagem; artefatos — "*shading*", ou de sombreamento e os artefatos — "*streaking*", ou em estrias, que estão associados às características físicas do objeto e a absorção e espalhamento da radiação, bem como sua captação pelo receptor.

Por fim, foi utilizado o Teste *Pipeline* de Preda (23), inicialmente criado para avaliar a RNC, removendo a Classificação E a qual não haveria possibilidade de segmentação utilizando a RNC. A classificação dos modelos, seguiu os seguintes critérios:

A- Excelente segmentação (sem necessidade de correção);

B- Muito boa segmentação (pequena correção necessária, sem significado clínico);

C- Boa segmentação (pequena correção necessária, tendo algum significado clínico, como leve sub ou supra segmentação);

D- Segmentação insuficiente (supra ou subsegmentação significativa com repetição necessária).

Tabela 2 Critérios de Avaliação

Avaliação	Descrição	Variáveis qualitativas ordinais	Níveis
Orifícios e descontinuidade de superfície	Avaliar a existência de orifícios ou descontinuidade de superfície não naturais. Avaliar pelo tamanho e quantidade	Pequenos (< 1 cm)	Ausente
			Poucos (1-5 orifícios)
			Moderado (6-9)
			Muitos (10 ou mais)
		Médios (1 ≤ 2 cm)	Ausente
			Poucos (1-3)
			Moderado (4-6)
			Muitos (7 ou mais)
		Grandes (> 2 cm)	Ausente
			Poucos (1)
			Moderado (2-5)
			Muitos (6 ou mais)
Qualidade de Superfície	Avaliar superfície do modelo em busca de alterações	Ausente	Sem defeitos de superfície
		Presente	defeitos corrigíveis como rugosidade ou leves artefatos
		Inviabiliza	Artefatos com significado clínico e alterações na capacidade diagnóstica
Análise Pipeline de Preda (23)	Avaliar qualidade da segmentação quanto aos dados do modelo	A	Excelente segmentação (sem necessidade de correção)
		B	Muito boa segmentação (pequena correção necessária, sem significado clínico)
		C	Boa segmentação (pequena correção necessária, tendo algum significado clínico, como leve sub ou super segmentação);
		D	Segmentação insuficiente (supra ou subsegmentarão significativa com repetição necessária)
Quanto à presença de artefatos(24)	Avaliar a segmentação de estruturas que não fazem parte do volume capturado	Anéis: Artefatos na imagem que se apresentam em forma de anel	Ausente
			Presente
			Inviabiliza
		Distorção: Alteração do formato anatômico	Ausente
			Presente
			Inviabiliza
		Sombreamento: artefatos hipodensos	Ausente
			Presente
			Inviabiliza
		Estrias: Artefatos lineares hiperdensos.	Ausente
			Presente
			Inviabiliza

3.2.4 Análise dos dados

Após a avaliação dos modelos, os dados foram tabelados em uma planilha no Excel® e exportados para o programa Jamovi 2.3.2.1®, para realização da análise estatística.

O trabalho então segue a ordem expressa no fluxograma apresentado na Figura 1, 50 tomografias foram segmentadas em dois Softwares, selecionando as regiões de interesse. Após isso, será obtido 300 modelos segmentados, sendo 100 de cada região: maxila, côndilo e mandíbula, divididos igualmente em cada software. Os modelos salvos em STL foram abertos no Blender® para avaliação das estruturas de acordo com a tabela 2, os dados serão tabulados no Excel® e exportados para o Jamovi 2.3.2.1® para análise estatística.

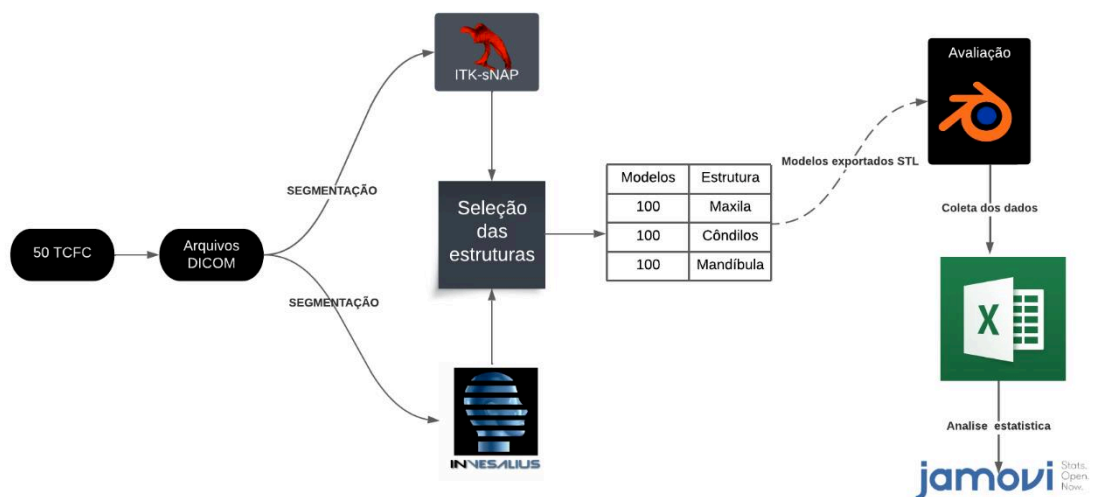


Figura 1 Fluxograma metodológico

4. RESULTADOS

Os dados tabelados foram analisados no programa Jamovi 2.3.2.1[®]. A reprodutibilidade do estudo apresentou grau de concordância substancial entre os intrerobservadores (Tabela 3) utilizando análise de concordância Kappa (25). Sendo o índice Kappa < 0 (sem concordância); 0 – 0,2 (concordância fraca); 0,21 – 0,4 (concordância regular); 0,41 – 0,6 (concordância moderada); 0,61 – 0,8 (concordância substancial); 0,81 – 1 (concordância quase perfeita) e nível de significância $p < 0,05$.

Tabela 3 Concordância entre avaliadores pelo teste Kappa

Método	Kappa de Cohen para avaliadores
Sujeitos	60
Avaliadores	2
Concordância%	97
Kappa	0.651
z	5.38
Valor-p	< .001

A avaliação do Teste *Pipeline de Preda* (Figura 2), dos 300 modelos (Tabela 4) testados, 64.3% receberam a classificação máxima (A) apresentando excelente segmentação e sem necessidade de correção, 21.3% classificação B, muito boa segmentação com pequena correção necessária, sem significado clínico, 13.3% classificação C com boa segmentação, pequena correção necessária, tendo algum significado clínico, como leve sub ou supra segmentação, e apenas 1% classificação D com segmentação insuficiente, supra ou sub segmentação significativa com repetição necessária (Tabela 4). A Supra segmentação da região de côndilo mandibular e Sub segmentação da região da maxila dos modelos com classificação B, C, D foram as justificativas mais encontradas em ambos os softwares (Gráfico 1)

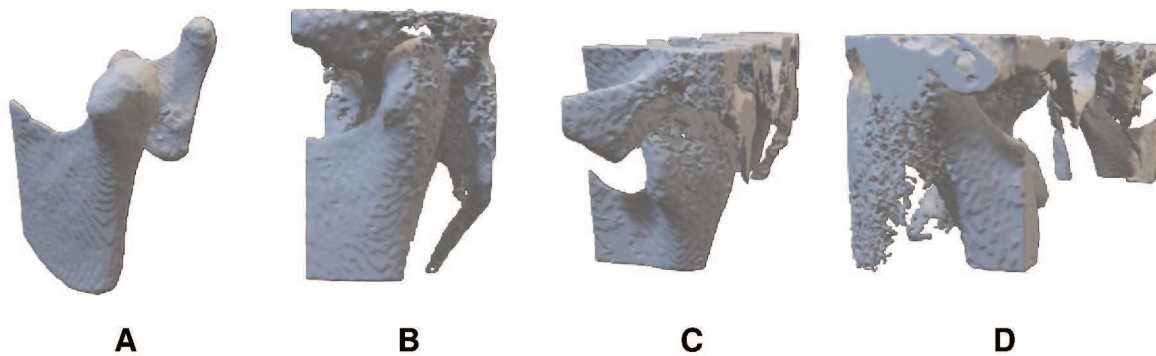


Figura 2 Modelos de côndilos exemplificando o Pipeline de Preda

Tabela 4 Segmentação dos modelo.

Segmentação de Preda	Número	% do Total
A	193	64.3 %
B	64	21.3 %
C	40	13.3 %
D	3	1.0 %

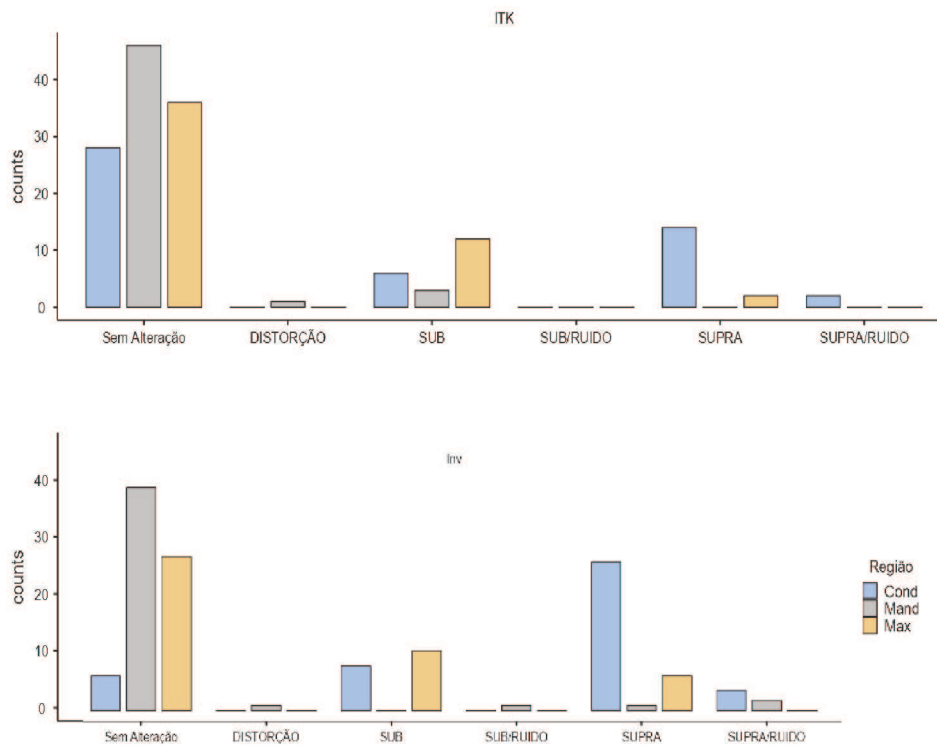


Gráfico 1 Alterações mais comuns do Teste de Preda

O *Pipeline* de Preda por região resultou em 93 dos 100 modelos com a melhor classificação nível 'A' para a região da mandíbula (Figura 3), seguido de 65 de 100 modelos para a região da maxila que se obteve um número de 21 modelos com classificação 'B', a região que menos se observou classificação 'A' foi a região de côndilo mandibular apenas 35 modelos, seguidos de 40 classificação 'B' e 23 'C' e 2 modelos 'D' (Tabela 5). Correlacionando o programa avaliado com o Teste *Pipeline de Preda*, o software ITK-SNAP® apresentou em sua totalidade número maior classificação A do que no software InVesalius®, sendo esses dados qualitativos mais evidentes na região de mandíbula e maxila. Dos 35 modelos 'A' da região condilar 28 foram segmentados no ITK-SNAP® e apenas 7 modelos foram segmentados no InVesalius®, já na mandíbula foram 47 ITK-SNAP® e 46 InVesalius® não apresentando diferenças significativas entre os softwares e a maxila 35 ITK-SNAP® e 30 InVesalius® com uma leve predileção pelo software ITK-SNAP® (Tabela 6) .

Tabela 5 Pipeline de Preda por Região

Tabelas de Contingência				
Segmentação	Região			
	Cond	Mand	Max	Total
A	35	93	65	193
B	40	3	21	64
C	23	4	13	40
D	2	0	1	3
Total	100	100	100	300

Figura 3 Segmentação A da maxila utilizando dois programas

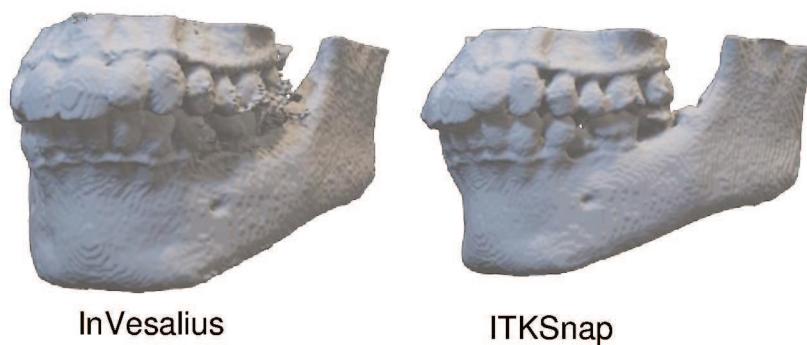


Tabela 6 Pipeline de Preda por programa e região

Região	Segmentação de Preda	ITK-SNAP®	InVesalius®	Total
Côndilo	A	28	7	35
	B	16	24	40
	C	6	17	23
	D	0	2	2
	Total	50	50	100
Mandíbula	A	47	46	93
	B	0	3	3
	C	3	1	4
	D	0	0	0
	Total	50	50	100
Maxila	A	35	30	65
	B	9	12	21
	C	6	7	13
	D	0	1	1
	Total	50	50	100
Total	A	110	83	193
	B	25	39	64
	C	15	25	40
	D	0	3	3
	Total	150	150	300

Quanto à escala de cinza, o valor do *threshold mínimo* variou de acordo com a área estudada e com o software utilizado, enquanto o máximo fora utilizado no máximo que a tomografia permitisse. A média do *threshold mínimo* dos valores encontrados para o programa ITK-SNAP® de acordo com a região estudada foi: Côndilo 275, mandíbula 370 e maxila 212. Já no programa

InVesalius® a média dos valores encontrados foi: côndilo 318, mandíbula 458 e maxila 282 (Tabela 7).

Tabela 7 Threshold por programa e região

	Região	Programa	Média	Mediana	Amplitude	Mínimo	Máximo
Tresshold min	Cond	ITK	275	266	292	136	428
		Inv	318	328	320	190	510
	Mand	ITK	370	383	448	131	579
		Inv	458	439	436	226	662
	Max	ITK	212	201	426	-43	383
		Inv	282	273	443	51	494

Dos artefatos de imagens avaliados apenas a distorção estava presente em 3% das tomografias analisadas (Tabela 8)

Tabela 8 Artefatos de imagem

Distorção	Número	% do Total
Ausente	291	97.0 %
Presente	9	3.0 %

Os orifícios menores que 1 centímetro, foram encontrados em número elevado em ambos programas se distribuindo em poucos (1 a 5 orifícios), presente em 89 modelos do ITK-SNAP® e 84 modelos do InVesalius®, uma quantidade moderada (6 a 10 orifícios) se fez mais presente no programa InVesalius® 31 modelos em relação ao ITK-SNAP® 4 modelos e muitos (acima de 10 orifícios) só se fez presente no programa InVesalius® 5 modelos (Gráfico 2). Orifícios ente 1 a 2 centímetros se apresentaram em poucas quantidades e em apenas 6 % das Tomografias analisadas se distribuindo de maneira igual

entre os programas (Gráfico3). Não foi encontrado orifícios maiores que 2 centímetros (Gráfico 4).

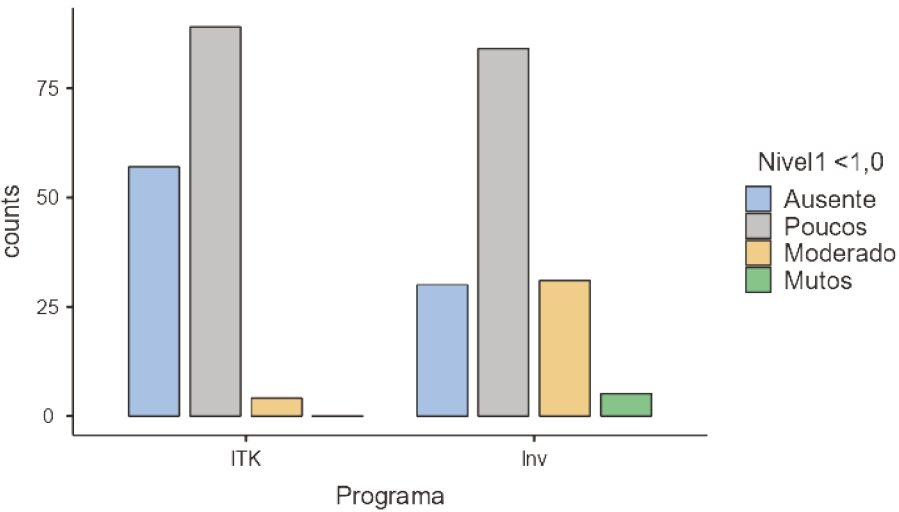


Gráfico 2 Presença de orifícios <1 cm

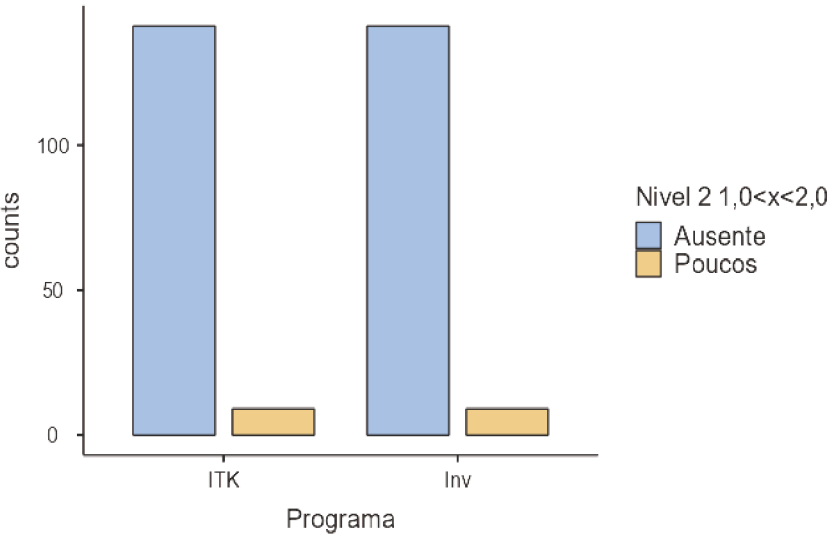


Gráfico 3 Presença de orifícios 1 <x< 2 cm

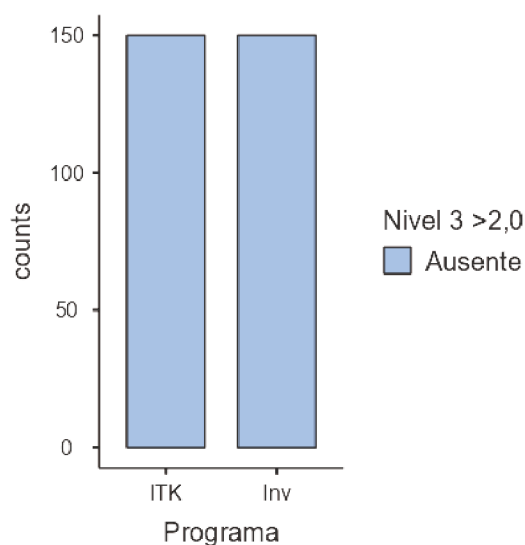


Gráfico 4 Presença de orifícios > 2 cm

Os modelos foram avaliados em relação a alteração de superfície, classificando em presente, ausente e uma presença que inviabilize o modelo para impressão. Das alterações presentes o côndilo foi a região que mais se obteve alteração de superfície 58 modelos seguido da maxila 26 modelos e por último a mandíbula 9 modelos (Gráfico 5), não foram encontradas alterações que inviabilizam a impressão dos modelos. Dos 300 **modelos** 207 apresentaram a ausência de irregularidades em sua superfície, em 93 modelos as alterações de superfície se fizeram presente, comprometendo parcialmente a impressão do modelo 3D, dessas 25 são do programa ITK-SNAP® e 68 são do InVesalius® (Gráfico 6).

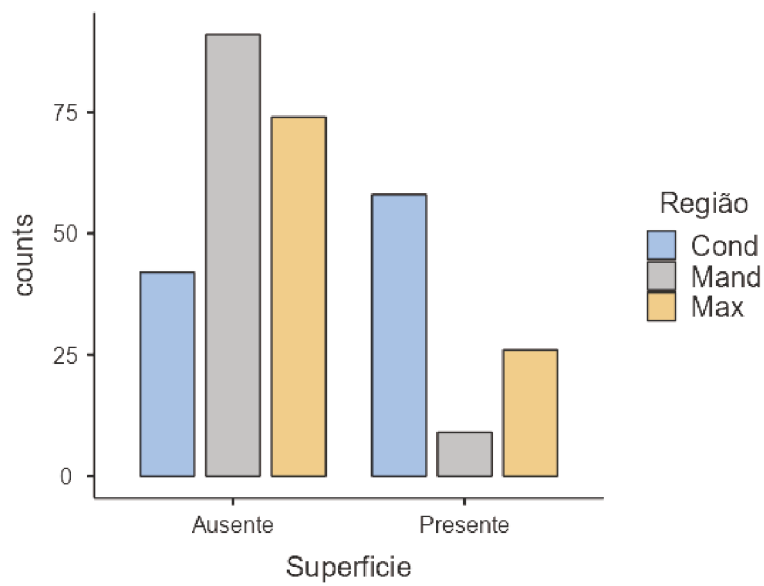


Gráfico 5 Análise de superfície por região.

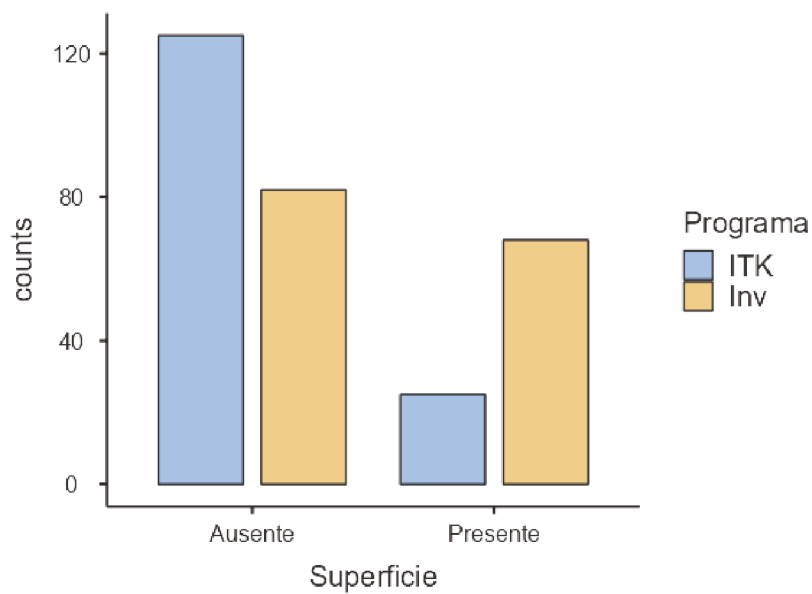


Gráfico 6 Alteração de superfície de acordo com o software.

5. DISCUSSÃO

O objetivo original deste trabalho foi o de investigar os padrões de segmentação 3D de estruturas faciais de interesse para a Odontologia refinando processos segmentação visando a impressão 3D em dois programas livres.

Durante a execução do trabalho observou-se a necessidade de obter valores do *threshold* de maneira individual de acordo com a área de interesse analisada, como também desenvolver uma metodologia de avaliação para verificar a qualidade dos modelos segmentados para a impressão 3D.

Na literatura não foi encontrado um método de avaliação específico para analisar modelos segmentados 3D e determinar a viabilidade desses para a impressão 3D. Sendo assim, unimos modelos de avaliações que adicionam análises relevantes para as áreas desse estudo. Portanto, juntamente com dados de segmentação para cada estrutura foi proposto e validado pelos operadores, para que não ocorresse viés.

Ao contrário do que se pode pensar, apesar da existência de ferramentas de segmentação automática ou semiautomática, essas podem não resultar em um documento ideal para todas as estruturas de interesse odontológico. Isto é, trabalhando com médias densidade expressas em tons de cinza, os modelos podem apresentar falhas em locais de particular importância para o diagnóstico e a impressão 3D. As regiões da maxila e da cabeça da mandíbula apresentam densidade inferior à mandíbula, o que pode resultar em subsegmentação ou supra segmentação de estruturas. Por isso, o protocolo aqui apresentado se apresenta como um guia para a segmentação da maxila e mandíbula, incluindo sua região articular.

Para a criação do modelo de avaliação de qualidade, foram utilizados dois testes encontrados na literatura, o Teste *Pipeline* de Preda, inicialmente utilizado para avaliar as segmentações realizadas pelas RNC(23), um modelo de segmentação automática, foi adaptado para ser utilizado no estudo, e o método de avaliação dos artefatos foi feita de acordo com a classificação de Barrett (24).

Comprovando as hipóteses, os dados mostram que há uma diferença nos valores do *threshold* mínimo e da qualidade do modelo analisado de acordo com a área estudada. A mandíbula foi a região onde se obteve a melhor segmentação em ambos os programas, com uma variação do valor médio do *threshold* mínimo de 370 para o ITK-SNAP® e 458 para o InVesalius®. Do ponto de vista de qualidade, esta peça anatômica apresentou apenas pequenos orifícios, frequentemente encontrados na região de forame mentoniano e ângulo

mandibular. A maxila foi uma área de dificuldade intermediária, onde pode se observar um melhor desempenho de segmentação utilizando o ITK-SNAP®. Nestes modelos, as falhas mais comuns e presença de orifícios se encontraram na região do forame infraorbital, palato, fossa canina e tuberosidade maxilar, nessas regiões a espessura da lâmina óssea é muito delgada, o que frequentemente resultou em sub segmentação.

A região mais desafiadora para a realização da segmentação foi o côndilo mandibular. Em ambos os programas ocorreram dificuldades para sua segmentação, seja pela presença de inúmeros orifícios, ou pela fusão entre essa estrutura e a fossa glenóide. Quando ocorre, tal fusão dificulta a avaliação dessa região demandando ajuste e a remoção manual de estruturas anexas associadas. Dessa forma, o tratamento da região para a impressão do modelo 3D se torna quase obrigatório, durante a utilização de ambos os programas. Para a obtenção de uma TCFC da região de côndilo mandibular de qualidade superior para a segmentação, é mais adequado a utilização de um *voxel* de 0,2 mm com um FOV reduzido para melhor avaliação dessa área. Porém, esse trabalho visou utilizar as tomografias com o *voxel* disponível para tentar mesmo assim a obtenção de um modelo segmentado de qualidade.

A metodologia de avaliação dos modelos se mostrou replicável, de fácil condução operacional, com um tempo hábil de execução e os critérios fundamentais para a obtenção de um bom modelo 3D são contemplados. Os observadores foram calibrados para que não ocorresse viés no estudo e o método fosse válido.

De modo geral, o processo de análise de qualidade verificou que o programa ITK-SNAP® gerou modelos mais bem avaliados para a segmentação de todas as regiões, porém ambos foram capazes de segmentar estruturas de maneira adequada.

Por ser inviável avaliar todos os softwares de acesso livre os resultados obtidos se limitam aos dois programas utilizados, podendo haver alterações se tratando de outros programas. O protocolo de aquisição também influencia na qualidade das tomografias, como também a presença de objetos de alta densidade na região do exame e o tomógrafo utilizado para aquisição

(26,27). As tomografias disponibilizadas foram obtidas de um único equipamento com protocolo de aquisição utilizando um fator de exposição 120 kVp; 36,9 mAs com um *voxel* de reconstrução de 0,4 mm. Portanto, quando se utilizar um protocolo de aquisição diferente isso pode influenciar no valor do *threshold* e na qualidade de segmentação obtida (28).

Os modelos 3D tem sido cada vez difundidos na odontologia moderna, utilizados para confecção de guias cirúrgicos, aparelhos, diagnóstico e planejamento de próteses faciais, cirurgias ortognáticas, implantodontia, patologias orais, periodontia, traumatologia entre outras áreas odontológicas (29,30). Esses modelos vieram para otimizar o tempo clínico e reduzir as chances de insucessos dos procedimentos por meio de um planejamento adequado. Os critérios de avaliação das segmentações dessas áreas de interesse servirão para otimizar o tempo operacional na confecção desses modelos, podendo ser criados métodos automáticos ou semiautomáticos de avaliação utilizando os critérios ressaltados na pesquisa, obtendo modelos de melhor qualidade para impressão.

Pode observar que na impossibilidade de segmentação de uma área de interesse utilizando um software, esse trabalho mostra que pode ser utilizado outros programas para tal finalidade, e se obter modelos de qualidade. Podendo então trabalhar diferentes maneiras para um resultado satisfatório.

6. CONCLUSÃO

O *threshold* mínimo mais indicado para a região da mandíbula teve seu valor médio de 370 ITK-SNAP® e 458 InVesalius® sem diferenças significativas entre os programas, já na maxila 212 ITK-SNAP® e 282 InVesalius® e o côndilo a região que se apresentou mais desafiadora 275 ITK-SNAP® e 318 InVesalius® sendo que em ambas as regiões o primeiro software é mais indicado para realizar essa segmentação. A metodologia de avaliação dos modelos para a impressão 3D se torna crucial para que o operador saiba identificar e padronizar modelos, bem como saber a necessidade de utilizar programas que tratem os defeitos identificados no modelo pré-impressão para

que estes se tornem elegíveis para uma impressão de qualidade. De modo geral, o *software* que apresentou maior qualidade de segmentação foi o ITK-SNAP®, apresentando uma melhor qualidade de superfície, menor quantidade de orifícios e melhor segmentação quando comparado ao InVesalius®. Porém, em ambos os programas é possível obter os modelos de forma eficaz de maneira gratuita.

REFERÊNCIAS

1. Panda A, Kumar A, Gamanagatti S, Mishra B. Virtopsy Computed Tomography in Trauma: Normal Postmortem Changes and Pathologic Spectrum of Findings. *Current Problems in Diagnostic Radiology*. setembro de 2015;44(5):391–406. 10.1067/j.cpradiol.2015.03.005
2. Xi T, Schreurs R, Heerink WJ, Bergé SJ, Maal TJJ. A Novel Region-Growing Based Semi-Automatic Segmentation Protocol for Three-Dimensional Condylar Reconstruction Using Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Glogauer M, organizador. *PLoS ONE*. 17 de novembro de 2014;9(11):e111126. 10.1371/journal.pone.0111126
3. Peyneau PD, Dezem TU. ESTIMATIVA DE IDADE POR MEIO DO VOLUME DAS CÂMARAS PULPARES EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO – REVISÃO DE LITERATURA. *RBOL* [Internet]. 14 de maio de 2020 [citado 3 de maio de 2021];7(1). Disponível em: <https://portalabol.com.br/rbol/index.php/RBOL/article/view/29810.21117/rbol-v7n12020-298>
4. Selim HF, Silva AS, Silva ACB, Rodrigues ÍF, Junior RRA, Peyneau PD. DETERMINAÇÃO DO SEXO POR MEIO DE MEDIDAS DENTAIS EM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE FEIXE CÔNICO. *RBOL* [Internet]. 14 de maio de 2020 [citado 3 de maio de 2021];7(1). Disponível em: <https://portalabol.com.br/rbol/index.php/RBOL/article/view/29910.21117/rbol-v7n12020-299>
5. Carvalho SPM, Silva RHA da, Lopes-Júnior C, Peres AS. A utilização de imagens na identificação humana em odontologia legal. *Radiologia Brasileira* [Internet]. abril de 2009 [citado 3 de maio de 2021];42(2):125–30. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-39842009000200012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt10.1590/S0100-39842009000200012
6. Gan Y, Xia Z, Xiong J, Zhao Q, Hu Y, Zhang J. Toward accurate tooth segmentation from computed tomography images using a hybrid level set model. *Med Phys*. janeiro de 2015;42(1):14–27. 10.1118/1.4901521

7. Dhont K, Bernaerts A, Vanhoenacker C, Vanhoenacker FM, De Foer B. Imaging Anatomy of the Jaw and Dentition with Cone Beam Computed Tomography. *Semin Musculoskelet Radiol* [Internet]. outubro de 2020 [citado 2 de julho de 2023];24(05):488–98. Disponível em: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0040-1701494>
8. Maret D, Telmon N, Peters OA, Lepage B, Treil J, Inglessè JM, et al. Effect of voxel size on the accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. *Dentomaxillofacial Radiology* [Internet]. dezembro de 2012 [citado 2 de julho de 2023];41(8):649–55. Disponível em: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr/81804525>
9. Pei Y, Ai X, Zha H, Xu T, Ma G. 3D exemplar-based random walks for tooth segmentation from cone-beam computed tomography images: Exemplar-based random walks for tooth segmentation. *Med Phys* [Internet]. 10 de agosto de 2016 [citado 29 de abril de 2021];43(9):5040–50. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1118/1.4960364>
10. Xia Z, Gan Y, Xiong J, Zhao Q, Chen J. Crown Segmentation From Computed Tomography Images With Metal Artifacts. *IEEE Signal Process Lett* [Internet]. maio de 2016 [citado 1º de maio de 2021];23(5):678–82. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7439801>
11. Yang W fa, Su Y xiong. Artificial intelligence-enabled automatic segmentation of skull CT facilitates computer-assisted craniomaxillofacial surgery. *Oral Oncology* [Internet]. julho de 2021 [citado 8 de fevereiro de 2022];118:105360. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1368837521001834>
12. Walter C, Schmidt JC, Rinne CA, Mendes S, Dula K, Sculean A. Cone beam computed tomography (CBCT) for diagnosis and treatment planning in periodontology: systematic review update. *Clin Oral Invest* [Internet]. setembro de 2020 [citado 5 de janeiro de 2023];24(9):2943–58. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s00784-020-03326-0>
13. Lim KH, Loo ZY, Goldie SJ, Adams JW, McMenamin PG. Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anat Sci Educ*. 2016;9(3):213–21. 10.1002/ase.1573
14. Unkovskiy A, Spintzyk S, Brom J, Huettig F, Keutel C. Direct 3D printing of silicone facial prostheses: A preliminary experience in digital workflow. *J Prosthet Dent* [Internet]. fevereiro de 2018; Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29429837>

15. Lloréns R, Naranjo V, López F, Alcañiz M. Jaw tissues segmentation in dental 3D CT images using fuzzy-connectedness and morphological processing. *Comput Methods Programs Biomed.* novembro de 2012;108(2):832–43. 10.1016/j.cmpb.2012.05.014
16. Gan Y, Xia Z, Xiong J, Li G, Zhao Q. Tooth and Alveolar Bone Segmentation From Dental Computed Tomography Images. *IEEE J Biomed Health Inform.* janeiro de 2018;22(1):196–204. 10.1109/JBHI.2017.2709406
17. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage.* 1º de julho de 2006;31(3):1116–28. 10.1016/j.neuroimage.2006.01.015
18. Beaini TL, Duailibi-Neto EF, Chilvarquer I, Melani RF. Human identification through frontal sinus 3D superimposition: Pilot study with Cone Beam Computer Tomography. *J Forensic Leg Med.* 2015;36:63–9. 10.1016/j.jflm.2015.09.003
19. Luiz Ferreira Costa A, Clarissa LY, Ana CRNS. Utilização de softwares livres para visualização e análise de imagens 3D na Odontologia. *Revista da Associacao Paulista de Cirurgioes Dentistas [Internet].* 2016;70 nº2. Disponível em: http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?pid=S0004-52762016000200009&script=sci_arttext&tlng=pt
20. Bolliger SA, Thali MJ. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015;370(1674). 10.1098/rstb.2014.0253
21. Thali MJ, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross SG, Dirnhofer R. VIRTOPSY - the Swiss virtual autopsy approach. *Leg Med (Tokyo).* 2007;9(2):100–4. 10.1016/j.legalmed.2006.11.011
22. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* novembro de 2012;30(9):1323–41. 10.1016/j.mri.2012.05.001
23. Preda F, Morgan N, Van Gerven A, Nogueira-Reis F, Smolders A, Wang X, et al. Deep convolutional neural network-based automated segmentation of the maxillofacial complex from cone-beam computed tomography: A validation study. *Journal of Dentistry [Internet].* setembro de 2022 [citado 4 de julho de 2023];124:104238. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030057122200294910.1016/j.jdent.2022.104238>
24. Barrett JF, Keat N. Artifacts in CT: Recognition and Avoidance. *RadioGraphics [Internet].* novembro de 2004 [citado 16 de maio de 2023];24(6):1679–91. Disponível em: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.24604506510.1148/rg.246045065>

25. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. março de 1977;33(1):159–74.
26. Kamburoglu K, Murat S, Kolsuz E, Kurt H, Yüksel S, Paksoy C. Comparative assessment of subjective image quality of cross-sectional cone-beam computed tomography scans. *J Oral Sci* [Internet]. 2011 [citado 11 de junho de 2023];53(4):501–8. Disponível em: http://www.jstage.jst.go.jp/article/josnugd/53/4/53_4_501/_article10.2334/josnugd.53.501
27. Lofthag-Hansen S, Thilander-Klang A, Gröndahl K. Evaluation of subjective image quality in relation to diagnostic task for cone beam computed tomography with different fields of view. *European Journal of Radiology* [Internet]. novembro de 2011 [citado 11 de junho de 2023];80(2):483–8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0720048X1000475410.1016/j.ejrad.2010.09.018>
28. Algerban A, Jacobs R, Fieuws S, Nackaerts O, Willems G. Comparison of 6 cone-beam computed tomography systems for image quality and detection of simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. setembro de 2011 [citado 11 de junho de 2023];140(3):e129–39. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S088954061100522110.1016/j.ajodo.2011.03.021>
29. Attaran M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons* [Internet]. setembro de 2017 [citado 11 de junho de 2023];60(5):677–88. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000768131730089710.1016/j.bushor.2017.05.011>
30. Liu Y feng, Xu L wei, Zhu H yong, Liu SSY. Technical procedures for template-guided surgery for mandibular reconstruction based on digital design and manufacturing. *BioMed Eng OnLine* [Internet]. 2014 [citado 11 de junho de 2023];13(1):63. Disponível em: <http://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-13-6310.1186/1475-925X-13-63>