

FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
DOUTORADO EM CIRURGIA E TRAUMATOLOGIA BUCOMAXILOFACIAL

JONATHAS DANIEL PAGGI CLAUS

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CONDILARES APÓS CIRURGIA ORTOGNÁTICA  
ATRAVÉS DE SUPERPOSIÇÃO REGIONAL COM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA**

Porto Alegre  
2018

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul

JONATHAS DANIEL PAGGI CLAUS

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CONDILARES APÓS CIRURGIA ORTOGNÁTICA ATRAVÉS DE  
SUPERPOSIÇÃO REGIONAL COM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA**

Tese apresentada como parte dos requisitos obrigatórios para a obtenção do título de Doutor em Odontologia, área de concentração em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Linha de Pesquisa: Diagnóstico e terapêuticas aplicadas

Orientador: Prof. Dr Rogério Belle de Oliveira

Porto Alegre - 2018



## DEDICATÓRIA

---

Dedico este trabalho:

Ao centro de todo Universo que é minha família: minha esposa Marianna, meu filho Henrique e minha filha Martina. Vocês são a razão do meu esforço, vocês são a razão deste trabalho, vocês são todas as razões...

Aos meus amigos do peito e de sangue: meu Pai Neldo, meus irmãos Christiano e Douglas.

Ao anjo que ainda me cuida, minha mãe Dalva. Parafraseando um de seus cantores favoritos: *“Eu tenho esquecido de mim, mas dela eu nunca me esqueço”*.



## AGRADECIMENTOS

---

Ao Prof. Dr. Rogério Belle de Oliveira, por atuar como expoente Pesquisador que me motivou buscar a pós-graduação da PUC-RS. Pela maneira clara, objetiva e efetiva em viabilizar as etapas da realização desse trabalho. Será sempre uma honra pronunciar que fui seu orientado, um exemplo de Cirurgião com valores morais e éticos, sempre na busca do aprimoramento científico.

À Faculdade de Odontologia da PUCRS, em nome de todos os Professores da Pós-Graduação, todos os meus colegas desde as turmas de Mestrado e Doutorado, todos os funcionários em especial da Secretaria de Pós-Graduação. Obrigado por todos os momentos, por todos ensinamentos, por todos os favores e convivência neste período que permitiu a realização deste trabalho.

Ao colega e amigo Leonardo Koerich que brilhantemente ajudou na construção da metodologia desta pesquisa. Começou com um bate papo, que evoluiu para um almoço, que acabou gerando horas e horas de conferências online, até o teste piloto final.

A todos os colegas que ajudaram de forma direta e indireta, desde ideias e soluções para lidar com tantos softwares até ajuda na aquisição dos dados e metodologia. Em especial destaque: Matheus Spinella, Andre Weissheimer, Bruno Frazão Gribel, Adriana Alkmim e José Ricardo Pereira Martins.

Aos Professores de profissão e da vida que sempre nortearam minhas atitudes, em especial: Christiano Claus, José Nazareno Gil, Ricardo Lopes Cruz, Humberto Cherem, Marco Aurélio Bianchini.

A Deus, pela família e amigos que me presenteou.



## SUMÁRIO

---

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>06</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>08</b>
<b>3. DISCUSSÃO GERAL</b>	<b>09</b>
<b>4. ARTIGO 01 – SUPERPOSIÇÃO PELA BASE DO CRÂNIO</b>	<b>11</b>
<b>5. ARTIGO 02 – SUPERPOSIÇÃO REGIONAL</b>	<b>15</b>
<b>6. ARTIGO 03 – SUPERPOSIÇÃO REGIONAL DO CÔNDILO</b>	
<b>6.1. ABSTRACT</b>	<b>24</b>
<b>6.2. RESUMO</b>	<b>25</b>
<b>6.3. INTRODUÇÃO</b>	<b>26</b>
<b>6.4. METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
<b>6.5. RESULTADOS</b>	<b>30</b>
<b>6.6. DISCUSSÃO</b>	<b>32</b>
<b>6.7. REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>
<b>6.8. ANEXOS</b>	<b>38</b>

No passado, a principal ferramenta para avaliação dos resultados de tratamentos ortodônticos e cirúrgicos era a superposição de radiografias cefalométricas. Através da sobreposição da base do crânio, pela coincidência de traçados, os profissionais tomavam as conclusões a respeito das terapias empregadas nos pacientes. A superposição de traçados apresenta uma série de limitações, especialmente relacionadas à utilização de uma imagem radiográfica bidimensional tomadas de um objeto tridimensional, a face.

Recentemente, a tomografia computadorizada do feixe cônico (TCFC) tornou-se uma ferramenta de diagnóstico muito popular, com várias aplicações em Odontologia. Uma delas é a superposição tomográfica, que se tornou a técnica padrão para a avaliação dos resultados do tratamento.

Existem três tipos básicos de superposição tomográfica: baseado em pontos anatômicos, baseado em superfícies e baseado em voxels. As primeiras publicações avaliando o resultado de cirurgias ortognática foram utilizando o método através da superposição de pontos anatômicos. Cevidanés *et al.* em 2005 foram os primeiros a introduzir um método de superposição baseado em voxels. Os autores usaram a base craniana como referência para sobrepor dois ou mais exames obtidos em pacientes adultos.

A superposição por voxels é o método mais eficiente pois compara as estruturas de referência não-modificáveis de dados volumétricos (voxel por voxel), não depende da identificação dos pontos anatômicos e não tem a limitação dos erros durante o processo de segmentação.

O método de superposição por voxels da base do crânio é a referência para a maioria das publicações que avaliam o resultado após cirurgias ortognáticas. Trata-se de um excelente método para compreender as mudanças na maxila e na mandíbula em relação à base craniana, especialmente no sentido das mudanças estéticas na face.

Atualmente discute-se muito o impacto da cirurgia ortognática nos tecidos da articulação têmporo-mandibular (ATM), especialmente as alterações nos côndilos mandibulares. Utilizando a

superposição pela base do crânio é possível avaliar as mudanças na posição dos côndilos, pré e pós tratamento, limitando-se apenas no resultado no sentido de movimentação, torque e angulação.

Entretanto, a avaliação das alterações morfológicas do côndilo pode ser limitada caso o método seja pela superposição da base do crânio. Avaliar as alterações de forma só é possível quando dois objetos são superpostos na mesma posição. Na maioria dos casos de cirurgia ortognática há uma mudança na oclusão, juntamente com uma mudança da posição do segmento condilar. Dessa forma, a superposição pela base do crânio gera a superposição de côndilos em diferentes posições, portanto perde-se a capacidade de comparar a morfologia.

Uma alternativa para esta limitação é a superposição regional. O objetivo desta pesquisa é validar um método e avaliar as alterações morfológicas dos côndilos mandibulares em pacientes submetidos à cirurgia ortognática bimaxilares, utilizando a superposição de TCFC, através da sobreposição isolada do segmento condilar.



## OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GERAL

- Validar um método de superposição regional para sobreposição de tomografias de face;
- Avaliar as alterações morfológicas do côndilo mandibular após a realização de cirurgia ortognática bimaxilar.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar a maxila e a mandíbula como opções para superposição de estruturas fixas como alternativa ao uso da base do crânio (método tradicional de referência para superposição);
- Apresentar uma metodologia que permita a sobreposição mandibular, pós cirurgias ortognáticas, utilizando o segmento proximal da mandíbula, referente ao ramo e côndilo mandibular, como referência fixa.



Cevidanes *et al.* em 2005 foram os primeiros a introduzir um método de superposição baseado em voxels. Os autores usaram a base craniana como referência para sobrepor dois ou mais exames obtidos em pacientes adultos. A superposição por voxels é o método mais eficiente pois compara as estruturas de referência não-modificáveis de dados volumétricos (voxel por voxel), não depende da identificação dos pontos anatômicos e não tem a limitação dos erros durante o processo de segmentação.

O método baseado na superposição de pontos de referência foi relatado por McCance *et al.* em 1992. Eles usaram cinco referências para sobrepor tomografias antes e depois cirurgia ortognática. Este método não é mais utilizado, provavelmente devido à falta de consistência na seleção manual dos pontos de referência.

O método baseado na superposição de superfície é uma alternativa, esta técnica tem sido relatada como sendo altamente bem sucedida no estudo de Almukhtar *et al.*, que comparou a sobreposição da base do crânio utilizando os métodos de superposição de superfície e de voxels e não encontrou diferença estatisticamente significativa entre os métodos.

Apesar dos resultados semelhantes encontrados por Almukhtar *et al.*, existem duas principais vantagens do método baseado em voxels. Primeiro, não há necessidade de criar um modelo de superfície, que exige tempo e um arquivo extra, provavelmente exigindo o uso de diferentes softwares. Em segundo lugar, o método baseado em voxels permite avaliação fácil das superfícies internas, uma vez que as estruturas sobrepostas podem ser vistas nos cortes multiplanares (axial, sagital e coronal). Na técnica de superfície apenas as superfícies externas podem ser avaliadas uma vez que a reconstrução multiplanar não é sobreposta.

O uso da maxila ou da mandíbula como referência para a sobreposição em vez da base do crânio foi introduzido recentemente e é conhecido como superposição regional. A superposição regional tem a vantagem de diminuir a dose de radiação necessária por utilizar um FOV menor, sem a necessidade de incluir toda a base do crânio durante a tomada tomográfica. Este Koerich *et al.* descreveram este método permitindo a aplicação para diversas outras finalidades como avaliação de

enxertos, precisão do posicionamento de implantes, reabsorção alveolar, entre outras. Além disso, os autores citaram que, dentre as metodologias conhecidas, a superposição regional seria a técnica ideal para avaliação dos processos de reabsorção e hiperplasia condilar, onde a sobreposição regional da mandíbula torna-se uma necessidade.



## ARTIGO 01 – SUPERPOSIÇÃO BASE DO CRÂNIO

---

### **Soft Tissue Evaluation After Bimaxillary Orthognathic Surgery with 3D Cone Beam Computed Tomography Superimposition: Preliminary results**

Facial soft tissues may change after skeletal movements in orthognathic surgery. The proportion between hard and soft tissues changes was constantly discussed, especially in two-dimensional analysis of the facial profile with lateral cephalograms superimposition. Recently, with the introduction of the cone beam computed tomography (CBCT), a new era of three-dimensional (3D) analysis has arised. However, these studies are frequently associated with a variety of different software's which demands several file format conversions and computers with high processing capacity.

The purpose of this study was to evaluate and compare the differences and correlation between hard and soft tissues after skeletal movements in skeletal Class III subjects who underwent double-jaw surgery. Preoperative (T0) and 6-months postoperative (T1) DICOM images of Cone Beam CT (CBCT) scans were superimposed using Ondemand3D (CyberMed, Seoul, Korea) and after assessed three dimensionally using Dolphin3D (Dolphin Imaging &Management Solutions, Chatsworth, Calif). These were CBCTs of a sample of 10 non-consecutive skeletal Class III subjects. Skeletal movements were recorded at Point A and Point B. Eight soft tissue points in the median sagittal plane and others 38 soft tissue points in parasagittal planes in the middle and lower thirds of the face were evaluated. Significance of differences between the time intervals and significance of correlation existing between these points were assessed.

Proportions between hard and-soft tissues in the median sagittal plane were similar to those reported in twodimensional studies. This ratio decreased to points further from the midline. Correlation between hard and soft tissues in the mandible was greater than in the maxilla. Similarly, correlations only between soft tissues, an aspect that has rarely been discussed in published articles, presented a greater correlation in the mandible. Results were similar to those found in studies on single-jawsurgery for both the maxilla and the mandible. The absence of the need to convert file

formats between different computer programs allows surgeons to use the analysis presented to evaluate their cases in their clinical routine using userfriendly programs.

Further research will benefit from the constant technological developments in computed tomography scans and computer programs, especially in the field of facial evaluation after orthognathic surgery.

#### References:

1. Lee JY, Kim YI, Hwang DS, Park SB. Effect of setback Le Fort I osteotomy on midfacial soft- tissue changes as evaluated by cone-beam computed tomography superimposition for cases of skeletal Class III malocclusion. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42:790, 2013
2. Kim BR, Oh KM, Cevitanes LHS, Park JE, Sim HS, Seo SK, et al. Analysis of 3D Soft Tissue Changes After 1- and 2-Jaw Orthognathic Surgery in Mandibular Prognathism Patients. *J Oral Maxillofac Surg* 18:151, 2012

***Soft Tissue Evaluation After Bimaxillary Orthognathic Surgery with 3D Cone Beam Computed Tomography  
Superimposition: Preliminary results***

J. D. P. Claus: Pontifícia Universidade Católica PUC/RS,  
R. B. Oliveira, O. E. Becker, A. Weissheimer, M. F. Melo,  
O. L. Haas Jr., N. Scloari

Facial soft tissues may change after skeletal movements in orthognathic surgery. The proportion between hard and soft tissues changes was constantly discussed, especially in two-dimensional analysis of the facial profile with lateral cephalograms superimposition. Recently, with the introduction of the cone beam computed tomography (CBCT), a new era of three-dimensional (3D) analysis has arised. However, these studies are frequently associated with a variety of different software's which demands several file format conversions and computers with high processing capacity.

The purpose of this study was to evaluate and compare the differences and correlation between hard and soft tissues after skeletal movements in skeletal Class III subjects who underwent double-jaw surgery. Preoperative (T0) and 6-months postoperative (T1) DICOM images of Cone Beam CT (CBCT) scans were superimposed using Ondemand3D (CyberMed, Seoul, Korea) and after assessed three dimensionally using Dolphin3D (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, Calif). These were CBCTs of a sample of 10 non-consecutive skeletal Class III subjects. Skeletal movements were recorded at

Point A and Point B. Eight soft tissue points in the median sagittal plane and others 38 soft tissue points in parasagittal planes in the middle and lower thirds of the face were evaluated. Significance of differences between the time intervals and significance of correlation existing between these points were assessed.

Proportions between hard and-soft tissues in the median sagittal plane were similar to those reported in two-dimensional studies. This ratio decreased to points further from the midline. Correlation between hard and soft tissues in the mandible was greater than in the maxilla. Similarly, correlations only between soft tissues, an aspect that has rarely been discussed in published articles, presented a greater correlation in the mandible. Results were similar to those found in studies on single-jaw surgery for both the maxilla and the mandible. The absence of the need to convert file formats between different computer programs allows surgeons to use the analysis presented to evaluate their cases in their clinical routine using user-friendly programs.

Further research will benefit from the constant technological developments in computed tomography scans and computer programs, especially in the field of facial evaluation after orthognathic surgery.

#### References:

1. Lee JY, Kim YI, Hwang DS, Park SB. Effect of setback Le Fort I osteotomy on midfacial soft-tissue changes as evaluated by cone-beam computed tomography superimposition for cases of skeletal Class III malocclusion. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42:790, 2013
2. Kim BR, Oh KM, Cevitanes LHS, Park JE, Sim HS, Seo SK, et al. Analysis of 3D Soft Tissue Changes After 1- and 2-Jaw Orthognathic Surgery in Mandibular Prognathism Patients. *J Oral Maxillofac Surg* 18:151, 2012



## ARTIGO 02 – SUPERPOSIÇÃO REGIONAL

---

### THREE-DIMENSIONAL MAXILLARY AND MANDIBULAR REGIONAL SUPERIMPOSITION USING CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY: A VALIDATION STUDY

This study aimed to validate a novel method for fast regional superimposition of cone beam computed tomography (CBCT) scans. The method can be used with smaller field of view scans, thereby allowing for a lower radiation dose. This retrospective study used two dry skulls and secondary data from 15 patients who had more than one scan taken using the same machine. Two observers tested two types of regional voxel-based superimposition: maxillary and mandibular. The registration took 10–15 s. Three-dimensional surface models of the maxillas and mandibles were generated via standardized threshold segmentation, and the accuracy and reproducibility of the superimpositions were assessed using the iterative closest point technique to measure the root mean square (RMS) distance between the images. Five areas were measured and a  $RMS \leq 0.25$  was considered successful. Descriptive statistics and the intra-class correlation coefficient (ICC) were used to compare the intra-observer measurement reproducibility. The ICC was  $\geq 0.980$  for all of the variables and the highest RMS found was 0.241. The inter-observer reproducibility was assessed case by case and was perfect (RMS 0) for 68% (23 out of 34) of the superimpositions done and not clinically significant ( $RMS \leq 0.25$ ) for the other 32%. The method is fast, accurate, and reproducible and is an alternative to cranial base superimposition.

Research Paper  
Imaging

# Three-dimensional maxillary and mandibular regional superimposition using cone beam computed tomography: a validation study

L. Koerich<sup>1</sup>, D. Burns<sup>2</sup>,  
A. Weissheimer<sup>3</sup>, J. D. P. Claus<sup>4</sup>

<sup>1</sup>International Dental Program, Virginia Commonwealth University, Virginia, USA;

<sup>2</sup>Department of Prosthodontics, Virginia Commonwealth University, Virginia, USA;

<sup>3</sup>Department of Orthodontics, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil;

<sup>4</sup>Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil

L. Koerich, D. Burns, A. Weissheimer, J. D. P. Claus: Three-dimensional maxillary and mandibular regional superimposition using cone beam computed tomography: a validation study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2016; 45: 662–669. © 2015 International Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Abstract.** This study aimed to validate a novel method for fast regional superimposition of cone beam computed tomography (CBCT) scans. The method can be used with smaller field of view scans, thereby allowing for a lower radiation dose. This retrospective study used two dry skulls and secondary data from 15 patients who had more than one scan taken using the same machine. Two observers tested two types of regional voxel-based superimposition: maxillary and mandibular. The registration took 10–15 s. Three-dimensional surface models of the maxillas and mandibles were generated via standardized threshold segmentation, and the accuracy and reproducibility of the superimpositions were assessed using the iterative closest point technique to measure the root mean square (RMS) distance between the images. Five areas were measured and a  $\text{RMS} \leq 0.25$  was considered successful. Descriptive statistics and the intra-class correlation coefficient (ICC) were used to compare the intra-observer measurement reproducibility. The ICC was  $\geq 0.980$  for all of the variables and the highest RMS found was 0.241. The inter-observer reproducibility was assessed case by case and was perfect ( $\text{RMS} = 0$ ) for 68% (23 out of 34) of the superimpositions done and not clinically significant ( $\text{RMS} \leq 0.25$ ) for the other 32%. The method is fast, accurate, and reproducible and is an alternative to cranial base superimposition.

**Keywords:** cone-beam CT; three-dimensional image; 3D image registration; CBCT superimposition; 3D image fusion.

Accepted for publication 8 December 2015  
Available online 12 January 2016

Cone beam computed tomography (CBCT) has become a very popular diagnostic tool, with several applications in dentistry. One of these is the superimposition of CBCT

scans, which has become the state-of-the-art technique for the assessment of treatment outcome, for which CBCT is indicated. It allows clinicians and researchers to better

understand the treatment outcomes and improve techniques.

In medical imaging, the process of spatially superimposing three-dimensional



(3D) images is called image superimposition, image registration, or fusion.<sup>1</sup> There are three basic types of superimposition that clinicians need to know: (1) point-landmark-based, (2) surface-based, and (3) voxel-based.<sup>2</sup> The latter and most efficient method compares non-changing reference structures in volumetric data voxel by voxel, does not depend on landmark identification as in the point-landmark-based method, and is not limited by segmentation errors as in surface-based methods.

In orthodontics and oral and maxillofacial surgery, the superimposition of CBCT scans with a large field of view (FOV) has been used to assess orthopedic and surgical outcomes.<sup>3–5</sup> Cevidane et al. were the first to introduce a voxel-based method for the superimposition of CBCT scans into dentistry; they used the cranial base as the reference to superimpose two or more CBCT scans obtained from non-growing patients.<sup>3</sup> Despite its excellent research application, this method involves the use of different software programs and is time-consuming. Nada et al., using a different software program, tested voxel-based superimposition using either the anterior cranial base or the left zygomatic arch as the reference in non-growing patients.<sup>6</sup> The FOV of the CBCT and the radiation exposure could be reduced slightly with the zygomatic arch superimposition. Despite the good results using each structure as the reference, the method used for each superimposition was also time-consuming (30–40 min).

Most of the studies mentioned above were performed to understand changes in the maxilla and/or the mandible in relation to the cranial base in large FOV scans. There are two problems with this technique: (1) a large FOV is needed to appreciate localized changes in the maxilla and (2) even with a large FOV, the changes in the mandible are not assessed accurately because the mandible can have a different position in each scan. The issue is that a large FOV exposes the patient to a higher radiation dose compared to the use of a medium or small FOV.<sup>7</sup> Therefore, a different method that allows fast, reliable, and accurate 3D regional superimposition of CBCT scans with smaller FOVs and a lower radiation dose is needed.

As stated previously, the voxel-based technique is not new, however superimposition using the maxilla and the mandible as the reference is. Therefore, the aim of this study was to test the accuracy and the reproducibility of a regional superimposition method for the maxilla and mandible in non-growing patients using CBCT.

## Materials and methods

### Subjects and CBCT scan

The study was approved by the necessary ethics committee. The sample for this retrospective study comprised the CBCT files for two dry skulls obtained from the Oral Diagnostic Science Department of Virginia Commonwealth University and secondary data from 15 patients who had undergone either surgical treatment (coronectomy of wisdom teeth and bone grafts) and/or orthodontic treatment at a private practice. The CBCT scans were taken between April 2009 and March 2015 and the patients ranged in age from 27 to 65 years. All of the patients had either full dentitions or were partially edentulous. Inclusion criteria for the human subjects were (1) non-growing patient, with (2) two CBCT scans (T1 and T2) taken using the same machine and with the same voxel size (0.25 mm). Exclusion criteria were (1) same patient with CBCT scans from different machines, (2) CBCT scans with a different voxel size between T1 and T2.

The dry skulls images were acquired with a Kodak Carestream 9300 (Carestream Health Inc., Rochester, NY, USA) and 13.5 × 17 cm FOV, scan time of 11.3 s, set at 85 kVp, 4 mA, and 0.3-mm voxel size. Two images of each dry skull were taken, modifying its position between

T1 and T2. These images were used as a gold standard since there was no bony change between T1 and T2. The patient images were acquired with an i-CAT scanner (Imaging Sciences International LLC, Hatfield, PA, USA) and 16 × 13 cm FOV, scan time of 27 s, set at 120 kVp, 8 mA, and isotropic 0.25-mm voxel size. The DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) files were imported into OnDemand 3D v1.0.10.5261 (Cybermed Inc., Seoul, Korea). The T2 scan was taken between 4 and 24 months (average 12.3 months) after T1.

### 3D image processing

A summary of the method is given in Fig. 1. One observer cropped the CBCT files from T1 and T2 to simulate a 10 × 5 cm FOV scan, obtaining a significant amount of the maxillary and mandibular area. The crops were done as shown in Fig. 2; this resulted in a total of four images: T1 mandible, T1 maxilla, T2 mandible, and T2 maxilla. The software used allows the clinician to crop in any dimension, and the infero-superior crops are done precisely by selecting the number of slices that the user wants to keep. In the present study, 200 slices were used to simulate 5 cm of height (200 × 0.25 mm = 5 cm). The software

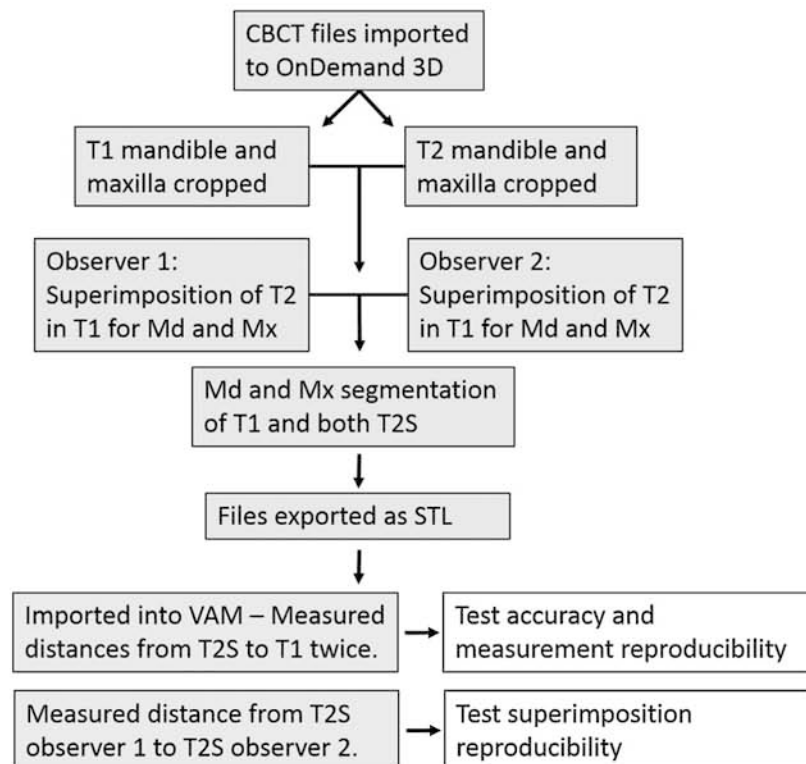


Fig. 1. Flowchart of the method. The blue boxes are steps done using OnDemand 3D and the green boxes are steps done using VAM (Md, mandible; Mx, maxilla; T2S, T2 superimposed).

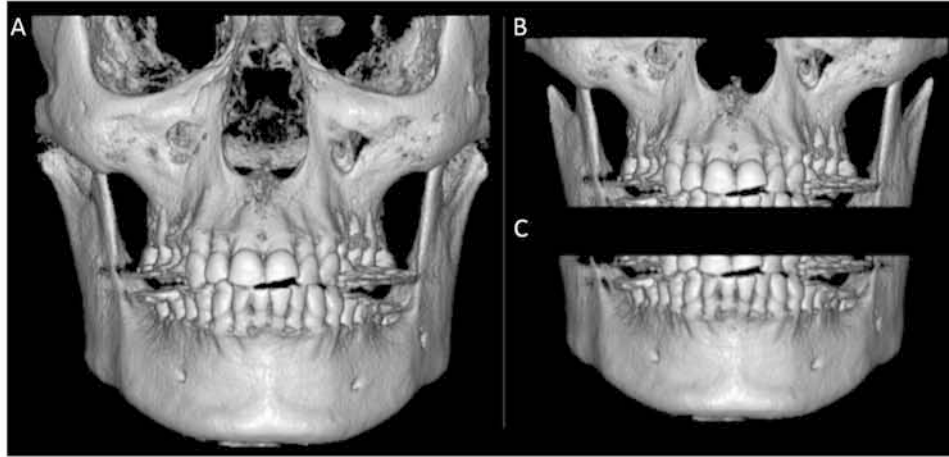


Fig. 2. (A) Full skull before crop. (B) Maxilla cropped, and (C) mandible cropped. Each image was cropped to simulate a 10 × 5 cm CBCT. The maxillary crop included the upper teeth, alveolar process, and part of the zygomatic bone, avoiding the inclusion of the zygomatic arch as a whole. The mandibular crop included the lower teeth, corpus, angle, and part of the ramus.

does not allow precise cropping in the anteroposterior dimension, therefore the CBCT scans were approximately 10 cm. The images were saved in the software database.

Two observers (L.K. and A.W.) attempted to perform the regional superimposition independently. For the mandibular superimposition, the cropped mandibular files from T1 and T2 were opened using the ‘fusion’ tab of the software. The fusion module allows the observer to manually move T2 as close as possible to the position of T1 and also allows the observer to do an automatic voxel-based superimposition.

The superimposition process took approximately 10–15 s. The software reads the voxels from the whole scan in T1 and tries to match them with a similar area in T2. Although the software had a tool to focus on the voxels of a specific region of interest, this was not needed in the present study. For the maxillary superimposition, the stable areas included in the crop were the zygomatic process of the maxilla and the palate. For the mandible, the stable areas were the symphysis, corpus, and part of the ramus.

After the superimposition had been done (Fig. 3), the T2 file in its new orientation was saved (T2 superimposed, T2S). One

observer (L.K.) was responsible for segmenting T1 and T2S mandibular files using the ‘3D picker’ tool inside the ‘3D’ module. All the segmentations were standardized at 381–382 grey levels and the segmented files were exported in STL format (Standard Tessellation Language) using the software parameters of 0.005 reduction error and a smooth of 1. The same steps were done for the maxillary cropped area.

One observer imported all six STL files (T1 maxilla and mandible and T2S maxilla and mandible for each observer) into VAM (Canfield Scientific, Fairfield, NJ, USA) and performed measurements with the iterative

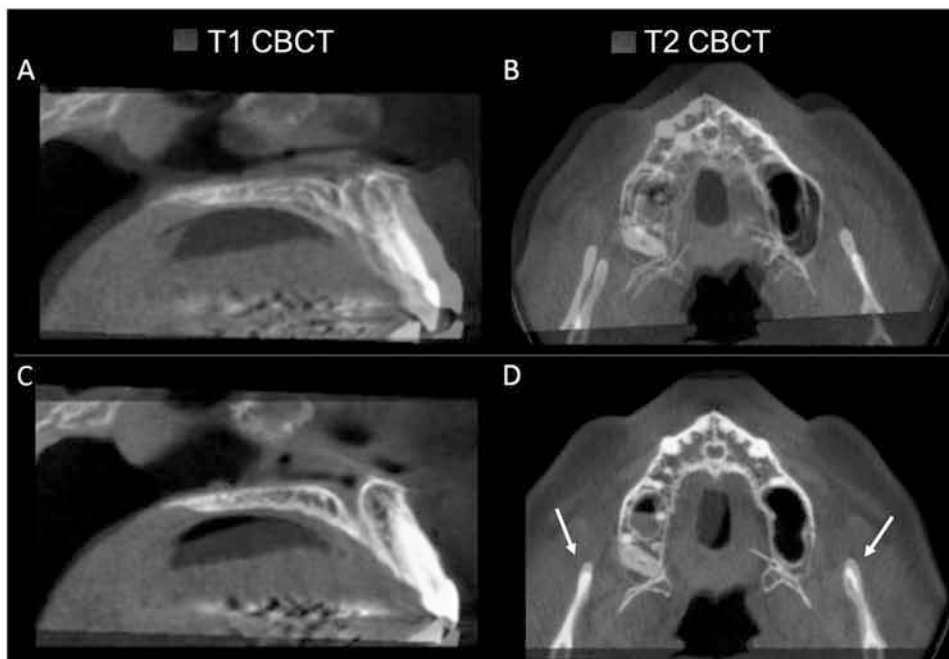


Fig. 3. (A) Sagittal and (B) axial views of the maxilla before superimposition, and the same (C) sagittal and (D) axial views after the maxillary superimposition. Note that in the maxillary area, the T1 and T2 images match, while in the mandible (white arrows), they do not.

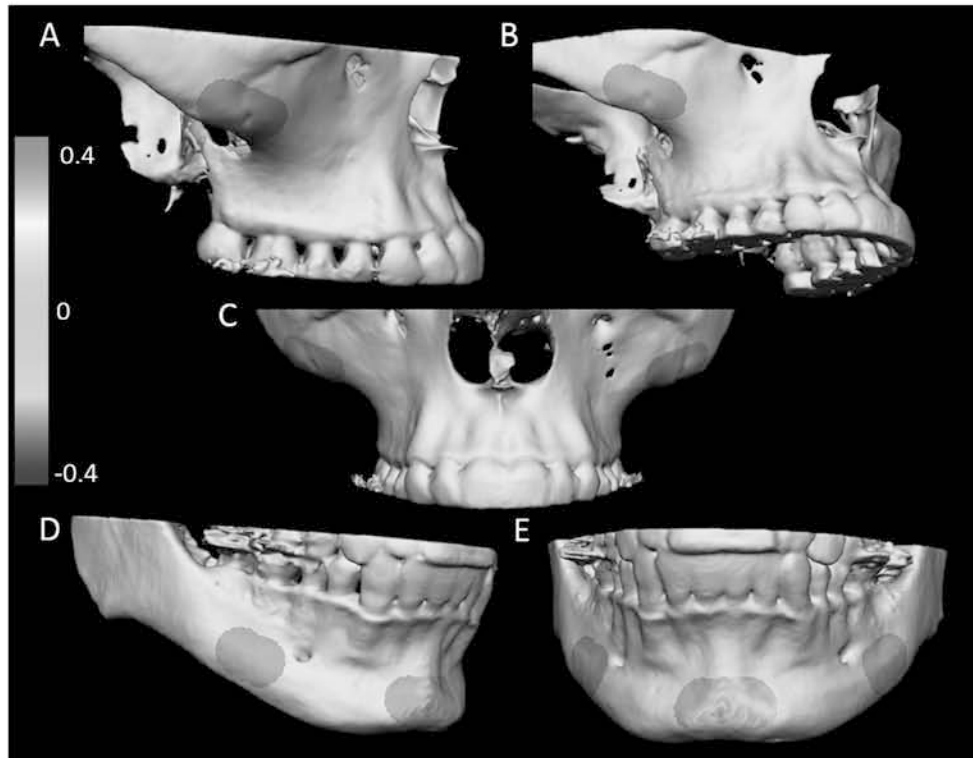


Fig. 4. Areas of interest measured and colour-coded map ranging from 0.4 to  $-0.4$  mm. (A) Lateral view of the maxilla; (B) latero-inferior view of the maxilla; (C) anterior view of the maxilla; (D) lateral view of the mandible; (E) anterior view of the mandible.

closest point (ICP) technique. The ICP measures the smallest distance between two surfaces, providing the root mean square (RMS). A RMS value smaller than 0.25 mm (the voxel size) and errors for living subjects comparable to those found with the dry skulls were required to prove that the superimposition method is accurate. The aim was to perform the measurements in stable areas not influenced by the alveolar changes. In the maxilla, measurements were made at the lower border of the zygomatic alveolar crest, anterior and posterior to the zygomatic maxillary suture (Fig. 4A–C). In the mandible, the measurements were made at the basal bone of the chin prominence and distal to the mental foramina on both sides (Fig. 4D, E).

To prove that the method is reproducible, the ICP was used to measure the distances between T2S of operator 1 and T2S of operator 2. The RMS value was obtained: the distance between the models should be smaller than 0.25, while 0 would be considered perfect. The measurements were repeated by the same operator after 10 days to ensure reproducibility. The results were exported to an excel spreadsheet.

#### Statistical analysis

The statistical analyses were done using IBM SPSS Statistics software version 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Descriptive statistics for the RMS were obtained separately for the dry skulls and the human subjects. Intra-examiner agreement for the measurements was assessed by means of the intra-class correlation coefficient (ICC) and descriptive statistics with mean differences and confidence intervals set at 95%, and included the living subjects and dry skulls. The values for inter-examiner reproducibility are reported individually.

#### Results

Table 1 shows the descriptive analysis of the cases. The highest RMS found for the dry skulls was 0.195 and the highest mean

RMS was 0.184. For the human subjects, the highest RMS was 0.241 and the highest mean was 0.105.

Table 2 shows the ICC and descriptive results. All the values for the ICC were higher than 98%, showing the excellent reproducibility of the measurements. The descriptive results confirmed the excellent reproducibility of the measurements, with all mean values smaller than  $-0.005 \pm -0.013$ .

Table 3 shows the case-by-case analysis of method reproducibility; RMS was compared between the two observers. The results for the two dry skulls were perfect for the mandible and maxilla (RMS = 0). For the human subjects, the result was

Table 1. Descriptive statistics for the dry skulls and human subjects.<sup>a</sup>

	Min	Max	Mean	SD
Dry skulls				
Mandible right	0.075	0.099	0.087	0.017
Chin	0.021	0.152	0.087	0.093
Mandible left	0.017	0.178	0.098	0.114
Maxilla right	0.176	0.192	0.184	0.011
Maxilla left	0.170	0.195	0.183	0.018
Human subjects				
Mandible right	0.040	0.241	0.105	0.070
Chin	0.031	0.154	0.100	0.044
Mandible left	0.042	0.176	0.087	0.041
Maxilla right	0.023	0.160	0.072	0.038
Maxilla left	0.045	0.160	0.092	0.040

Min, minimum; Max, maximum; SD, standard deviation.

<sup>a</sup>Numbers are the root mean square (RMS) in millimeters.

Table 2. Intra-class correlation coefficient (ICC) and Bland–Altman to test the reproducibility of the measurements.

	ICC	Bland–Altman	
		Mean $\pm$ SD	95% CI
Mandible right	0.994	$-0.003 \pm 0.011$	$-0.008$ to $0.003$
Chin	0.996	$0.001 \pm 0.006$	$-0.001$ to $0.004$
Mandible left	0.980	$-0.005 \pm 0.013$	$-0.012$ to $0.001$
Maxilla right	0.994	$-0.002 \pm 0.009$	$-0.006$ to $0.003$
Maxilla left	0.987	$0.002 \pm 0.011$	$-0.004$ to $0.008$

SD, standard deviation; CI, confidence interval.

Table 3. Case-by-case analysis showing the RMS difference in each area of interest between T2S by observer 1 and T2S by observer 2.

Case	Mandible right	Chin	Mandible left	Maxilla right	Maxilla left
DS1	0	0	0	0	0
DS2	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0.047	0.030
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0.007	0.014	0.008	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0.011	0.004
10	0	0	0	0.009	0.011
11	0	0	0	0.009	0.024
12	0.026	0.012	0.020	0	0
13	0.008	0.012	0.019	0	0
14	0.003	0.005	0.009	0.008	0.010
15	0.006	0.009	0.008	0.015	0.032

RMS, root mean square; T2S, T2 superimposed; DS, dry skull.

perfect for 67% (10 out of 15) of the mandibles and 60% (9/15) of the maxillas. Overall the result was perfect for 68% (23/34) of the superimpositions. For the cases in which the superimposition was not perfect, the highest RMS found was 0.026 in the mandible (case 12) and 0.047 in the maxilla (case 1).

## Discussion

This study proposes a voxel-based maxillary and mandibular superimposition. Choi and Mah introduced a fast cranial base superimposition method and presented three clinical cases.<sup>8</sup> Lee et al. validated the former methodology using a dry skull,<sup>9</sup> while Weissheimer et al. validated it for growing and non-growing patients.<sup>10</sup> The process was also fast (taking 10–15 s) and voxel-based. Other methods have been proposed for the superimposition of CBCT scans. The point–landmark-based method was reported by McCance et al. in 1992.<sup>11</sup> They used five landmarks to superimpose conventional CT scans before and after orthognathic surgery. This method is not used, probably because of the lack of

consistency in selecting the landmarks.<sup>12</sup> The surface-based method is an alternative to voxel-based methods; this method has been reported to be highly successful based on a study by Almkhatar et al., who compared voxel-based and surface-based superimpositions of the cranial base and found no statistically significant difference between the methods.<sup>13</sup>

Out of 19 identified longitudinal studies performed in the last 5 years that have tried to evaluate changes in the maxilla, mandible, or maxillary sinus, only three used a method of superimposition that could likely be reproducible.<sup>14–32</sup> Economopoulos et al. presented a superimposition method to quantify volume differences after bone augmentation; however, the authors did not specify the area used for superimposition.<sup>18</sup> Ahmad et al. used surface-based mandibular superimposition to evaluate mandibular alveolar resorption in edentulous patients.<sup>14</sup> Despite the innovative methodology, the authors did not show by either colour maps or statistical analysis that the method is accurate or reproducible. The study by Meloni et al. was the only one to use a validated method: a voxel-based

cranial base superimposition was used to evaluate changes in the maxilla after extraction and socket preservation.<sup>24</sup>

As well as reducing the FOV and significantly reducing the radiation dose to which the patient is exposed,<sup>7</sup> the technique presented here proved to be accurate in the superimposition of the maxilla and the mandible. The results obtained with living subjects (RMS  $\leq$  0.105) were similar to those obtained with the dry skulls (RMS  $\leq$  0.184). The ICC was excellent ( $\geq$  0.980) for all measured areas, ensuring the reproducibility of the measurements. In addition, it can be said that the method is reproducible because the RMS for 68% of the cases was 0. For the cases that were not perfect, the highest RMS was 0.047, which has no clinical relevance. Although the segmentation process was standardized with the selection of the same grey level interval, small differences in the segmentation could have resulted from different grey level intensity due to artifacts during the CBCT scan process, which could have had some influence on the accuracy of segmentation.<sup>33</sup> Thus, it is assumed that the error found in the present superimposition method is in part due to the small differences in segmentations and in part due to the superimposition process itself. Nevertheless, the method error has no clinical significance.

Despite the similar results found by Almkhatar et al. when comparing voxel-based and surface-based superimposition,<sup>13</sup> there are two main advantages of the voxel-based method that should be highlighted. First, there is no need to create a surface-based model, which demands time and one extra file, probably requiring the use of different software. Second, the voxel-based method allows easy assessment of the inner surfaces, since the superimposed structures can be viewed in the multiplanar slices (axial, sagittal and coronal). In the surface-based technique only the outer surfaces can be evaluated since the multiplanar reconstruction is not superimposed. Therefore, with surface models it is much more difficult to assess changes where the density of the bone is not similar (immediately after sinus lift, socket preservation, or bone grafts), because the segmentation process will be affected. Internal anatomical structures such as the mandibular canal, teeth roots, or small bone defects are difficult to differentiate with accuracy in order to segment and create virtual surface models for superimposition. Furthermore, this process is too time-consuming.

The highest mean RMS of 0.105 found in human subjects in the present study is



slightly smaller than the absolute means found in other studies. Nada et al., using a voxel size of 0.4 mm, found values as low as  $0.3 \pm 0.12$  mm for the cranial base superimposition and 0.17 mm for the left zygomatic arch registration.<sup>6</sup> Lee et al., using a voxel size of 0.2 mm and one dry skull with 24 different orientations, found a mean error of  $0.396 \pm 0.142$  mm for the cranial base superimposition.<sup>9</sup> In their study, titanium markers were used to facilitate landmark identification instead of colour maps. Weisheimer et al. did not provide a statistical analysis for their research, but showed a cranial base superimposition error of less than 0.5 mm through colour maps.<sup>10</sup> The voxel size in their study was 0.25 mm, the same as used in the present study. Almkhatar et al. did not specify the voxel size; they evaluated surface- and voxel-based superimposition of the cranial base and the results were  $0.047 \pm 0.259$  mm and  $0.050 \pm 0.206$  mm, respectively.<sup>13</sup> The result of the present study being slightly smaller than those of the other studies is probably because of the smaller voxel size or the rigorous segmentation process used in this study. Nevertheless, all of the studies, including that presented here, show a method error that has no clinical relevance; these methods can therefore be applied in future research.

As well as being very accurate and reproducible, the main advantages of the method presented here are the reduction in radiation to which the patient is exposed and the speed at which the superimposition

can be done. The main disadvantages are that this process does not work without cropping the maxilla or mandible and that the software is only available commercially and is not open-source, as used by Cevdanes et al.<sup>3</sup> Another aspect that is important to highlight is that the cropped images purposely included stable areas and not only the alveolar region. It is interesting to note that if the cranial base had been included in the scan, the regional superimposition would not have worked, even if the tool to select the voxels from a specific region of interest had been used. In this study, the structures were not measured as a whole piece because the patients had undergone procedures between time points (bone grafts, extractions, implant placement, root canal treatment, and others) and this could have affected the measurements. Measurements were taken from opposing areas to ensure that the superimposition was done correctly everywhere.

This study aimed to validate a method for 3D regional superimposition of CBCT scans of non-growing patients. It would be useful to develop the same idea with growing patients, especially to better understand mandibular and maxillary growth. Another idea is to test the method with different scans or voxel sizes between time points, because in the analysis of long-term data (10 years or more), with the fast pace at which technology advances, it is most likely that patient

CBCT scans will be taken with different and better machines.

The use of the maxilla or mandible as the reference for regional superimposition instead of the cranial base allows accurate 3D assessment while decreasing the radiation dose to the patient due to the smaller FOV. This superimposition method can be applied but is not limited to several clinical evaluations in implantology, such as bone grafting (Fig. 5), the accuracy of implant placement, sinus lift, and alveolar resorption. It could also be used to determine the absence of alveolar growth in the 'aesthetic zone' of the anterior region of the maxilla, helping the clinician to establish the best time to place the implant in young adults. Other methods to assess growth include hand-wrist X-rays, which may not be precise in providing such information,<sup>34</sup> and sequential cephalometric examinations, which have inherent issues such as the magnification and superimposition of structures that affect the tracing and diagnosis.<sup>35</sup> Other possible applications are the assessment of condylar resorption or hyperplastic growth, healing of endodontic lesions, and tooth movements in orthodontic surgical cases, or other situations for which CBCT is indicated.

Independent of the software used and the time taken to process the superimposition, voxel-based superimposition appears to represent the gold standard when the cranial base is used as the reference and will probably also

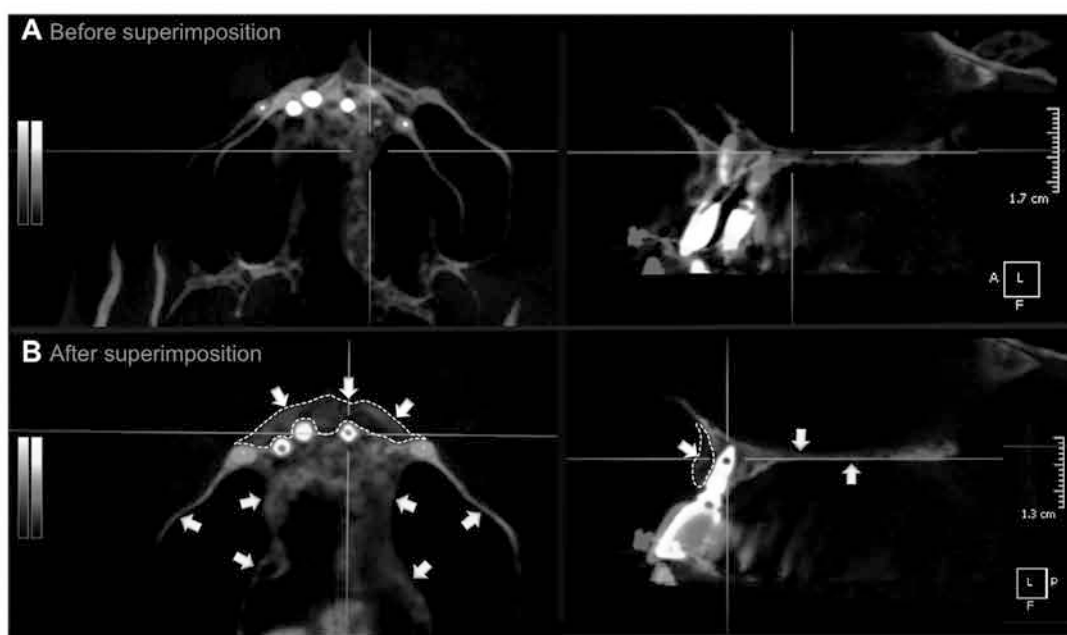


Fig. 5. (A) Axial and sagittal views of the CBCT scans before superimposition. (B) The same views after superimposition. The yellow arrows show matching of the grey and red borders of the T1 and T2 images. The white arrows indicate the areas where the superimposition does not match as a result of the patient having had implants and a bone graft placed in the area (dotted line).

represent the gold standard for regional superimposition in the future. This will help to standardize methods and make comparisons between different studies easier.

### Funding

This study was supported by the A. D. Williams Funds (award number UL1RR031990) from the National Center for Research Resources and NIH Roadmap for Medical Research, National Institutes of Health.

### Competing interests

None declared.

### Ethical approval

The work was approved by the Institutional Review Board of Virginia Commonwealth University (number HM20004882).

### Patient consent

Not required.

**Acknowledgements.** The authors would like to thank Dr. Laurie Carter for providing part of the data for this study, Dr. Al M. Best (PhD) for his help with the statistical analysis, Dr. John Gunsolley for the technological support, Dr. Diandra Santos Luz for the technical and writing assistance and Cybermed Inc. for providing the software for this research.

### References

- Li G, Xie H, Ning H, Capala J, Arora BC, Coleman CN, et al. A novel 3D volumetric voxel registration technique for volume-view-guided image registration of multiple imaging modalities. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;**63**:261–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2005.05.008>.
- Maes F, Collignon A, Vandermeulen D, Marchal G, Suetens P. Multimodality image registration by maximization of mutual information. *IEEE Trans Med Imaging* 1997;**16**:187–98. <http://dx.doi.org/10.1109/42.563664>.
- Cevidane L, Bailey LJ, Tucker Jr GR, Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;**34**:369–75. <http://dx.doi.org/10.1259/dmfr/17102411>.
- De Clerck H, Nguyen T, de Paula LK, Cevidane L. Three-dimensional assessment of mandibular and glenoid fossa changes after bone-anchored class III intermaxillary traction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;**142**:25–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jado.2012.01.017>.
- de Paula LK, Ruellas AC, Paniagua B, Styner M, Turvey T, Zhu H, et al. One-year assessment of surgical outcomes in class III patients using cone beam computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;**42**:780–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2013.01.002>.
- Nada RM, Maal TJ, Breuning KH, Berge SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Accuracy and reproducibility of voxel based superimposition of cone beam computed tomography models on the anterior cranial base and the zygomatic arches. *PLoS ONE* 2011;**6**:e16520. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0016520>.
- Bornstein MM, Scarfe WC, Vaughn VM, Jacobs R. Cone beam computed tomography in implant dentistry: a systematic review focusing on guidelines, indications, and radiation dose risks. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;**29**(Suppl):55–77. <http://dx.doi.org/10.11607/jomi.2014.uppl.g1.4>.
- Choi JH, Mah J. A new method for superimposition of CBCT volumes. *J Clin Orthod* 2010;**44**:303–12.
- Lee JH, Kim MJ, Kim SM, Kwon OH, Kim YK. The 3D CT superimposition method using image fusion based on the maximum mutual information algorithm for the assessment of oral and maxillofacial surgery treatment results. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012;**114**:167–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ortri.2011.06.003>.
- Weissheimer A, Menezes LM, Koerich L, Pham J, Cevidane LH. Fast three-dimensional superimposition of cone beam computed tomography for orthopaedics and orthognathic surgery evaluation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;**44**:1188–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2015.04.001>.
- McCance AM, Moss JP, Wright WR, Linney AD, James DR. A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1992;**30**:221–32.
- Kim YR, Park Y, Koerich de Paula L, Conley RS. 3D assessment of orthognathic surgery outcomes. In: Kapila S, editor. *Cone beam computed tomography in orthodontics: indications, insights and innovations*. Wiley-Blackwell; 2014. p. 463–84.
- Almukhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. *PLOS ONE* 2014;**9**:e93402. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0093402>.
- Ahmad R, Abu-Hassan MI, Li Q, Swain MV. Three dimensional quantification of mandibular bone remodeling using standard tessellation language registration based superimposition. *Clin Oral Implants Res* 2013;**24**:1273–9. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02566.x>.
- Baciu M, Hedesiu M, Bran S, Jacobs R, Nackaerts O, Baciu G. Pre- and postoperative assessment of sinus grafting procedures using cone-beam computed tomography compared with panoramic radiographs. *Clin Oral Implants Res* 2013;**24**:512–6. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02408.x>.
- Dellavia C, Speroni S, Pellegrini G, Gatto A, Maiorana C. A new method to evaluate volumetric changes in sinus augmentation procedure. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014;**16**:684–90. <http://dx.doi.org/10.1111/cid.12058>.
- Diez GF, Fontao FN, Bassi AP, Gama JC, Claudino M. Tomographic follow-up of bone regeneration after bone block harvesting from the mandibular ramus. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;**43**:335–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2013.08.010>.
- Economopoulos TL, Asvestas PA, Matsopoulos GK, Molnar B, Windisch P. Volumetric difference evaluation of registered three-dimensional pre-operative and post-operative CT dental data. *Dentomaxillofac Radiol* 2012;**41**:328–39. <http://dx.doi.org/10.1259/dmfr/94040044>.
- Hernandez-Alfaro F, Sancho-Puchades M, Guijarro-Martinez R. Total reconstruction of the atrophic maxilla with intraoral bone grafts and biomaterials: a prospective clinical study with cone beam computed tomography validation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;**28**:241–51. <http://dx.doi.org/10.11607/jomi.2405>.
- Jung RE, Benic GI, Scherrer D, Hammerle CH. Cone beam computed tomography evaluation of regenerated buccal bone 5 years after simultaneous implant placement and guided bone regeneration procedures—a randomized, controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2015;**26**:28–34. <http://dx.doi.org/10.1111/clr.12296>.
- Karaca C, Er N, Gulsahi A, Koseoglu OT. Alveolar ridge preservation with a free gingival graft in the anterior maxilla: volumetric evaluation in a randomized clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;**44**:774–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2015.01.015>.
- Kim ES, Moon SY, Kim SG, Park HC, Oh JS. Three-dimensional volumetric analysis after sinus grafts. *Implant Dent* 2013;**22**:170–4. <http://dx.doi.org/10.1097/ID.0b013e318273576>.
- Lin GH, Salemi JD, Kozloff KM, Chan HL, Wang HL. Measure bone volume and density changes of sites grafted with bone allografts and a titanium mesh on cone-beam computed tomography: a technique. *Implant Dent* 2015;**24**:362–6. <http://dx.doi.org/10.1097/ID.0000000000000243>.
- Meloni SM, Tallarico M, Lolli FM, Deledda A, Pisano M, Jovanovic SA. Postextraction socket preservation using epithelial

- connective tissue graft vs porcine collagen matrix. 1-year results of a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol* 2015;**8**:39–48.
25. Miyamoto I, Funaki K, Yamauchi K, Kodama T, Takahashi T. Alveolar ridge reconstruction with titanium mesh and autogenous particulate bone graft: computed tomography-based evaluations of augmented bone quality and quantity. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;**14**:304–11. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00257.x>.
  26. Naitoh M, Nabeshima H, Hayashi H, Nakayama T, Kurita K, Arijji E. Postoperative assessment of incisor dental implants using cone-beam computed tomography. *J Oral Implantol* 2010;**36**:377–84. <http://dx.doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-09-00080>.
  27. Nishida T, Takenouchi Y, Mori K, Arijji M, Nishida K, Ito K. Remodeling of autogenous bone grafts after osteotome sinus floor elevation assessed by limited cone beam computed tomography. *Int J Dent* 2013;**2013**:931708. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/931708>.
  28. Shalash MA, Rahman HA, Azim AA, Neeamat AH, Hawary HE, Nasry SA. Evaluation of horizontal ridge augmentation using beta tricalcium phosphate and demineralized bone matrix: a comparative study. *J Clin Exp Dent* 2013;**5**:e253–9. <http://dx.doi.org/10.4317/jced.51244>.
  29. Spin-Neto R, Stavropoulos A, Coletti FL, Faeda RS, Pereira LA, Marcantonio Jr E. Graft incorporation and implant osseointegration following the use of autologous and fresh-frozen allogeneic block bone grafts for lateral ridge augmentation. *Clin Oral Implants Res* 2014;**25**:226–33. <http://dx.doi.org/10.1111/clr.12107>.
  30. Tadinada A, Ortiz D, Taxel P, Shafer D, Rengasamy K, Pendrys D, et al. CBCT evaluation of buccal bone regeneration in postmenopausal women with and without osteopenia or osteoporosis undergoing dental implant therapy. *J Prosthet Dent* 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.02.015>.
  31. Umanjec-Korac S, Wu G, Hassan B, Liu Y, Wismeijer D. A retrospective analysis of the resorption rate of deproteinized bovine bone as maxillary sinus graft material on cone beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res* 2014;**25**:781–5. <http://dx.doi.org/10.1111/clr.12174>.
  32. Zheng X, Teng M, Zhou F, Ye J, Li G, Mo A. Influence of maxillary sinus width on transcrestal sinus augmentation outcomes: radiographic evaluation based on cone beam CT. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015. <http://dx.doi.org/10.1111/cid.12298>.
  33. Weissheimer A, Menezes LM, Sameshima GT, Enciso R, Pham J, Grauer D. Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;**142**:801–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.07.015>.
  34. Verma D, Peltomaki T, Jager A. Reliability of growth prediction with hand–wrist radiographs. *Eur J Orthod* 2009;**31**:438–42. <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjp015>.
  35. Paula LK, Solon-de-Mello Pde A, Mattos CT, Ruellas AC, Sant'Anna EF. Influence of magnification and superimposition of structures on cephalometric diagnosis. *Dental Press J Orthod* 2015;**20**:29–34. <http://dx.doi.org/10.1590/2176-9451.20.2.029-034.oar>.

Address:  
 Leonardo Koerich  
 Virginia Commonwealth University  
 School of Dentistry  
 International Dental Program  
 520 North 12th Street  
 Richmond  
 VA 23298-0566  
 USA  
 Tel.: +1 919 998 9523  
 E-mails: lkoerich@gmail.com,  
 koerichl@vcu.edu



## ARTIGO 03 – SUPERPOSIÇÃO REGIONAL DO CÔNDILO

### ABSTRACT

---

#### ASSESSMENT OF CONDYLAR CHANGES AFTER ORTHOGNATHIC SURGERY USING COMPUTED TOMOGRAPHY SUPERIMPOSITION

**Purpose:** The aim of the present study was to use cone-beam computed tomography (CBCT) regional superimposition to investigate the effect of bimaxillary advancement orthognathic surgery on condylar remodeling of the temporo mandibular joint (TMJ).

**Materials and Methods:** Using a retrospective study design, 56 condyles from 28 healthy patients (age from 16 to 50 years) with mandibular retrognathism treated with bimaxillary advancement had CBCT scans taken pre-operatively and at an average 14 months post-operatively. Pre- and post-surgical scans were superimposed using regional and automated voxel-based registration to assess condylar changes in the follow-up period. The linear alterations were measured in six different areas of each condyle to assess the pattern of condylar remodeling.

**Results:** Although no significant correlation was observed between changes in condylar surfaces, bone resorption occurred predominantly in the posterior and superior region, while bone formation was predominantly in the anterior surface. Medial and lateral surfaces presented fewer bone changes. The overall bone changes were smaller than 1mm in 48 condyles (85,7%) in 21 patients (75%).

**Conclusions:** The results of this study suggest the hypothesis that alterations occurring in TMJ after performing orthognathic surgeries occur similar to an adaptive response, especially in healthy patients, other than a pathological or inflammatory process. Other studies with similar methodologies may clarify the mechanisms involved in cases where the process of condylar remodeling is more present.



AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CONDILARES APÓS CIRURGIA ORTOGNÁTICA ATRAVÉS DE  
SUPERPOSIÇÃO COM TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

**Propósito:** O objetivo do presente estudo foi utilizar a superposição regional de tomografia computadorizada do feixe cônico (TCFC) para investigar o efeito da cirurgia ortognática de avanço bimaxilar no processo de remodelação do côndilo da articulação têmporo mandibular (ATM).

**Materiais e métodos:** Usando um estudo do tipo retrospectivo, 56 côndilos de 28 pacientes saudáveis (idade de 16 a 50 anos) com retrognatismo mandibular tratados com cirurgia de avanço bimaxilar tiveram exames de TCFC tomados no pré-operatório e em uma média de 14 meses no pós-operatório. Foi utilizada superposição regional dos exames pré e pós-operatórios com registro automático por voxels para avaliar as alterações condilares no período de acompanhamento. As alterações lineares foram mensuradas em seis diferentes áreas de cada côndilo para avaliar o padrão do processo de remodelação condilar.

**Resultados:** Embora não tenha sido observado correlação significativa das alterações condilares entre cada superfície investigada, a reabsorção óssea ocorreu mais predominantemente na região superior e posterior, enquanto a aposição de osso neoformado foi mais predominante na superfície anterior. As superfícies medial e lateral apresentaram as menores alterações. As mudanças no osso condilar em geral foram menores do que 1 mm em 48 côndilos (85,7%) em 21 pacientes (75%).

**Conclusões:** Os resultados deste estudo sugerem a hipótese de que as alterações ocorridas na ATM após a realização de cirurgias ortognáticas ocorrem com uma resposta adaptativa, especialmente em pacientes saudáveis, diferentes de um processo patológico/inflamatório. Outros estudos com metodologias semelhantes poderão esclarecer quais os mecanismos envolvidos nos casos onde o processo de remodelação condilar está mais presente.



## INTRODUÇÃO

---

A cirurgia ortognática passou de uma operação meramente funcional relacionada à oclusão dentária para um procedimento envolvendo respiração, estética facial e a articulação têmporo-mandibular (ATM). Atualmente, tem-se discutido muito a respeito do impacto da cirurgia ortognática na ATM e nas doenças que envolvem esta articulação. Uma das preocupações é com o processo de reabsorção/remodelação que acontece nos côndilos mandibulares, que pode influenciar na estabilidade dos resultados obtidos.

Recentemente, a tomografia computadorizada do feixe cônico (TCFC) tornou-se uma ferramenta de diagnóstico muito popular, com várias aplicações em Odontologia. Uma delas é a superposição tomográfica, que se consolidou como a técnica padrão para a avaliação dos resultados do tratamento.

A superposição tomográfica utilizando a base do crânio é a modalidade mais comum para avaliar os resultados de cirurgia ortognática, incluindo os efeitos nas ATMs. Com este método é possível avaliar as mudanças na posição dos côndilos, pré e pós tratamento, limitando-se apenas no resultado no sentido de movimentação, torque e angulação. Uma alternativa à utilização da base do crânio é a superposição regional, utilizando outras estruturas da face, que permite outras diferentes modalidades de análises.

O objetivo desta pesquisa é avaliar as alterações morfológicas dos côndilos mandibulares em pacientes submetidos à cirurgia ortognática bimaxilares, utilizando a superposição de TCFC, através da sobreposição isolada do segmento condilar.



## METODOLOGIA

---

Este estudo retrospectivo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas conforme protocolo CAAE 38385414.0.0000.5336. A amostra foi constituída pacientes submetidos a cirurgia ortognática de avanço bimaxilar entre os anos de 2014 e 2017. Os critérios de exclusão foram: pacientes portadores de síndromes; assimetria facial severa; histórico de cirurgia/trauma prévio na face; 3) diagnóstico de doença/disfunção de ATM (deslocamento anterior do disco sem redução com ou sem osteoartrite).

Um total de 62 côndilos foram analisados. Seis côndilos de três pacientes foram excluídos da amostra devido o diagnóstico de osteoartrite identificado através do exame de TCFC mostrando degeneração articular antes da cirurgia ortognática. A amostra final foi composta por 56 côndilos saudáveis em 28 pacientes (Tabela 01). Os exames de TCFC foram obtidas até um mês antes da cirurgia e  $14,3 \pm 4,2$  meses após a cirurgia.

Após as etapas de aquisição de exames pré-operatórios, planejamento virtual e confecção dos guias cirúrgicos, os procedimentos cirúrgicos foram realizados pela mesma equipe cirúrgica. A sequência cirúrgica utilizada foi iniciando pela mandíbula através da osteotomia sagital bilateral utilizando a técnica híbrida de fixação, com uma miniplaca monocortical e um parafuso bicortical. Após, a cirurgia da maxila foi realizada de maneira convencional, através da osteotomia Le Fort I e fixação rígida com 4 miniplacas.

Todas as TCFC foram feitas seguindo o protocolo da Disciplina de Cirurgia da FOPUCRS no mesmo aparelho, no tomógrafo i-CAT (Imaging Sciences International, Hatfield, Pennsylvania, EUA) com FOV (Field of View) de crânio estendido 23cm x 17cm, voxel de 0,3 mm<sup>3</sup>, 36,90mA, 120 kV e tempo de exposição de 40 segundos, gerando arquivos DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Os exames foram obtidos antes da cirurgia (T1) e após intervalo de 12-18 meses após a cirurgia (T2).

Os arquivos DICOM foram importados para o programa OnDemand 3D (Cybermed Inc., Seoul, Korea). Primeiramente, utilizando a ferramenta “*fusion*” os exames T1 e T2 de cada paciente foram superimpostos, utilizando a base do crânio como referência. Na imagem fusionada resultante, a distância entre os pontos B de T1 e T2 foi mensurada na altura do plano sagital mediano (Figura 01).

Segundo, foram selecionadas as áreas referentes apenas aos côndilos mandibulares isolados, em ambos os exames T1 e T2, lado direito e esquerdo, utilizando a ferramenta de corte e gerando quatro imagens: T1D, T1E, T2D e T2E. Cada seleção, contendo a mesma quantidade cortes, foi exportada em novo arquivo DICOM (Figura 02).

Os novos arquivos cortados foram abertos utilizando a ferramenta “*fusion*” no programa OnDemand 3D. O módulo fusão permite o investigador manualmente mover o côndilo do arquivo gerado de T2 o mais próximo possível da posição do côndilo T1. Após esta aproximação, utilizou-se a ferramenta de “*specific region of interest*” para selecionar a porção do côndilo menos susceptível a mudanças com a cirurgia, incluindo o colo do côndilo e a região posterior do ramo mandibular acima da línula (excluindo a região do polo superior bem como a região abaixo da línula). Com os arquivos manualmente aproximados e com a seleção da região de interesse utilizou-se a ferramenta para superimposição automática baseada em voxels, onde o software seleciona os voxels idênticos (dentro da área selecionada) para fazer a superposição (Figura 03). Após o registro da superimposição, os arquivos T2 foram salvos em sua nova orientação espacial (T2DR e T2ER).

Os novos arquivos DICOM gerados (T1D, T1E, T2DR e T2ER) passaram pelo processo de segmentação utilizando o programa ITK-SNAP ([www.itksnap.org](http://www.itksnap.org)), isolando apenas o tecido ósseo de interesse (Figura 04), permitindo a construção de modelos 3D dos côndilos mandibulares em arquivos de formato STL (Standard Tessellation Language).

As reconstruções 3D dos côndilos no formato STL foram importadas no programa VAM (Canfield Scientific, Fairfield, NJ, USA) para análise comparativa entre T1 e T2 (Figura 05). A ferramenta “*surface paint area*” foi utilizada em cinco regiões pré-determinadas, de mesmo tamanho, em todos os côndilos: superfície anterior, superfície posterior, superfície superior, superfície lateral e superfície medial (Figura 06). Avaliando as alterações lineares ocorridas nos côndilos em T2, o software forneceu os valores de variação mínima e variação máxima, com o desvio padrão. Os maiores valores negativos referem-se às regiões com maior reabsorção óssea, já os maiores valores positivos referem-se às regiões com maior neoformação óssea.

Uma ferramenta de seleção do programa VAM foi padronizada em uma linha do ponto mais alto do côndilo em sentido coronal até uma distância de 20mm em direção ao ramo da mandíbula, para avaliação total das alterações em cada côndilo (Figura 07).

Para ambas as análises, por região ou total dos côndilos, o programa identifica as alterações através do mapa por códigos de cores gerando gráficos visuais das alterações morfológicas. As porções com máxima perda óssea serão visualizadas na cor azul e os acréscimos de volume ósseo serão observados na direção da cor vermelha.

A análise estatística foi realizada com o programa SPSS (SPSS Inc., Chicago IL, USA).  
Análise estatística descritiva foi utilizada para descrever as alterações pós-cirúrgicas nos côndilos mandibulares (T1-T2)

Os dados demográficos e as características clínicas da amostra estão apresentados na Tabela 01. A média de idade dos pacientes foi de 31,07 anos (variando de 16 a 51 anos de idade) com 53,6% do sexo feminino e 46,4% masculino. O intervalo médio entre a realização da cirurgia e a data da TCFC pós-operatória (T2) foi de 14,3 meses (12 a 19 meses). A distância média entre o ponto B de T1 para T2, para mensurar a quantidade de avanço mandibular, foi de 9,06 mm (5,5 a 13,2mm) – conforme exemplificado na Figura 01. Apesar do tipo de má-oclusão não ter sido levado em consideração, todos os pacientes foram considerados retrognatas.

Alterações na morfologia dos côndilos mandibulares foram observadas durante o período de acompanhamento (T1-T2) conforme as médias apresentadas na Tabela 2. A alteração mais comumente encontrada foi do tipo reabsorção, em 100% da amostra uma ou mais superfícies apresentaram apenas valores negativos. Apesar disso, em 38 côndilos (67,8%) foram encontradas uma ou mais superfícies apresentando apenas valores positivos, ou seja, neoformação óssea.

As superfícies superior e posterior dos côndilos mandibulares apresentaram na média os maiores valores negativos, apontando como sendo as áreas mais susceptíveis à reabsorção condilar. Na superfície anterior encontrou-se a menor média de valores negativos, sendo a região com a menor perda óssea. Por outro lado, a superfície anterior apresentou as maiores médias de valores positivos, ou seja, a maior incidência de aposição de osso neoformado (Tabela 02). Entretanto, não houve diferença estatisticamente significativa entre as superfícies quando comparadas as incidências de valores mínimos e máximos.

Os valores encontrados para RMS (*root mean square*) representam o somatório de mudanças na morfologia condilar, independente do tipo de alteração (aposição ou reabsorção). A análise estatística está representada nos Gráficos de 1-5 apresentam a distribuição dos valores. O teste T com amostras independentes revelou que não houve diferença estatisticamente significativa de RMS entre as superfícies superior, posterior e anterior. Entretanto, houve diferença estatisticamente significativa destas superfícies com as superfícies medial e lateral, onde as alterações encontradas em RMS apresentaram os menores valores.

Considerando a área condilar contendo a porção de 20mm, conforme ilustrado na figura 7, os resultados estão apresentados na Tabela 3. Nenhuma alteração foi igual ou maior que 3mm, ou

seja, nenhum côndilo sofreu reabsorção ou neoformação óssea superior a 3mm. Foram encontrados valores negativos entre -1mm e -3mm em 5 côndilos (8,9%) em 4 pacientes (14,2%). Foram encontradas alterações variando entre -1mm e +1mm em 48 côndilos (85,7%) em 21 pacientes (75%). Em apenas 3 côndilos (5,3%) em 3 pacientes (10,7%) as alterações estiveram entre +1mm e +3mm. Portanto, embora a maioria das superfícies tenham apresentado medidas apontando alguma alteração da morfologia condilar, especialmente do tipo reabsorção, a grande maioria dos côndilos apresentou alterações menores que 1mm.

Neste estudo com esta amostra não foi possível encontrar relação entre a quantidade, tipo e localização das alterações na morfologia condilar com as variáveis idade, sexo e quantidade de avanço mandibular.

A avaliação do comportamento da ATM é uma rotina para cirurgiões e ortodontistas. Neste propósito, a superposição com radiografias cefalométrica foi amplamente apresentada na literatura. Entretanto, diversas limitações foram descritas justificando a recente substituição pela tomografia computadorizada, para realizar as superposições, a fim de avaliar as alterações entre diferentes intervalos de tempo.

Existem três tipos básicos de superposição tomográfica: baseado em pontos anatômicos, baseado em superfícies e baseado em voxels. A superposição por voxels é o método mais eficiente pois compara as estruturas de referência não-modificáveis de dados volumétricos (voxel por voxel), não depende da identificação dos pontos anatômicos e não tem a limitação dos erros durante o processo de segmentação. Cevidanes *et al.* em 2005 foram os primeiros a introduzir a superposição baseado em voxels utilizando a base craniana como referência para sobrepor dois ou mais exames obtidos em pacientes adultos. Desde então, o método de superposição por voxels da base do crânio é a referência para a maioria das publicações que avaliam o resultado após cirurgias ortognáticas. Trata-se de um excelente método para compreender as mudanças tridimensionais da maxila, mandíbula e tecidos moles da face.

Entretanto, a superposição da base do crânio permite apenas a avaliação das alterações espaciais dos tecidos investigados. Na maioria dos casos de cirurgia ortognática há uma mudança na oclusão, juntamente com uma mudança da posição do segmento condilar. Dessa forma, a superposição pela base do crânio gera a superposição de côndilos em diferentes posições, portanto perde-se a capacidade de comparar a morfologia dos côndilos no pré e pós-operatório.

A análise das alterações de formato só é possível quando dois objetos são superpostos na mesma posição. A superposição de outras estruturas, que não seja através da base do crânio, foi introduzida recentemente e é conhecida como superposição regional. Koerich *et al.* em 2016 descreveram este método permitindo a aplicação para diversas outras finalidades como avaliação de enxertos, precisão do posicionamento de implantes, reabsorção alveolar, entre outras. Além disso, os autores citaram que, dentre as metodologias conhecidas, a superposição regional seria a técnica ideal para avaliação dos processos de reabsorção e hiperplasia condilar, onde a sobreposição regional isolada da porção regional seria uma necessidade.



Diversos artigos foram publicados recentemente buscando investigar as alterações na ATM pré e pós cirurgia ortognática, mas utilizando a base do crânio para superposição dos exames. Estes estudos são interessantes para o entendimento das alterações espaciais dos côndilos, de posição e angulação. Entretanto, as conclusões a respeito da morfologia condilar são limitadas. Este estudo utilizou a superposição regional por voxels de TCFC de pacientes submetidos à cirurgia ortognática de avanço bimaxilar para avaliação das alterações na anatomia condilar.

Os resultados do presente estudo mostraram que em geral as ATMs respondem bem às cirurgias ortognáticas. A avaliação das alterações morfológicas encontradas nos côndilos mandibulares, em pacientes submetidos a avanços bimaxilares, através da superposição regional de TCFCs com intervalo mínimo de um ano mostrou que em 48 côndilos (85,7%) em 21 pacientes (75%) as mudanças foram menores que 1mm. A média encontrada de RMS, que considera o somatório das mudanças independente do sentido, para toda a amostra foi de 0,27mm.

Considerando as alterações ocorridas nas diferentes superfícies estudadas, apesar de não apresentar diferença estatisticamente significativa, esta pesquisa mostrou que as superfícies superior e posterior foram as mais susceptíveis ao processo de reabsorção condilar. A superfície anterior foi a mais susceptível à neoformação óssea. As superfícies medial e lateral foram as que apresentaram as menores mudanças.

A presente amostra incluiu apenas indivíduos comprovadamente saudáveis da ATM através dos exames de imagem. A revisão sistemática de Veldhuis et al. 2017 destacou a limitação das informações a respeito do impacto das cirurgias ortognáticas na ATM devido a diversidade das técnicas empregadas e principalmente da diversidade de metodologias aplicadas. Os autores concluíram que a cirurgia ortognática parece ter nenhum ou mínimo impacto na ATM e função oral. A revisão sistemática com meta-análise de Al-Moraissi et al. 2017 apresentou conclusões semelhantes incluindo a expectativa de diferentes resultados de acordo com a condição pré-operatória da ATM envolvida.

Al-Moraissi e Wolford em 2017 conduziram uma revisão sistemática e meta-análise para investigar se a condição pré-operatória da ATM poderia influenciar a estabilidade dos resultados de cirurgias ortognática de rotação anti-horária maxilo-mandibular. Com um total de 12 estudos e 345 pacientes envolvidos, os autores concluíram que o avanço bimaxilar com rotação anti-horária é um procedimento estável em pacientes com ATM saudável, concomitante com cirurgia de discopexia ou prótese de ATM e instável em pacientes com discos deslocados.

Park et al. 2012 realizaram uma análise métrica das alterações condilares através da superposição da base do crânio. Além disso, os autores foram os primeiros a citar um modelo de superposição regional dos côndilos mandibulares e concluíram que a cirurgia ortognática tem sim

impacto no processo de remodelação. Entretanto, os autores limitaram-se a apenas uma interpretação subjetiva dos observadores, sem uma ferramenta para mensurar tais alterações.

Gomes et al. 2017 apresentaram uma avaliação muito completa a respeito das alterações condilares, incluindo superposição regional e pela base do crânio, para pacientes submetidos à cirurgia ortognática concomitante com cirurgia de reposicionamento do disco da ATM devido diagnóstico de deslocamento de disco anterior. Os autores concluíram que as mudanças posicionais dos côndilos tiveram uma fraca associação com o processo de remodelação dos côndilos.

Os resultados deste manuscrito sugerem a hipótese de que as alterações ocorridas na ATM após a realização de cirurgias ortognáticas ocorrem com uma resposta adaptativa, especialmente em pacientes saudáveis, diferentes de um processo patológico/inflamatório. Esta hipótese é suportada por várias publicações recentes que realizaram avaliação clínica, radiográfica e tomográfica em pacientes submetidos à cirurgia ortognática e, apesar das diferentes metodologias, apresentaram resultados semelhantes que destacam o caráter de adaptação das alterações condilares. (Kim 2011) (Paula et al. 2013) (Han et al. em 2016)

Em conclusão, este estudo fornece informações que suportam a tese de que as ATMs, em indivíduos saudáveis, suportam as mudanças causadas pelas cirurgias ortognáticas. Ortodontistas e cirurgiões devem incluir em sua rotina o minucioso diagnóstico das ATMs antes de oferecer o tratamento aos pacientes. Outros estudos com metodologias semelhantes poderão esclarecer quais os mecanismos envolvidos nos casos onde o processo de remodelação condilar está mais presente



## REFERÊNCIAS

---

Veldhuis EC, Veldhuis AH, Bramer WM, Wolvius EB, Koudstaal MJ. The effect of orthognathic surgery on the temporomandibular joint and oral function: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017;46:554–563.

Al-Moraissi EA, Wolford LM, Perez D, Laskin DM, Ellis E. Does orthognathic surgery cause or cure temporomandibular disorders? A systematic review and meta-analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 2017;75:1835-1847.

Al-Moraissi EA, Wolford LM. Does temporomandibular joint pathology with or without surgical management affect the stability of counterclockwise rotation of the maxillomandibular complex in orthognathic surgery? A systematic review and meta-analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 2017;75:805-821.

Park SB, Yang YM, Kim YI, Cho BH, Jung YH, Hwang DS. Effect of bimaxillary surgery on adaptive condylar head remodeling: metric analysis and image interpretation using cone-beam computed tomography volume superimposition. *J Oral Maxillofac Surg* 2012;70:1951-1959.

Han YS, Jung YE, Song IS, Lee SJ, Seo BM. Three-dimensional computed tomographic assessment of temporomandibular joint stability after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2016; 74:1454-1462.

Kim YI, Cho BH, Jung YH, Son WS, Park SB. Cone-beam computerized tomography evaluation of condylar changes and stability following two-jaw surgery: Le Fort I osteotomy and mandibular setback surgery with rigid fixation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011;111:681-687.

Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker Jr GR, Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomax-illofac Radiol* 2005;34:369–75.

Motta AT, Cevidanes LH, Carvalho FA, Almeida MA, Phillips C. Three-dimensional regional displacements after mandibular advancement surgery: one year of follow-up. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:1447–57.

Schilling J, Gomes LC, Benavides E, Nguyen T, Paniagua B, Styner M, Boen V, Gonçalves JR, Cevidanes LH. Regional 3D superimposition to assess temporomandibular joint condylar morphology. *Dentomaxillofac Radiol* 2014;43:20130273.

Cevidanes LH, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:611–8.

Ruellas AC, Tonello C, Gomes LR, Yatabe MS, Macron L, Lopinto J, Goncalves JR, Garib Carreira DG, Alonso N, Souki BQ, Coqueiro S, Cevidanes LH. Common 3-dimensional coordinate system for assessment of directional changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149:645-56.

Valladares-Neto J, Cevidanes LH, Rocha WC, Almeida GA, Paiva JB, Rino-Neto J. TMJ response to mandibular advancement surgery: an overview of risk factors. *J Appl Oral Sci* 2014;22:2–14.

Gomes LR, Cevidanes LH, Gomes MR, Ruellas AC, Ryan DP, Paniagua B, Wolford LM, Gonçalves JR. Counterclockwise maxillomandibular advancement surgery and disc repositioning: can condylar remodeling in the long-term follow-up be predicted? *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2017;46:1569–1578.

Koerich LD, Burns D, Weissheimer A, Claus JDP: Three-dimensional maxillary and mandibular regional superimposition using cone beam computed tomography: a validation study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg* 2016;45:662–669 .

Weissheimer A, Menezes LM, Koerich L, Pham J, Cevidanes LH. Fast three-dimensional superimposition of cone beam computed tomography for orthopaedics and orthognathic surgery evaluation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2015;44:1188–96.

Li G, Xie H, Ning H, Capala J, Arora BC, Coleman CN, et al. A novel 3D volumetric voxel registration technique for volume- view-guided image registration of multiple imaging modalities. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;63:261–73.

Paula LK, Ruellas ACO , Paniagua B, Styner M, Turvey T, Zhu H, Wang J, Cevidanes LHS. One-year assessment of surgical outcomes in Class III patients using cone beam computed tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:780–789.

De Vos W, Casselman J, Swennen GRJ: Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38:609, 2009

Lagravère MO, Carey J, Toogood RW, Major PW. Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134(1):112-6.

Ballrick JW, Palomo JM, Ruch E, Amberman BD, Hans MG. Image distortion and spatial resolution of a commercially available cone-beam computed tomography machine. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134(4):573-82.

Swennen GRJ, Mommaerts MY, Abeloos J, et al: A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38:48, 2009

Swennen GRJ, Mollemans W, De Clercq C, et al: A cone-beam CT triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg* 20:297, 2009

Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg* 2003; 61: 222–227.

Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT, Bock M, Siebert JP. Threedimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2002;17:318-30.

Pin SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL. Accuracy of a Computer-Aided Surgical Simulation Protocol for Orthognathic Surgery: A Prospective Multicenter Study *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71:128-142.

Ryckman MS, Harrison S, Oliver D, Sander C, Boryor AA, Hohmann AA, Klllic A, Kln KB. Soft-tissue changes after maxillomandibular advancement surgery assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:86-93.

Figura 01: Corte coronal da TCFC mostrando a superposição tomográfica utilizando a base do crânio como referência. Corte sagital mostrando a mensuração do avanço mandibular no ponto B. Exemplo em um paciente selecionado aleatoriamente.

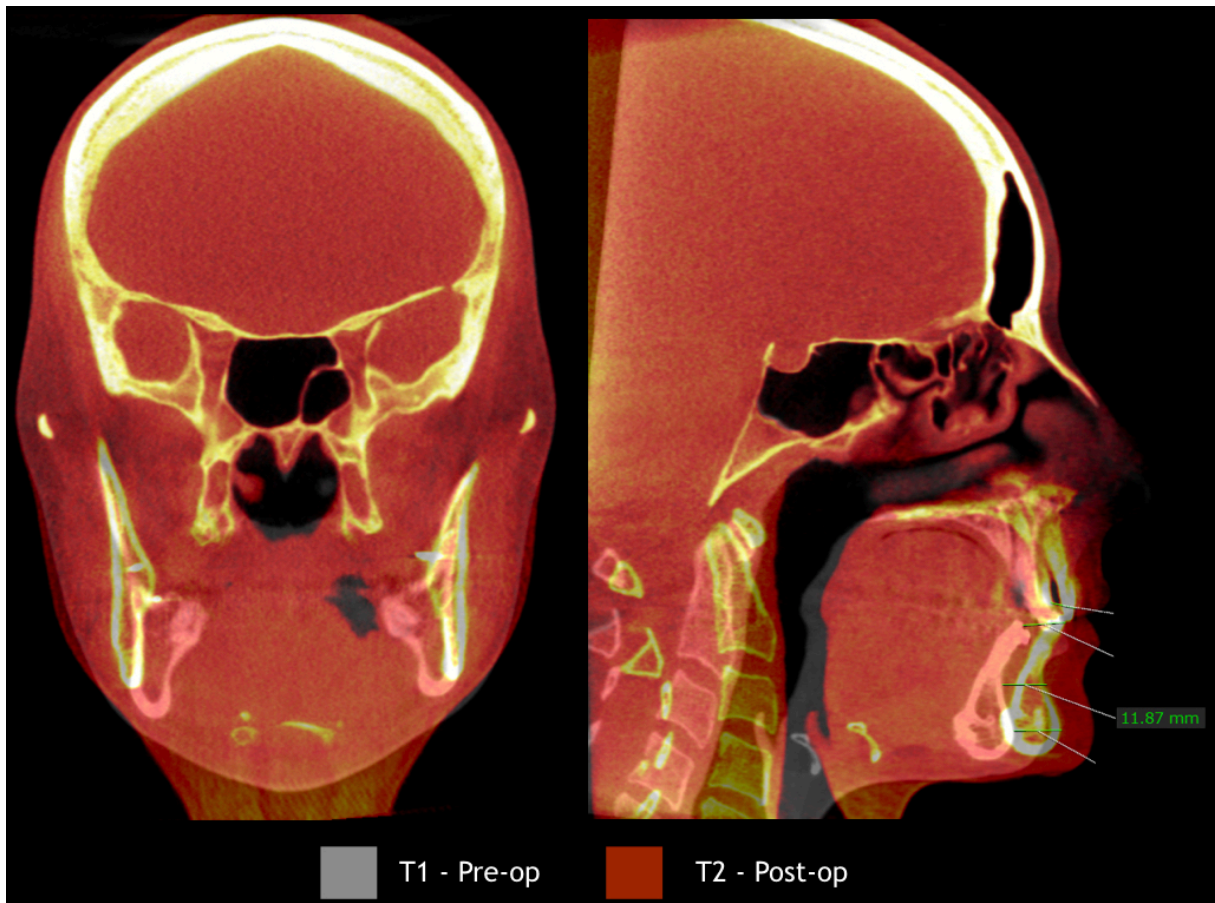


Figura 02: Cortes coronal, sagital e axial e reconstrução 3D da área equivalente a cada cõndilo mandibular cortada de cada TCFC.



Figura 03: Processo de superposição regional observada nos três cortes em um paciente selecionado aleatoriamente. Parte superior representa T1D, no centro T2DR e na porção inferior ambos os exames T1D e T2DR. No lado esquerdo visão do corte axial, no centro do corte sagital e na esquerda do corte coronal.

A) Exames com posição espacial distintas.

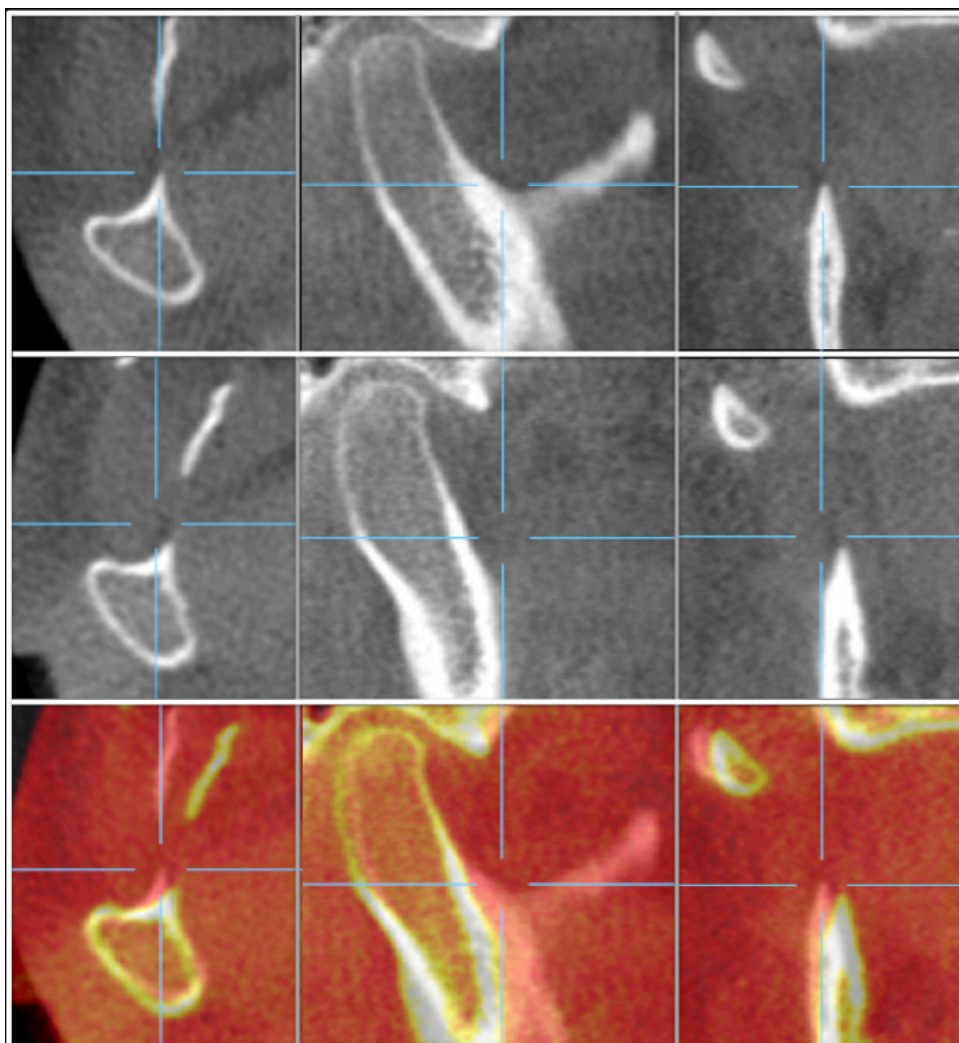




Figura 03: Processo de superposição regional observada nos três cortes em um paciente selecionado aleatoriamente. Parte superior representa T1D, no centro T2DR e na porção inferior ambos os exames T1D e T2DR. No lado esquerdo visão do corte axial, no centro do corte sagital e na esquerda do corte coronal.

B) Após a superposição regional, ambos os exames na mesma posição. Detalhe para o retângulo azul mostrando a área de interesse selecionada para fazer a coincidência dos voxels.

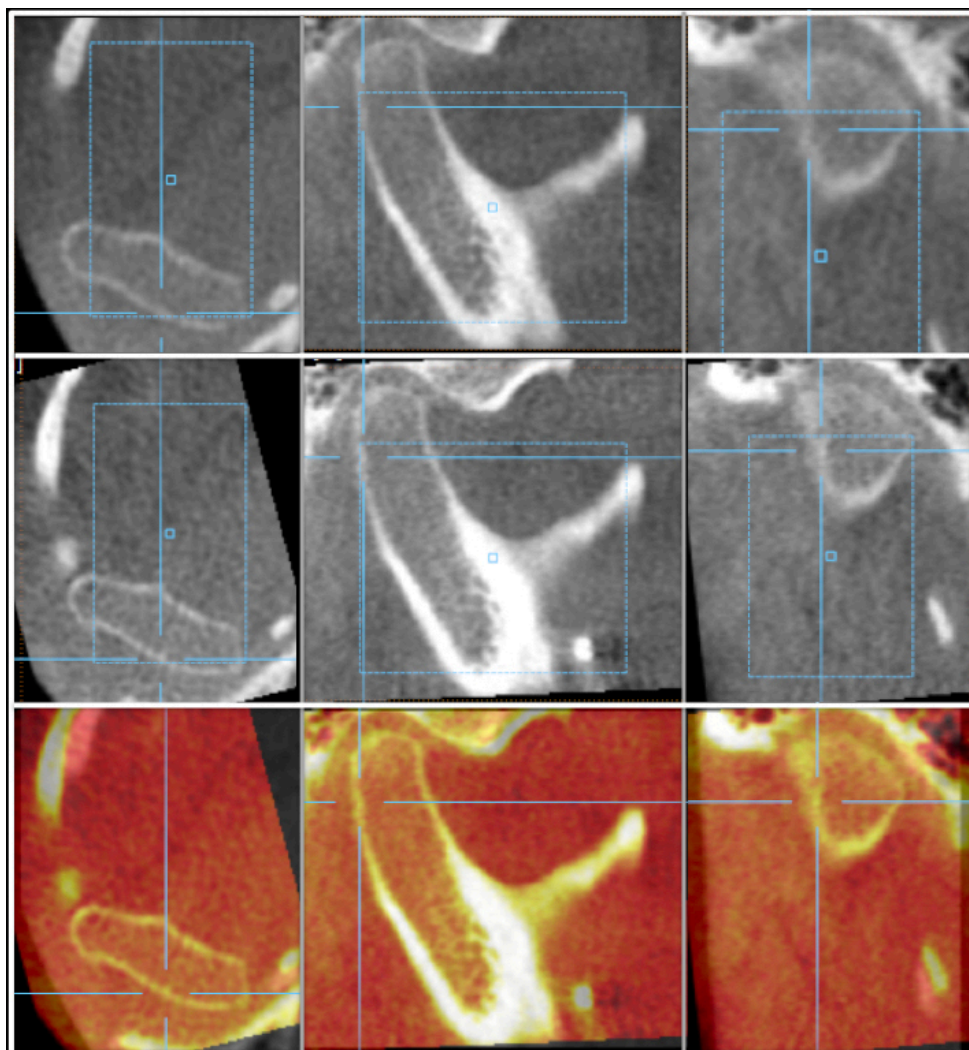


Figura 03: Processo de superposição regional observada nos três cortes em um paciente selecionado aleatoriamente. Parte superior representa T1D, no centro T2DR e na porção inferior ambos os exames T1D e T2DR. No lado esquerdo visão do corte axial, no centro do corte sagital e na esquerda do corte coronal.

C) Cortes axiais da mesma superposição em diferentes alturas, mostrando a exata sobreposição dos côndilos, detalhe para a diferença entre os arcos zigomáticos.

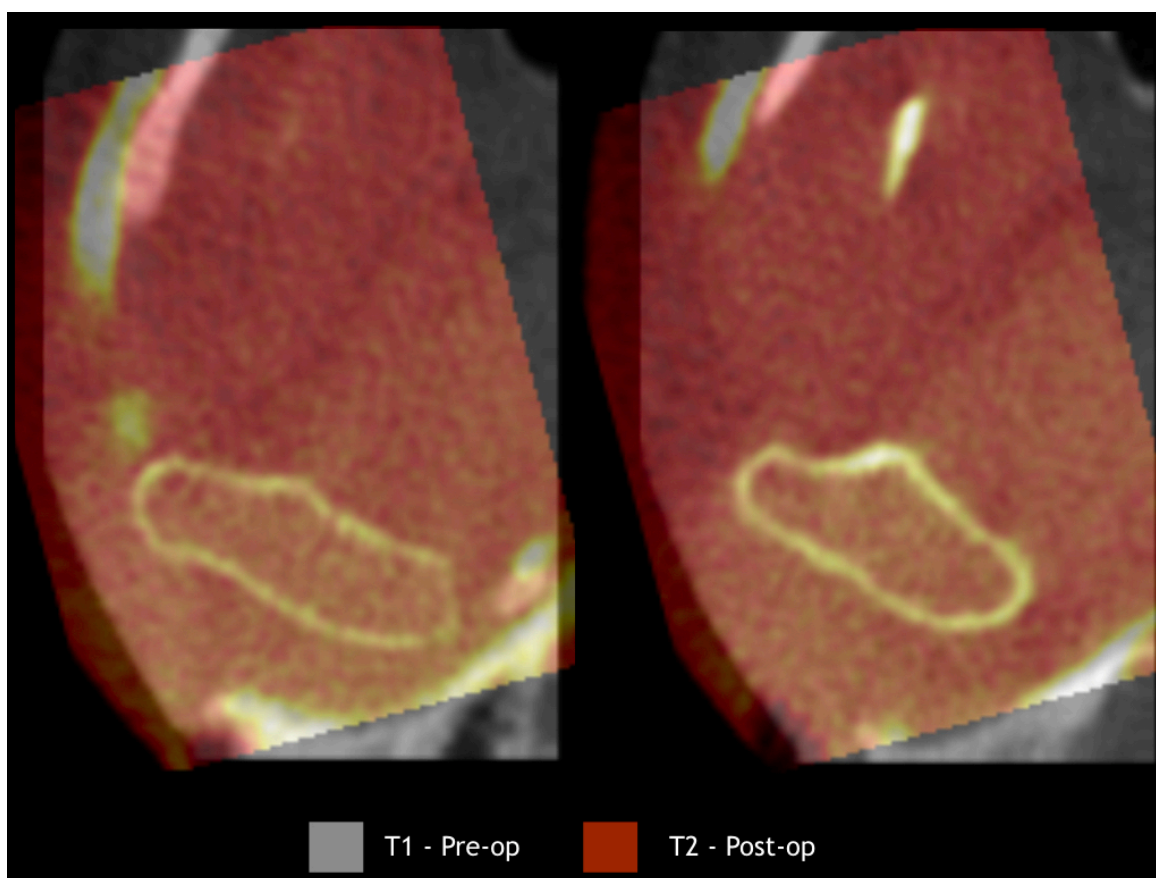


Figura 04: Segmentação do tecido ósseo do côndilo mandibular nos três cortes e reconstrução 3D.

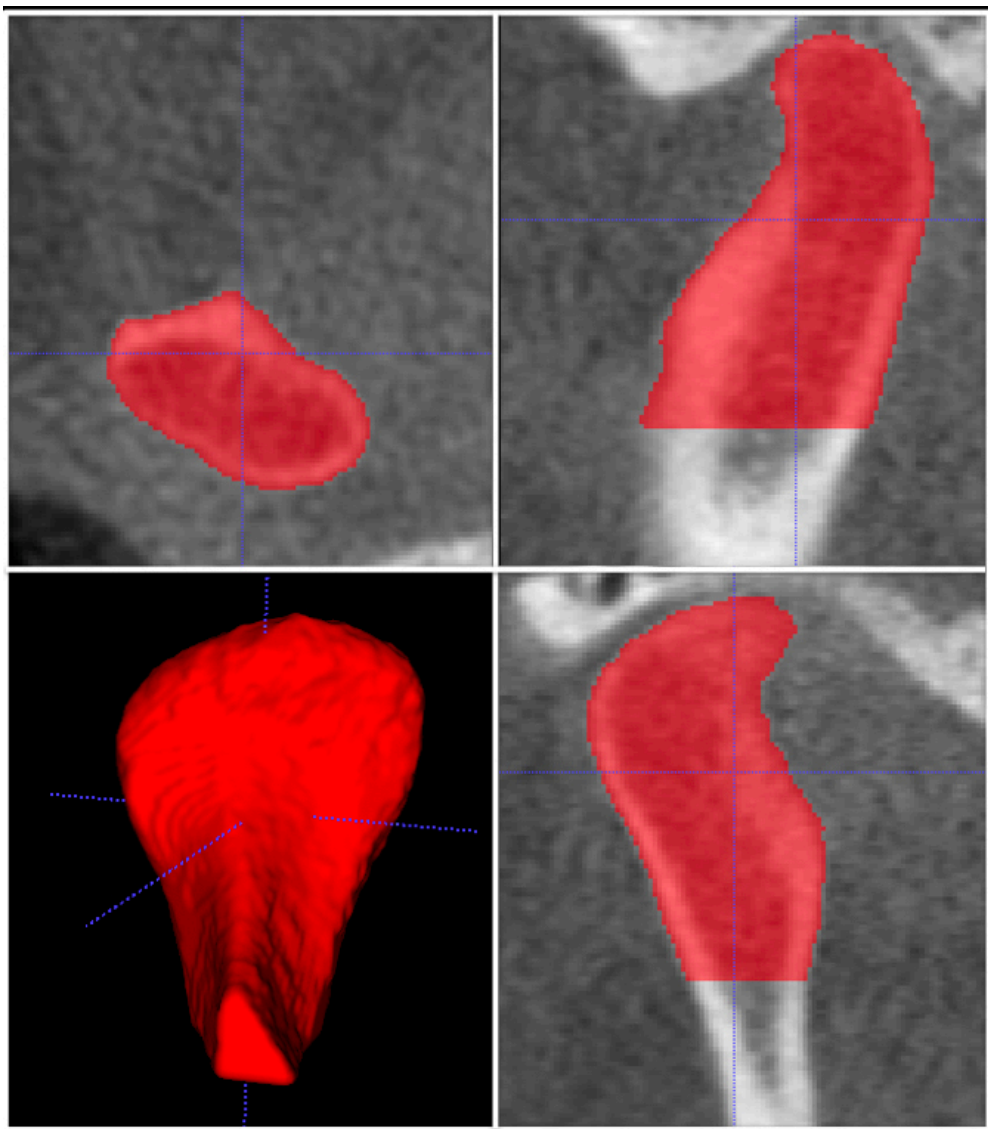


Figura 05: Arquivos STL dos c6ndilos T1D e T2DR sobrepostos com textura de superf3cie e de malha para evidenciar as altera76es na superf3cie condilar.

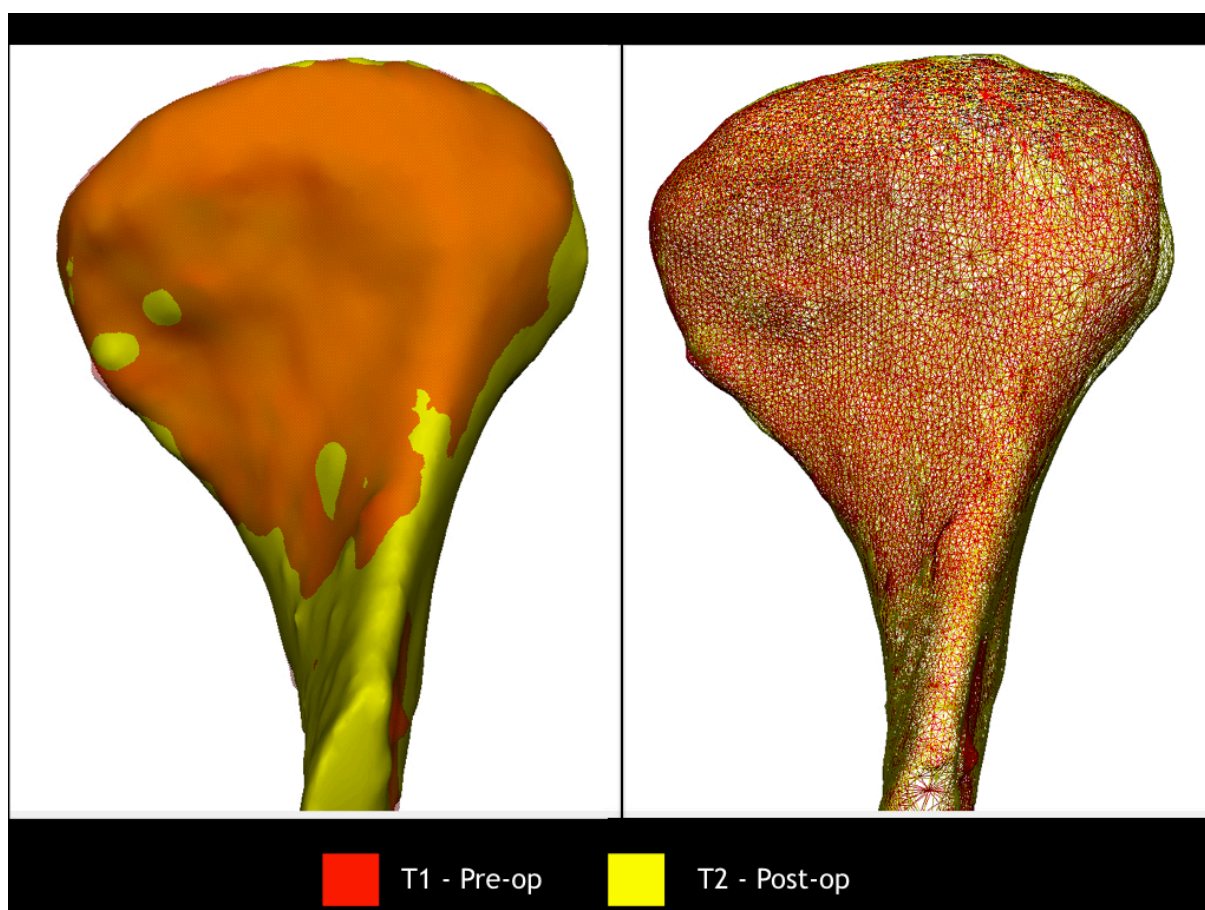


Figura 06: Regiões de interesse para avaliar o processo de remodelação condilar. Em sentido horário a partir da imagem superior esquerda: polo anterior, polo posterior, polo superior, polo medial e polo lateral.

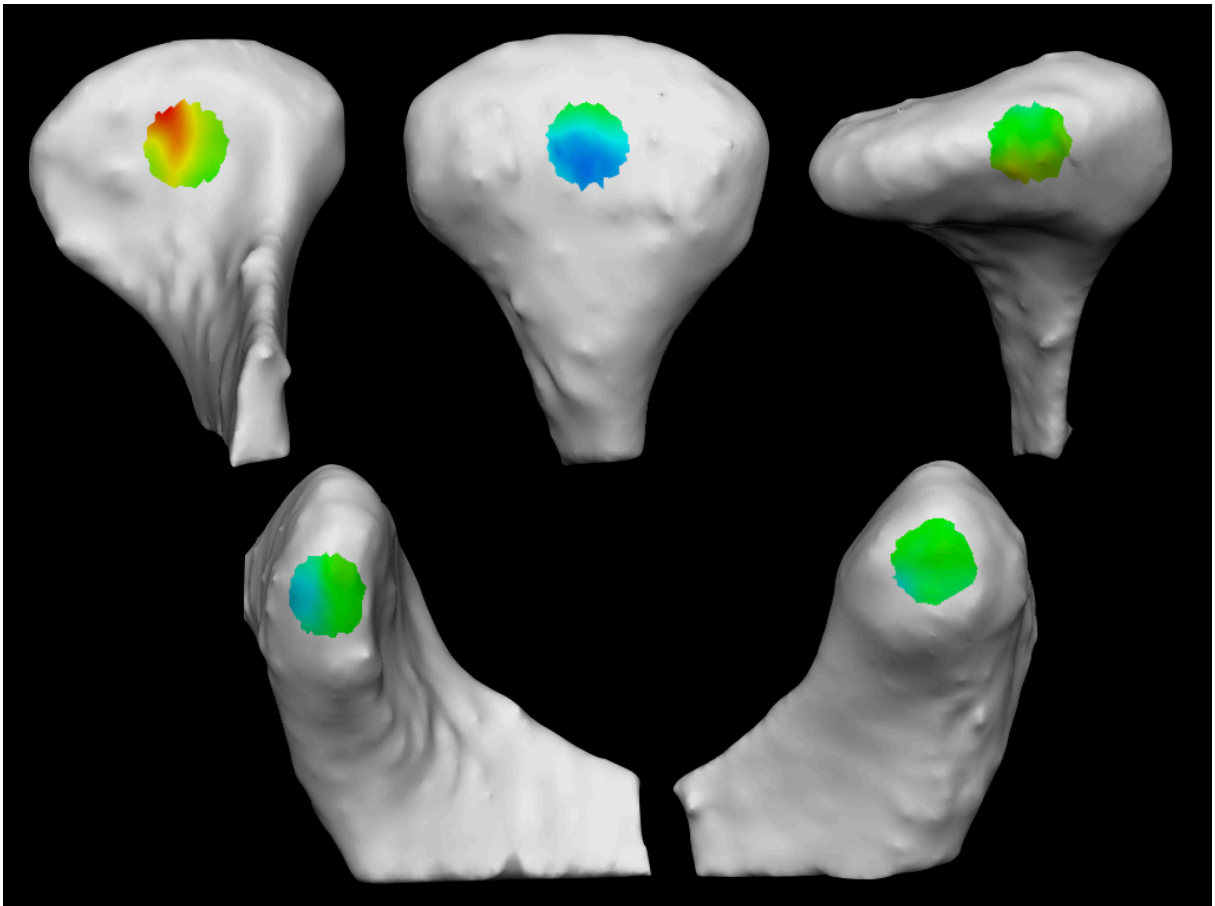




Figura 07: Avaliação da remodelação condilar na área contendo a porção de 20mm mais superior do côndilo com mapa por códigos de cores. Exemplo em um paciente selecionado aleatoriamente no lado direito e esquerdo. A cor azul representa as áreas com reabsorção óssea, a cor vermelha indica neoformação óssea.

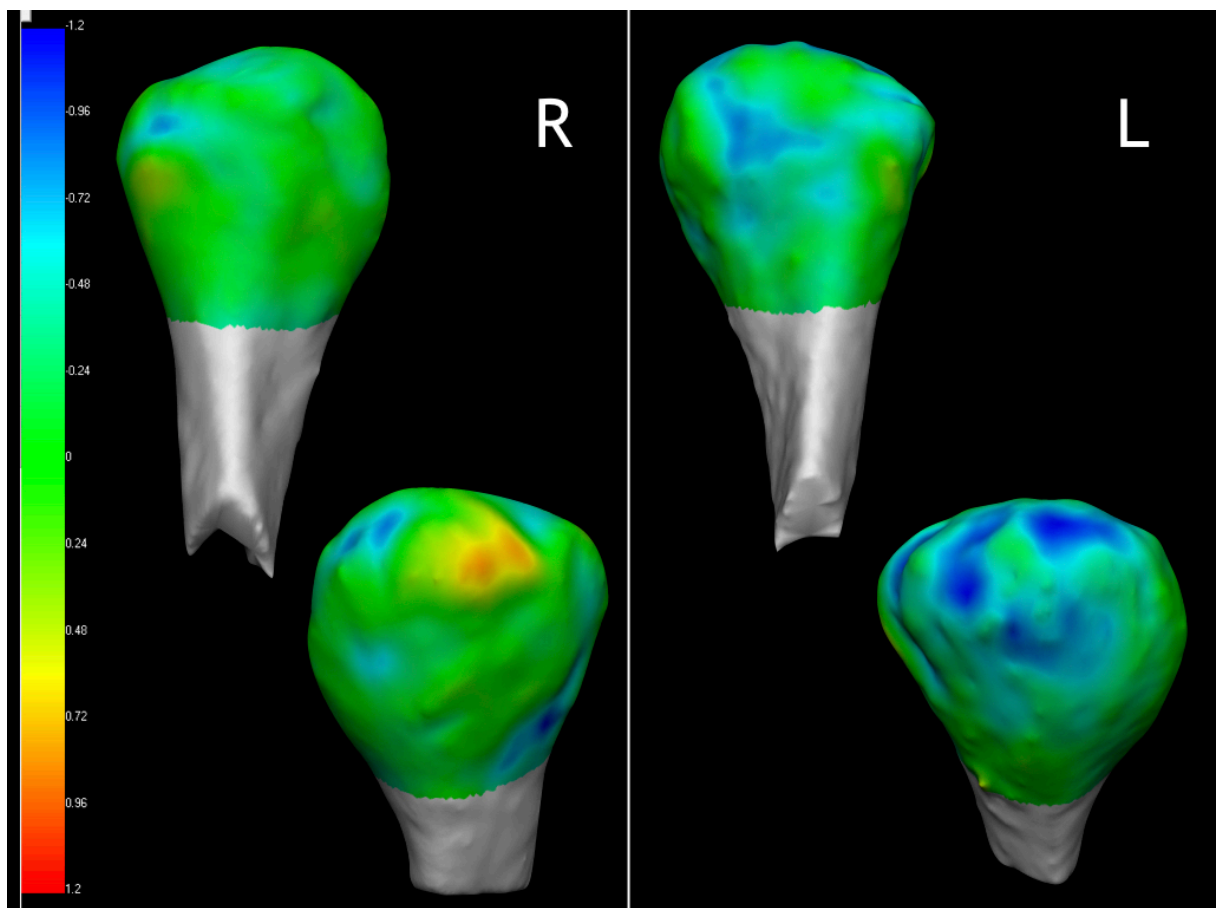


Tabela 01: Dados demográficos e características clínicas da amostra

Tabela 01: Dados demográficos e características clínicas da amostra

	Média
Idade	31,07 anos (16-50 anos)
Sexo	53,6% feminino e 46,4% masculino
Avanço ponto B	9,06 mm (5,5mm a 13,2mm)
Controle pós-operatório*	14,35 meses (12 a 19 meses)

\* Intervalo o exame tomográfico pós-operatório (T2) e a data da cirurgia

Tabela 02: Estatística descritiva das alterações pós-operatórias nos côndilos mandibulares (T1-T2) de acordo com a região de interesse.

Tabela 02. Estatística descritiva das alterações pós-operatórias\* nos côndilos mandibulares (T1-T2) de acordo com a região de interesse.

	Mín.	Máx.	SD	RMS
Superfície anterior	-0,31	0,61	0,17	0,32
Superfície posterior	-0,58	0,21	0,17	0,35
Superfície superior	-0,55	0,27	0,19	0,34
Superfície lateral	-0,42	0,34	0,19	0,32
Superfície medial	-0,38	0,41	0,18	0,27
Área**	-0,38	0,41	0,18	0,27

Mín, mínimo; Máx, máximo; SD, desvio padrão; RMS, média de raiz quadrada.

\* *Valores negativos indicam reabsorção óssea e valores positivos indicam aposição óssea.*

\*\* *Seleção da região de interesse (ROI) com a porção de 20mm mais superior dos côndilos.*



Tabela 03: Distribuição das alterações lineares na morfologia da porção contendo os 20mm mais superior dos côndilos. Alteração óssea entre T1 e T2 em mm.

Tabela 03: Distribuição das alterações lineares na morfologia da porção contendo os 20mm mais superior dos côndilos. Alteração óssea entre T1 e T2 em mm

Classificação	Escala em mm*	Pacientes n= 28	Côndilos n= 56
Reabsorção	-3mm a -1mm	4 (14,2%)	5 (8,92%)
Pouca alteração	-1mm a +1mm	21 (75%)	48 (85,7%)
Aposição	+1mm a +3mm	3 (10,7%)	3 (5,3%)

\* *Valores negativos indicam reabsorção óssea e valores positivos indicam aposição óssea.*

GRÁFICO 01: Distribuição das mensurações registradas na superfície anterior do côndilo mandibular, mostrando uma prevalência para os valores positivos, com diferença estatística, mostrando a tendência à neoformação nesta região.

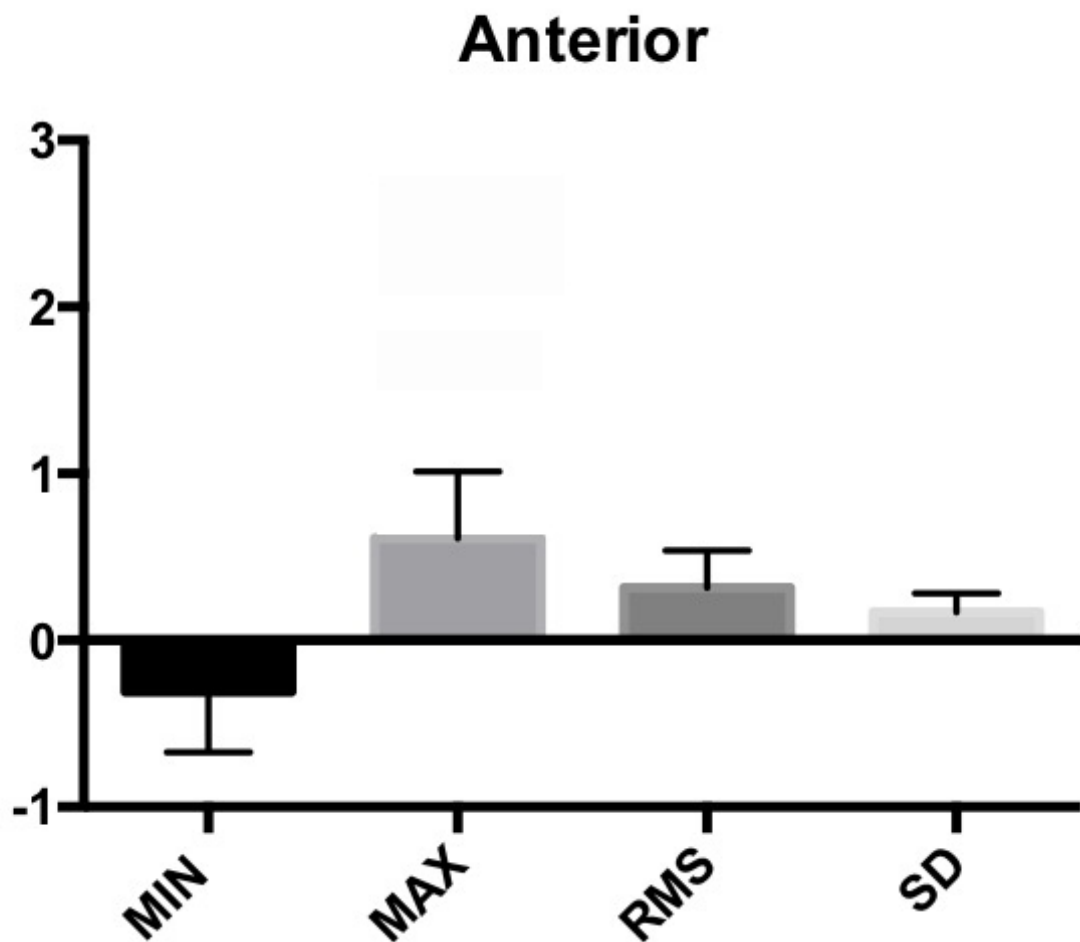


GRÁFICO 02: Distribuição das mensurações registradas na superfície posterior do côndilo mandibular, mostrando uma prevalência para os valores negativos, com diferença estatística, mostrando a tendência à reabsorção nesta região.

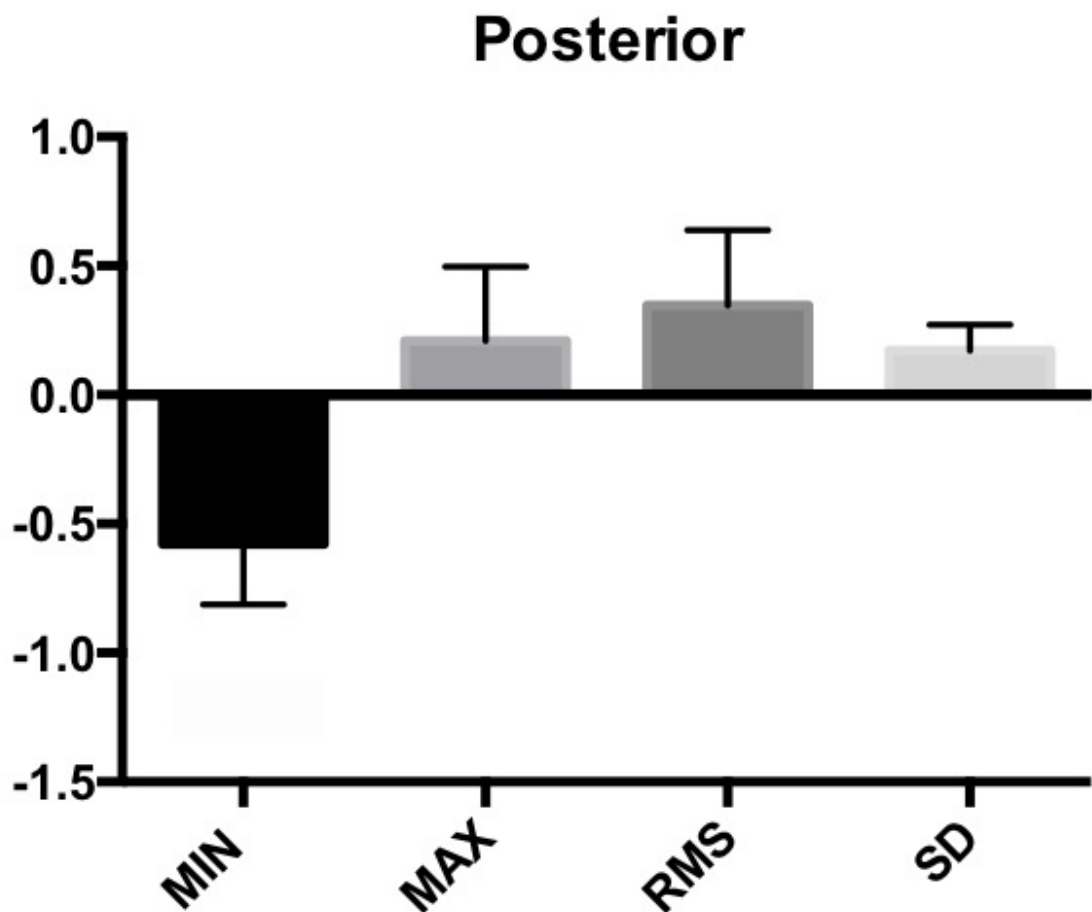


GRÁFICO 03: Distribuição das mensurações registradas na superfície superior do côndilo mandibular, mostrando uma prevalência para os valores negativos, com diferença estatística, mostrando a tendência à reabsorção nesta região.

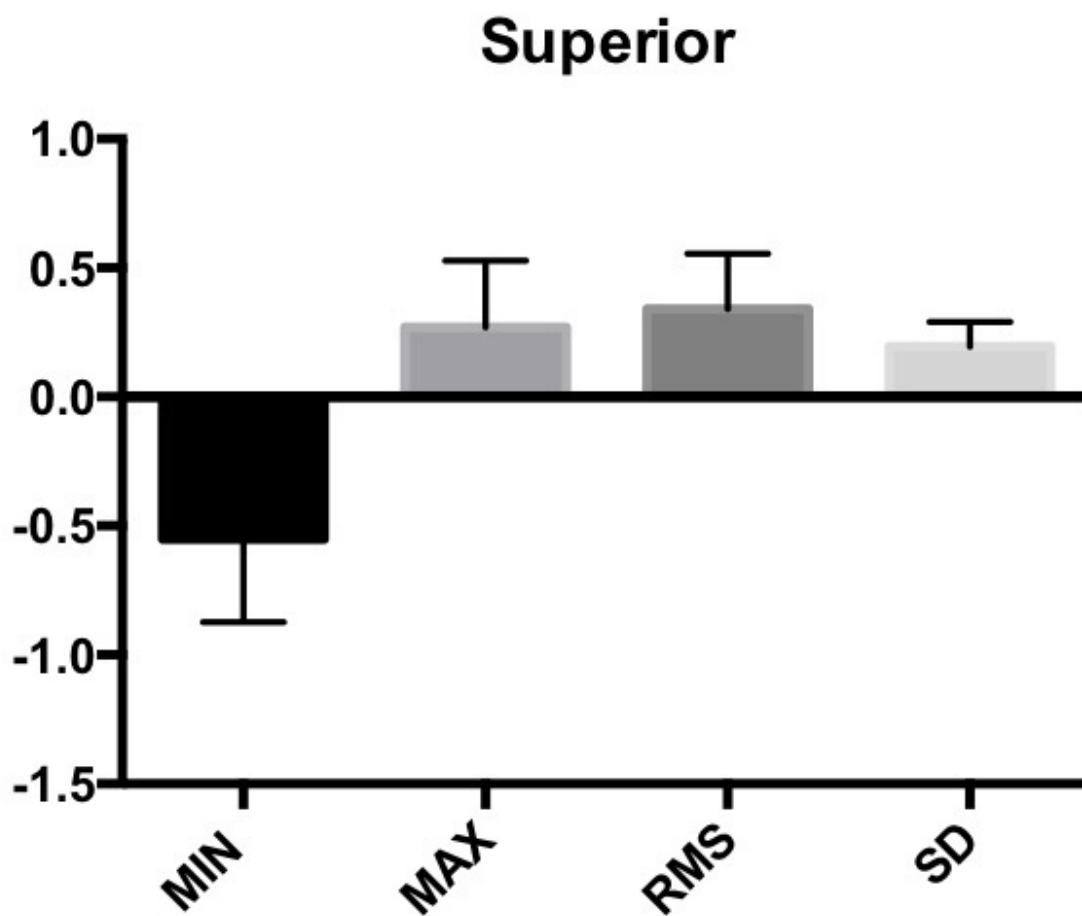


GRÁFICO 04: Distribuição das mensurações registradas na superfície lateral do côndilo mandibular sem diferença estatística entre os resultados.

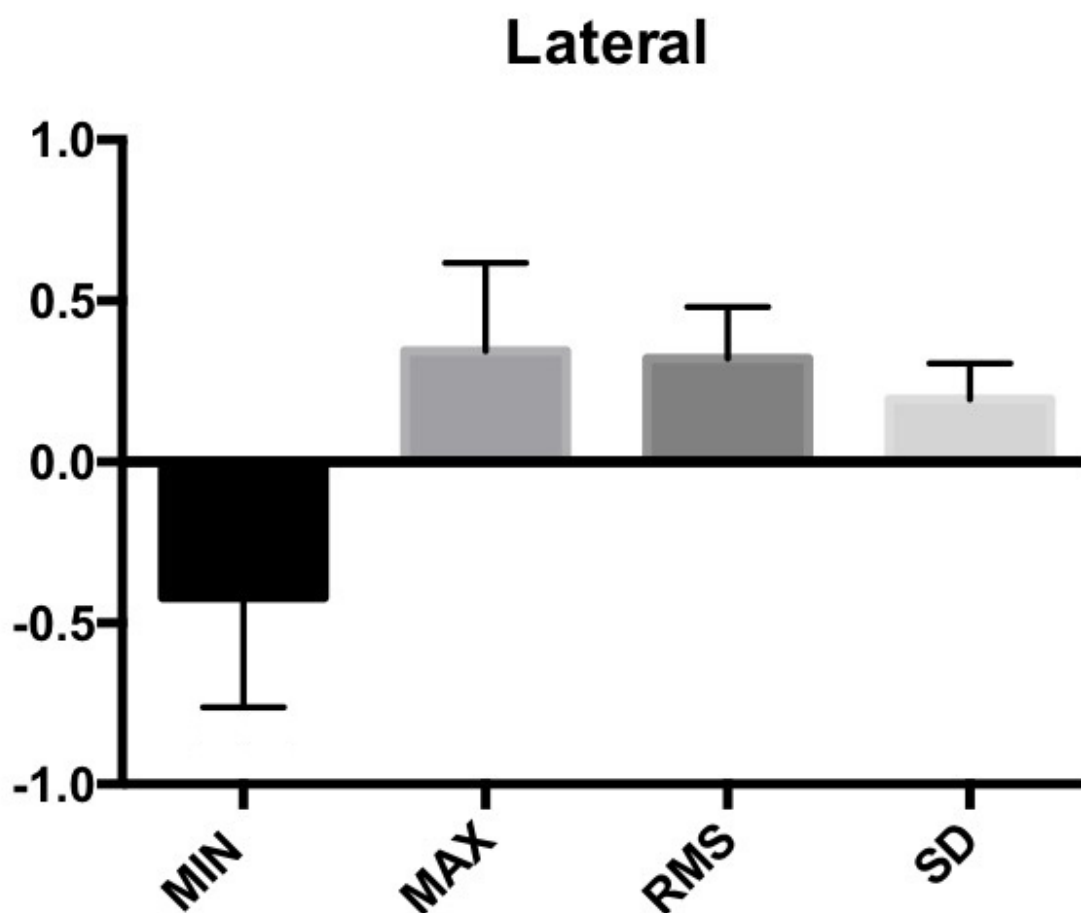
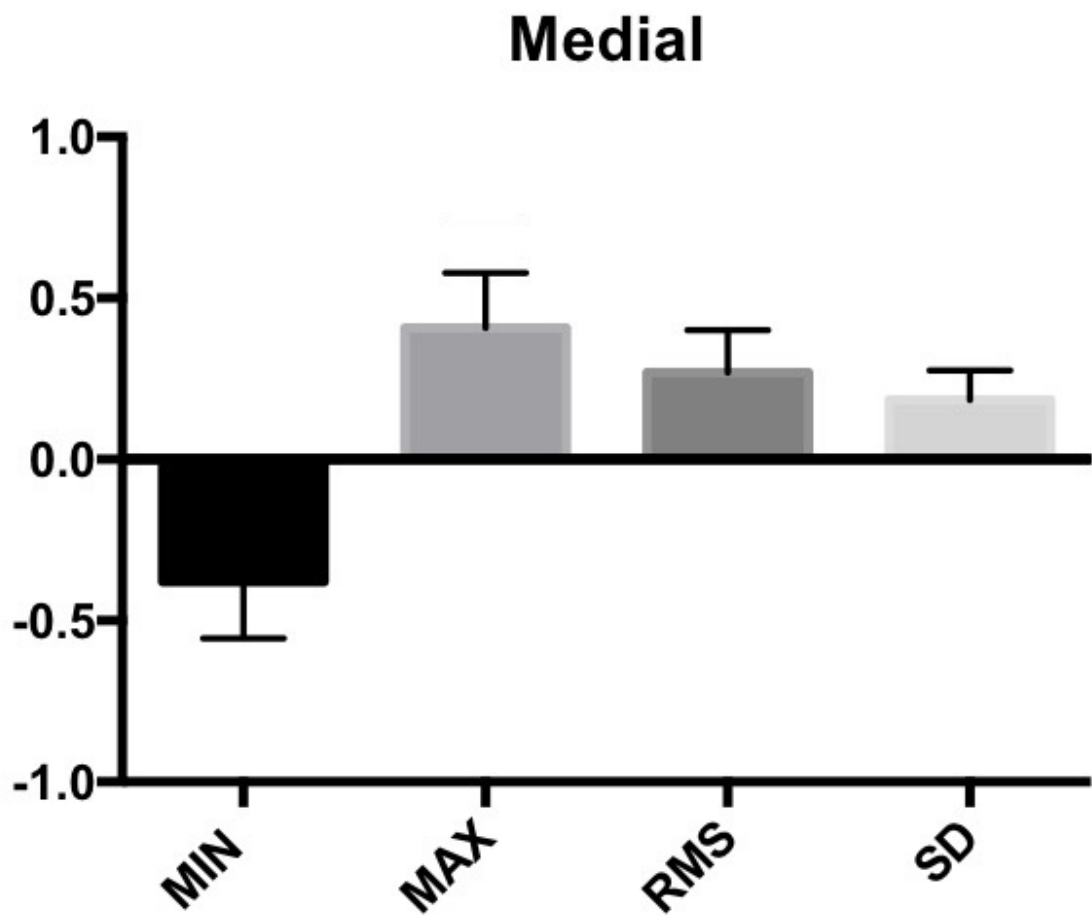


Gráfico 05: Distribuição das mensurações registradas na superfície medial do côndilo mandibular sem diferença estatística entre os resultados.





Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Pró-Reitoria de Graduação  
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar  
Porto Alegre - RS - Brasil  
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564  
E-mail: [prograd@pucrs.br](mailto:prograd@pucrs.br)  
Site: [www.pucrs.br](http://www.pucrs.br)