



Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



KÉLEI CRISTINA DE MATHIAS ALMEIDA

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CÔNDILO MANDIBULAR EM
INDIVÍDUOS PÓS-SURTO DE CRESCIMENTO PUBERTÁRIO APÓS
USO DE HERBST BANDADO**

Araraquara

2017



Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



KÉLEI CRISTINA DE MATHIAS ALMEIDA

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CÔNDILO MANDIBULAR EM
INDIVÍDUOS PÓS-SURTO DE CRESCIMENTO PUBERTÁRIO APÓS
USO DE HERBST BANDADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas – Área de Ortodontia, da Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas.

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Barnabé Ravelli

Araraquara

2017

Almeida, Kélei Cristina de Mathias

Avaliação tridimensional do côndilo mandibular em indivíduos pós-surto de crescimento pubertário após uso de herbst bandado. - - Araraquara: [s.n.], 2017.

108 f; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ortodontia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Dirceu Barnabé Ravelli

1. Má oclusão de Angle classe II 2. Aparelhos ortopédicos
3. Tomografia computadorizada de feixe cônico 4. Imagem tridimensional I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Cristina Jorge, CRB-8/5036

Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Odontologia de Araraquara / UNESP

KÉLEI CRISTINA DE MATHIAS ALMEIDA

**AVALIAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CÔNDILO MANDIBULAR EM
INDIVÍDUOS PÓS-SURTO DE CRESCIMENTO PUBERTÁRIO APÓS
USO DE HERBST BANDADO**

COMISSÃO JULGADORA

TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Dirceu Barnabé Ravelli

2º Examinador: Prof. Dr. Ary dos Santos-Pinto

3º Examinador: Prof^a. Dr^a. Lídia Parsekian Martins

4º Examinador: Prof. Dr. Acácio Fuzzy

5º Examinador: Prof^a. Dr^a. Savana Maia Gallo

Araraquara, 17 de março de 2017.

DADOS CURRICULARES

KÉLEI CRISTINA DE MATHIAS ALMEIDA

Nascimento: 30/06/1972 – Fernandópolis / SP

Filiação: Waldemar de Mathias
Taeko Nakamoto de Mathias

FORMAÇÃO ACADÊMICA

1990-1993: Curso de Graduação

Universidade de Ribeirão Preto- UNAERP

2006-2008: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de
Concentração em Ortodontia, nível Especialização, Faculdade de
Odontologia de Araçatuba - UNESP

2010-2012: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de Concentração
em Ortodontia, nível Mestrado, Faculdade de Odontologia de Araraquara -
UNESP

2013-2017: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de Concentração
em Ortodontia, nível Doutorado, Faculdade de Odontologia de Araraquara
– UNESP

DEDICO ESSE TRABALHO ...

À DEUS,

que está sempre presente em minha vida, fonte infinita de sabedoria e inspiração, meu guia para o caminho da luz e retidão, espero ser merecedora das suas graças. Obrigada por mais essa conquista.

À MINHA FAMÍLIA !!

Das minhas raízes trouxe o alicerce em forma de fortes vigas que agora amparam novas paredes. Assim é a família, uma construção de gerações, um verdadeiro Templo de Deus. Agradeço aos meus pais, irmãos, demais familiares, sobretudo ao meu marido, Herivelto e aos nossos filhos, Henrique e Luiza por colocarem com dedicação muitas coisas boas nessa construção, como: alegria, compreensão, paciência e principalmente o amor.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

AO MEU MARIDO HERIVELTO

Obrigada por nunca me fazer desistir, você me instiga a me superar e juntos somos o melhor de nós. Tenho em você um verdadeiro companheiro, o abrigo no ombro que me sustenta e a firmeza no braço forte que estende a mão e me faz crescer. Obrigada por fazer tudo valer a pena. Te amo para sempre!

AOS MEUS FILHOS LUIZA E HENRIQUE

Como é bom ter vocês em minha vida. Obrigada por serem exatamente quem são, uma extensão da nossa família. A nossa união será sempre cuidada com muito amor, como um laço que envolve delicadamente um presente. Estarei sempre arrumando e apertando os nossos laços.

Amo incondicionalmente vocês.

AOS MEUS PAIS

Sim, Deus capacita os escolhidos, e vocês são exemplos disso. Fazem muito por tantos, com amor, resignação e bondade. Sempre desprovidos de qualquer vaidade. Que o exemplo em vocês me acompanhe em todos os momentos. Tenho muito orgulho e gratidão por vocês. Obrigada por serem tão presentes em minha vida. Amo eternamente vocês!

AOS MEUS IRMÃOS

Sandra e Júnior, vocês são pilares da minha formação e juntos aos meus cunhados: Júlio, Fátima e Ana Lúcia; e aos meus sobrinhos: Caê, Ana, Victor, Letícia, Júlia, Neto e Gustavo, agradeço por todo amor fraterno e nossa maravilhosa união.

AO MEU ORIENTADOR, **PROF. DR. DIRCEU BARNABÉ RAVELLI**, minha eterna gratidão. Obrigada por me proporcionar oportunidades e poder desfrutar de sua experiência e sabedoria. Tive o privilégio de ter sido sua orientada no mestrado e agora no doutorado, muitos anos de convivência e aprendizado além da ortodontia, em sua pessoa, tive a oportunidade de conhecer um grande ser humano.

AO **PROF. DR. ARY DOS SANTOS-PINTO**, um ser humano incansável no ofício de servir e ensinar, que além de compartilhar conhecimentos e práticas, norteia seus alunos para o caminho da ética e do humanismo. Muito obrigada pelas prestimosas considerações para a realização desse trabalho, elas foram fundamentais. Minha eterna gratidão.

À **PROFA. DRA. LÍDIA PARSEKIAN MARTINS**, pela pessoa amável e generosa que é, por estar sempre disposta a ajudar. Mulher de garra, começou na ortodontia quando esta ainda era um ambiente predominante dos homens, tens a minha admiração. Obrigada por compartilhar os seus conhecimentos e saber influir.

AO **PROF. DR. LUIZ GONZAGA JR** e à **DRA MÁRCIA GANDINI**, casal exemplo de profissionalismo e competência. Obrigada por toda disponibilidade, oportunidades concedidas e generosidade em compartilhar conhecimentos. Meus sinceros agradecimentos.

AGRADECIMENTOS

À **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP**, na pessoa de seu Magnífico Reitor Prof. Dr. Sandro Roberto Valentini e Vice-Reitor, Prof. Dr. Sergio Roberto Nobre.

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr**, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, na pessoa de sua Diretora, Prof^a. Dr^a. Elaine Maria Sgavioli Massucato e seu vice-Diretor, Prof. Dr. Edson Alves de Campos.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas** coordenado pelo Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Junior (coordenador) e pelo Prof. Dr. Ary dos Santos-Pinto (vice coordenador).

Ao **Departamento de Clínica Infantil** da Faculdade de Odontologia de Araraquara – FOAr, representado pela chefe, Prof^a. Dr^a. Lídia Parsekian Martins e pela Vice-Chefe, Prof^a. Dr^a. Elisa Maria Aparecida Giro.

Aos professores da Disciplina de Ortodontia, **Prof. Dr. Dirceu Barnabé Ravelli, Prof. Dr. Ary dos Santos-Pinto, Prof. Dr. João Roberto Gonçalves, Profa. Dra. Lídia Parsekian Martins, Prof. Dr. Luiz Gonzaga Gandini Junior e Prof. Dr. Maurício Tatsuei Sakima**, pelos ensinamentos e pela oportunidade de estudar com uma das melhores equipes de Ortodontia do país. Profissionais comprometidos com a pesquisa e ciência, meus sinceros agradecimentos, tenho muito respeito e admiração por cada um de vocês.

Aos professores da Disciplina de Odontopediatria, **Prof^a. Dr^a. Angela Cristina Cilense Zuanon, Prof. Dr. Cyneu Aguiar Pansani, Prof^a. Dr^a. Elisa Maria Aparecida Giro, Prof. Dr. Fábio César Braga de Abreu e Lima, Prof^a. Dr^a. Fernanda Lourenção Brighenti, Prof^a. Dr^a. Josimeri Hebling Costa, Prof^a. Dr^a. Lourdes dos Santos-Pinto, Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Loiola Cordeiro.**

Ao **Prof. Dr. Fabiano Jeremias**, que sempre se dispôs a ajudar e compartilhar generosamente seus conhecimentos. Pessoa generosa e de grande capacidade profissional. Obrigada por toda a sua disposição, sou muito grata a você.

Ao físico em medicina, **Matheus Alvarez**, que fez os cálculos para que fosse possível a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

À **Prof^a. Dr^a. Savana Maia Gallo**, por ser amável e gentil. Me confiou seus pacientes, e abriu caminhos para que eu pudesse trilhar os meus sonhos. Excelente profissional, admirável no que se propõe a fazer, sobretudo quando professa a sua fé. Muito obrigada pela disponibilidade!

À amiga **Cláudia**, pelo companheirismo e amizade, paciência e disponibilidade, por sempre me receber com sorriso e abraço sinceros! Minha amizade e gratidão imensa!

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação, **José Alexandre Garcia e Cristiano Afonso Lamounier**, por toda presteza, atenção, paciência e amizade.

Aos **funcionários da Biblioteca**, pelo respeito e apoio na formatação da tese.

Aos **voluntários da pesquisa**, que permitiram a realização do estudo, meus sinceros agradecimentos! Muito obrigada pela confiança e colaboração.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pela bolsa concedida.

À **Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)**, pelo apoio financeiro fundamental para a realização e divulgação de todo o estudo.

Aos amigos e companheiros de turma do curso de Doutorado em Ciências Odontológicas, Área de Ortodontia, da FOAr/UNESP: **Cláudia Nakandakari, Liliane de Carvalho Rosas, Luégia Knop Shintcovsk, Ricardo Shintcovsk, e Taisa Ravelli**.

Agradeço pela ótima convivência, companheirismo e troca de experiência. Que vocês trilhem um caminho de sucesso!

Aos funcionários do Departamento de Clínica Infantil, **Antonio Parciaseppe Cabrini, Diego Pendenza, Dulce, Flávia, Pedro César Alves e Sônia Maria Tircailo**, por oferecerem suporte para a adequada realização das atividades clínicas e científicas.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Almeida KCM. Avaliação tridimensional do côndilo mandibular em indivíduos pós-surto de crescimento pubertário após uso de herbst bandado. [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2017.

Resumo

O objetivo deste estudo prospectivo foi avaliar tridimensionalmente a remodelação e o deslocamento do côndilo mandibular na fossa articular nos indivíduos, pós-surto de crescimento pubertário, tratados com aparelho Herbst bandado. A amostra foi constituída por 24 indivíduos, de ambos os gêneros, leucodermas, com idade cronológica média de 16 anos e 1 mês. Os indivíduos foram tratados com aparelho Herbst bandado por um período de 8 meses (média da amostra: 9,8 meses). Para a avaliação da remodelação do côndilo mandibular foram utilizadas tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) em dois tempos, denominados de T1 (antes da colocação do aparelho e T2 (após a remoção do mesmo). As tomografias foram obtidas pelo tomógrafo i-CAT Classic e os dados foram exportados no formato DICOM (Digital Image and Communication in Medicine) e avaliados no programa Dolphin® Imaging 11.5 Premium. As medidas foram analisadas nas imagens dos cortes multiplanares (planos coronal, sagital e axial) por um observador, previamente calibrado. Os dados obtidos foram calculados pelo sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais em um programa de *software* Matlab desenvolvido pelo Departamento de Física e Biofísica, da Faculdade Estadual Paulista – UNESP de Botucatu. Para avaliar o grau de concordância entre as mensurações empregou-se o coeficiente de correlação intraclassa (ICC). À exceção das medidas FOE (eixo Z), C1E (no eixo X) e C2-T2 em ambos os lados, todas as demais medidas apresentaram alto grau de reprodutibilidade, denotando que o erro do método pode ser desprezado. O deslocamento dos côndilos, no sistema de coordenadas cartesianas, foi calculado com o Ponto Zero na Base do crânio; a remodelação foi calculada com o Ponto Zero na média da distância dos forames mentuais direito e esquerdo, forneceu uma análise quantitativa e qualitativa e distâncias euclidianas. Com relação a base do crânio, o côndilo direito se deslocou de forma moderada (0,71mm) para baixo e de forma relevante (0,91mm) para frente; o côndilo esquerdo se deslocou de forma relevante (0,93mm) para baixo e de forma moderada (0,73mm) para frente. O côndilo direito remodelou de forma relevante 1,08mm para trás e se distanciou da média da distância dos forames mentuais de forma relevante (1,19mm); o côndilo esquerdo remodelou de forma relevante 0,98mm para cima e se

distanciou da média da distância dos forames mentuais de forma relevante (0,93mm). Foram mensurados os espaçamentos entre os pontos nos côndilos direito e esquerdo, em relação a fossa articular, sendo observado aumento de forma média, do espaçamento superior do côndilo esquerdo (0,34mm). O tratamento não promoveu alterações significantes nas medidas no eixo X, constatando que não houve movimento de lateralidade. Conclui-se que, com relação a base do crânio, os côndilos direito e esquerdo se deslocaram para baixo e para frente. O côndilo direito remodelou para trás enquanto que o côndilo esquerdo remodelou para cima.

Palavras-chave: Má oclusão de Angle classe II. Aparelhos ortopédicos. Tomografia computadorizada de feixe cônico. Imagem tridimensional.

Almeida KCM. Three-dimensional evaluation of the mandibular condyle in individual post-pubertal growth outbreak after banded herbst use. [Tese de Doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2017.

Abstract

The aim of this prospective study was to evaluate in 3-D the remodeling and displacement of the mandibular condyle in the glenoid fossa in the individuals, post-pubertal growth outbreak, treated with the banded Herbst appliance. The sample consisted of 24 individuals of both genders, leucoderma, with a mean chronological age of 16 years and 1 month. Subjects were treated with banded Herbst appliance during 8 months. Cone beam computed tomography (CBCT) was performed in two times to evaluate the condylar remodeling: T1 (prior to placement of the device) and T2 (after removal.) CT scans were obtained by i-CAT tomography Classic and the data were exported in DICOM (Digital Image and Communication in Medicine) format and evaluated in the Dolphin® Imaging 11.5 Premium program. The measurements were analyzed in multiplanar sections images (coronal, sagittal and axial planes) by an observer, previously calibrated. The data obtained were calculated by 3-D Cartesian coordinate system in a Matlab software, developed by the Department of Physics and Biophysics, UNESP Botucatu. To evaluate the agreement degree between the measurements, the intraclass correlation coefficient (ICC) was used. With the exception of the measurements FOE (Z axis), C1E (X axis) and C2-T2 on both sides, all other measurements showed a high degree of reproducibility, denoting that the error of the method can be neglected. The displacement of the condyles in the Cartesian coordinate system was calculated with the Zero Point in the skull base; the remodeling was calculated with the Point Zero in the mean distance of the right and left mental foramina, provided a quantitative and qualitative analysis and Euclidean distances. In relation to skull base, the right condyle moved moderately (0.71 mm) downwards and significantly (0.91 mm) forward; the left condyle shifted significantly (0.93mm) downwards and moderately (0.73mm) forward. The right condyle significantly remodeled 1.08mm behind and distanced itself from the mean distance of the mental foramina significantly (1.19mm); the left condyle significantly reshaped 0.98mm upward and distanced itself from the mean distance of the mental foramina significantly (0.93mm). The spacing between the points on the right and left condyles were measured, in relation to the glenoid fossa; there was a mean increase in the superior space of the left

condyle (0.34 mm). The treatment did not promote significant changes in the measurements on the X axis, noting that there was no laterality movement. It was concluded that, with respect to the skull base, the right and left condyles moved downwards and forward. The right condyle remodeled backwards while the left condyle remodeled upward.

Keywords: Malocclusion, Angle class II. Orthotic devices. Cone-beam computed tomography. Imaging, three-dimensional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 Articulação temporomandibular (ATM).....	19
2.2 Avanço mandibular com aparelhos ortopédicos fixos e avaliações nas articulações temporomandibulares.....	21
2.3 TCFC Para Avaliação da ATM	32
2.4 Medidas lineares, pontos cefalométricos em TCFC.....	40
3 PROPOSIÇÃO	47
4 MATERIAL E MÉTODO.....	48
4.1 MATERIAL.....	48
4.2 MÉTODO.....	49
4.2.1 Determinação do Padrão Facial e da Relação Dentária.....	49
4.2.2 Determinação do Padrão Morfológico Facial.....	49
4.2.3 Determinação da Idade Óssea.....	49
4.2.4 Descrição do Aparelho Herbst Bandado.....	50
4.2.5 Obtenção das Tomografias Computadorizadas de Feixe Cônico (TCFC).....	52
4.2.6 Análise das Imagens Tomográficas.....	53
4.2.7 Padronização do Posicionamento das Imagens.....	53
4.2.8 Padronização do Ponto Zero.....	54
4.2.9 Seleção das Imagens para Mensurações dos Pontos na TCFC.....	54
4.2.9.1 Pontos da base do crânio.....	55
4.2.9.2 Pontos da mandíbula.....	57
4.2.9.3 Pontos da fossa articular.....	58
4.3 Metodologia para a transformação de Coordenadas.....	62
4.3.1 Cálculo do deslocamento dos côndilos da mandíbula.....	64
4.3.2 Cálculo da remodelação dos côndilos da mandíbula.....	64
4.4 Matlab.....	67
4.5 Análise Estatística.....	68
5 RESULTADO.....	69
5.1 Estudo do erro do método	69
5.2 Deslocamento dos côndilos da mandíbula.....	71
5.3 Deslocamento dos côndilos da mandíbula em relação à fossa articular.....	77
5.4 Remodelação dos côndilos da mandíbula.....	77
6 DISCUSSÃO.....	84
7 CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE.....	106
ANEXO	107

1 INTRODUÇÃO

A má oclusão de Classe II tem sido muito estudada em função da sua alta incidência na população; no entanto, o tratamento dessa desarmonia não deixa de ser desafiador, sobretudo se for acompanhada de retrusão mandibular. Quando esse quadro clínico se estabelece, o objetivo principal é um aumento no comprimento da mandíbula. Aparelhos funcionais demonstraram ser eficazes na correção dessa má oclusão, diminuindo a sobremordida e obtendo uma relação de Classe I de caninos e molares^{15, 17, 18, 125, 127}.

Nos aparelhos funcionais fixos, as forças são contínuas, independente da colaboração do paciente, revelando uma vantagem em comparação aos tipos removíveis. Estudos têm relatado aumento na projeção anterior mandibular ao se utilizar o aparelho funcional Herbst^{15, 22, 33, 68, 93, 99, 125, 127}, melhorando as discrepâncias subjacentes^{33, 93, 121, 127}.

Estudos sugerem que o tratamento ortodôntico, incluindo o uso de aparelhos funcionais, pode ser prejudicial para a articulação temporomandibular^{73, 103, 104}. Por outro lado, algumas investigações não encontraram efeitos deletérios nas articulações temporomandibulares nos pacientes tratados na curva descendente de crescimento e em adultos jovens^{46, 47, 84, 96, 101, 114-116}.

No que diz respeito a melhor época para iniciar o tratamento com o aparelho Herbst, o período de crescimento puberal apresenta maior crescimento condilar quando comparado a indivíduos tratados nos períodos pré e pós-pico. Deste modo, o nível de desenvolvimento somático influencia a terapia com o aparelho Herbst. O crescimento sagital condilar geralmente prevalece no período do pico de crescimento e a compensação dentoalveolar, no período de tratamento pós-pico. No entanto, mudanças esqueléticas e dentais nos três períodos do crescimento têm mostrado uma grande variação individual⁹⁸.

Estudos tem evidenciado a possibilidade do tratamento com aparelho Herbst na fase pós-pico, buscando melhores resultados no que diz respeito à estabilidade^{23, 46, 64, 119}. Entretanto, ainda parece haver alguma discussão sobre os efeitos a longo prazo do tratamento com aparelho Herbst sobre a articulação temporomandibular, pois tal dispositivo pode afetar a fossa articular, o côndilo da mandíbula e sua posição espacial, além da posição do disco¹⁰⁷. Alguns fatores anatômicos, como tipo facial e ângulo goníaco^{15, 22, 96, 115}, assim como a remodelação da articulação temporomandibular³⁴

podem ter um impacto sobre o grau de adaptação esquelética nos casos de tratamento com o aparelho Herbst. No entanto, a literatura é escassa com relação a esse assunto ⁷¹.

Os componentes da articulação temporomandibular e suas alterações são difíceis de serem avaliados em radiografias em norma lateral, assim como a definição de pontos de referência ¹. Deste modo, várias técnicas de diagnóstico por imagem têm sido desenvolvidas, entretanto alguns autores ^{57, 111, 134} ainda relatam que não há uma única técnica que forneça imagens precisas de todos os componentes da complexa anatomia dessa articulação e que é importante a associação de imagens.

Nesse campo, modalidades de imagem obtidas por ressonância magnética e tomografia computadorizada estão sendo usadas mais frequentemente para o diagnóstico imagiológico da articulação temporomandibular, procurando suprir e obter uma imagem mais precisa dos detalhes das estruturas que compõem essa articulação. As tomografias computadorizadas têm sido amplamente utilizadas ^{28, 90} especialmente a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), pois é um método de diagnóstico por imagem que utiliza a radiação X e permite obter a reprodução de uma secção do corpo humano, em qualquer um dos três planos do espaço ⁴⁰. O avanço no uso de imagens em 3D tem modificado, gradativamente, a percepção sobre estruturas craniofaciais já que esse método adiciona informações importantes para o profissional, uma vez que fornece reconstruções tridimensionais das estruturas ósseas e dentais dos maxilares. A reconstrução multiplanar (axial, sagital, coronal, oblíqua) também é possível com essa tecnologia, eliminando assim a sobreposição, considerada uma das principais desvantagens das técnicas radiográficas convencionais para avaliação da articulação temporomandibular. Além disso, apresentam grande fidelidade em relação ao tamanho real das estruturas, tendo como grande mérito a precisão e acurácia de medidas lineares ⁴⁴.

Atualmente tem-se buscado realizar com a TCFC, trabalhos semelhantes aos apresentados no passado em que se utilizava a cefalometria lateral e/ou pósterio-anterior para análises craniofaciais ^{120, 137}. Diversos estudos revelaram que a TCFC é uma alternativa confiável para a avaliação da articulação temporomandibular e alterações ósseas ^{122, 144, 145}, tais como: diminuição do espaço articular; presença de cisto subcondral mandibular e/ou temporal, aplainamento por reabsorção e remodelamento e/ou erosão do côndilo da mandíbula, esclerose óssea subcondral e formação de osteófitos ^{5, 7, 50, 51, 54}.

A maior quantidade de informações geradas através das imagens obtidas pela TCFC levou a necessidade de se alterar a forma das avaliações, diferente de como eram

realizadas as mensurações na cefalometria. No entanto, ainda é desafiador para os clínicos entenderem e interpretar imagens tridimensionais. Atualmente, não há diretrizes específicas sobre como analisar este tipo de imagem, especialmente no campo ortodôntico. Por esta razão, novos padrões e treinamento especial são requeridos quando lidando com imagens 3D craniofacial ⁹¹.

Medidas lineares, em TCFC, e análises craniométricas têm sido estudadas e propostas, porém as estruturas anatômicas e os critérios para o plano de tratamento precisam ser definidos ^{65, 105}. Quando se utiliza um sistema cartesiano 3D, a confiabilidade e reprodutibilidade dos pontos de identificação são muito altos se os pontos cefalométricos tridimensionais são definidos corretamente ³⁸. Apesar dos constantes estudos na parte de programação em associação com novas tecnologias, poucos foram publicados a respeito da avaliação tridimensional do côndilo da mandíbula após uso do aparelho Herbst ^{71, 76}.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar imagens tridimensionais, obtidas através da tomografia computadorizada de feixe cônico, para relatar alterações esqueléticas e espaciais no côndilo da mandíbula após o uso do aparelho Herbst em indivíduos pós-surto pubertário. Assim pretende se contribuir para a elucidação do possível movimento das estruturas de interesse.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Articulação temporomandibular (ATM)

Em 1974, para Behsnilian²⁰ citou que a ATM pode ser definida como um conjunto de órgãos e tecidos, nos quais devem atuar integrados e harmonicamente, participando das funções como mastigação, respiração, fonação, deglutição e postura e que faz parte do sistema estomatognático,

Anos depois, Bhussry²¹ (1978), relatou que a articulação temporomandibular é uma diartrose bilateral entre as eminências do tubérculo articular e os côndilos da mandíbula. Uma placa fibrosa, o disco articular, é interposto sobre cada lado entre as superfícies articulares dos dois ossos. Citou que essa articulação permite a mandíbula se mover como uma unidade.

Para Nakazawa e Kamimura⁹² (1991), o côndilo da mandíbula localiza-se na porção superior posterior do ramo mandibular sendo dividido em colo da mandíbula (base), côndilo da mandíbula (porção superior), e processo condilar (porção lateral e medial) e está localizado abaixo do disco articular, na face articular da fossa mandibular atrás do tubérculo (eminência articular), envolto por uma cápsula.

Em 1994, a ATM foi classificada por Madeira⁷⁵ como uma articulação sinovial do tipo condilar em que superiormente tem-se o tubérculo articular e uma fossa mandibular, e inferiormente está presente o côndilo da mandíbula. Segundo o autor, superfícies articulares são revestidas por cartilagem fibrosa, havendo uma maior predominância de fibras colágenas com pequenas fibras elásticas.

Molina⁸⁹ (1995), citou que a ATM está delimitada posteriormente pela espinha pós-glenóide, pela região escamosa do temporal, por um condutor auditivo externo e uma região posterior da fossa articular; anteriormente se encontra o tubérculo articular, e medialmente a espinha do esfenóide; lateralmente está a parede lateral externa da fossa articular e o músculo masséter e superiormente o osso temporal e o arco zigomático.

Para Ludlow et al.⁷⁴ (1995), o côndilo da mandíbula apresenta 2,0 cm no sentido médio-lateral e 1,0 cm no sentido ântero-posterior. Seu longo eixo é ligeiramente rotacionado, ficando o polo medial angulado posteriormente, formando um ângulo de 15° a 33° com o plano sagital mediano.

Para Alomar et al.⁸ (2007), as funções mais importantes da ATM são a fala e a

mastigação. Os autores descreveram o componente mandibular como um processo condilar ovóide sobre um pescoço mandibular estreito, medindo de 15 a 20 mm lado a lado e 8 a 10 mm de frente para trás. Os côndilos da mandíbula são estendidos medialmente, encontram-se aproximadamente ao bázio no limite anterior do forame magno, formando um ângulo que se abre para a frente variando de 145 ° a 160°. O pólo lateral do côndilo da mandíbula é áspero, sem corte, e se projeta apenas moderadamente a partir do plano do ramo, enquanto o pólo medial se estende abruptamente para dentro deste plano.

Para Rodrigues et al. ¹¹³ (2009), a articulação temporomandibular (ATM) é uma das mais complexas articulações do corpo humano e seu funcionamento harmonioso é fundamental para manter o sistema mastigatório em equilíbrio. A posição assimétrica das estruturas da ATM, assim como, algumas alterações morfológicas podem ser influenciadas por diversos fatores, como contato prematuro, ausência dental, abrasão, parafunção, mordida cruzada unilateral e assimetrias dento-esqueléticas.

Em 2014, Bag et al. ¹⁶ afirmaram que a ATM é uma articulação sinovial gínglimoartrodial que permite transladar a mandíbula tanto para trás como para a frente, assim como um movimento de deslizamento. Descreveu que os componentes da ATM são o disco articular, superfícies ósseas articulares, côndilo da mandíbula, fossa mandibular e eminência articular do osso temporal, cápsula fibrosa, líquido sinovial, membrana sinovial e ligamentos. E que as superfícies articulares da ATM são formadas inferiormente pelo côndilo da mandíbula e superiormente pela fossa articular, também conhecida como fossa mandibular, e eminência articular do osso temporal. Afirmaram ainda que as superfícies articulares são cobertas pela fibrocartilagem de cartilagem hialina, o que torna esta articulação única.

Al-Koshab et al. ⁹ (2015), citou que a articulação temporomandibular (ATM) é uma das articulações mais importantes do corpo e mantém uma estreita relação com a cavidade bucal, dentes, posição e função do côndilo da mandíbula. Desta forma, é diretamente controlada pelas estruturas bucais, incluindo os músculos associados. Os autores avaliaram as dimensões do côndilo da mandíbula e da fossa articular em 200 imagens de tomografia de feixe cônico de 100 pacientes (idade média de 30,5 anos), divididos em grupos por gêneros, etnia e simetria dos côndilos da mandíbula (direita e esquerda). Não foram observadas diferenças significativas entre os gêneros em relação a espessura do teto da fossa articular e o comprimento do côndilo da mandíbula. No entanto,

o volume, a largura, a altura e os espaços articulares condilares foram significativamente maiores entre os homens. Com relação à comparação de ambas as ATMs, as médias do volume condilar, a largura e o comprimento da ATM direita foram significativamente maiores; enquanto que a altura e a espessura do teto da fossa articular foram maiores. Ao comparar as medidas condilares e a espessura do teto da fossa articular entre os dois grupos étnicos, não se observou diferença significativa para todas as medidas com exceção da altura do côndilo da mandíbula, que foi maior entre os chineses.

2.2 Avanço mandibular com aparelhos ortopédicos fixos e avaliações nas articulações temporomandibulares

A retrusão mandibular é considerada uma característica comum da má oclusão de classe II, divisão 1. O reposicionamento mandibular por meio de aparelhos ortopédicos fixos é relatado com êxito para a correção dessa má oclusão. No entanto, é incerto se esses efeitos são benéficos ou nocivos sobre os tecidos e estruturas da articulação temporomandibular (ATM).

Em 1998, Pancherz et al.¹⁰⁰ avaliaram 98 indivíduos (59 do gênero masculino e 39 do gênero feminino) com má oclusão de Classe II divisão 1 tratados com aparelho Herbst por 6 meses. Por meio de telerradiografia lateral, os dados foram comparados ao grupo controle, com oclusão ideal. O acompanhamento radiográfico foi realizado em quatro tempos: T1 - antes do tratamento; T2 - 6 meses de uso do aparelho Herbst; T3 - 6 meses do pós-tratamento quando a oclusão estava estabelecida; T4 - acompanhamento de 3 anos e 1 mês após o tratamento. Foi observado que durante o período de tratamento, entre T1 a T2, o ponto Co do grupo experimental mudou de posição ($P < 0.001$), vertical para cima (média: 3.1 mm) e horizontal para trás (média: 2,8 mm), comparado ao grupo controle. Durante o primeiro período pós-tratamento, entre T2 a T3, a mudança no ponto Co foi quase que totalmente vertical para cima (média de 1mm) e reduzido em 1/3 do que observado no período anterior, comparado ao grupo controle. Durante o segundo período pós-tratamento, entre T3 a T4, o ponto Co no grupo experimental mudou de posição mais vertical para cima do que horizontal para trás, enquanto que no grupo controle, a quantidade de mudança do Co foi maior na direção vertical para cima. Quando foi examinado o período todo, entre T1 A T4, comparando o grupo experimental ao controle,

as mudanças no ponto Co do componente vertical diferiram do componente horizontal, observando em média 2,8mm a mais para trás no grupo experimental.

No mesmo ano (1998), Ruf e Pancherz¹¹⁴ avaliaram três possíveis alterações adaptativas da ATM que contribuem para o aumento do comprimento mandibular por meio do aparelho Herbst: (1) remodelação condilar; (2) remodelação da fossa articular; (3) mudanças de posição côndilo da mandíbula-fossa. A amostra totalizou 15 indivíduos (4 feminino e 11 masculino), com má oclusão de Classe II, média de idade de 13,5 anos, tratados com aparelho Herbst por um período de 7 meses. Todos foram avaliados por meio de ressonância magnética. Os exames foram adquiridos em 4 tempos: T0 - antes do tratamento com Herbst; T1 - até 6 dias após instalação do aparelho Herbst; T2 - de 6 a 12 semanas após a instalação do aparelho Herbst; T3 - até 4 dias após remoção do aparelho Herbst. Para comparação do crescimento, um grupo controle com oclusão ideal, também foi analisado. Para avaliar as alterações da posição condilar induzidas pelo aparelho, foi realizada uma análise dos espaços articulares anterior e posterior no plano sagital: os exames de ressonância magnética central da ATM esquerda e direita antes (T0) e após (T3) o tratamento com Herbst foram traçadas e analisados de acordo com o método descrito por Kamelchuk et al.⁵⁹ (1996). Para eliminar o problema com as diferenças no tamanho das articulações ao comparar os indivíduos, foi calculado o Space Joint Index. Um valor de índice de '0' indica uma posição condilar central, um valor negativo uma posição condilar posterior e um valor positivo uma posição condilar anterior. Para comparação dos aumentos no crescimento medidos entre os pacientes de Herbst com os indivíduos não tratados com oclusão ideal, foram utilizados os Padrões de Bolton (Broadbent et al.²⁴, 1975). O traçado anual dos padrões foi analisado de acordo com o método descrito acima. Nas comparações, os padrões foram idade e tempo de tratamento relacionados aos casos individuais de Herbst. Para a avaliação do erro do método, as imagens de RM e os roentgenogramas cefalométricos de todos os sujeitos foram traçados e avaliados duas vezes. Em todos os 15 indivíduos, a terapia com Herbst resultou em um aumento no comprimento mandibular. Após 6-12 semanas de tratamento, observaram-se sinais de remodelamento condilar na fronteira póstero-superior em 29 dos 30 côndilos da mandíbula, por meio da RM. Sinais de remodelamento da fossa articular na superfície anterior da espinha pós glenóide foram observados em 22 articulações (11 pacientes). A remodelação condilar parecia preceder a remodelação da fossa. A relação côndilo da mandíbula-fossa foi, em média, não afetada pela terapia de Herbst. O "crescimento

condilar efetivo" durante o tratamento foi, em média, aproximadamente cinco vezes maior no grupo de Herbst do que no grupo não tratado com oclusão ideal (Padrões de Bolton) e a direção das alterações de crescimento foi relativamente mais horizontal nos casos tratados. Os resultados indicam que tanto a remodelação condilar quanto a remodelação da fossa articular parecem contribuir significativamente para o aumento do comprimento mandibular, resultante do tratamento com Herbst, enquanto que as alterações nas relações côndilo da mandíbula-fossa são de menor importância. A RM representa uma excelente oportunidade para visualizar processos de crescimento da remodelação temporomandibular. Segundo os autores, a ressonância magnética parece ser um excelente exame para visualizar a remodelação da ATM.

Em um estudo prospectivo longitudinal, Ruf e Pancherz ¹¹⁶ (1999) analisaram e compararam a adaptação da ATM em 25 adolescentes e 14 adultos jovens durante o tratamento com aparelho Herbst, comparando a um grupo controle com oclusão normal. O remodelamento da ATM foi analisado por ressonância magnética e radiografias laterais da cabeça. Após 6 a 12 semanas de tratamento com Herbst, sinais de remodelação condilar foram observados no limite pósterio-superior em 48 dos 50 côndilos da mandíbula dos adolescentes e em 26 dos 28 côndilos da mandíbula dos adultos jovens. A remodelação bilateral do ramo mandibular foi detectada em 1 adolescente e em 2 adultos jovens. Os sinais de remodelamento da fossa articular na superfície anterior da coluna pós-glenóide foram observados em 36 adolescentes e 22 articulações temporomandibulares adultas jovens. Mudanças efetivas da articulação temporomandibular foi mais horizontalmente dirigida e maior nos grupos de pacientes tratados com aparelho Herbst (adolescentes e adultos jovens) do que no grupo controle.

Em 2000, Ruf e Pancherz ¹¹⁸ determinaram se o uso de aparelho Herbst pode causar distúrbio na ATM, por meio de um estudo longitudinal prospectivo envolvendo 62 pacientes com má oclusão de Classe II. A função da articulação temporomandibular (ATM) foi avaliada por meio de anamnese, clinicamente e por meio de imagens de ressonância magnética (RM) tomadas antes (T1-média de 68 dias antes), após (T2-média de 25 dias após) e 1 ano após o tratamento (T3) com Herbst. O tempo médio de tratamento com este aparelho foi de 7,2 meses. A posição do côndilo da mandíbula foi avaliada metricamente nas RMs parasagittais tomadas com a boca fechada por meio de um método descrito por Mavreas e Athanasiou ⁷⁹ (1992). Os espaços articulares anterior e posterior foram avaliados e o Joint Space Index (JSI) foi calculado. O intervalo fisiológico para a

posição condilar, tal como descrito por Vargas-Pereira¹³⁸ (1997), é um valor de índice de 21,1 a -32,5. Um valor positivo indica um deslocamento condilar anterior e um valor negativo um deslocamento condilar posterior. Trinta pacientes (48%) da amostra presente exibiram pelo menos um sinal ou sintoma de DTM articular, mas nenhum apresentou DTM muscular. Em todos os indivíduos, o tratamento com Herbst resultou numa relação arco dental Classe I ou Classe I sobrecorrigida. Após tal período, o tratamento foi continuado com aparelhagem fixa. O côndilo da mandíbula foi posicionado significativamente para a frente durante o tratamento, mas voltou à sua posição original após a remoção do aparelho Herbst. Para o grupo normal, foram encontradas alterações significativas em direção a uma posição condilar mais centrada no corte central e em direção a uma posição mais anterior no corte mediano. A causa para as diferenças nas mudanças entre os cortes é desconhecida, mas pode ser devido à remodelação do côndilo da mandíbula durante o tratamento com Herbst. Uma capsulite temporária na porção inferior do ligamento posterior foi induzida ao longo do tratamento. Durante todo o período de observação, desde antes do tratamento até 1 ano após o tratamento, o aparelho Herbst: (1) não resultou em qualquer DTM muscular; (2) reduziu a prevalência de capsulite e mudanças estruturais condilares ósseas; (3) não induziu o deslocamento do disco em indivíduos com uma posição fisiológica do disco no pré-tratamento; (4) resultou num reposicionamento estável do disco em indivíduos com um deslocamento do disco parcial com redução pré-tratamento; e (5) não conseguiram recapturar o disco em sujeitos com um deslocamento de disco total no pré-tratamento com ou sem redução. Um deslocamento total de disco no pré-tratamento com ou sem redução não parece, contudo, ser uma contra-indicação para o tratamento com Herbst. Em conclusão, a correção da mordida usando o aparelho Herbst não tem um efeito deletério sobre a função da ATM e não induz DTM a curto prazo.

Voudouris et al.¹³⁹ (2003) analisaram as alterações no côndilo da mandíbula, na fossa articular e nos músculos da mastigação de primatas, tratados com aparelho Herbst esplinte metálico. A análise cefalométrica foi utilizada para documentar o crescimento condilar em primatas humanos e não humanos. Além disso, foram utilizadas outras 3 técnicas, para melhorar os métodos anteriores. Primeira, eletrodos EMG foram implantados permanentemente em alguns sujeitos para monitorar a atividade muscular. Segunda, a coloração vital de tetraciclina intravenosa de secções não descalcificadas e microscopia de fluorescência foram utilizadas para revelar a formação óssea. Terceira, a

histomorfometria computadorizada foi utilizada para quantificar a quantidade de novo osso formado. A amostra total (n=56) envolvia a seguinte disposição: 15 primatas, com dentaduras: mista, permanente precoce e permanente, 17 pacientes humanos com dentadura permanente jovem, utilizando o Herbst esplinte metálico, e 24 indivíduos no grupo controle (Burlington Growth Centre). Os avanços no aparelho foram realizados de 5,0 mm, 7,0 mm e 8,0 mm. O tratamento com o Herbst produziu formação óssea significativa na fossa articular. Isso foi mensurado com uma linha paralela ao plano oclusal, obtendo-se uma média de 1,2mm nos animais experimentais com 12 semanas. O novo osso cresceu em uma direção para baixo e para frente e diferiu do crescimento, para baixo e para trás nos indivíduos controle. A restrição e a modificação de crescimento, na fossa articular, podem auxiliar a explicar os resultados esqueléticos positivos observados, clinicamente, durante o tratamento ortopédico de retrognatismo mandibular Classe II severo.

Na segunda parte da pesquisa, Voudouris et al.¹⁴⁰ (2003) mostraram resultados mais detalhados e a oclusão Classe I foi obtida pela associação de fatores, como: crescimento condilar anterior, restrição no crescimento maxilar, remodelação da fossa articular, para baixo e para frente. Nas avaliações foram utilizadas técnicas cefalométricas, histomorfométricas e eletromiográficas (EMG) para estudar as interações músculo-osso durante a terapia com o aparelho Herbst. Os detalhes metodológicos foram descritos na Parte 1 deste estudo (Voudouris et al.¹³⁹, 2003). A análise histomorfométrica mostrou que o novo osso adicionado era estatisticamente significativo quando comparado com o grupo controle, formação que parece aumentar com o tempo. O crescimento condilar foi comprovado pelo método de Björk com sobreposição de implantes. Todos os indivíduos experimentais apresentaram extensão condilar adicional, conforme mostrado pelas sobreposições mandibulares. As medidas do côndilo da mandíbula também confirmaram este achado. Além disso, a medida do côndilo da mandíbula ao implante mandibular anterior (comprimento mandibular) mostrou aumento do crescimento condilar em relação aos controles. A direção do crescimento condilar variou entre os sujeitos durante o período experimental, mas foi geralmente em uma direção superior e posterior (alterações significativas). Um menor achatamento do ângulo goníaco associado à diminuição da atividade do músculo masséter (por eletromiografia) pareceu encurtar o ramo à medida que o côndilo da mandíbula crescia posteriormente e superiormente, medido a partir dos implantes metálicos. Isto não foi, contudo, considerado "flexão óssea", mas sim uma

modificação adicional do crescimento do ramo, incluindo o ângulo goníaco devido ao aparelho ortopédico. Estas observações em primatas juvenis não humanos, na fase de dentição permanente inicial foram consistentes com os resultados em seres humanos tratados com Herbst. Deste modo, o aparelho Herbst produz mudanças consistentes na região côndilo da mandíbula-fossa, quando comparado com resultados inconsistentes dos aparelhos funcionais removíveis. A análise morfométrica mostrou que a espessura máxima do novo osso formado na fossa articular contribuiu diretamente para o componente horizontal de 7 mm da má oclusão Classe I que foi mantida. Este novo osso, quando medido paralelamente ao plano oclusal, contribuiu entre 6% e 32% da má oclusão Classe I. Além disso, a extensão condilar horizontal contribuiu de 1,10 a 3,23 mm, ou 22% a 46%, para a má oclusão Classe I.

Kinzinger et al.⁶³ (2006) verificaram os efeitos que o tratamento corretivo da má oclusão esquelética de Classe II com aparelhos ortopédicos funcionais fixos tem sobre as posições do côndilo da mandíbula na fossa articular. O progresso do tratamento ortodôntico foi monitorado em 20 pacientes (11 homens e 9 mulheres) por ressonância magnética (RM) em quatro pontos definidos. Foram utilizados dois aparelhos diferentes: o Propulsor Mandibular Funcional (FMA; n=17) e o Aparelho Herbst (n=3). As imagens de RM foram obtidas nos seguintes tempos: T0: antes do início do tratamento; T1: no início do tratamento; T2: durante o tratamento; T3: no final do tratamento de mordida. A análise métrica das articulações temporomandibulares foi realizada nas fatias centrais das imagens obtidas com a boca em posição fechada. Para avaliar a relação de posicionamento entre côndilo da mandíbula e fossa, a largura dos espaços articulares foi medida e para compensar a variação individual dos tamanhos do côndilo da mandíbula, calculou-se o índice de espaço articular (Joint Space Index). O deslocamento do côndilo da mandíbula na fossa foi medido na dimensão ventral e caudal e a reposição condilar efetiva foi calculada. Após a adoção da posição terapêutica, os côndilos da mandíbula foram deslocados da posição cêntrica dentro da fossa em direção caudal e ventral. No final do tratamento, eles retornaram à sua posição original. Devido ao reposicionamento do côndilo da mandíbula para a posição terapêutica sob o efeito de aparelhos ortopédicos funcionais, o valor do índice do espaço articular aumentou para $50,19\% \pm 11,71\%$ em T1. No curso do tratamento, o valor do índice caiu para $22,96\% \pm 18,60\%$ em T2 e para $5,90\% \pm 15,26\%$ em T3, retornando assim a um valor ligeiramente inferior ao do estado inicial. Não foram encontradas diferenças significativas em relação aos achados iniciais na

largura dos espaços articulares anterior ou posterior. Ao avaliar as articulações individualmente pelos lados esquerdo e direito, os resultados obtidos foram análogos. A análise estatística não revelou diferenças significativas entre os dois lados. Para os pacientes que receberam tratamento ortopédico funcional para a correção esquelética de Classe II com um aparelho funcional fixo, a mudança para uma relação fisiológica do côndilo da mandíbula-fossa ocorreu bilateralmente na região das articulações. Desta forma, desde a fase pré à fase pós-tratamento, nenhuma alteração significativa na relação côndilo da mandíbula-fossa foi detectada. Em linhas gerais, este estudo sugere que a melhora na oclusão dentária não foi alcançada ao preço de uma mudança para uma posição não fisiológica nas articulações temporomandibulares.

Kinzinger et al.⁶² (2007) verificaram os efeitos que o tratamento com um aparelho ortopédico funcional fixo utilizado entre 6 a 9 meses, para corrigir a distoclusão tem sobre a relação topográfica do côndilo da mandíbula e da fossa articular e analisaram as alterações morfológicas no côndilo da mandíbula. O progresso do tratamento com o propulsor funcional de mandíbula (FMA) em 20 pacientes CI II (10 homens e 10 mulheres) foi monitorado por ressonância magnética (RM) em quatro pontos definidos. A inspeção visual e a análise métrica foram realizadas em três planos (axial, frontal, parasagital) mostrados nas RMs. A reconstrução 3D das superfícies do côndilo da mandíbula baseada nas imagens foi realizada nos casos selecionados. As RMs foram obtidas nos seguintes tempos: T0: antes do tratamento com FMA; T1: no início do tratamento com FMA, com a mandíbula na posição terapêutica desejada; T2: durante o tratamento com FMA e T3: no final de FMA tratamento. Foi realizada inspeção visual nos planos axial, frontal e parasagital das RMs tomadas nos pontos T0, T2 e T3. Ao fazer isso, era atribuído aos côndilos da mandíbula uma forma morfológica específica, em cada um dos três planos. A análise métrica também foi realizada nos planos axial, frontal e sagital. Em cada caso, as medições foram tiradas do corte que exibia o maior diâmetro do O côndilo da mandíbula (o corte central na maioria dos casos). As medições lineares foram obtidas utilizando o programa de medição incluído no software do sistema (com precisão de 0,1 mm). Nos pontos T0, T2 e T3, a largura e a profundidade do côndilo da mandíbula foram medidas no plano axial, a largura e a altura no plano frontal. Para avaliar a estrutura anatômica no plano sagital, foi determinada a altura e profundidade condilar, de acordo com o método descrito por Hoppenreijns et al.⁵⁵ (1998). Para compensar a reprodutibilidade incompleta dos vários planos nos pontos de controle definidos, a razão

de ambos os valores foi estabelecida nos seguintes planos: relação entre a profundidade e a largura no plano axial, altura-largura no frontal e altura-profundidade na relação sagital. Para avaliar a relação posicional do côndilo da mandíbula e fossa, foi medida a largura dos espaços articulares anterior e posterior utilizando o Space Joint Index. O deslocamento no plano sagital do côndilo da mandíbula dentro da fossa articular foi medido individualmente para reposicionamento ventral e caudal de T0 até T3. As linhas usadas para referência foram a tangente horizontal que é paralela à borda superior da imagem que passa pelo ponto mais alto da fossa (a tangente da fossa), e uma linha vertical, em ângulo reto com a última, que percorre o ponto mais craniano o da fossa (fossa perpendicular). O primeiro passo foi determinar a distância absoluta das linhas de referência. Como resultado, se observou que ao assumirem a posição terapeuticamente desejada, os côndilos da mandíbula foram deslocados caudalmente e ventralmente da sua posição cêntrica dentro da fossa. No final do tratamento, eles tinham retornado à sua posição original. Quando avaliadas lateralmente, a análise estatística não revelou diferenças significativas entre as articulações dos lados direito e esquerdo. Nem o espaço articular anterior nem o posterior entre todas as 40 articulações apresentaram alterações significativas na largura em comparação com os achados iniciais. A inspeção visual nos planos axial, frontal e sagital revelou alterações na forma exterior de 31 dos 40 côndilos da mandíbula analisadas. Em geral, enquanto alterações morfológicas foram observadas em todos os três planos, eles foram mais marcados no plano axial. Por outro lado, a análise métrica das ressonâncias magnéticas 2D não revelou alterações significativas na largura, profundidade ou altura no plano em questão. É por isso que foi reconstruída a estrutura do côndilo da mandíbula em três dimensões, numa base experimental. Para fins de análise, foram impostas as reconstruções das superfícies do côndilo da mandíbula nos vários pontos de controle uns sobre os outros. Ao processar os dados desta forma, foi criada uma abordagem alternativa para avaliar as alterações morfológicas. Foi possível concluir que em pacientes tratados com aparelho ortopédico funcional rígido e fixo para correção da má oclusão esquelética de Classe II, ambas as articulações voltaram a uma relação fisiológica do côndilo da mandíbula-fossa pós-tratamento. A oclusão melhorada não foi alcançada ao preço do reposicionamento não-fisiológico na articulação temporomandibular. A inspeção visual sugeriu que alterações morfológicas no côndilo da mandíbula podem ter ocorrido à medida que o tratamento progrediu, mas isso não foi confirmado pela análise métrica 2D. No entanto, por meio da reconstrução tridimensional

das superfícies condilares e sua superposição, a visualização detalhada de mecanismos adaptativos e sua avaliação não invasiva em 3D pode se tornar viável na rotina clínica.

Arici et al.¹³ (2008) avaliaram se o tratamento com aparelho funcional fixo em um grupo de pacientes de Classe II Divisão 1 com retrusão mandibular (overjet maior que 5mm) altera a posição do côndilo da mandíbula na fossa articular. Neste estudo, tomografias computadorizadas (TC) transversais da região da articulação temporomandibular foram obtidas de 60 crianças com má oclusão Classe II Divisão 1 (idade média de 12 anos e 7 meses). Trinta pacientes (17 meninas e 13 meninos) selecionados aleatoriamente foram tratados com um aparelho ortodôntico funcional fixo (Forsus nitinol flat-spring, 3M Unitek Corp, Monrovia, Calif.) por 7 meses; outros 30 pacientes (21 meninas e 9 meninos) sem tratamento fizeram parte do grupo controle. As imagens de tomografia computadorizada tomadas no início (T0) e no final (T1) do tratamento com aparelho funcional fixo foram utilizadas para estimar a relação côndilo da mandíbula-fossa articular, incluindo os volumes do côndilo da mandíbula, fossa articular e espaços articulares anterior e posterior. O corte da TC que melhor mostrava a relação fossa articular-côndilo da mandíbula (maior porção condilar na direção mediolateral e ântero-posterior) foi selecionado. Duas outras imagens foram tiradas (nos níveis superior e inferior) para obter 3 cortes consecutivos. Nestas 3 imagens, foram delineados os pontos medianos e laterais finais dos côndilos da mandíbula esquerda e direita e as fossas articulares. As imagens do côndilo da mandíbula, da fossa articular (total) e das áreas do espaço articular anterior e posterior foram estimadas separadamente, utilizando o princípio de Cavalieri e essas estimativas foram inseridas em um programa de computador para obter os volumes das estruturas anatômicas medidas. Para cada sujeito, os mesmos parâmetros foram calculados no segundo conjunto de varreduras, e foram calculadas as mudanças nos valores médios de volume (T1-T0). A reprodutibilidade das posições de corte de referência da TC e as estimativas de volume de ATM foram avaliadas através da análise da diferença entre as determinações de TC realizadas há 2 semanas em 20 pacientes selecionados aleatoriamente. Embora os volumes do côndilo da mandíbula e da fossa articular tenham aumentado mais no grupo teste do que no grupo controle, as diferenças não foram estatisticamente significativas. No entanto, foram encontradas diferenças significativas entre os grupos nos volumes dos espaços articulares anterior e posterior ($p < 0,05$). Concluindo, quando os volumes dos espaços articulares anteriores e

posteriores mudaram, o côndilo da mandíbula foi posicionado mais posteriormente na fossa articular no grupo teste do que no grupo controle.

LeCornu et al.⁷¹ (2013) analisaram alterações esqueléticas tridimensionais em indivíduos com má oclusão de Classe II tratados com o aparelho Herbst e compararam essas alterações com controles de Classe II tratados utilizando técnicas de sobreposição tridimensional. Sete pacientes tratados com Herbst e 7 controles Classe II tratados com elásticos de Classe II preencheram os critérios de inclusão e possuíam tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) tomadas antes do tratamento e após remoção de Herbst e após tratamento para os indivíduos controle. Modelos tridimensionais foram gerados a partir das imagens de TCFC registradas nas bases cranianas anteriores, e analisadas por meio de mapas coloridos e medidas ponto-a-ponto. Os pacientes do grupo Herbst demonstraram translação anterior dos côndilos da mandíbula e fossas articulares (fossa anterior direita, $1,69 \pm 0,62$ mm; fossa anterior esquerda, $1,43 \pm 0,71$ mm; côndilo da mandíbula anterior direita, $1,20 \pm 0,41$ mm; côndilo da mandíbula anterior esquerda, $1,29 \pm 0,57$ mm). Enquanto que o deslocamento posterior predominou nos controles (fossa anterior direita, $-1,51 \pm 0,68$ mm; fossa anterior esquerda, $-1,31 \pm 0,61$ mm; côndilo da mandíbula anterior direita, $-1,20 \pm 0,41$ mm; côndilo da mandíbula anterior esquerda, $-1,29 \pm 0,57$ mm, $P < 0,001$). Houve maior projeção anterior do ponto B nos pacientes com Herbst ($2,62 \pm 1,08$ mm versus $1,49 \pm 0,79$ mm, $P < 0,05$). O deslocamento anterior do ponto A foi mais predominante nos controles quando comparado aos pacientes de Herbst ($1,20 \pm 0,53$ mm vs $-1,22 \pm 0,43$ mm, $P < 0,001$). Foi concluído que os pacientes de Classe II tratados com o aparelho Herbst demonstraram deslocamento anterior dos côndilos da mandíbula e das fossas articulares juntamente com a restrição maxilar quando comparados aos controles de Classe II tratados, podendo resultar em projeção mandibular mais anterior.

Aidar et al.² (2013) avaliaram, através de ressonância magnética, as alterações morfológicas nos côndilos da mandíbula da articulação temporomandibular (ATM) e calcularam o índice de disfunção clínica (IDC) de Helkimo em adolescentes com má oclusão Classe II Divisão 1 com retrognatía mandibular, todos tratados com aparelho Herbst (fase I) e aparelhos ortodônticos fixos (fase II). Trinta e dois adolescentes (16 homens e 16 mulheres) (média idade de $12,8 \text{ anos} \pm 1,2$) passaram pela fase I e 23 (13 homens e 10 mulheres) completaram a fase II. Na fase I, a mandíbula foi avançada até 6 mm no início do tratamento. Quando necessário, avanços suplementares de 2 a 3 mm

foram alcançados no terceiro mês. Em todos os 32 adolescentes, o tratamento com o aparelho Herbst resultou em Classe I ou relação arco-dental Classe I sobrecorrigida. Na fase II, foi utilizado uma tração alta de Interlandi (IHG) durante a nivelção para reduzir a possível perda de ancoragem nos molares superiores. No final da fase II, todos os 23 pacientes apresentaram boa oclusão e oclusão funcional. As imagens para este estudo foram interpretadas 3 vezes pelo observador A e uma vez pelo observador B (que também deu o diagnóstico final). Foi aplicado um procedimento duplo-cego. A concordância geral inter-observador foi calculada como a proporção das articulações para o qual a interpretação final do observador A e a interpretação do observador B concordaram. Os achados clínicos foram analisados e classificados em um dos quatro níveis de disfunção: 0 pontos, IDC-0 (Assintomático); 1-4 pontos, IDC-I (Suave); 5-9 pontos, IDC-II (Moderado); e 10-25 pontos, IDC-III (Grave). As ATMs foram avaliadas qualitativamente por ressonância magnética no início do tratamento (T1), na fase I (T2), no final da fase I (T3) e no final da fase II (T4). O IDC foi calculado em T1, T3 e T4. De T1 para T3 ($p=0,326$), não houveram alterações na morfologia do côndilo da mandíbula em 86,0% das ATMs. De T3 para T4 ($p<0,05$) e de T1 para T4 ($p<0,05$), ocorreram alterações em 39,1% e 43,4% dos côndilos da mandíbula, respectivamente. Não ocorreram alterações significativas no IDC de T1 para T3, de T3 para T4 e de T1 para T4 ($p=1.000$; 86.6%, 76.2% e 76.2% de concordância). Após a fase I, praticamente não houve alterações na morfologia do côndilo da mandíbula. No final da fase II, observou-se um ligeiro achatamento em alguns côndilos da mandíbula. Deste modo, pôde-se concluir que não ocorreram alterações significativas no IDC após ambas as fases do tratamento.

Al-Saleh et al.¹⁰ (2015) em uma revisão sistemática, avaliaram os efeitos do tratamento da má oclusão esquelética de classe II por meio de aparelhos fixos de reposicionamento mandibular na posição e morfologia da articulação temporomandibular (ATM). Dois revisores independentes realizaram buscas eletrônicas abrangentes na MEDLINE, EMBASE, revisões EBM e Scopus (até 5 de maio de 2015). As referências dos artigos identificados também foram pesquisadas manualmente. Todos os estudos que investigaram alterações morfológicas do disco articular da ATM, côndilo da mandíbula e fossa articular com imagens em 3D após reposicionamento mandibular com dispositivos fixos não cirúrgico. Os indivíduos em crescimento com má oclusão de classe II foram incluídos na análise. Dos 269 artigos inicialmente analisados, apenas 12 artigos usaram imagens de ressonância magnética e dois artigos usaram tomografia computadorizada

(TC) ou imagens de TC de feixe cônico. O efeito do tratamento no côndilo da mandíbula e fossa articular foi discutido em oito artigos. O efeito do tratamento sobre a posição e morfologia do disco articular da ATM foi discutido em sete artigos. Todos os artigos mostraram um alto risco de viés devido à fraca metodologia: consideração inadequada de variáveis de confusão, cegamento da avaliação da imagem, seleção ou ausência do grupo controle e avaliação do resultado. Alterações relatadas na remodelação óssea, posição dos côndilos da mandíbula e disco foram contraditórias. Os autores concluíram que os artigos selecionados não conseguiram estabelecer evidências conclusivas da natureza exata da resposta tecidual da ATM aos aparelhos de reposicionamento mandibular fixo.

2.3 TCFC Para Avaliação da ATM

Exames radiográficos convencionais como panorâmica, transcraniana e submentovertex eram empregados, apesar de suas respectivas limitações, para poder avaliar a anatomia da ATM e estruturas adjacentes. Com o advento da TCFC, foi possível avaliar essa articulação com precisão em todas as projeções, em proporções de tamanho real, cortes transversais e em uma única exposição do paciente (Hilgers et al. ⁵⁰, 2005; Honey et al. ⁵⁴, 2007; Hussain et al. ⁵⁷, 2008).

Tsiklakis et al. ¹³⁴ (2004) descreveram uma técnica de reconstrução para o exame radiográfico da articulação temporomandibular (ATM) utilizando a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), e ainda apresentaram quatro casos em que a técnica foi empregada. Segundo os autores, a técnica fornece uma investigação radiográfica completa dos componentes ósseos da ATM, com imagens reconstruídas de alta qualidade diagnóstica. O tempo de exame é mais curto e a dose de radiação é mais baixa do que aquela com TC convencional. Desta maneira, pode ser considerada como a técnica de imagem de escolha para investigação de alterações ósseas da ATM.

Honda et al. ⁵² (2004) avaliaram a precisão das medidas da espessura do teto da fossa articular da ATM em tomografias computadorizadas de feixe cônico obtidas pelo aparelho X-ray 3DX (Morita Co-Japan). Foram realizadas medidas da espessura do teto da fossa articular *in loco* e nas imagens 3D de 21 crânios secos (ATMs removidas). Nenhuma diferença significativa foi observada entre as medidas obtidas *in loco* e as obtidas das imagens tomográficas. Os autores concluíram que as tomografias obtidas pelo

aparelho 3DX podem ser empregadas no diagnóstico de distúrbio temporomandibular com a vantagem de a dose de radiação ser inferior à do tomógrafo helicoidal.

Hilgers et al.⁵⁰ (2005) compararam, *in vitro*, a acurácia de medidas lineares em imagens da ATM realizadas em radiografia cefalométrica digital e tomografia computadorizada de feixe cônico de 50 ATMs de 25 crânios humanos. Neste estudo, foram realizadas medidas entre 11 pontos de referência padronizados, previamente determinados. Os autores concluíram que as mensurações obtidas por meio da tomografia volumétrica foram mais precisas com relação as obtidas nas cefalometrias convencionais.

Hussain et al.⁵⁷ (2008) avaliaram a capacidade de diferentes técnicas de diagnóstico por imagem para o diagnóstico da presença de erosões e osteófitos na articulação temporomandibular (ATM). Para isso, foi realizada uma pesquisa sistemática na PubMed, Medline, em todas as revisões de Medicina Baseada em Evidências (MBE), além de Embase, Web of Sciences e Lilacs, identificando nove artigos que preencheram os critérios de seleção: algum tipo de imagem diagnóstica da ATM, dados de ATMs de autópsia ou crânio seco como padrão-ouro, ausência de artrite sistêmica diagnosticada e avaliação da presença de erosões e/ou osteófitos. Também foi realizada uma busca manual das referências dos artigos selecionados. Todos os estudos selecionados avaliaram imagens panorâmicas (imagens panorâmicas de subtração digital sem resalto e com cores), tomografia sagital axialmente corrigida, tomografia frontal corrigida axialmente, ressonância magnética sagital, tomografia computadorizada (TC), ultra-som de alta resolução e TC de feixe cônico (TCFC). Foi possível concluir que a tomografia sagital corrigida axialmente é atualmente a modalidade de imagem de escolha para o diagnóstico de erosões e osteófitos na ATM. A TC não parece adicionar nenhuma informação significativa ao que é obtido a partir da tomografia sagital corrigida axialmente. A TCFC pode ser uma alternativa dose-efetiva com relação a tomografia sagital corrigida axialmente. A combinação de diferentes técnicas radiográficas pode conferir maior precisão no diagnóstico de erosões e osteófitos na ATM do que usando uma única modalidade de imagem. Segundo os autores, são necessários estudos de diagnóstico que avaliam simultaneamente todas as tecnologias de imagem da ATM.

Uzel et al.¹³⁶ (2013) testaram a hipótese de que a posição do côndilo da mandíbula, medida pela tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), está correlacionada com a quantidade e direção da lâmina cêntrica, determinada utilizando-se um indicador de posição mandibular (IPM). Neste estudo descritivo, foram avaliados 40 pacientes de

Classe II, Divisão 1, sem sinais ou sintomas de desordem na articulação temporomandibular. Os registros de posição mandibular foram realizados utilizando-se um indicador de posição mandibular. As posições concêntricas dos côndilos da mandíbula foram avaliadas utilizando imagens CBCT. Foi observado que, com base nos achados do IPM, 57,5% dos pacientes estudados apresentaram uma discrepância na relação cêntrica de 2 mm em pelo menos uma direção ao nível dos côndilos da mandíbula. Oitenta e dois por cento das distrações condilares foram encontradas na direção vertical inferior. Com base no traçado das imagens, observou-se que quase 87,5% das posições do côndilo da mandíbula não eram centrais para os lados direito e esquerdo. Posicionamento anterior significativo dos côndilos da mandíbula foi revelado. Nenhuma relação foi encontrada entre os achados IPM e as medidas em TCFC. Foi possível concluir que a concentricidade do côndilo da mandíbula na fossa mandibular, determinada por meio das medidas das TCFCs, não pode ser utilizada para prever as alterações na oclusão cêntrica ao nível dos côndilos da mandíbula.

Çağlayan et al.²⁶ (2014) determinaram a inclinação e altura da eminência articular em relação às alterações ósseas condilares, forma do côndilo da mandíbula, forma da fossa e movimentos condilares em pacientes com e sem disfunção da articulação temporomandibular (ATM) utilizando tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). As associações entre a inclinação da eminência e as alterações ósseas condilares, os movimentos condilares, a forma do côndilo da mandíbula e a forma da fossa foram avaliadas em pacientes com e sem disfunção da ATM. As medidas da inclinação da eminência articular foram estabelecidas em fatias sagitais centrais da ATM. As fatias coronais centrais foram utilizadas para determinar as formas do côndilo da mandíbula e fossa. Os tipos de movimentos dos côndilos da mandíbula foram determinados em imagens de boca aberta, sendo observada hiper mobilidade ou hipomobilidade mandibular para cada articulação. Após as avaliações não se observou diferenças significativas na inclinação e altura da eminência em relação às alterações ósseas condilares e movimentos condilares no grupo com disfunção da ATM. No entanto, houve associação significativa entre a inclinação da eminência e a forma da fossa no grupo com disfunção articular, além de associações significativas entre a inclinação da eminência e as formas do côndilo da mandíbula e da fossa no grupo controle. A inclinação da eminência articular foi mais acentuada no grupo controle do que no grupo com distúrbios da ATM. Foi concluído que a inclinação da eminência foi mais acentuada nos pacientes controle do que nos pacientes

com distúrbios articulares, não sendo correlacionada com alterações ósseas condilares ou movimentos condilares.

İlgüy et al.⁵⁸ (2014) examinaram a relação entre a inclinação da eminência articular, a altura e a espessura do assoalho da fossa articular de acordo com a idade e o gênero, além de avaliar a morfologia do côndilo da mandíbula incluindo achados incidentais de características ósseas associadas à osteoartrite (OA) da articulação temporomandibular (ATM), por meio da tomografia computadorizada de feixe de cone (TCFC). Para este estudo foram avaliadas, retrospectivamente, imagens de 105 pacientes. Para a inclinação e altura da eminência articular, cortes axiais sobre as quais os processos condilares foram vistos com sua maior extensão mediolateral foram utilizados como referência para reconstrução secundária. A morfologia do côndilo da mandíbula foi categorizada tanto no plano sagital como no plano coronal. Os resultados apontaram que os valores médios de inclinação e altura da eminência articular dos homens foram superiores aos das mulheres ($p < 0,05$). Houve diferenças significativas na espessura do assoalho da fossa articular em relação à morfologia do côndilo da mandíbula sagital. Entre o grupo com OA, o valor médio da espessura do assoalho para o grupo "OA-osteófito" foi o mais elevado (1,59 mm), enquanto que os valores mais baixos foram observados no grupo "aplainamento da OA". Deste modo, foi possível concluir que as alterações osteoartísticas sagitais podem ter um efeito sobre a espessura do assoalho da fossa articular por estimulação mecânica e alteração da distribuição do estresse. O gênero tem um efeito significativo na altura e na inclinação da eminência.

Larheim et al.⁶⁹ (2015) fizeram uma revisão sobre a imagem da articulação temporomandibular (ATM) usando TCFC. Foi focada na precisão diagnóstica e no valor da TCFC em comparação com outras modalidades de imagem para a avaliação de ATM em diferentes categorias de pacientes; casos de osteoartrite (OA), OA juvenil, artrite reumatóide e doenças das articulações relacionadas, artrite idiopática juvenil e outras condições intra-articulares. Além disso, foram adicionadas seções sobre outros aspectos da TCFC relacionadas à ATM, à tomada de decisões clínicas e às observações finais. Segundo os autores, a TCFC emergiu como uma modalidade de imagem custo e dosagem eficaz para a avaliação diagnóstica de uma variedade de circunstâncias da ATM. A modalidade de imagem é superior aos exames radiográficos convencionais, bem como a ressonância magnética (RM) na avaliação da ATM. No entanto, deve-se enfatizar que as informações de diagnóstico obtidas se limitam à morfologia dos componentes da

articulação óssea, integridade óssea cortical e destruição/produção óssea subcortical. Para a avaliação das anomalias dos tecidos moles, a RM é obrigatória. Concluíram que existe uma necessidade óbvia de investigação sobre o impacto dos exames de TCFC no paciente.

Coskuner e Ciger ³² (2015) avaliaram as alterações tridimensionais das articulações temporomandibulares e das dimensões mandibulares após correção de fatores dentários que restringem o crescimento mandibular em pacientes com má oclusão Classe II divisão 1 ou divisão 2 no período puberal. Neste estudo clínico prospectivo foram incluídos 14 pacientes com má oclusão Classe II divisão 1 (grupo I) e Classe II divisão 2 (grupo II). O aparelho quadrihélice foi utilizado para expansão da maxila, enquanto que os arcos de utilidade foram utilizados para intrusão (grupo I) ou protrusão e intrusão (grupo II) dos incisivos maxilares. Após aproximadamente 2 meses de tratamento, obteve-se uma largura adequada do arco maxilar e inclinação aceitável dos incisivos maxilares. Os pacientes foram acompanhados por uma média de 6 meses. Fotografias intra-orais e extra-orais, modelos em gesso, e imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) foram obtidas antes e após o tratamento. As medidas cefalométricas laterais e da articulação temporomandibular foram realizadas a partir das imagens de TCFC. Como resultado, foi observado que as dimensões mandibulares aumentaram em ambos os grupos, embora também tenham sido observadas alterações posicionais mandibulares no grupo II. Não houve diferenças na posição do côndilo da mandíbula na fossa mandibular ou nas dimensões do côndilo da mandíbula. A profundidade da fossa mandibular e as posições condilares foram simétricas no início e conclusão do tratamento. Foi possível concluir que a má oclusão de Classe II pode ser parcialmente corrigida por meio da obtenção de uma forma ideal de arco maxilar, particularmente em pacientes com Classe II Divisão 2. Restrições da mandíbula na região transversa ou sagital não afetam as posições da articulação temporomandibular nesses pacientes devido à alta adaptabilidade desta articulação.

Al-Saleh et al. ¹¹ (2015b) avaliaram a qualidade de imagem de dois métodos de registro de imagens de ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) da articulação temporomandibular (ATM), particularmente no que se refere à relação côndilo da mandíbula-disco articular da ATM e anormalidade óssea. Foram obtidas imagens de RM e TCFC de 10 pacientes (20 ATMs) e co-registradas utilizando dois métodos (com e sem marcador) usando o software Mirada XD (Mirada Medical Ltd, Oxford, UK). Três radiologistas avaliaram, de forma independente e cega,

três tipos de imagens (RM, TCFC e RM-TCFC) duas vezes (T1 e T2) por meio de dois critérios: (1) qualidade dos registros RM-TCFC (excelente, fraco ou pobre) e (2) posição do disco-condilar articular e anormalidades ósseas articulares (osteófitos, erosões e cisto subcortical, achatamento da superfície, esclerose). Foi observado que 75% das imagens registradas não-guiadas mostraram excelente qualidade e 95% das imagens guiadas por marcadores apresentaram baixa qualidade. Diferença significativa foi encontrada entre o registro não-guiado e guiado por marcador ($\chi^2(2) = 108,5$, $p < 0,01$). A variabilidade interexaminadores da posição do disco na RM [coeficiente de correlação intraclassa (ICC)=0,50 na T1, 0,56 em T2] foi menor do que nas imagens registradas por RM-TCFC [ICC=0,80 (0,52-0,92) em T1, 0,84 (0,62-0,93) em T2]. Erosões e cistos subcorticais foram observados com menor frequência nas imagens RM-TCFC do que nas imagens de TCFC. Desta forma, concluiu-se que o registro não-guiado se mostrou superior ao registro com marcadores. Embora as imagens RM-TCFC fossem ligeiramente mais limitadas do que a TCFC isoladamente para detectar anormalidades ósseas, o uso das imagens associadas melhorou a consistência entre os examinadores na detecção da posição do disco em relação ao côndilo da mandíbula.

Markic et al.⁷⁷ (2015) compararam diferentes procedimentos de imagem [tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM), ortopantomografia (OPG) e cefalometria lateral (CL)] para avaliar a altura mandibular [altura do ramo (AR)] e o comprimento do processo condilar (CondProc) à medida que refletem o crescimento mandibular. A altura do ramo mandibular e o CondProc de oito côndilos de cadáveres (cada lado separadamente) foram medidos duas vezes por dois observadores independentes paralelos à borda posterior do ramo mandibular. Um coeficiente de correlação intraclassa (ICC) foi utilizado para avaliar a confiabilidade inter e intraobservador. O coeficiente de variação foi utilizado para elucidar a precisão. Bland-Altman (BA) plots foram utilizados para avaliar a concordância entre os procedimentos e as medições intra e interobservador. Foi observado que todos os procedimentos, com exceção da cefalometria lateral, mostraram boa concordância intra e interobservador (intervalo máximo de concordância: 5,3 mm) e excelente confiabilidade (ICC>0,9). A análise de BA plots para o CondProc e AR mostrou intervalos de concordância semelhantes entre RM, TC e TCFC (máximo 6,4 mm), mas variações maiores para OPG e CL. Os valores para RM e OPG foram geralmente menores. Concluiu-se que todos os procedimentos de imagem 3D renderam resultados quase iguais

quando usados para medir o CondProc e altura do ramo. O exame ressonância magnética é recomendado porque evita a radiação ionizante e tem maior sensibilidade na detecção de inflamação. Um limite de 2 anos para a detecção de crescimento no período de acompanhamento deve ser levado em conta para todos os métodos de imagem 3D.

Segundo Al-Ekrish e Alorainy ⁶ (2016), a espessura do teto da fossa articular é altamente variável, mas não há casos relatados de ausência de osso mineralizado neste local em paciente assintomático. Deste modo, os autores apresentaram um raro achado de uma grande descontinuidade do teto da fossa articular, incidentalmente descoberta por imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) da articulação temporomandibular (assintomática) de uma mulher de 22 anos. Esta mesma articulação já havia sido considerada normal por um exame de ressonância magnética realizado anteriormente. A aparente descontinuidade anatômica pode representar um osso muito fino que não podia ser visualizado anteriormente.

Alabdeen ⁴ (2016) avaliou a acurácia das imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) adquiridas com exposições de 40 e 20 segundos para a detecção de alterações ósseas superficiais nas articulações temporomandibulares (ATM) em relação ao padrão-ouro, além disso examinaram a reprodutibilidade inter e intra-observador das duas exposições. O padrão-ouro foi derivado da inspeção de olho nu de 88 locais em oito ATMs de quatro crânios humanos secos. Os crânios foram escaneados por TCFC com exposições de 40 e 20 segundos. Dois radiologistas maxilofaciais experientes interpretaram as imagens de acordo com as definições de casos de alterações ósseas superficiais para o estudo. Os achados foram comparados com os achados padrão-ouro, e as confiabilidades intra e inter-observador foram examinadas. As sensibilidades das exposições foram comparáveis: 53,7%; 31,7% e 41,5% para 40 s versus 31,7%; 39,0% e 34,1% para 20 s, com intervalos de confiança sobrepostos. As especificidades foram altas e comparáveis: 76,6%; 74,5% e 80,9% durante 40s versus 66,0%; 80,9 e 80,9% durante 20s, com intervalos de confiança sobrepostos. A confiabilidade intra-observador foi significativamente correlacionada em 40s ($p=0,0030$) e 20s ($p=0,0001$) exposições. A confiabilidade inter-observador foi significativamente correlacionada na primeira leitura de 40s ($p=0,0013$), mas não na segunda leitura ($p=0,0879$) e significativamente correlacionada nas duas leituras de exposição de 20s ($p=0,0016$ e $p=0,0097$). Os autores concluíram que a diminuição da exposição não afeta a precisão de detecção das alterações ósseas da superfície da ATM. Entretanto, novos estudos com tamanhos de amostra

maiores são fundamentais para avaliar os efeitos do tempo de exposição e outros fatores na precisão da imagem CBCT.

Merigue et al.⁸⁰ (2016) investigaram a concentricidade e a morfologia do côndilo da mandíbula, e sua associação com má oclusões Classe I e II de Angle. A amostra analisada foi composta por 49 indivíduos de ambos os sexos, entre 11 e 35 anos (média de idade: 16,40 anos), divididos em dois grupos, G1: 26 pacientes com má oclusão Classe I e G2: 23 pacientes com má oclusão de Classe II, divisão 1, com uma relação molar distal bilateral igual ou maior que metade da largura da cúspide. Os pacientes não tinham antecedentes de tratamento ortodôntico e de desordem temporomandibular. A avaliação da morfologia e posição do côndilo da mandíbula foi realizada pelo mesmo examinador (previamente calibrado) por meio de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), obtidas pelo i-CAT e analisadas pelo software 3D Dolphin 11.5, com um nível de sensibilidade de 25%. As imagens obtidas das fatias coronais classificaram a morfologia do côndilo da mandíbula, como arredondada, plana ou convexa, triangular ou inclinada, como proposto por Kinzinger et al.⁶² (2007). Os cortes sagitais classificaram os côndilos da mandíbula como concêntricas e deslocadas anteriormente ou posteriormente, baseado na fórmula proposta por Pullinger e Hollender¹⁰⁹ (1986). O exame clínico foi realizado, incluindo análise de dor na articulação temporomandibular (ATM) e palpação nos músculos masseter e temporal. O teste kappa foi utilizado para avaliar calibração do investigador; os testes Qui-quadrado e t-pareado foram utilizados para análise. Considerando a morfologia condilar, nenhuma associação foi notada com relação ao tipo de má oclusão (teste Qui-quadrado com correção de Yates=3.34; p=0.18). Os côndilos da mandíbula, convexos e posicionados anteriormente, foram observados com maior frequência, independentemente do tipo de má oclusão. A medida dos espaços articulares foi semelhante para os lados direito e esquerdo, assim como para a ATM anterior e posterior no grupo G1. Dados semelhantes foram observados no grupo G2, com exceção do espaço articular posterior, que mostrou diferença estatisticamente significativa nos valores (p=0,007) entre os dois lados. Além disso, não foi observada diferença quanto à concentricidade condilar entre os dois grupos (teste Qui-quadrado com correção de Yates=4,84; p=0,08). Em relação ao exame clínico, não foi detectada diferença entre a sensibilidade da ATM e a má oclusão (teste Qui-quadrado 0,79; p=0,54). Também não foi observada associação entre sensibilidade muscular à palpação e tipo de má oclusão (teste

Qui-quadrado=2,26; p=0,22). Nenhuma associação foi observada entre os grupos quanto às características condilares.

2.4 Medidas lineares, pontos cefalométricos em TCFC

As medidas lineares derivadas de imagens de TCFC são suficientemente precisas e confiáveis (Periago et al. ¹⁰⁵, 2008). Pontos anatômicos utilizados em cefalometria bidimensional podem ser utilizados em análises tridimensionais; no entanto, sua localização ainda é desafiadora (Katkar et al. ⁶⁰, 2013). Ao mesmo tempo, a confiabilidade e reprodutibilidade da identificação dos pontos cefalométricos podem ser muito altos quando estes são definidos corretamente (Frongia et al. ³⁸, 2012). Para alcançar tal êxito, existe a necessidade de uma medição 3D por meio de um sistema cartesiano tridimensional (Swennen et al. ¹³¹, 2006; Tausche et al. ¹³³, 2007).

Swennen et al. ¹³¹ (2006) apresentaram um inovador método cefalométrico tridimensional (3-D). A Parte I trata da configuração e validação de um sistema de referência cefalométrico semi-automático 3-D baseado em voxel. Os dados de tomografia computadorizada (arquivos DICOM 3.0) de 20 pacientes controle, com relações esqueléticas normais, foram utilizados neste estudo. Para investigar a exatidão e a confiabilidade do sistema de referência cefalométrico 3-D (marca Maxilimtrade, versão 1.3.0), um total de 42 (14 horizontais, 14 verticais e 14 transversais) medições ortogonais foram realizadas em cada paciente, em duplicidade, por cada um dos dois pesquisadores. Foi observado que o erro de medida intra-observador foi menor que 0,88 mm, 0,76 mm e 0,84 mm para medições ortogonais horizontal, vertical e transversal, respectivamente. O erro de medição inter-observadores foi menor que 0,78 mm, 0,86 mm e 1,26 mm para medições ortogonais horizontais, verticais e transversais, respectivamente. Os coeficientes de correlação quadrática mostraram alta confiabilidade intra e inter-observador. Os autores concluíram que o sistema de referência cefalométrico 3-D apresentado mostrou-se preciso e confiável e pode, portanto, ser usado para análise cefalométrica 3-D de tecidos duros e moles.

Lagravère et al. ⁶⁶ (2009) avaliaram a confiabilidade intra e inter-examinador de pontos cefalométricos gerados pela TCFC 3D, previamente utilizados na cefalometria 2D tradicional. Foram selecionados aleatoriamente vinte e quatro imagens (NewTom 3G-

Aperio Services, Verona, Itália) de pacientes que participaram de um ensaio clínico envolvendo tratamentos de expansão maxilar. O investigador principal localizou os pontos cefalométricos cinco vezes, e outros quatro investigadores localizaram os mesmos pontos uma vez. Os valores de confiabilidade intra e inter-examinador foram determinados usando coeficientes de correlação intraclassa (ICC). Para auxiliar na interpretação do significado clínico das diferenças de identificação dos pontos, foram determinadas as médias das diferenças para as coordenadas dos pontos x, y e z a partir das avaliações repetidas. Os pontos de referência foram então separados em grupos com relação à região que representaram e depois foram comparados através de medidas repetidas ANOVA e comparações múltiplas via Bonferroni corrigida. Observou-se como resultado aceitável confiabilidade intra e inter-examinador para as coordenadas x, y, e z para todos os pontos de referência, sendo todos superiores a 0,80. A maioria das diferenças nas médias de medição do investigador principal em todos os três eixos foi inferior a 1,5 mm. As diferenças na média de medição entre os examinadores foram geralmente maiores do que as diferenças intra-examinador. Foi concluído que os melhores pontos cefalométricos para verificação dos resultados do tratamento de expansão são Ekm, superfície vestibular e ápices de molares superiores, pré-molares superiores e caninos superiores e superfícies vestibulares de molares inferiores e caninos inferiores. O forame espinhoso, ELSA, meato auditivo externo e dorso do forame magno demonstraram confiabilidade adequada para a determinação de um sistema de referência padronizado.

Oliveira et al.⁹⁴ (2009) avaliaram a confiabilidade na identificação de pontos cefalométricos em 3D, utilizando a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). Cerca de doze TCFCs pré-cirúrgicas foram selecionados aleatoriamente de 159 pacientes submetidos a cirurgia ortognática. Três observadores repetiram 3 vezes a identificação de 30 pontos nas fatias sagital, coronal e axial, independentemente. Um modelo de análise de variância de efeitos mistos estimou as correlações intraclassa (ICC) e avaliou o viés sistemático. Como resultado, foi observado ICC de 0,9 para 86% das avaliações intra-observador e para 66% das avaliações inter-observador. Apenas 1% dos coeficientes intra-observador e 3% dos coeficientes inter-observadores foram 0,45. A diferença sistemática entre os observadores foi maior nas dimensões X e Z do que nas Y, mas a diferença média máxima foi bastante pequena. Em geral, foi concluído que a confiabilidade intra e inter-observador foi excelente. Para os autores, a identificação de ponto tridimensional usando TCFC pode oferecer dados consistentes e reproduzíveis se um protocolo para treinamento

do examinador e calibração é seguido. Isto é particularmente importante para pontos não facilmente especificados em todos os 3 planos de espaço.

Chien et al.³⁰ (2009) compararam a confiabilidade na identificação de pontos cefalométricos de imagens de pacientes em 3D (TCFC) e em 2D (cefalogramas). Neste estudo foram selecionadas aleatoriamente dez radiografias digitais cefalométricas laterais e suas imagens correspondentes em TCFC. Cerca de 27 observadores identificaram digitalmente 27 pontos em ambos os modelos de imagem. As coordenadas x e y de cada ponto, indicando as posições horizontal e vertical, foram analisadas quanto à confiabilidade inter-observador, comparando cada medida com a melhor estimativa do valor verdadeiro. A confiabilidade intra-observador também foi avaliada. Modelos lineares e coeficientes de correlação intra-classe (ICCs) foram utilizados para análise. Como resultado, se observou que para a confiabilidade inter-observador, as seguintes localizações estavam mais distantes da melhor estimativa para 2D do que para 3D: x-localização em subespinal (ponto A), ponta anterior da espinha nasal (ANS), L1 borda gengival lingual e raiz L1; Y-localização no pório, ramo e orbitário; X- e y-localizações do bácio, côndilo da mandíbula, midramus, entalhe sigmóide e oclusal de molar superior. As localizações 3D ficaram mais afastadas no gônio, ponta L1, sela e ponta U1. Para confiabilidade intra-observador, as localizações 2D estavam mais distantes nas localizações y em orbital e sigmóide, e ambas localizações x e y em bácio. As localizações 3D ficaram mais distantes na localização x na borda gengival labial U1 e nas localizações-y na ponta L1, L6 oclusal, mento e sela. Para ICCs intra-observadores, maiores variações em 2D do que em 3D incluíam: ponto A, ANS, midramus, orbitário, ponto ramo, entalhe sigmóide e raiz U1. Foi concluído que a imagem 3D, como na CBCT, permite uma maior confiabilidade inter e intra-observador em certos pontos cefalométricos in vivo quando comparada a imagens bidimensionais.

Damstra et al.³⁶ (2011) compararam os valores cefalométricos bidimensionais e tridimensionais utilizando uma análise tridimensional baseada no plano médio sagital. Os marcadores metálicos esféricos foram fixados nos pontos anatômicos de 10 crânios humanos, os quais foram examinados radiograficamente com cefalogramas laterais convencionais e tomografias computadorizadas (TCFC). As análises pré-programadas calcularam 18 valores cefalométricos angulares e lineares bidimensionais e tridimensionais. Um estudo de erro foi realizado para avaliar a precisão e confiabilidade dos métodos utilizados. Ambos os conjuntos de valores foram comparados usando o teste

de rank de Wilcoxon. As probabilidades abaixo de 0,05 foram aceitas como significativas. A confiabilidade das medidas foi avaliada por coeficientes de correlação intraclasse (ICC) com base em concordância absoluta. O erro do método (ME) foi pequeno (média de $ME < 0,61$ unidade de medida) e confiável ($ICC > 0,97$). A comparação das medidas bidimensionais e tridimensionais mostrou que elas eram confiáveis ($ICC > 0,88$) e que não havia diferenças significativas ($P = 0,41-1,00$). Os valores das análises cefalométricas foram comparáveis e intercambiáveis quando se utilizou a abordagem tridimensional sagital média como descrito.

Shaw et al.¹²³ (2013) determinaram se as medidas bidimensionais (2D) de radiografias de crânio laterais cefalométricas convencionais são comparáveis àquelas derivadas de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico tridimensional (3D). Foram analisados 14 crânios secos para detectar uma diferença de 2° em medidas angulares. Os crânios foram escaneados a 0,3 mm, tamanho de voxel 3. As visualizações de projeção de intensidade máxima (MIP) foram carregadas para o software cefalométrico OPAL (British Orthodontic Society, Londres, Reino Unido) para análise 2D. Os dados de TCFC foram gerados no Mimics (Materialise, Leuven, Bélgica) com reconstruções 3D e em cortes sagitais. Uma análise de Eastman foi realizada para as imagens 2D e 3D com os dados comparados usando testes t de duas amostras em $P < 0,05$. Medições superiores a 2 entre os dados 2D e 3D foram consideradas diferentes clinicamente. A reprodutibilidade intra-observador foi avaliada pelo cálculo de erros aleatórios e sistemáticos utilizando a fórmula de Dahlberg e um teste t de duas amostras ($P < 0,05$). Foi observado no resultado que o erro aleatório foi inferior a 0,5u e o erro sistemático foi aceitável ($P < 0,05$). Não houve diferenças significativas entre as medidas das imagens 2D e 3D para qualquer variável ($P < 0,05$). Entretanto, o valor médio de SNB e o valor médio para o ângulo entre o incisivo inferior e o plano mandibular diferiram em mais de 2° entre os dados 2D e 3D. Este último se acredita ser devido a limitações da definição de Gônio para imagens 3D e a precisão em localizar o ápice do incisivo inferior em 2D. Concluiu-se que as medidas utilizadas na análise cefalométrica de Eastman derivada de imagens cefalométricas laterais 2D do crânio são comparáveis àquelas derivadas de imagens 3D da TCFC.

Fuyamada et al.³⁹ (2014) buscaram avaliar a reprodutibilidade de um possível método para identificação de pontos maxilofaciais em imagens tridimensionais (3D) obtidas com tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) para uso odontológico em pacientes com prognatismo mandibular. Além disso, a influência do nível de

experiência dos dentistas que aplicam o método também foi investigada dividindo-os em dois grupos de acordo com a experiência. Neste estudo, dentistas com menos (grupo A) ou mais (grupo B) do que 3 anos de experiência de cefalometria e manipulação de imagens 3D analisaram dados da TCFC de 10 pacientes, utilizando dois métodos diferentes de identificação: método 1 - utilizou definições cefalométricas convencionais e método 2 - utilizou definições de identificação detalhadas dos pontos desenvolvidas para cada plano transversal. O traçado de nove pontos cefalométricos foi realizado duas vezes, e 10 valores de coordenadas foram obtidos para cada ponto. Para avaliar a reprodutibilidade, utilizou-se o método de elipse de 95% de confiança. Como resultado, a análise comparativa mostrou que o método 2 era altamente reprodutível. Os indivíduos do grupo B obtiveram volumes de elipsóide menores do que os indivíduos do grupo A, independentemente do método de identificação utilizado. Com o método 1, com exceção do côndilo da mandíbula e processo coronóide, todos os pontos mostraram um maior nível de reprodutibilidade nos indivíduos do grupo A do que nos indivíduos do grupo B. Com o método 2, no entanto, cinco pontos não mostraram diferenças entre os métodos. Foi concluído que o método proposto pode ser altamente reprodutível, independentemente da experiência dos avaliadores.

Naji et al.⁹¹ (2014) identificaram estruturas anatômicas em três dimensões e analisaram sua confiabilidade para serem utilizadas como pontos cefalométricos em uma análise cefalométrica de coordenada tridimensional, utilizando 30 tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) (idade entre 12-17 anos). Quarenta e dois pontos anatômicos, que não estão incluídos nos pontos cefalométricos tradicionais, foram escolhidos com base em características radiográficas que os tornam pragmáticos para serem localizados nos cortes de imagem da TCFC. As coordenadas x, y e z de cada ponto foram definidas com base no sistema cartesiano utilizado por Lagravère et al.⁶⁷ (2010) para padronizar a identificação anatômica nos três planos do espaço e orientar a seleção da localização mais precisa nas cortes sagital, axial e coronal. O pesquisador principal marcou o conjunto completo de pontos no software navegando nos eixos X, Y e Z para cada imagem três vezes, com intervalo de uma semana para cada ensaio de medição. O centro de cada marcação representava a localização exata do ponto. O examinador marcava um ponto no primeiro corte em que era visível, movendo-se mesiodistalmente, supero-inferiormente ou ântero-posteriormente, e então ajustava o marcador em outras coordenadas. Por exemplo, para marcar o processo clinóide esquerdo superior, o processo

clinóide esquerdo foi marcado quando era visível primeiramente no plano axial que se movia inferiormente; a posição foi então ajustada no plano coronal e sagital, se necessário. Um outro investigador também localizou os pontos uma vez para cada imagem para fins de confiabilidade. Os coeficientes de correlação intraclassa (ICCs) foram utilizados para analisar as diferenças médias no local de referência em todos os eixos. A confiabilidade intra e interexaminador para as coordenadas x, y e z para todos os pontos tinha ICC maior que 0,95 (intervalo de confiança de 0,88-0,99). Um ponto cefalométrico foi considerado clinicamente confiável se apresentava diferença média de 1,5 mm. Nos resultados se observou que as médias das diferenças encontradas intra e inter-observador foram <1,4 mm para todos os pontos nas três coordenadas. As diferenças médias de erro de medição obtidas nos ensaios do investigador principal foram principalmente <0,5 mm. Os únicos pontos com valores médios de 0,1 mm em qualquer uma das coordenadas x, y e z foram: concha posterior-inferior direita e esquerda (1,39 mm e 1,09 mm, respectivamente), forame incisivo (1,25 mm), estilóide esquerdo inferior (1,07 mm), lingula direita (1,03 mm) e pterigóideo lateral inferior direito e esquerdo (1,16 mm e 1,10 mm, respectivamente); a maior quantidade foi de 1,39 mm para a concha direita posterior-inferior. A parte posterior do hióide esquerdo não estava presente em duas TCFCs e foi marcada somente em 28 amostras. Os pontos que apresentaram diferenças de média $\leq 0,5$ mm em todas as coordenadas foram: forame mental direito e esquerdo, eixo dentário, atlas transversário direito e esquerdo, hámulo inferior direito e esquerdo, forame infraorbitário direito, côndilo da mandíbula mediana direito e côndilo da mandíbula lateral esquerda. Foi concluído que os pontos mais confiáveis e reprodutíveis testados para uso em TCFC foram: forame mental, forame infraorbitário, hámulo inferior, eixo dentário, forame transversal de atlas, côndilos da mandíbula medial e lateral da mandíbula, processos clinoidais superiores e médio.

Pittayapat et al.¹⁰⁶ (2015) avaliaram a precisão das medidas lineares em três modalidades de imagem: cefalogramas laterais de uma máquina cefalométrica com 3 m de distância fonte-plano sagital (SMD), de uma máquina com 1,5 m SMD e modelos 3D de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). Neste estudo foram utilizados 21 crânios humanos secos. Foram realizados cefalogramas laterais, utilizando dois dispositivos cefalométricos: um com SMD de 3 m e outro com SMD de 1,5 m. Os exames de TCFCs foram realizados pelo 3D Accuitomo[®] 170 e os modelos de superfície 3D foram criados no software Maxilim[®]. Treze medidas lineares foram realizadas duas vezes por

dois observadores, com um intervalo de 4 semanas. Medições físicas diretas, realizadas por um calibrador digital, foram definidas como o padrão ouro. Após análise estatística foi observado que a medida Násio-Ponto A foi significativamente diferente do padrão-ouro em todos os métodos. Observaram-se diferenças estatisticamente significativas nas medidas dos cefalogramas SMD de 3 m em comparação com os outros métodos. A concordância intra e inter-observador baseada nas medições 3D foi ligeiramente melhor do que outros. Segundo os autores, os resultados devem ser interpretados com cautela, pois não representam totalmente as condições clínicas, uma vez que crânios humanos secos sem tecidos moles foram utilizados. Deste modo, concluiu-se que as medições 3D resultaram em um melhor acordo de observação. A precisão das medições baseadas em TCFC e cefalograma de 1,5 m SMD foi melhor do que um cefalograma de 3 m SMD. Estes achados demonstraram a precisão das medidas lineares e a confiabilidade das medições 3D com base nos dados de TCFC quando comparados às técnicas 2D.

Gupta et al.⁴⁵ (2016) avaliaram a exatidão das medidas cefalométricas tridimensionais obtidas por meio de um algoritmo de detecção automática de pontos cefalométricos em comparação com as obtidas através da identificação manual. Foi realizada uma comparação de 51 medidas cefalométricas (28 lineares, 16 ângulos e 7 razões) em 30 imagens de TCFCs (tomografias computadorizadas de feixe cônico). A análise comparou as medidas com base em 21 pontos cefalométricos detectados automaticamente e aqueles identificados manualmente por três observadores. O ICC inter-observador para cada ponto foi excelente ($> 0,9$) entre os três observadores. O teste t não pareado não revelou diferença significativa nas medidas com base nos pontos detectados automaticamente e identificados manualmente. A diferença entre a observação manual e automática para cada medição foi relatada como um erro. O maior erro médio nas medidas linear e angular foi de 2,63mm (distância OrL-OrR) e 2,12° (ângulo CoL-GoL-Me), respectivamente. O maior erro médio no grupo de razões de distância foi de 0,03 (para N-Me / N-ANS e GoR-Gn / S-N). Os autores concluíram que as medidas cefalométricas calculadas a partir da detecção automática de pontos na imagem de TCFC foram tão precisas quanto aquelas calculadas a partir da identificação manual.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo geral deste estudo foi de avaliar tridimensionalmente a remodelação do côndilo da mandíbula e sua posição na fossa articular nos indivíduos, pós surto de crescimento pubertário, após o uso do aparelho Herbst bandado.

Seguem abaixo, os objetivos específicos:

1. Avaliar tridimensionalmente a remodelação do côndilo da mandíbula, através do sistema de coordenadas cartesianas, cujo o Ponto Zero encontra se na média das distâncias dos forames mentuais.
2. Avaliar tridimensionalmente o deslocamento do côndilo da mandíbula direita e esquerda, através do sistema de coordenadas cartesianas, cujo o Ponto Zero encontra se na base do crânio.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 MATERIAL

Este estudo foi desenvolvido após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Araraquara-SP, sob o número de processo 62/10 (ANEXO A) e obteve auxílio financeiro da FAPESP, sob o número de processo 2010/17934-8.

Os pacientes foram selecionados dentre os indivíduos que integraram a triagem para tratamento ortodôntico no Departamento de Clínica Infantil da Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP. Os pacientes e seus respectivos responsáveis foram esclarecidos quanto ao tratamento, que se iniciou após consentimento e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO B).

A amostra deste estudo prospectivo foi composta por 24 pacientes, brasileiros, leucodermas, portadores de má oclusão de Classe II, divisão 1 de Angle, com idades, entre 15 a 18 anos, sendo 10 do gênero feminino (idade média de 16,1 anos) e 14 do masculino (idade média de 16,2 anos).

Critérios de inclusão da amostra:

1. Padrão facial Classe II, associado à retrusão mandibular, segundo análise clínica;
2. Relação dentária Classe II, divisão 1 de Angle;
3. Presença de dentição permanente completa, com exceção dos terceiros molares irrompidos;
4. Ausência de apinhamento dentário severo na arcada dentária superior e inferior;
5. Ausência de problemas transversais;
6. Trespasse horizontal maior ou igual a 5 mm;
7. Período pós-pico de crescimento pubertário.

Critérios de exclusão da amostra:

1. Pacientes portadores de síndromes de crescimento;
2. Tratamento ortodôntico realizado previamente;
3. Ausência dentária;

4. Padrão vertical severo;
5. Assimetrias importantes.

4.2 MÉTODO

4.2.1 Determinação do Padrão Facial e da Relação Dentária

Uma análise facial foi realizada clinicamente, onde foram observadas algumas características que ajudaram na determinação do padrão facial Classe II, como: avaliação morfológica do ângulo nasolabial (reto, agudo e obtuso) e do comprimento da linha mento-pescoço. Dessa forma, indivíduos que apresentaram um perfil convexo, ângulo nasolabial reto ou levemente agudo e linha mento-pescoço curta foram classificados como padrão facial Classe II (Arnett et al. ¹⁴, 1993).

A avaliação dentária foi realizada através dos modelos de estudo, em que a Classe II, divisão 1 de Angle foi determinada pela posição sagital dos primeiros molares permanentes, dos caninos e pela sobressaliência. Foram incluídos na amostra, indivíduos portadores de má oclusão de Classe II de Angle, com molar igual ou superior à metade de uma cúspide e sobressaliência igual ou maior que 5 mm.

4.2.2 Determinação do Padrão Morfológico Facial

O padrão morfológico facial foi determinado, por telerradiografias em norma lateral e pelo Índice Facial de Jaraback (APÊNDICE A). No presente estudo, a amostra foi composta por pacientes dos quais: 50% (12 pacientes) apresentaram padrão braquifacial; 33,3 % (8 pacientes) padrão mesofacial e 16,7% (4 pacientes) padrão dolicofacial.

4.2.3 Determinação da Idade Óssea

A análise, para a determinação da idade óssea, foi realizada através da radiografia carpal, por duas operadoras, na forma de estudo cego, aferindo os indicadores de maturação esquelética, segundo atlas de Greulich e Pyle ⁴³ (1959). Os pacientes para esta amostra encontraram-se próximos do final da curva descendente de crescimento (FPut - união epifisária total na falange proximal do terceiro dedo, FMut - união epifisária total na falange média do terceiro dedo e/ou Rut - união epifisária total do rádio), no fim do crescimento puberal, de acordo com a classificação de Martins e Sakima ⁷⁸ (1977).

4.2.4 Descrição do Aparelho Herbst Bandado

O sistema de ancoragem utilizado na arcada superior, consistiu de bandas (Universal – Morelli, Sorocaba, São Paulo, Brasil), nos primeiros molares superiores, unidas entre si por uma barra transpalatina, confeccionada com fio de aço 1,2mm-Dentaurum, nelas soldada e afastada 2 mm do palato (Howe ⁵⁶, 1983). Uma extensão da barra transpalatina dirigiu-se à oclusal do segundo molar, fio de aço 1,2mm, com o intuito de coibir a extrusão desse dente. Na região vestibular, em cada uma das bandas foi soldado um conector.

O sistema de ancoragem utilizado na arcada inferior consistiu de bandas (Universal-Morelli, Sorocaba, São Paulo, Brasil) nos primeiros molares inferiores, unidas entre si por um arco lingual de Nance modificado, confeccionado com fio 1,2mm - Dentaurum, soldado às bandas e afastado 3mm da face lingual dos incisivos. Foi confeccionado um cantilever de cada lado, com fio duplo, com extensão até a região dos caninos e pré-molares, confeccionado com fio de aço 1,2mm - Dentaurum, envolvendo um conector, soldado nas extremidades, anterior e posterior, da face vestibular das bandas dos primeiros molares inferiores. A união entre o cantilever e o arco lingual de Nance foi feita, na distal dos caninos, utilizando fio 0,9mm (Dentaurum), para evitar interferências oclusais. Os aparelhos foram confeccionados por um único protético. Para a cimentação das estruturas foi utilizado cimento de ionômero de vidro fotopolimerizável (3M Unitek).

O mecanismo telescópico utilizado foi o modelo Flip-Lock (Tip Orthodontics) que é constituído pelos seguintes acessórios:

- Conectores – São quatro e apresentam um formato esférico, soldados às bandas, na face vestibular dos primeiros molares superiores; no cantilever, se localizam na região dos caninos inferiores;
- Tubo – São dois e determinam a quantidade de avanço mandibular. Cada tubo apresenta um encaixe, em forma de círculo, e marcadores, diferenciados por cores, sendo que o vermelho corresponde ao lado esquerdo e o verde, ao direito. Os tubos são engatados aos conectores dos primeiros molares superiores;
- Pistão – São dois e são introduzidos nos tubos. Em cada pistão há um encaixe circular que se engata ao conector inferior. Os encaixes dos pistões também apresentam uma orientação correta: um pequeno círculo sobre o encaixe representa a superfície vestibular. O tamanho do pistão não deve se estender mais que 2 ou 3mm além da distal dos tubos; caso contrário, traumatiza mucosa jugal

do paciente. Por outro lado, é importante que os pistões não sejam muito curtos, para se evitar que saiam de dentro do tubo.

O avanço anterior da mandíbula com o aparelho Herbst foi realizado conforme preconizado por Pancher ⁹⁶ (1982), ou seja, avanço mandibular único até obter uma relação de topo a topo com os incisivos.

Todos os pacientes foram tratados com aparelho Herbst bandado (Figura 1), por 8 meses, por duas profissionais previamente calibradas, seguindo o mesmo protocolo de tratamento; o trabalho de confecção dos aparelhos foi executado por um único protético, o que reduz a variabilidade nos resultados. As etapas clínicas envolveram os seguintes passos:

- 1- Separação dos primeiros molares com elástico separador por 5 dias;
- 2- Adaptação das bandas nos molares previamente separados, moldagem de transferência nas arcadas superior e inferior e nova separação, nos referidos dentes, por 5 dias;
- 3- Cimentação das ancoragens, uma por vez, com isolamento relativo auxiliado pelo sistema de sucção de saliva por bomba a vácuo e orientações quanto à higienização e preservação do aparelho;
- 4- Realização do avanço mandibular único, após 5 dias;
- 5- Acompanhamento mensal, salvo nos casos de intercorrências, em que esse prazo era reduzido.

Figura 1- Características intra-orais de paciente classe II, divisão 1ª, e modelo do aparelho Herbst utilizado nesta pesquisa.



(A) Vista lateral direita. (B) Vista frontal. (C) Vista lateral esquerda. (D) Vista lateral direita do avanço do aparelho Herbst. (E) Avanço mandibular com aparelho Herbst. (F) Vista oclusal da ancoragem superior e inferior do aparelho Herbst.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.5 Obtenção das Tomografias Computadorizadas de Feixe Cônico (TCFC)

Para a avaliação da remodelação do côndilo da mandíbula e a posição espacial da mandíbula, foram comparadas as tomografias em dois tempos.

Cada paciente foi submetido a duas tomografias, sendo a primeira realizada no início do tratamento, denominada de T1, e a outra, denominada de T2, foi realizada até quinze dias após a remoção do aparelho Herbst.

Todas as TCFCs foram realizadas, em uma mesma clínica particular, na cidade de Araraquara-SP, sendo obtidas através de um tomógrafo i-CAT® Classic (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, EUA), com regime de trabalho de 120 kVp, seguindo os seguintes protocolos:

- 17cm de diâmetro por 13,5cm de altura, 20seg, 0,4voxel (18,45 mAs).
- Pacientes sentados, com boca fechada em máxima intercuspidação habitual (MIH, com o plano de Camper₂₅, meato acústico externo à asa do nariz), paralelo ao solo e sem posicionador na região mental; mantinham apenas um posicionador na testa, de modo a imobilizar o côndilo do paciente.
- Os dados exportados no formato DICOM (Digital Image and Communication in Medicine).

4.2.6 Análise das Imagens Tomográficas

Os dados originais da TCFC foram armazenados em formato digital, em CD, para possibilitar a revisão de qualquer imagem, sem perda de qualidade, o que permite a geração de imagens volumétricas, em 3D, para processamento, visualização, manipulação e análise a qualquer momento. Posteriormente, esses dados foram transferidos, para uma estação de trabalho, (Intel Pentium Dual E 2200), no formato DICOM (Digital Image and Communication in Medicine), onde foram lidas pelo software Dolphin® Imaging 11.5 Premium (Dolphin Imaging & Management Solutions, Petterson Technology, Chatsworth, CA, EUA) e foram cegados.

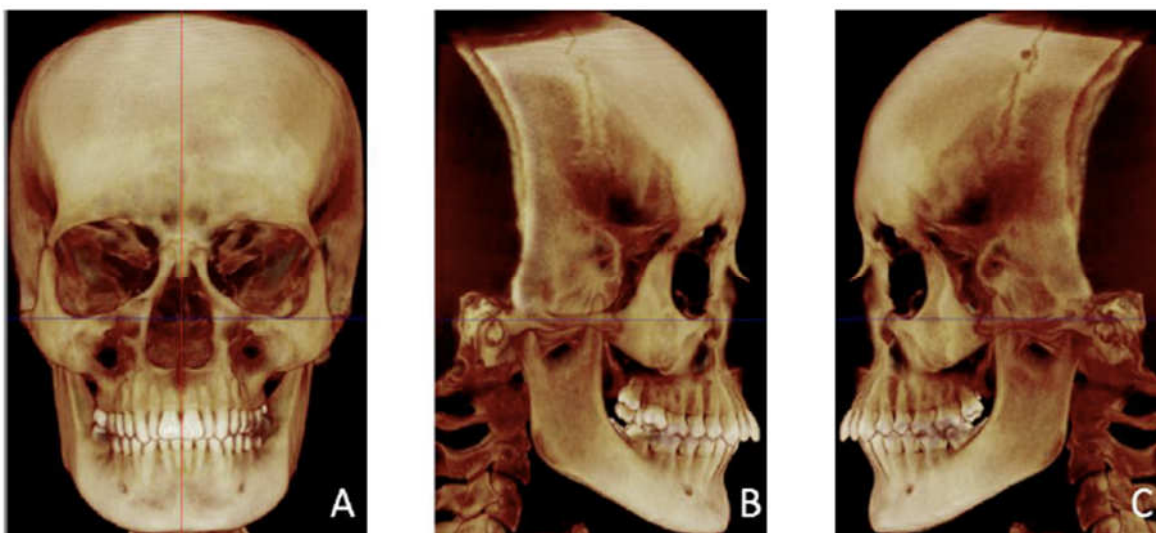
4.2.7 Padronização do Posicionamento das Imagens

A padronização das imagens, antes das mensurações, e análises das TCFC foi realizada com reformatação 3D, na ferramenta “Orientation”, que permite a rotação e o deslocamento da imagem nos três planos: sagital, coronal e axial.

A orientação da posição do côndilo foi feita, primeiramente no corte coronal do crânio. A linha do plano axial tangenciou as bordas inferiores das órbitas e a linha do plano sagital distinguiu a linha média sagital da cabeça. No corte sagital direita do crânio, a linha do plano coronal coincidiu com o pório direito e a linha do plano axial distinguiu o Plano de Frankfurt. Por fim, foi repetida essa orientação para o corte sagital esquerda do crânio (Cevidanes et al. ²⁹, 2009). A imagem da cabeça do paciente foi posicionada a partir da escolha dos planos, nas sequências de referência (Figura 2).

Os planos axial, coronal e sagital, na reformatação 3D de T1 e T2 para cada paciente individualmente, foram coincidentes.

Figura 2 - Orientação da cabeça.



A. No corte coronal do crânio, a linha do plano axial tangencia as bordas inferiores orbitárias e a linha do plano sagital distingue o plano sagital mediano da cabeça; B. e C. corte sagital direito e esquerdo: a linha do plano coronal passa pelos pórios (plano intraporiônico) e a linha do plano axial distingue o Plano de Frankfurt.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.8 Padronização do Ponto Zero

No sistema de coordenadas cartesianas tridimensional, onde há a intersecção dos planos: axial, sagital e coronal, com ângulos retos, situa-se o ponto de Origem que, quantificado nos eixos X, Y e Z, é zero para todos. São esses eixos que fornecem a direção e o sentido para o sistema. Nesta pesquisa, o ponto de Origem foi denominado de Ponto Zero. Portanto, o Ponto Zero é a intersecção, em 90°, dos três planos: axial, coronal e sagital, quando posicionado em uma estrutura estável. Foi escolhido a média das distâncias entre os forames, mental direito e mental esquerdo, para a análise de remodelação do côndilo da mandíbula e a média da distância dos pontos da base do crânio (PZ; FOD; FOE; FED e FEE) para a análise da posição espacial (Tabela 1).

4.2.9 Seleção das Imagens para Mensurações dos Pontos na TCFC

Para a identificação das estruturas foi usada a descrição anatômica das mesmas. Os pontos foram digitalizados na reformatação multiplanar, com a ajuda das linhas dos planos, foram avaliados simultaneamente, nos três cortes: sagital, coronal e axial.

A distribuição dos pontos anatômicos foi da seguinte forma: cinco pontos foram

digitalizados na base de crânio: ponto zero (1); forame espinhoso (2) e forame oval (2). Doze pontos foram digitalizados na mandíbula: côndilo da mandíbula direita (5); côndilo da mandíbula esquerda (5) e forame mental (2). Oito pontos foram digitalizados na eminência articular: eminência articular direita (4) e eminência articular esquerda (4).

4.2.9.1 Pontos da base do crânio

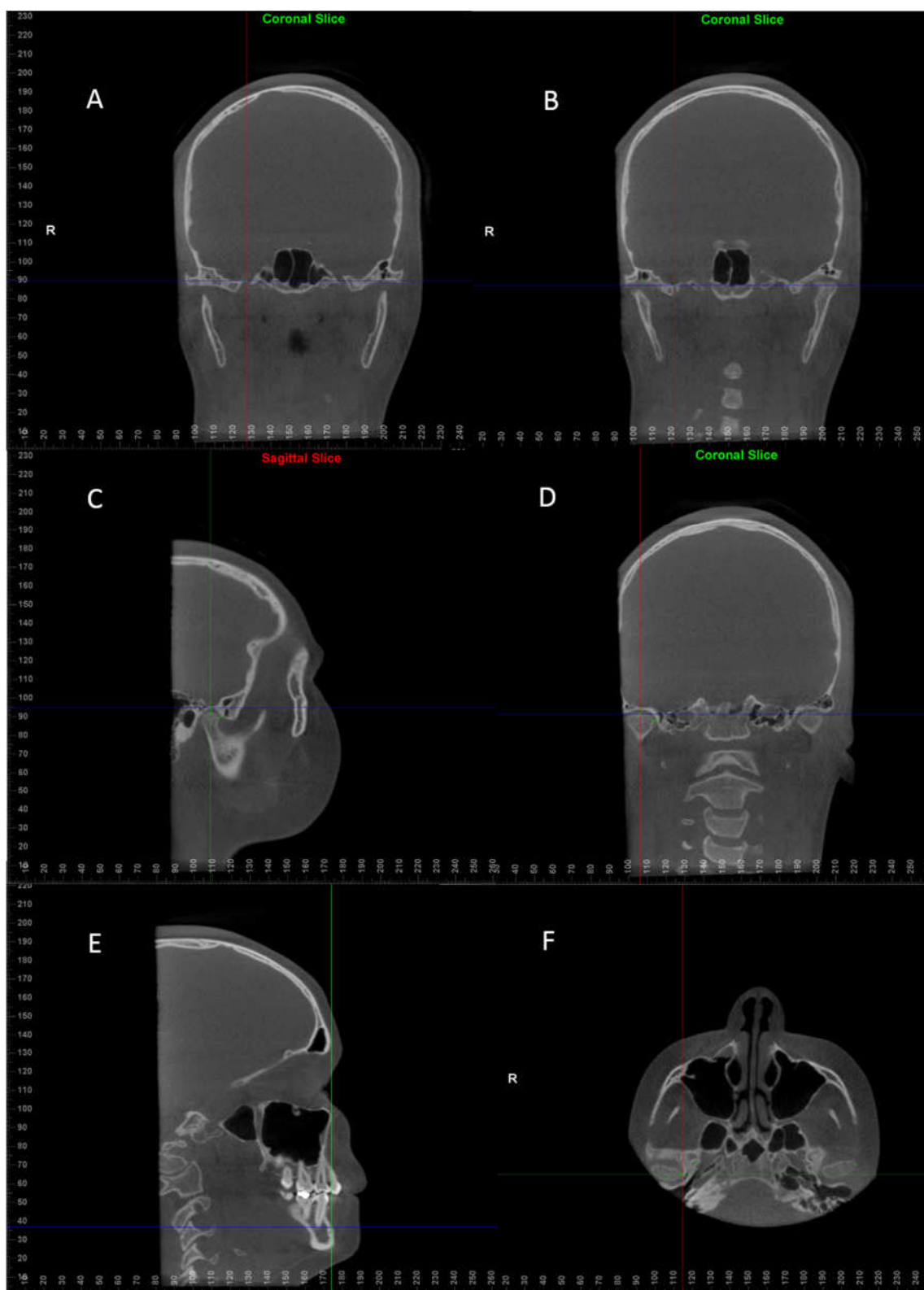
Cinco pontos foram digitalizados nas imagens da TCFC, para representar a base do crânio, conforme orientação de localização nos cortes multiplanares. O Ponto Zero, foi digitalizado na intersecção dos planos a partir da posição da cabeça do paciente ao carregar a imagem; onde tais dados, ficaram armazenados e gravados e ficam disponíveis em arquivo para quaisquer consultas. Essa orientação permitiu marcar os pontos e padronizar as avaliações. Todos os pontos, da base do crânio, estão descritos na Tabela 1, sendo que alguns deles estão representados na Figura 3.

Tabela 1 - Localização dos pontos na base do crânio.

Ponto	Localização
PZ-Ponto zero	Intersecção dos três planos na Sela Túcica gravados no programa.
FOD	Forame Oval direito, ponto no centro geométrico do forame Oval direito, quando as bordas do forame estão definidas.
FED	Forame Espinhoso direito, Ponto no centro geométrico do forame Espinhoso direito, quando as bordas do forame estão definidas no plano axial.
FOE	Forame Oval esquerdo, ponto no centro geométrico do forame Oval esquerdo, quando as bordas do forame estão definidas, no plano axial.
FEE	Forame Espinhoso esquerdo, Ponto no centro geométrico do forame Espinhoso esquerdo, quando as bordas do forame estão definidas no plano axial.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 3 - Alguns pontos visualizados na reformatação multiplanar.



(A) Ponto FOD no plano coronal. (B) Ponto FED no plano coronal. (C) Ponto E1 no plano sagital. (D) Ponto C1D no plano coronal. (E) Ponto FMD no plano sagital. (F) Ponto T2 no plano axial. Fonte: Elaboração própria.

4.2.9.2 Pontos da mandíbula

Doze pontos foram digitalizados nas imagens da TCFC na mandíbula, conforme orientação anatômica nos cortes multiplanares (Tabela 2 e Figura 4).

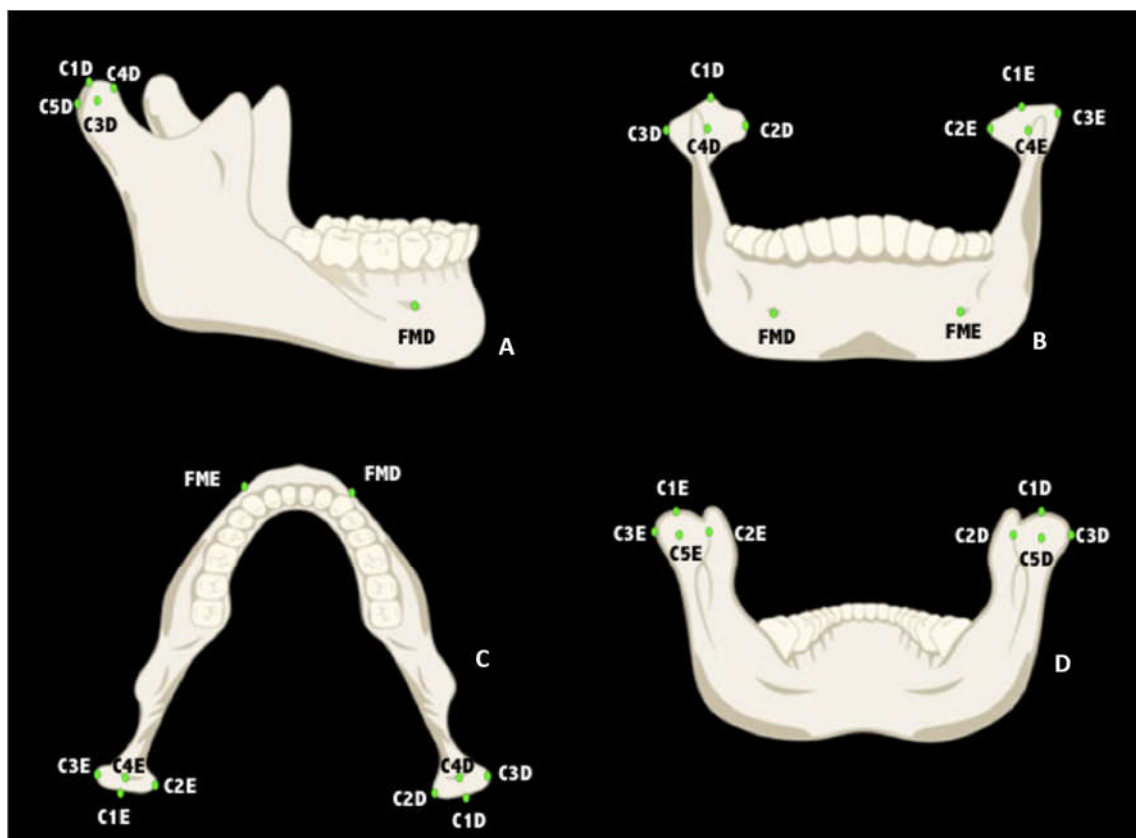
Alguns pontos condilares foram definidos de modo análogo em estudos anteriores, proposto por Cohlmlia et al.³¹ (1996) e Katsavrias⁶¹ (2006), onde os pontos C1D e C1E' dessa pesquisa são correspondentes aos pontos SC (Cohlmlia et al.³¹, 1996) e Ct (Katsavrias⁶¹, 2006), C4D e C4E correspondem aos pontos AC e Ca; C5D e C5E correspondem aos pontos PC e Cp.

Tabela 2 - Localização dos pontos da mandíbula.

Ponto	Localização
C1D	Maior convexidade do pólo superior do côndilo da mandíbula direita.
C2D	Maior convexidade do pólo medial do côndilo da mandíbula direita.
C3D	Maior convexidade do pólo distal do côndilo da mandíbula direita.
C4D	Maior convexidade do pólo anterior do côndilo da mandíbula direita.
C5D	Maior convexidade do pólo posterior do côndilo da mandíbula direita.
C1E	Maior convexidade do pólo superior do côndilo da mandíbula esquerda.
C2E	Maior convexidade do pólo medial do côndilo da mandíbula esquerda.
C3E	Maior convexidade do pólo distal do côndilo da mandíbula esquerda.
C4E	Maior convexidade do pólo anterior do côndilo da mandíbula esquerda.
C5E	Maior convexidade do pólo posterior do côndilo da mandíbula esquerda.
FMD	Forame mental direito, região de maior abertura e entrada do forame mental direito.
FME	Forame mental esquerdo, região de maior abertura e entrada do forame mental esquerdo.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Representação dos pontos escolhidos para determinar os côndilos da mandíbula e forame mental (direito e esquerdo).



Representação pontos escolhidos para determinar os côndilos da mandíbula e forame mental (direito e esquerdo). (A) Plano sagital. (B) Plano coronal. (C) Plano axial. (D) Plano coronal.

Fonte: Elaboração própria.

4.2.9.3 Pontos da fossa articular

Para a avaliação do posicionamento condilar na fossa articular, para cada lado, direito e esquerdo, após a determinação dos pontos C1D, C1E, C3D, C3E, C4D, C4E, C5D e C5E, foram determinados os pontos da fossa articular a partir dos pontos mencionados (Tabela 3) (Figura 5).

Tabela 3 - Localização dos pontos da fossa articular.

Ponto	Localização
E1	Ponto da fossa articular mais próximo de C1D, no plano sagital.
E1'	Ponto da fossa articular mais próximo de C1E, no plano sagital.
E4	Ponto da fossa articular mais próximo de C4D, no plano sagital.
E4'	Ponto da fossa articular mais próximo de C4E, no plano sagital.
E5	Ponto da fossa articular mais próximo de C5D, no plano sagital.
E5'	Ponto da fossa articular mais próximo de C5E, no plano sagital.

Fonte: Elaboração própria.

Esses pontos também foram citados no trabalho de Cohlma et al.³¹ (1996). PF- ponto mais posterior da fossa articular, corresponde aos pontos E5 e E5' desse estudo; AF- ponto mais anterior da fossa articular, corresponde aos pontos E4 e E4' desse estudo; SF- ponto mais superior da cavidade glenóide corresponde aos pontos E1 e E1' desse estudo.

Ainda para a avaliação do espaço da fossa articular, no sentido transversal foram definidos novos pontos no plano axial (Tabela 4) (Figura 6).

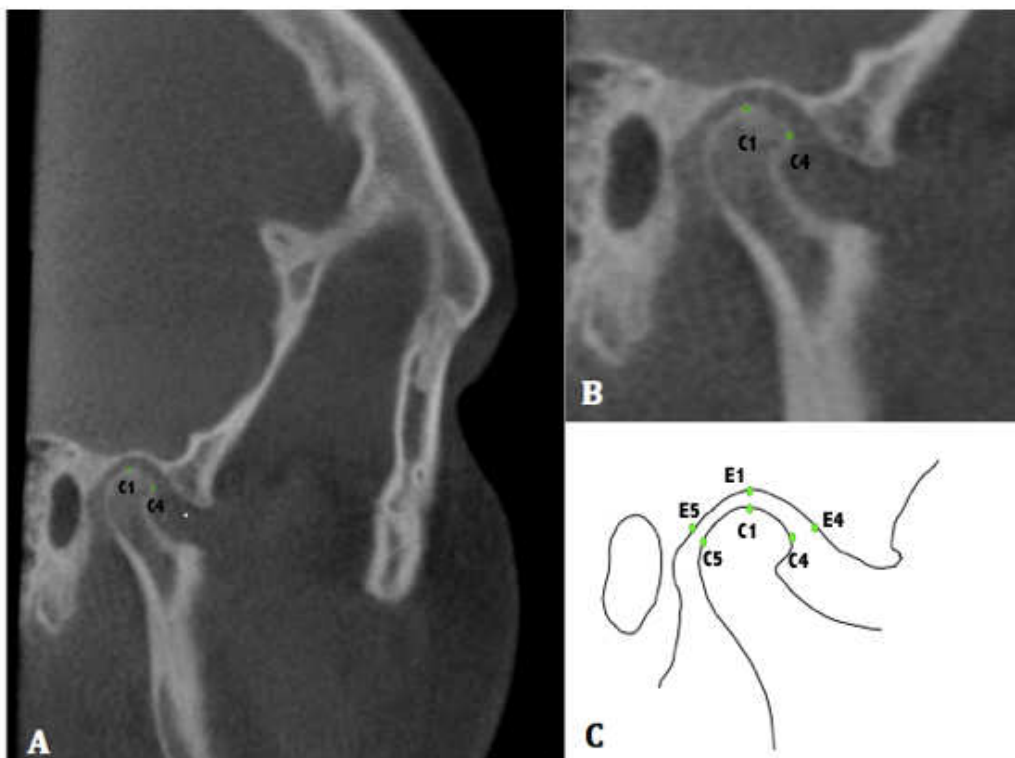
Tabela 4 - Localização dos pontos na fossa articular, plano axial.

Ponto	Localização
T2	Ponto da fossa articular mais próximo de C2D, no plano axial.
T2'	Ponto da fossa articular mais próximo de C2E, no plano axial.

Fonte: Elaboração própria.

Tendo por base estes pontos anatômicos digitalizados na reformatação multiplanar, foram definidas as seguintes medidas lineares para avaliar a concentricidade dos côndilos da mandíbula (Tabela 5) (Figura 7).

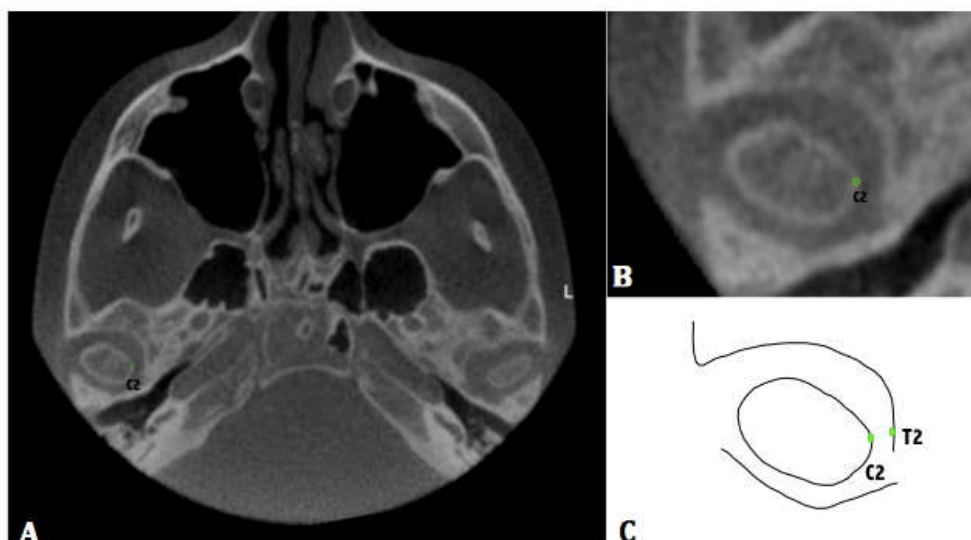
Figura 5 - Representação dos pontos escolhidos para avaliar o espaço da fossa articular.



(A) Plano sagital. (B) Traçado cefalométrico sobre imagem tomográfica com pontos referentes ao côndilo da mandíbula e fossa articular, no plano sagital. (C) Traçado cefalométrico representando pontos referentes ao côndilo da mandíbula e fossa articular, no plano sagital.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 - Representação dos pontos escolhidos para avaliar o espaço da fossa articular.



(A) Plano axial. (B) Traçado cefalométrico sobre imagem tomográfica com pontos referentes ao côndilo da mandíbula e fossa articular, no plano axial. (C) Traçado cefalométrico representando pontos referentes ao côndilo da mandíbula e fossa articular, no plano axial.

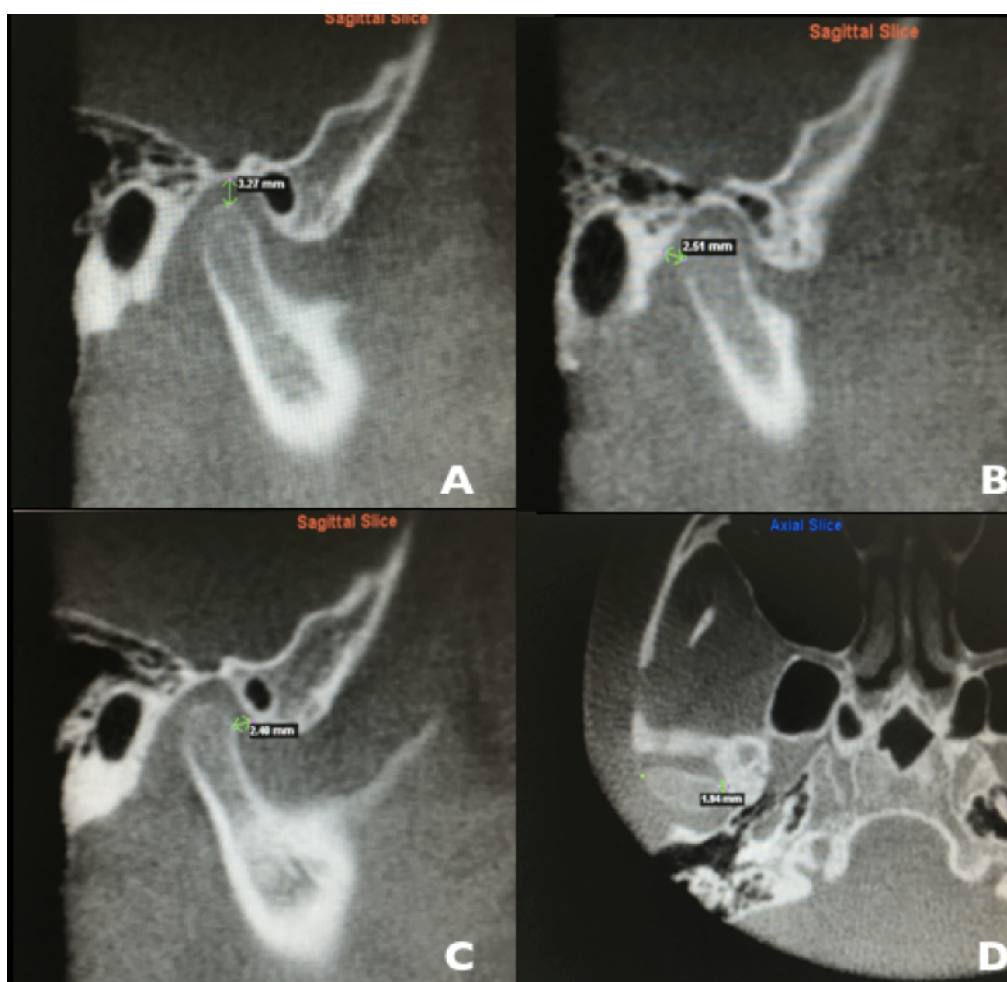
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 - Medidas lineares analisadas no estudo.

Distância linear	Localização
C1-E1	Espaço articular superior, direito ou esquerdo.
C4-E4	Espaço articular anterior, direito ou esquerdo.
C5-E5	Espaço articular posterior, direito ou esquerdo.
C2-T2	Espaço articular axial, direito ou esquerdo.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 - Pontos escolhidos para avaliar o espaço da fossa articular, no plano sagital.



(A) Plano sagital da distância C1D-E1. (B) Plano sagital da distância C5D-E5. (C) Plano sagital da distância C4D-E4. (D) Plano axial da distância C2D-T2.

Fonte: Elaboração própria.

Após a digitalização dos vinte e cinco pontos, as mensurações foram quantificadas automaticamente, através de uma ferramenta do software que mede a distância, em milímetros, dos pontos selecionados em relação ao Ponto Zero. As mensurações tornaram-se visíveis, através do programa Excel (Microsoft Office), para onde foram transportadas.

O grau das alterações nas medidas aferidas foi classificado da seguinte maneira: entre 0 a 0,25mm (irrelevante); entre 0,26mm a 0,50mm (leve); entre 0,51mm a 0,75mm (moderado) e entre 0,76mm a 1,00mm (relevante).

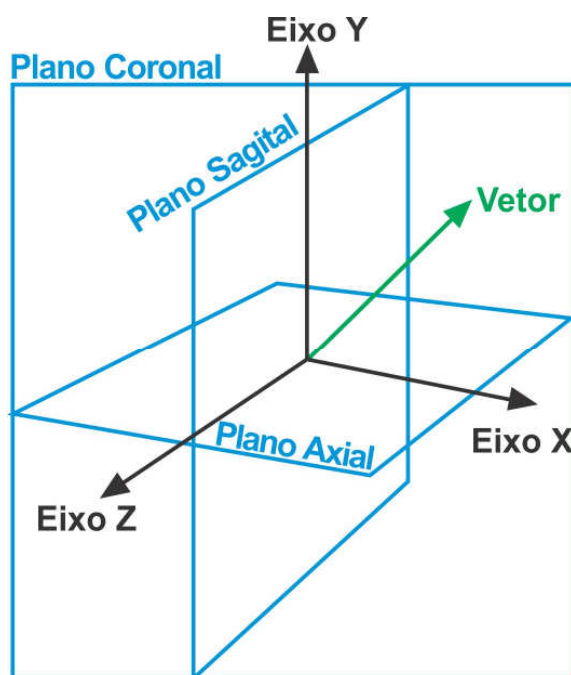
4.3 Metodologia para a transformação de Coordenadas

Foi desenvolvido um software para o cálculo dos dados numéricos pelo departamento de Física e Biofísica, IBB-UNESP de Botucatu.

O sistema utilizado pelo programa Dolphin[®] (Figura 8) e pelo programa que calcula a remodelação e deslocamento dos côndilos da mandíbula, representam as direções e os sentidos (a partir do ponto de origem), da seguinte forma (Figura 9).

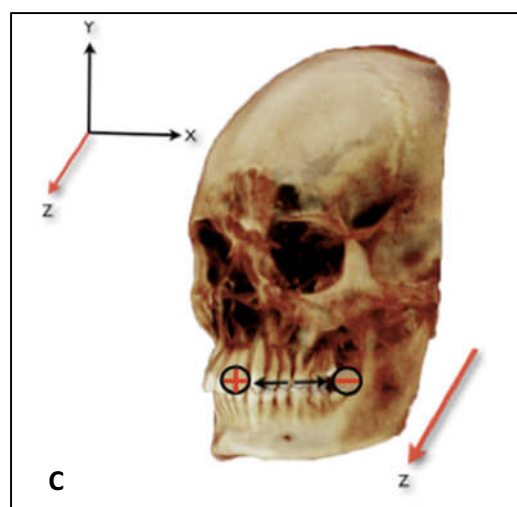
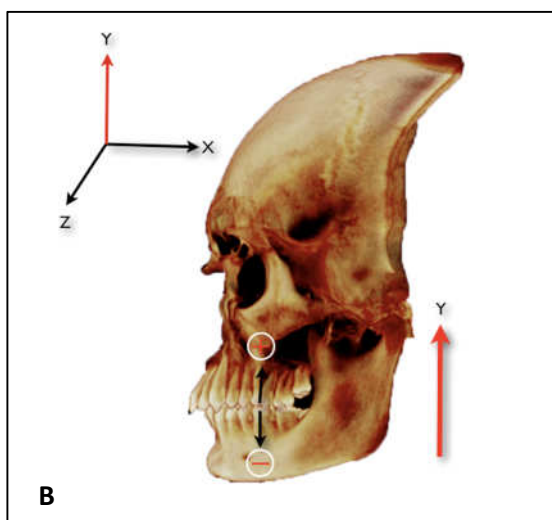
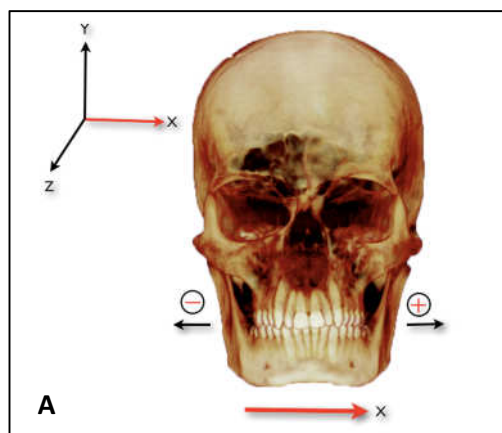
- eixo X – para a esquerda (sentido +) ou para a direita (sentido -);
- eixo Y – para cima (sentido +) ou para baixo (sentido -);
- eixo Z – para frente (sentido +) ou para trás (sentido -).

Figura 8 - Representação dos eixos e planos utilizados pelo programa Dolphin[®].



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - A. Deslocamento dos pontos condilares no eixo X. B. Deslocamento dos pontos condilares no eixo Y. C. Deslocamento dos pontos condilares no eixo Z.



Fonte: Elaboração própria.

4.3.1 Cálculo do deslocamento dos côndilos da mandíbula

Estabelecido o sistema de coordenadas, a posição de um ponto no espaço tridimensional é representada pela tripla ordenada (X, Y, Z) de números, chamada de coordenadas do ponto. As coordenadas indicam a posição do ponto (a partir do ponto de origem) na direção de cada um dos eixos do sistema de coordenadas utilizado.

Os pontos obtidos para cada côndilo da mandíbula foram cinco (C1, C2, C3, C4 e C5). Eles são os mesmos para as posições: inicial e final, de cada côndilo da mandíbula.

O deslocamento foi calculado pela diferença entre as posições final e inicial de cada ponto, no côndilo da mandíbula. Tomando um ponto como exemplo: C1_i = (x_i, y_i, z_i) como a posição inicial e C1_f = (x_f, y_f, z_f), o cálculo do deslocamento d_P1 = (dx, dy, dz) foi feito da seguinte forma:

$$dx = x_f - x_i \text{ (deslocamento na direção do eixo X);}$$

$$dy = y_f - y_i \text{ (deslocamento na direção do eixo Y);}$$

$$dz = z_f - z_i \text{ (deslocamento na direção do eixo Z).}$$

O deslocamento da mandíbula foi obtido da mesma forma, através dos forames direito (FMD) e o esquerdo (FME).

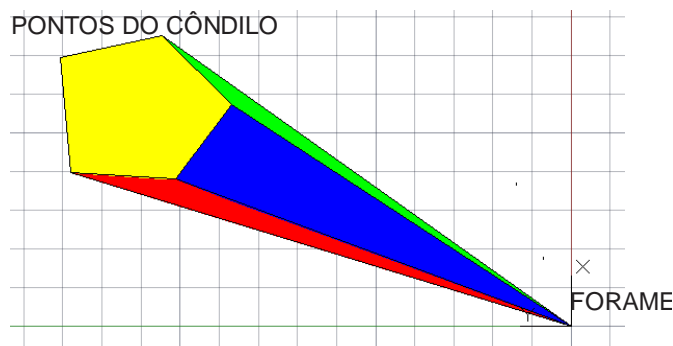
4.3.2 Cálculo da remodelação dos côndilos da mandíbula

Os pontos FMD (forame mental direito) e FME (forame mental esquerdo) foram transformados, assumindo a média da distância entre eles, tornando essa nova posição o ponto de origem do sistema cartesiano, isto é, o Ponto zero. A média entre os forames foi tomada de acordo com a fórmula abaixo:

$$x_O = \sqrt{\frac{x_{FD} + x_{FE}}{2}}; y_O = \sqrt{\frac{y_{FD} + y_{FE}}{2}}; z_O = \sqrt{\frac{z_{FD} + z_{FE}}{2}}$$

Onde FD e FE da equação acima denotam as coordenadas em x, y e z dos respectivos forames direito e esquerdo. Utilizando essa nova origem do sistema cartesiano os pontos medidos com relação à base do crânio foram para o novo ponto de origem, para a média das distâncias dos forames mentuais direito (FMD) e esquerdo (FME). Um exemplo visual desse processo está descrito na Figura 10.

Figura 10 - Os pontos do côndilo da mandíbula formaram uma superfície que delimitou a sua região anatômica, a distância dos pontos ao forame foi estudada de modo a inferir sobre a remodelação do côndilo da mandíbula.



Fonte: Elaboração própria.

A remodelação do côndilo da mandíbula foi estimada utilizando a distância entre cada ponto medido localizado no côndilo da mandíbula e a média entre todos esses pontos localizados nesta estrutura como ponto de origem.

A remodelação foi mensurada em milímetros; o valor do cálculo representa a extensão da remodelação do ponto condilar e o sinal a direção do mesmo.

Na mudança de coordenadas do plano, todos os outros pontos foram transformados como:

$$P_n(x, y, z) = (x_M, y_M, z_M) - (x_0, y_0, z_0)$$

em que, (x_M, y_M, z_M) e (x, y, z) são as coordenadas medidas e as coordenadas transformadas do ponto P_n respectivamente.

Para definir orientações é levado em consideração que um plano pode ser definido por dois vetores (Rao ¹¹², 1982). Esta definição é extremamente útil em aplicações em 3D, uma vez o produto destes dois vetores é um vetor perpendicular aos dois vetores, ou seja, perpendicular ao plano que os contém (Rao ¹¹², 1982). O vetor resultante também é um vetor unitário (a sua magnitude é 1) (Ural ¹³⁵, 1973; Rao ¹¹², 1982).

Os pontos resultantes após a transformação de coordenadas representaram vetores que foram estudados usando a tensão de Cauchy, explicada mais adiante.

A aplicação prática é o sistema de coordenadas cartesianas padrão, para o qual i é o vetor unitário ao longo do eixo X (assim ortogonal ao plano yz), j é o vetor unitário

alinhado com o eixo Y (perpendicular ao plano xz), e k é o vetor unitário ao longo do eixo Z (perpendicular para o plano xy). Expressando o vetor de distância é definido como:

$$\vec{D} = \begin{bmatrix} Dx \\ Dy \\ Dz \end{bmatrix} = Dx.\vec{i} + Dy.\vec{j} + Dz.\vec{k} = Dx.\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + Dy.\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + Dz.\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

A tensão de Cauchy ou deformação de projeto é expressa como a razão de deformação total da dimensão inicial do corpo material em que as forças estão sendo aplicadas. A tensão nominal e de um elemento de linha de material ou fibras axialmente carregada é expressa como a alteração no comprimento ΔL por unidade de comprimento inicial L do elemento de linha ou fibras. A tensão normal é positiva se as fibras do material são estendidas e negativa se forem comprimidas. Assim, temos:

$$e = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\ell - L}{L}$$

Onde e é a tensão normal, L é o comprimento original da fibra e ℓ é o comprimento final da fibra. O valor de e igual a 0 significa que não houve deformação do vetor, se diferente de zero houve deformação (extensão ou encurtamento do vetor).

O valor médio de e nos dará a remodelação média do côndilo da mandíbula.

Foi calculada a distância euclidiana de acordo com o ponto zero utilizando a fórmula, para o deslocamento e remodelação dos côndilos da mandíbula:

$$DE = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (02)$$

em que x , y e z denotam as coordenadas cartesianas de cada ponto medido e x_0 , y_0 e z_0 denotam o ponto de origem do sistema cartesiano.

O distanciamento do côndilo da mandíbula com relação à base do crânio foi aferido como a distância entre média geométrica dos pontos na base do crânio como ponto de origem e a média dos pontos aferidos no côndilo da mandíbula como o ponto final. Para aferir o deslocamento do côndilo da mandíbula com relação aos forames da mandíbula, o

mesmo processo foi realizado utilizando a média entre os forames mentuais como ponto de origem.

A taxa de estiramento é uma medida da deformação axial ou normal de um elemento diferencial de linha, que pode ser definida a configuração não deformada, ou a configuração deformada. É definida como a razão entre o comprimento final e ℓ o comprimento L inicial da linha de material.

$$\lambda = \frac{\ell}{L}$$

A relação de extensão é aproximadamente relacionada com a tensão de Cauchy por:

$$e = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\ell - L}{L} = \lambda - 1$$

Esta equação indica que a tensão normal é igual a zero, de modo que não existe deformação quando o estiramento é igual à unidade.

Os cinco pontos definidos no côndilo da mandíbula foram analisados de acordo com a sua distância com relação a média da distância entre os forames, mental direito e mental esquerdo, e sua taxa de estiramento será estudada.

4.4 Matlab

Eventuais algoritmos foram escritos utilizando linguagem Matlab[®]. O ambiente Matlab[®] foi criado no final da década de 1970 por Cleve Moler e se trata de um programa destinado a cálculos com matrizes. É reconhecido mundialmente como uma das melhores ferramentas para o processamento de sinais e imagens. Estruturado para o uso nas áreas de engenharia, física, estatística, economia (exatas em geral), o Matlab[®] é um programa com diversos pacotes de ferramentas (toolboxes) que auxiliam na programação de tarefas complexas (Gonzalez et al. ⁴², 2004).

4.5 Análise Estatística

Para avaliar o erro do método, dez tomografias foram selecionadas aleatoriamente do conjunto de tomografias estudadas e mensuradas duas vezes com intervalo superior a quatorze dias entre as mensurações. Para medir o grau de concordância entre as mensurações empregou-se o coeficiente de correlação intraclassa (ICC). Para a comparação das médias de cada medida, antes e após o tratamento, foi empregado o Teste *t* de Student, para amostras pareadas a um nível de significância de 0,05. Estimativas das médias das medidas, antes e após o tratamento, foram obtidas por meio de intervalos de confiança.

5 RESULTADO

A amostra utilizada neste estudo foi composta por 24 pacientes: 10 do gênero feminino e 14 do masculino. No início do estudo, os pacientes do gênero feminino apresentavam idades cronológicas variáveis de 15,2 anos a 18,3 anos (idade média: 16,1 anos), e os do gênero masculino, entre 13,9 anos a 17,9 anos (idade média: 16,2 anos). O tempo de tratamento foi de 8 meses (tempo médio para a amostra foi de 9,8 meses), sendo a média calculada com as datas, em T1 e T2 das TCFCs. Os dados descritivos, relativos à idade dos pacientes e ao tempo de tratamento com aparelho Herbst encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Medidas descritivas da idade e tempo de tratamento dos pacientes.

	N	Média	Dp	Mínimo	Máximo
Idade (anos)					
Feminino	10	16,1	1,1	15,2	18,3
Masculino	14	16,2	1,1	13,9	17,9
Todos	24	16,1	1,1	13,9	18,3
Tratamento (meses)					
Feminino	10	9,9	1,3	7,8	13,0
Masculino	14	9,8	0,6	8,9	11,1
Todos	24	9,8	1,0	7,8	13,0

Fonte: Elaboração própria.

5.1 Estudo do erro do método

Para avaliar o erro do método, dez tomografias foram selecionadas aleatoriamente do conjunto de tomografias estudadas e mensuradas duas vezes com intervalo de duas semanas entre as mensurações. Para medir o grau de concordância entre as mensurações empregou-se o coeficiente de correlação intraclassa (ICC). Dadas as características das medidas efetuadas, o erro do método foi considerado desprezível quando o ICC foi maior que 0,80. Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados dos cálculos do ICC.

Ao determinar o Ponto Zero (PZ) no eixo X em uma tomografia, nem sempre foi possível obter valor zero nas correspondentes coordenadas Y e Z, o que seria desejável

por ser o ponto de origem das medidas. Entretanto, os valores observados são muito próximos de zero nas 3 coordenadas ($-0,01 < \text{valores médios} < 0,01$ e desvios padrão $< 0,1$ nas coordenadas X, Y e Z) e o ICC é negativo e muito próximo de zero, o que indica, como é esperada, a ocorrência de um erro aleatório insignificante na definição do Ponto Zero.

À exceção das medidas FOE no eixo Z, C1E no eixo X e C2-T2 em ambos os lados, todas as demais medidas apresentam alto grau de reprodutibilidade. Destes resultados conclui-se que o erro do método pode ser desprezado no contexto desta pesquisa.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação intraclasse das distâncias entre a base do crânio e os pontos estudados nos eixos X, Y e Z.

Pontos	Eixos		
	X	Y	Z
PZ	—	-0,155	-0,153
FOD	0,931	0,979	0,934
FED	0,890	0,977	0,959
FOE	0,856	0,961	0,722
FEE	0,841	0,984	0,824
C1D	0,836	0,972	0,951
C2D	0,884	0,870	0,888
C3D	0,978	0,982	0,984
C4D	0,833	0,955	0,964
C5D	0,881	0,897	0,960
C1E	0,665	0,976	0,877
C2E	0,923	0,971	0,888
C3E	0,939	0,965	0,970
C4E	0,804	0,989	0,934
C5E	0,839	0,961	0,956
FMD	0,951	0,992	0,982
FME	0,879	0,991	0,969

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação intraclasse das distâncias entre pontos do crânio e pontos no côndilo da mandíbula nos eixos X, Y e Z.

	Côndilo da mandíbula	
	Direito	Esquerdo
C1-E1	0,882	0,829
C2-T2	0,692	0,761
C4-E4	0,846	0,892
C5-E5	0,913	0,932

Fonte: Elaboração própria.

A seguir são apresentados os resultados das análises estatísticas realizadas para comparar as medidas observadas, ou calculadas, relativas aos dois tempos do estudo T1 e T2. Para avaliar se a média das distâncias entre um ponto em estudo e o ponto de referência (base do crânio ou ponto médio entre os forames) em T2 é igual à média em T1, empregou-se o teste t de Student para a hipótese de que as médias de duas populações pareadas são iguais (ou equivalentemente, o teste t de Student para a hipótese de que a média das diferenças entre os pares de valores das duas populações são iguais à zero).

5.2 Deslocamento dos côndilos da mandíbula

O deslocamento dos côndilos da mandíbula, no sistema de coordenadas cartesianas, foi calculado com o Ponto Zero na Base do crânio, o que forneceu uma análise quantitativa e qualitativa (Tabelas 9 a 11) e distâncias euclidianas (Tabela 12).

Nas tabelas de 9 a 11 são apresentadas medidas descritivas das distâncias, nos eixos X, Y e Z entre os pontos em estudo e a base do crânio e resultados dos testes t de Student para comparar as médias das distâncias em T1 e T2 (T2-T1).

Pode-se observar na Tabela 9 que o tratamento não promove alterações significantes nas medidas no eixo X, constatando que não houve movimento de lateralidade.

Tabela 9 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e a base do crânio no eixo X em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste t de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	p
PZ	24	0,00	0,04	0,00	0,05	-0,01	0,01	0,713
FOD	24	-26,65	2,52	-26,52	2,46	0,13	0,20	0,511
FED	24	-32,25	2,68	-32,29	2,77	-0,04	0,24	0,862
FOE	24	25,02	2,28	25,42	1,88	0,40	0,27	0,147
FEE	24	30,36	1,89	30,63	2,04	0,27	0,23	0,263
C1D	15	-49,50	3,48	-49,47	3,65	0,04	0,26	0,892
C2D	15	-41,60	2,75	-41,46	2,67	0,14	0,23	0,558
C3D	15	-58,10	3,58	-57,90	3,54	0,20	0,21	0,370
C4D	15	-48,84	3,01	-48,64	2,71	0,20	0,35	0,586
C5D	15	-51,19	2,82	-51,30	3,08	-0,12	0,20	0,567
C1E	24	47,82	2,66	47,36	2,67	-0,46	0,32	0,168
C2E	24	40,29	3,12	40,42	3,30	0,12	0,26	0,643
C3E	24	57,74	2,73	57,74	3,03	0,00	0,23	0,989
C4E	24	47,75	2,27	48,17	2,40	0,42	0,29	0,150
C5E	24	50,35	2,95	50,89	3,02	0,53	0,32	0,109
FMD	24	-22,64	1,78	-22,51	1,69	0,13	0,20	0,521
FME	24	23,31	1,98	23,46	1,94	0,16	0,21	0,464

Fonte: Elaboração própria.

Há evidências estatísticas de que, no eixo Y, na Tabela 10, as médias das medidas C1D, C2D, C4D e FMD e das medidas C1E, C2E, C3E, C4E, C5E e FME em T2 são menores que em T1 (deslocamento negativo), indicando movimento desses pontos para baixo.

Tabela 10 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e a base do crânio no eixo Y em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor *p* do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	<i>p</i>
PZ	24	0,01	0,10	0,00	0,08	-0,01	0,02	0,720
FOD	24	-15,08	2,89	-15,08	2,84	0,00	0,21	0,989
FED	24	-15,64	2,83	-15,37	2,96	0,27	0,20	0,201
FOE	24	-14,59	2,98	-14,79	2,64	-0,20	0,18	0,281
FEE	24	-15,40	2,77	-15,55	2,82	-0,15	0,26	0,572
C1D	15	-13,85	3,11	-14,55	2,93	-0,70	0,23	0,010
C2D	15	-17,88	2,74	-18,61	2,95	-0,73	0,24	0,009
C3D	15	-18,46	3,39	-19,01	3,82	-0,55	0,54	0,325
C4D	15	-16,30	3,33	-17,36	3,37	-1,06	0,33	0,006
C5D	15	-17,14	3,21	-17,64	3,30	-0,50	0,34	0,167
C1E	24	-14,35	2,88	-15,34	3,27	-0,99	0,27	0,001
C2E	24	-18,63	3,24	-19,60	3,23	-0,97	0,37	0,016
C3E	24	-18,32	3,57	-19,05	3,93	-0,73	0,34	0,040
C4E	24	-16,79	3,31	-17,91	3,59	-1,13	0,27	0,000
C5E	24	-17,20	3,31	-18,02	3,57	-0,81	0,34	0,026
FMD	24	-78,47	7,74	-80,38	7,38	-1,91	0,35	0,000
FME	24	-78,25	7,78	-80,17	7,54	-1,92	0,36	0,000

Fonte: Elaboração própria.

Com relação ao eixo Z, na Tabela 11, os resultados indicam que as médias das medidas C1, C2, C4 e FM do lado direito e das medidas C2, C3, C4, C5 e FM do lado esquerdo são maiores em T2 que em T1 (deslocamento positivo), indicando movimento desses pontos para frente.

Tabela 11 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e a base do crânio no eixo Z em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	p
PZ	24	-0,02	0,04	-0,01	0,03	0,01	0,01	0,283
FOD	24	3,57	2,44	3,59	2,45	0,01	0,25	0,954
FED	24	-0,99	3,06	-1,15	2,99	-0,15	0,28	0,596
FOE	24	3,66	2,54	3,71	2,48	0,05	0,31	0,863
FEE	24	-1,05	2,49	-0,91	2,58	0,14	0,27	0,608
C1D	15	-4,18	3,49	-3,36	3,17	0,82	0,34	0,031
C2D	15	-5,54	3,12	-4,67	2,96	0,88	0,41	0,049
C3D	15	-1,07	3,87	-0,06	4,07	1,01	0,58	0,105
C4D	15	-0,48	3,24	0,66	3,34	1,13	0,41	0,014
C5D	15	-7,21	4,06	-6,51	3,69	0,70	0,42	0,116
C1E	24	-5,48	3,76	-5,24	3,86	0,24	0,29	0,410
C2E	24	-7,32	3,39	-6,51	3,57	0,81	0,37	0,038
C3E	24	-1,62	3,94	-0,68	4,02	0,94	0,38	0,020
C4E	24	-1,70	3,36	-0,71	3,75	1,00	0,35	0,010
C5E	24	-8,02	3,93	-7,33	4,07	0,69	0,26	0,015
FMD	24	59,61	5,60	60,99	5,86	1,38	0,55	0,020
FME	24	59,23	5,50	60,56	5,60	1,33	0,56	0,027

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 12 são apresentados resultados relativos às distâncias euclidianas dos pontos em relação à base do crânio. Apesar de haver deslocamentos significativos de vários pontos dos côndilos da mandíbula entre T1 e T2 nos eixos Y e Z, quando medida a distância direta (distância euclidiana) entre cada ponto e a base do crânio as médias das alterações entre T1 e T2 são significativas apenas para as medidas C4 e C5 do lado esquerdo e os forames mentuais direito e esquerdo, mostrando que elas se afastaram em relação à base do crânio.

Tabela 12 - Média e desvio padrão das medidas euclidianas (mm) entre cada ponto e a base do crânio em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor *p* do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		<i>p</i>
		média	dp	média	dp	média	ep	
FOD	24	31,03	2,91	30,93	2,54	-0,10	0,22	0,665
FED	24	36,07	2,89	36,01	2,72	-0,06	0,20	0,774
FOE	24	29,44	2,46	29,84	2,23	0,40	0,28	0,166
FEE	24	34,23	2,25	34,53	2,56	0,30	0,23	0,214
C1D	15	51,77	3,43	51,82	3,67	0,05	0,29	0,863
C2D	15	45,79	2,63	45,84	2,71	0,05	0,24	0,836
C3D	15	61,15	4,01	61,14	3,97	-0,01	0,38	0,989
C4D	15	51,67	3,14	51,82	3,03	0,15	0,33	0,665
C5D	15	54,68	2,90	54,83	3,10	0,15	0,25	0,562
C1E	24	50,43	2,78	50,29	2,97	-0,14	0,29	0,631
C2E	24	45,23	3,01	45,63	3,37	0,40	0,26	0,132
C3E	24	60,80	3,13	61,02	3,67	0,22	0,23	0,362
C4E	24	50,84	2,48	51,63	2,91	0,79	0,28	0,009
C5E	24	54,04	3,08	54,72	3,34	0,68	0,32	0,042
FMD	24	101,33	7,26	103,55	7,38	2,23	0,26	0,000
FME	24	101,10	7,02	103,35	7,35	2,25	0,29	0,000

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 13 são apresentados resultados estatísticos das distâncias dos pontos médios das medidas da base do crânio, dos côndilos da mandíbula e dos forames mentuais em relação à base do crânio. Estes resultados mostram que há alteração significativa na média das distâncias dos pontos médios dos côndilos da mandíbula, tanto direito quanto esquerdo, nos eixos Y e Z, entre T1 e T2.

No eixo Y, a média das distâncias dos pontos médios em T2 é maior, em valores absolutos, que em T1, o que mostra uma tendência a um pequeno afastamento destes pontos a relação à base do crânio. No eixo Z ocorre o contrário, há uma tendência a uma pequena aproximação dos pontos médios do côndilo da mandíbula com relação à base do crânio. Apesar dos deslocamentos significativos nos eixos Y e Z, isto não se reflete em

deslocamento significativo dos pontos médios dos côndilos da mandíbula quando a distância entre eles e a base do crânio é medida por meio da distância euclidiana (norma).

Os mesmos resultados estatísticos são observados quando medidas as distâncias entre os pontos médios entre os forames e a base do crânio, isto é, as hipóteses de que as médias das distâncias medidas no eixo Y, ou no eixo Z, são iguais em T1 e T2, são rejeitadas. Tanto no eixo Y quanto no eixo Z, a média, em valores absolutos, é maior em T2. Quando analisadas as medidas euclidianas entre o ponto médio dos forames e a base do crânio, a hipótese de que a média das distâncias euclidianas em T1 é igual à média em T2 é rejeitada, mostrando que a média desta medida é maior em T2 que em T1.

Tabela 13 - Média e desvio padrão das distâncias dos pontos médios da base do crânio, dos côndilos da mandíbula e dos forames em relação à base do crânio nos eixos X, Y e Z e respectivas distâncias euclidianas (norma) em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas distâncias entre T1 e T2 (T2-T1) (mm) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

	N	T1		T2		T2-T1		p
		média	dp	média	dp	média	ep	
Ponto médio da base do crânio								
X	24	-0,70	1,29	-0,55	1,26	0,15	0,15	0,340
Y	24	-12,14	2,21	-12,16	2,15	-0,02	0,14	0,894
Z	24	1,03	1,96	1,05	1,96	0,01	0,19	0,942
norma	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponto médio do côndilo da mandíbula direita								
X	15	-49,84	2,94	-49,75	2,93	0,09	0,18	0,618
Y	15	-16,73	2,96	-17,43	3,13	-0,71	0,28	0,023
Z	15	-3,70	3,47	-2,79	3,33	0,91	0,39	0,035
norma	15	50,04	2,41	50,01	2,50	-0,04	0,14	0,789
Ponto médio do côndilo da mandíbula esquerda								
X	24	48,79	2,53	48,91	2,70	0,12	0,25	0,625
Y	24	-17,06	3,14	-17,98	3,37	-0,93	0,29	0,004
Z	24	-4,83	3,53	-4,10	3,70	0,73	0,28	0,015
norma	24	50,17	2,50	50,17	2,49	0,00	0,13	0,973
Ponto médio do forame								
X	24	0,33	1,29	0,48	1,25	0,14	0,20	0,481
Y	24	-78,36	7,73	-80,27	7,44	-1,91	0,35	0,000
Z	24	59,42	5,51	60,77	5,69	1,35	0,55	0,023
norma	24	88,53	5,62	90,77	5,96	2,24	0,27	0,000

Fonte: Elaboração própria.

5.3 Deslocamento dos côndilos da mandíbula em relação à fossa articular

Foram mensurados os espaçamentos entre os pontos nos côndilos da mandíbula direita e esquerda (C1, C2, C4 e C5), em relação a eminência articular (E1, T2, E4 e E5). Na Tabela 14 estão apresentados resultados das análises estatísticas de medidas realizadas para avaliar o espaçamento do côndilo da mandíbula em relação a fossa articular. Houve aumento do espaçamento superior do côndilo da mandíbula esquerda.

Tabela 14 - Média e desvio padrão das distâncias (mm) entre os pontos dos côndilos da mandíbula e os correspondentes pontos na eminência articular em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas distâncias (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	<i>p</i>
C1D-E1	15	2,85	0,93	3,20	1,25	0,35	0,26	0,200
C2D-T2	15	3,41	1,01	3,84	1,25	0,43	0,24	0,093
C4D-E4	15	2,38	0,59	2,35	0,52	-0,03	0,15	0,847
C5D-E5	15	2,37	0,79	2,74	1,05	0,37	0,25	0,169
C1E-E1'	24	2,80	0,66	3,14	0,88	0,34	0,15	0,027
C2E-T2'	24	3,82	1,46	3,62	1,35	-0,20	0,18	0,261
C4E-E4'	24	2,43	0,62	2,29	0,47	-0,14	0,11	0,230
C5E-E5'	24	2,75	0,65	3,08	1,26	0,33	0,25	0,202

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Remodelação dos côndilos da mandíbula

Os pontos na base do crânio não foram considerados para a remodelação, pois as mensurações foram recalculadas tendo como o Ponto Zero sendo a média da distância entre os forames mentuais direito e esquerdo, avaliando apenas os pontos da mandíbula.

Nas Tabelas 15, 16, 17 e 18 são apresentados resultados estatísticos obtidos.

Pode-se observar na tabela 15 que, mesmo com a mudança da origem da escala, não há evidências de que o tratamento promova alterações nas medidas no eixo X, apenas o ponto C1 do lado esquerdo apresenta média em T2 significativamente menor que em T1, indicando um mínimo movimento para a direita significativa.

Tabela 15 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e o ponto médio entre os forames mentuais no eixo X em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste t de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		p
		média	dp	média	dp	média	ep	
C1D	15	-49,97	4,07	-50,00	4,01	-0,03	0,30	0,929
C2D	15	-42,07	3,30	-42,00	2,88	0,07	0,24	0,767
C3D	15	-58,57	4,05	-58,44	3,66	0,13	0,24	0,588
C4D	15	-49,31	3,38	-49,17	2,99	0,13	0,41	0,746
C5D	15	-51,66	3,29	-51,84	3,18	-0,18	0,24	0,468
C1E	24	47,49	2,71	46,88	2,54	-0,60	0,28	0,039
C2E	24	39,96	3,00	39,94	3,17	-0,02	0,22	0,929
C3E	24	57,41	2,71	57,26	2,90	-0,15	0,19	0,454
C4E	24	47,41	2,46	47,69	2,40	0,28	0,27	0,301
C5E	24	50,02	3,00	50,41	2,96	0,39	0,25	0,131
FMD	24	-22,97	1,37	-22,99	1,32	-0,01	0,05	0,749
FME	24	22,97	1,37	22,99	1,32	0,01	0,05	0,749

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados apresentados na Tabela 16 mostram que as médias das distâncias em relação ao ponto médio dos forames mentuais são, no eixo Y, significativamente maiores em T2 que em T1 e nas medidas C5 do lado direito e C1, C3, C4, C5 do lado esquerdo, indicando movimento para cima desses pontos.

Tabela 16 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e o ponto médio entre os forames mentuais no eixo Y em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor *p* do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	<i>p</i>
C1D	15	63,04	7,70	64,06	6,85	1,02	0,50	0,061
C2D	15	59,00	7,88	59,99	7,09	0,99	0,47	0,054
C3D	15	58,42	7,25	59,59	6,17	1,17	0,70	0,116
C4D	15	60,59	7,57	61,25	6,59	0,66	0,53	0,236
C5D	15	59,74	7,83	60,96	6,52	1,22	0,54	0,041
C1E	24	64,01	6,93	64,93	6,18	0,92	0,41	0,035
C2E	24	59,73	7,03	60,67	6,14	0,94	0,48	0,060
C3E	24	60,04	6,93	61,22	5,95	1,18	0,40	0,007
C4E	24	61,57	6,98	62,36	6,18	0,78	0,38	0,049
C5E	24	61,16	7,09	62,25	6,39	1,10	0,43	0,019
FMD	24	-0,11	0,68	-0,10	0,61	0,00	0,07	0,949
FME	24	0,11	0,68	0,10	0,61	0,00	0,07	0,949

Fonte: Elaboração própria.

No eixo Z, os resultados da Tabela 17 indicam que as medidas em C1 e C5 do lado direito e da medida C1 do lado esquerdo são menores em T2 que em T1 (deslocamento negativo), indicando movimento para trás desses pontos.

Tabela 17 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre cada ponto e o ponto médio entre os forames mentuais no eixo Z em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	<i>p</i>
C1D	15	-63,35	5,69	-64,52	5,10	-1,17	0,52	0,042
C2D	15	-64,72	5,85	-65,83	5,71	-1,11	0,52	0,052
C3D	15	-60,25	6,04	-61,23	5,62	-0,98	0,59	0,118
C4D	15	-59,65	5,60	-60,51	5,46	-0,86	0,46	0,082
C5D	15	-66,39	6,10	-67,67	5,79	-1,29	0,46	0,014
C1E	24	-64,89	5,39	-66,01	4,98	-1,12	0,39	0,008
C2E	24	-66,73	5,54	-67,28	5,22	-0,55	0,38	0,160
C3E	24	-61,04	5,25	-61,45	5,09	-0,42	0,51	0,422
C4E	24	-61,12	4,91	-61,48	4,87	-0,36	0,37	0,345
C5E	24	-67,44	5,67	-68,10	5,30	-0,67	0,39	0,101
FMD	24	0,19	0,69	0,21	0,62	0,02	0,06	0,711
FME	24	-0,19	0,69	-0,21	0,62	-0,02	0,06	0,711

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 18 são apresentados resultados relativos às distâncias euclidianas dos pontos condilares direito e esquerdo ao ponto médio entre os forames mentuais. Excetuando C4 do lado direito, e obviamente FM de ambos os lados, todos os demais pontos apresentam médias em T2 significativamente maiores que em T1, se distanciando dos forames.

Tabela 18 - Média e desvio padrão das medidas euclidianas (mm) entre cada ponto e o ponto médio entre os forames mentuais em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		<i>p</i>
		média	dp	média	dp	média	ep	
C1D	15	102,71	6,24	104,00	6,01	1,29	0,26	0,000
C2D	15	97,51	5,84	98,75	5,65	1,24	0,31	0,001
C3D	15	102,68	5,55	103,74	5,77	1,06	0,47	0,040
C4D	15	98,58	6,14	99,39	5,66	0,80	0,39	0,061
C5D	15	103,50	6,01	105,04	5,75	1,54	0,28	0,000
C1E	24	103,03	5,56	103,96	5,54	0,93	0,21	0,000
C2E	24	98,34	5,85	99,22	5,72	0,88	0,26	0,003
C3E	24	103,32	5,54	104,13	5,26	0,81	0,35	0,032
C4E	24	99,10	5,48	99,91	5,26	0,80	0,23	0,002
C5E	24	104,15	5,54	105,36	5,43	1,21	0,21	0,000
FMD	24	22,99	1,37	23,00	1,32	0,01	0,05	0,807
FME	24	22,99	1,37	23,00	1,32	0,01	0,05	0,807

Fonte: Elaboração própria.

Quando as distâncias dos pontos médios dos côndilos da mandíbula esquerda e direita são calculadas em relação ao ponto médio dos forames mentuais, observa-se, pelos resultados apresentados na Tabela 19, que há diferença significativa entre as médias em T1 e T2, das distâncias medidas nos eixos Y e Z e na distância euclidiana.

Nesta tabela observa-se que há evidências de que tanto a média do ponto médio do côndilo da mandíbula direita no eixo Z, quanto a média da distância euclidiana, são maiores, em valores absolutos, em T2 que em T1.

No lado esquerdo, há diferenças significantes entre as médias em T1 e T2, do ponto médio do côndilo da mandíbula quando medido no eixo Y e quando medido pela distância euclidiana. Nos dois casos, a média é maior, em valores absolutos, em T2 que em T1.

Tabela 19 - Média e desvio padrão das distâncias dos pontos médios da base do crânio, dos côndilos da mandíbula e dos forames em relação ao ponto médio entre os forames mentuais nos eixos X, Y e Z e respectivas distâncias euclidianas (norma) em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas distâncias (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste *t* de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	<i>p</i>
Ponto médio do côndilo da mandíbula direita								
X	15	-50,32	3,46	-50,29	3,16	0,03	0,23	0,908
Y	15	60,16	7,57	61,17	6,58	1,01	0,51	0,067
Z	15	-62,87	5,80	-63,95	5,45	-1,08	0,47	0,038
norma	15	100,83	5,89	102,02	5,67	1,19	0,28	0,001
Ponto médio do côndilo da mandíbula esquerda								
X	24	48,46	2,56	48,44	2,60	-0,02	0,20	0,921
Y	24	61,30	6,93	62,29	6,08	0,98	0,39	0,020
Z	24	-64,24	5,25	-64,87	4,97	-0,62	0,37	0,106
norma	24	101,41	5,50	102,33	5,34	0,93	0,21	0,000

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 20 são apresentados resultados das análises estatísticas de medidas realizadas para avaliar a remodelação do côndilo da mandíbula, onde cada ponto C1, C2, C3, C4 e C5 direito e esquerdo foram calculados em relação ao centro de massa de seu respectivo côndilo da mandíbula. Estes resultados mostram que somente do ponto C1 do lado esquerdo apresenta diferença significativa entre as médias em T1 e T2. O aumento na média de C1 do lado esquerdo, em relação ao “centro” do côndilo da mandíbula, é de cerca de 0,15 mm (considerado insignificante).

Tabela 20 - Média e desvio padrão das medidas (mm) entre os pontos dos côndilos da mandíbula e a média deles em T1 e T2, média e erro padrão das alterações nas medidas (mm) entre T1 e T2 (T2-T1) e valor p do teste t de Student para a hipótese de que a média das alterações é igual a zero.

Ponto	N	T1		T2		T2-T1		
		média	dp	média	dp	média	ep	p
C1D	15	3,17	0,41	3,20	0,74	0,03	0,14	0,857
C2D	15	8,70	1,64	8,75	1,54	0,06	0,18	0,760
C3D	15	8,99	1,48	8,89	1,57	-0,09	0,27	0,736
C4D	15	3,57	0,75	3,76	0,80	0,20	0,16	0,230
C5D	15	3,94	0,72	4,14	0,89	0,20	0,18	0,285
C1E	24	3,14	0,58	3,44	0,75	0,30	0,11	0,016
C2E	24	9,18	1,25	9,16	1,25	-0,02	0,10	0,835
C3E	24	9,74	1,28	9,73	1,34	-0,01	0,18	0,970
C4E	24	3,47	0,81	3,60	0,86	0,13	0,12	0,319
C5E	24	3,82	0,85	4,02	0,78	0,19	0,11	0,100

Fonte: Elaboração própria.

6 DISCUSSÃO

A retrusão mandibular é considerada a característica mais comum da má oclusão de Classe II de Angle, em crianças e adolescentes⁸³. Para o tratamento dessa má oclusão, é consenso que o aparelho de Herbst está bem indicado^{3, 101, 118, 128}, sobretudo associada com retrognatismo mandibular e incisivos inferiores lingualizados.

Esse aparelho tem mostrado grande efetividade esquelética, por aumento do crescimento mandibular^{97, 98}. Quando isso ocorre, três processos adaptativos na região temporomandibular (ATM) são pensados para contribuir nas mudanças de posição mandibular: (1) remodelamento condilar; (2) remodelamento da fossa glenóide; e (3) alterações da posição condilar dentro da fossa¹¹⁵. Entretanto, os mecanismos que contribuem para as respostas das articulações temporomandibulares após terapia com aparelho de Herbst ainda são desconhecidos^{103, 104}.

Foi sugerido que o reposicionamento dos côndilos com aparelhos fixos aplica forças constantes próximos à ATM causando remodelação dessa estrutura, remodelação da fossa glenóide, reposicionamento do côndilo e a rotação do corpo mandibular¹⁰⁰, dessa forma, poderia causar danos permanentes às estruturas da ATM. No entanto, em uma revisão sistemática de literatura foram apresentadas fraquezas e ausência de evidência sobre essa questão¹⁰⁷.

O côndilo mandibular é um local de crescimento ativo para a mandíbula e tem sido estudado como o foco primário da terapia ortopédica funcional para distúrbios mandibulares⁴¹. O posicionamento anterior da mandíbula produz forças biomecânicas, que induzem alterações celulares e moleculares nos côndilos mandibulares. Embora vários estudos tenham relatado uma resposta positiva do côndilo ao avanço mandibular, questões controversas permanecem a este respeito, e os mecanismos desencadeantes não são completamente entendidos^{110, 126}.

Deve-se considerar que as mudanças no côndilo mandibular em resposta ao avanço mandibular estão altamente relacionadas com a duração da terapia funcional, direção, quantidade e tipos das forças^{124, 126}. No entanto, ainda é indeterminado se a modificação do crescimento aumenta a quantidade total de crescimento mandibular, ou apenas aumenta a velocidade à qual a quantidade geneticamente predeterminada de crescimento mandibular é alcançada⁹⁵.

A ATM tem demonstrado capacidade adaptativa, seja de forma estrutural como de forma funcional, quando ocorrem mudanças posturais dos côndilos através de avanço com aparelhos ou alterações oclusais ²⁷. O papel do côndilo mandibular no processo de crescimento e desenvolvimento da ATM e sua resposta adaptativa ao avanço mandibular é notavelmente maior, particularmente durante o período de crescimento ⁹⁵.

Estudos demonstraram uma capacidade adaptativa na articulação temporomandibular, principalmente nos indivíduos em fase de crescimento ^{85, 110}, com remodelação óssea significativa no côndilo e na fossa articular. Já em adultos, os resultados são bastante contraditórios, enquanto alguns autores encontraram alterações semelhantes àsquelas dos indivíduos jovens, porém, em magnitude reduzida e sem indício de traumatismo articular ou alterações patológicas ^{87, 115, 117}, outros não encontraram remodelação da ATM ¹⁴³.

Em relação à melhor época de tratamento da deficiência mandibular, com aparelho de Herbst, a literatura exhibe condutas variáveis, destacando vantagens e desvantagens de cada período de instalação (fase da dentadura decídua, mista e permanente), para justificar períodos de intervenção ^{15, 128}. Assim, Pancherz ⁹⁶ (1982) entende que o período da dentadura permanente, logo após o pico de crescimento pubertário, é indicado para o tratamento ortopédico funcional fixo, com o aparelho de Herbst (entre 14 e 16 anos para o gênero masculino e entre 12 e 14 anos para o gênero feminino). O autor alerta ainda que o tratamento precoce nas dentaduras decídua e mista, é de difícil alcance de intercuspidação estável, após a terapia, fato que prolonga o tempo de contenção e, conseqüentemente, aumenta a duração do tratamento.

No presente estudo, todos os pacientes adaptaram-se bem ao aparelho de Herbst e não relataram dificuldades quanto à sua higienização; no entanto, 16,6% dos pacientes revelaram certo desconforto nas três primeiras semanas da realização do avanço. Os problemas mais frequentes encontrados e suas respectivas soluções foram os seguintes: 1- introdução do arco de Nance modificado na mucosa lingual dos incisivos inferiores 29,1% – nova ancoragem inferior; 2- ruptura de bandas 6,25 % - nova ancoragem; 3- solda da solda 22,9% - conserto ou nova ancoragem; 4- ancoragem solta 25% - recimentação imediata.

A maioria desses problemas clínicos é citada na literatura, quando da utilização de ancoragem bandada, com conexões soldadas ^{37, 56}; contudo, o que agravou os problemas foi a demora na instalação da ancoragem, conseqüentemente, do avanço, pela ausência do

paciente nos retornos agendados. Este referido atraso, da realização do avanço após a quebra do aparelho, foi computado e acrescido no tempo total de uso do aparelho de Herbst para aqueles pacientes que necessitaram de conserto.

Muitos métodos têm sido utilizados na literatura para avaliar os tecidos e estruturas da ATM. Embora a ressonância magnética (RM) seja um método sensível e válido como uma ferramenta para analisar a morfologia da ATM ela demonstra limitações para avaliação de anomalias ósseas ^{132, 142}.

A tomografia computadorizada (TC) é o padrão-ouro para imagens esqueléticas. Tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) tem menor exposição à radiação que a Tomografia computadorizada ⁴⁸ e atualmente é amplamente utilizada na prática ortodôntica para avaliação da remodelação óssea da ATM ^{50, 53}.

Desde o advento da TCFC, essa tecnologia tem sofrido uma rápida evolução, em grande parte pelas exigências de cada especialidade para reproduzir imagens tridimensionais seguras, assim, a TCFC, permite realizar a avaliação de medidas angulares e lineares com acurácia e precisão ^{50, 54, 70, 134}. Hilgers et al. ⁵⁰ (2005) e Sümbüllü et al. ¹³⁰ (2012) também encontraram uma excelente confiabilidade da TCFC para avaliação de medidas lineares e angulares em estruturas ósseas da região articular. Esses autores ainda afirmaram que a TCFC pode ser utilizada como padrão ouro para a avaliação de estruturas ósseas da região da ATM.

Alguns estudos analisaram a confiabilidade dos pontos utilizados na cefalometria tradicional e os localizaram na TCFC ^{49, 66}. Outros estudos sintetizaram cefalogramas de TCFC e mostraram que a reprodutibilidade desses exames é semelhante aos cefalogramas obtidos de radiografias convencionais ⁷².

A visualização das estruturas na TCFC, pode ser feita usando os três eixos, através dos três planos do espaço, abrindo assim, a possibilidade de analisar novos pontos anatômicos definidos tridimensionalmente para serem usados em análise cefalométrica tridimensional. Contudo, o desenvolvimento de análise cefalométrica tridimensional é baseada em pontos anatômicos cujas estruturas são complexas e curvas ⁹¹. Neste mesmo estudo, os autores identificaram estruturas anatômicas em três dimensões e analisaram sua confiabilidade para serem utilizadas como pontos cefalométricos em uma análise cefalométrica de coordenada tridimensional, utilizando 30 tomografias computadorizadas de feixe cônico. Concluíram que alguns dos pontos mais confiáveis e reprodutíveis da

pesquisa, testados para uso em TCFC foram: forame mentual, côndilos medial e lateral da mandíbula, esses pontos também foram usados neste estudo.

Os vinte e cinco pontos selecionados para essa pesquisa foram de fácil demarcação e foram escolhidos conforme as suas localizações anatômicas nos planos: axial, coronal e sagital ou selecionado de acordo com a localização de outro ponto, como os pontos E1, E4, E5 e T2 que foram demarcados de acordo com os pontos C1, C2, C4 e C5.

Após o avanço mandibular, com o aparelho de Herbst, ocorrem alterações da posição do côndilo na fossa mandibular. O deslocamento dos côndilos, em relação à base do crânio, foi observado no plano axial (eixo Y) onde a maioria dos pontos mandibulares (exceto os pontos C3D e C5D) sofreram movimento significativo para baixo e no plano coronal (eixo Z), onde a maioria dos pontos mandibulares (exceto os pontos C3D, C5D e C1E) sofreram movimento significativo para frente¹¹⁸. Wadhawan et al.¹⁴¹ (2008) também relataram que os côndilos foram posicionados mais anteriormente no pós-tratamento imediato. No presente estudo, o côndilo direito deslocou de forma significativa 0,71 mm para baixo e 0,91 para frente em relação a base do crânio; enquanto o côndilo esquerdo deslocou 0,93mm para baixo e 0,73mm para frente (Tabela 13).

O espaço articular é um volume entre a cabeça do côndilo e fossa mandibular na base cranial. A literatura descreve como ideal uma posição concêntrica ântero-posterior do côndilo da mandíbula^{109, 134}. Em 2002, Prata¹⁰⁸ mencionou que para entender o posicionamento do côndilo da mandíbula, é necessário considerar as mensurações dos espaços articulares. Na posição de máxima intercuspidação, foi considerada como posição ideal a igualdade dos espaços articulares anterior, superior e posterior em relação à fossa mandibular, chamando-a de concentricidade condilar

Nesse estudo, a avaliação foi feita através de medição do espaço articular por meio de medidas lineares C1-E1; C2-T2; C4-E4 e C5-E5, nos côndilos direito e esquerdo. Nessa pesquisa não houve deslocamento significativo para a concentricidade dos côndilos, com exceção da medida C1E-E1' (Tabela 14) que representa o espaço superior da fossa glenóide do côndilo esquerdo. As outras medidas, mesmo que não significantes dos côndilos direito e esquerdo, mostraram que não havia diferenças significativas no espaço articular antes e logo após a remoção do aparelho de Herbst. Houve uma tendência para o côndilo ser posicionado ligeiramente para a frente na fossa articular no final do tratamento, mas os resultados não foram significativos. Esses resultados são semelhantes aos encontrados em outros trabalhos^{35, 114}. As pequenas mudanças observadas nos espaços

articulares sugerem que os efeitos do tratamento não podem ser atribuídos a uma postura anteriorizada da mandíbula ³⁵. Depois de um uso prolongado do aparelho, a remodelação combinada do côndilo e da fossa tentariam preservar a relação côndilo-fossa após o tratamento, essa hipótese foi citada no trabalho de Cacho et al. ²⁵ (2015), de acordo com resultados encontrados nesse estudo.

A resposta biológica às forças mecânicas aplicadas é um mecanismo fisiológico para as adaptações do esqueleto frente às mudanças ambientais ¹²⁹.

A evidência confirma que o côndilo mandibular e a fossa glenóide têm a capacidade de adaptação funcional em resposta às mudanças ambientais. Os padrões dessa resposta adaptativa são diferentes no côndilo mandibular e na fossa glenóide, mas estão em harmonia entre si ¹³⁹.

O crescimento condilar, especialmente na direção posterior, foi verificado histologicamente em animais como uma resposta aos aparelhos de avanço mandibular ^{87, 88, 143}. Semelhantes achados radiográficos foram descritos em seres humanos ^{102, 114, 116}. Alterações morfológicas na forma externa do côndilo foram encontradas nos três planos de espaço, com o plano axial mostrando o maior grau de alteração ^{12, 62}.

A remodelação condilar consiste na neoformação óssea na margem posterior e superior da cabeça do côndilo, enquanto que na fossa articular a remodelação óssea é vista na superfície anterior da espinha pós-glenóide, decrescendo em direção ao teto da fossa ¹⁰². A taxa de atividades proliferativas e hipertróficas celulares e alterações morfológicas na fossa glenóide é muito menor do que no côndilo mandibular ^{19, 95}.

Nesse estudo, a remodelação condilar foi calculada através de coordenadas cartesianas com o ponto zero na média dos forames mentuais. Os resultados apresentaram mudanças significativas no plano axial (eixo Y) (Tabela 16) nos pontos mandibulares C5D; C1E; C3E; C4E e C5E indicando um remodelamento para superior e no plano coronal (eixo Z) (Tabela 17) nos pontos mandibulares C1D; C5D; C1E, indicando um remodelamento posterior. Resultados semelhantes também foram encontrados em outros estudos ^{81, 82, 86}.

No plano sagital (eixo X) tabela 15, houve remodelação de um único ponto, C1E, indicando movimento no sentido látero-lateral de -0,60mm.

A distância euclidiana (Tabela 18) dos pontos mandibulares dos côndilos, mostraram que eles se distanciaram de forma significante (exceto o ponto C4) em relação aos forames mentuais. Esses movimentos se confirmam na Tabela 19 onde o ponto médio

que representa cada estrutura (côndilo direito e côndilo esquerdo) corrobora com os movimentos individuais de cada ponto condilar. É possível verificar que houve um remodelamento significativo do côndilo direito posteriormente de -1,08 mm, aumento da distância em 1.19mm em relação ao ponto médio dos forames mentuais e para superior 1,01mm, mas não foi significativo. O côndilo esquerdo remodelou de forma significativa para superior 0,98 mm, aumento da distância de 0,93 mm em relação ao ponto médio dos forames mentuais e para posterior -,062 mm mas não foi significativo.

7 CONCLUSÃO

Com base na metodologia empregada, é possível concluir que:

- O côndilo da mandíbula direita se deslocou de forma moderada (0,71mm) para baixo e de forma relevante (0,91mm) para frente, em relação a base do crânio;
- O côndilo da mandíbula esquerda se deslocou de forma relevante (0,93mm) para baixo e de forma moderada (0,73mm) para frente, em relação a base do crânio;
- O côndilo da mandíbula direita se remodelou de forma relevante (1,08mm) para trás e se distanciou da média da distância dos forames mentuais de forma relevante (1,19mm);
- O côndilo da mandíbula esquerda se remodelou de forma relevante (0,98mm) para cima e se distanciou da média da distância dos forames mentuais de forma relevante (1,19mm).

REFERÊNCIAS*

1. Adenwalla ST, Kronman JH, Attarzadeh F. Porion and condyle as cephalometric landmarks-an error study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988; 94(5): 411-5.
2. Aidar LA, Abrahão M, Yamashita HK, Dominguez GC. Morphological changes of condyles and Helkimo clinical dysfunction index in patients treated with Herbst--orthodontic appliance. *Braz Dent J.* 2013; 24(4): 313-21.
3. Aidar LA, Dominguez GC, Abrahão M, Yamashita HK, Vigorito JW. Effects of Herbst appliance treatment on temporomandibular joint disc position and morphology: a prospective magnetic resonance imaging study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(3): 412-24.
4. Alabdeen EHZ. Accuracy of half-exposure time in cone-beam computed tomography imaging for the detection of surface osseous changes in the temporomandibular joint. *Oral Radiol.* 2017; 33(2): 124-32.
5. Alexiou KE, Stamatakis HC, Tsiklakis K. Evaluation of the severity of temporomandibular joint osteoarthritic changes related to age using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009; 38(3): 141-7.
6. Al-Ekrish AA, Alorainy IA. Apparent discontinuity of the roof of the glenoid fossa on cone-beam computed tomography images of an asymptomatic temporomandibular joint. *Oral Radiol.* 2016; 32(1): 61-5.
7. Alkhader M, Ohbayashi N, Tetsumura A, Nakamura S, Okochi K, Momin MA, Kurabayashi T. Diagnostic performance of magnetic resonance imaging for detecting osseous abnormalities of the temporomandibular joint and its correlation with cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39(5): 270-6.
8. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, Clavero JA, Lorente M, Serra I, et al. Anatomy of the temporomandibular joint. *Semin Ultrasound CT MR.* 2007; 28(3): 170-83.

*De acordo com o manual da FOAr/UNESP, adaptadas das normas Vancouver. Disponível no site: <http://www.foar.unesp.br/#!/biblioteca/manual>.

9. Al-koshab M, Nambiar P, John J. Assessment of condyle and glenoid fossa morphology using CBCT in south-east asians. *PLOS ONE*. 2015; 10(3): 1-11.
10. Al-Saleh MAQ, Alsufyani N, Flores-Mir C, Nebbe B, Major PW. Changes in temporomandibular joint morphology in class II patients treated with fixed mandibular repositioning and evaluated through 3D imaging: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2015; 18(4): 185–201.
11. Al-Saleh MA, Jaremko JL, Alsufyani N, Jibri Z, Lai H, Major PW. Assessing the reliability of MRI-CBCT image registration to visualize temporomandibular joints. *Dentomaxillofac Radiol*. 2015; 44(6): 20140244.
12. Arat ZM, Gokalp H, Erdem D, Erden I. Changes in the TMJ disc-condyle – fossa relationship following functional treatment of skeletal Class II division 1 malocclusion: A magnetic resonance imaging study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2001; 119(3): 316–9.
13. Arici S, Akan H, Yakubov K, Arici N. Effects of fixed functional appliance treatment on the temporomandibular joint. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008; 133(6): 809-14.
14. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning-part II. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993; 103(5): 395-411.
15. Baccetti T, Franchi L, Stahl F. Comparison of 2 comprehensive Class II treatment protocols including the bonded Herbst and headgear appliances: a double-blind study of consecutively treated patients at puberty. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009; 135(6): 698.e1-10.
16. Bag AK, Gaddikeri S, Singhal A, Hardin S, Tran BD, Medina JA, Curé JK. Imaging of the temporomandibular joint: an update. *World J Radiol*. 2014; 6(8): 567-82.
17. Baltromejus S, Ruf S, Pancherz H. Effective temporomandibular joint growth and chin position changes: activator versus Herbst treatment. A cephalometric roentgenographic study. *Eur J Orthod*. 2002; 24(6): 627-37.

18. Barnett GA, Higgins DW, Major PW, Flores-Mir C. Immediate skeletal and dentoalveolar effects of the crown- or banded type Herbst appliance on Class II division 1 malocclusion. *Angle Orthod.* 2008; 78(2): 361-9.
19. Barnouti ZP, Owtad P, Shen G, Petocz P, Darendeliler MA. The biological mechanisms of PCNA and BMP in TMJ adaptive remodeling. *Angle Orthod.* 2011; 81(1): 91-9.
20. Behsnilian V. *Oclusión & rehabilitación*. 2 ed. Montevideo: Montevideo Papelera., 1974. p. 22-6.
21. Bhussry BR. *Articulação temporomandibular*. In: Bhaskar, SN. *Histologia e embriologia oral de Orban*. 8ª ed. São Paulo: Artes Médicas; 1978. p.405-14.
22. Bock N, Pancherz H. Herbst treatment of Class II division 1 malocclusions in retrognathic and prognathic facial types. *Angle Orthod.* 2006; 76(6): 930-41.
23. Bremen J V, Bock N, Ruf S. Is Herbst-Multibracket appliance treatment more efficient in adolescents than in adults? *Angle Orthod.* 2009; 79(1):173-7.
24. Broadbent BH, Broadbent BH Jr, Golden W. *Bolton standards of dentofacial development growth*. St Louis: Mosby; 1975.
25. Cacho A, Ono T, Kuboki T, Martin C. Changes in joint space dimension after the correction of Class II division 1 malocclusion. *Eur J Orthod.* 2015; 37(5): 467-73.
26. Çağlayan F, Akif Sümbüllü M, Akgül HM. Associations between the articular eminence inclination and condylar bone changes, condylar movements, and condyle and fossa shapes. *Oral Radiol.* 2014; 30(1):84–91.
27. Campos MNM, Cruz AR, Campos SM, Carvalho FR. Estudo morfométrico da cartilagem condilar da cabeça da mandíbula de ratos submetidos a alterações oclusais. *Rev Fac Odontol. Ribeirão Preto.* 1986; 23(2): 198-204.
28. Cavalcanti MG, Rocha SS, Vannier MW. Craniofacial measurements based on 3 D- CT volume rendering: implications for clinical applications. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004; 33(3): 170-6.
29. Cevidanes L, Oliveira AEF, Motta A, Phillips C, Burkee B, Tyndall D. Head orientation in CBCT-generated cephalograms. *Angle Orthod.* 2009; 79(5): 971-7.

30. Chien PC, Parks ET, Eraso F, Hartsfield JK, Roberts WE, Ofner S. Comparison of reliability in anatomical landmark identification using two-dimensional digital cephalometrics and three-dimensional cone beam computed tomography in vivo. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009; 38(5): 262-73.
31. Cohlma JT, Ghosh J, Sinha PK, Nanda RS, Currier GF. Tomographic assessment of temporomandibular joints in patients with malocclusion. *Angle Orthod.* 1996; 66(1): 27-35.
32. Coskuner HG, Ciger S. Three-dimensional assessment of the temporomandibular joint and mandibular dimensions after early correction of the maxillary arch form in patients with Class II division 1 or division 2 malocclusion. *Korean J Orthod.* 2015; 45(3): 121-9.
33. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara JA Jr. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 129(5): 599.e1-12.
34. Creekmore TD. Inhibition or stimulation of the vertical growth of the facial complex, its significance to treatment. *Angle Orthod.* 1967; 37(4): 285-97.
35. Croft RS, Bushang PH, English JD, Meyer R. A cephalometric and tomographic evaluation of Herbst treatment in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999; 116(4): 435-43.
36. Damstra J, Fourie Z, Ren Y. Comparison between two-dimensional and midsagittal three-dimensional cephalometric measurements of dry human skulls. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 49(5): 392-5.
37. Dischinger TG. Edgewise bioprogressive Herbst appliance. *J Clin Orthod.* 1989; 23(9): 608-12.
38. Frongia G, Piacino MG, Bracco AA, Crincoli V, Debernardi CL, Bracco P. Assessment of the reliability and repeatability of landmarks using 3-D cephalometric software. *Cranio.* 2012; 30(4): 255-63.

39. Fuyamada M, Shibata M, Nawa H, Yoshida K, Kise Y, Katsumata A, et al. Reproducibility of maxillofacial landmark identification on three-dimensional cone-beam computed tomography images of patients with mandibular prognathism: comparative study of a tentative method and traditional cephalometric analysis. *Angle Orthod.* 2014; 84(6): 966-73.
40. Garib DG, Raymundo R Jr, Raymundo MV, Raymundo DV, Ferreira SN. Cone beam computed tomography (CBCT): understanding this new imaging diagnostic method with promising application in orthodontics. *Rev Dent Press Ortodon Ortop Fac.* 2007; 12(2): 139–58.
41. Gong FF, Feng J, Hu Z, Shen G, Chen RJ, You QL. Effect of semi-fixed Twin-block appliance on temporomandibular joint remodeling. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2011; 20(4): 409-12.
42. Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. *Digital image processing using MATLAB.* Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall; 2004.
43. Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist.* California: Stanford University Press; 1959.
44. Gribel BF, Gribel MN, Frazão DC, McNamara JA Jr., Manzi FR. Accuracy and reliability of craniometric measurements on lateral cephalometry and 3D measurements on CBCT scans. *Angle Orthod.* 2011; 81(1): 26-35.
45. Gupta A, Kharbanda OP, Sardana V, Balachandran R, Sardana HK. Accuracy of 3D cephalometric measurements based on an automatic knowledge-based landmark detection algorithm. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2016; 11(7): 1297-309.
46. Hansen K, Pancherz H, Hägg U. Long-term effects of the Herbst appliance in relation to the treatment growth period: a cephalometric study. *Eur J Orthod.* 1991; 13(6): 471-81.
47. Hansen K, Pancherz H, Petersson A. Long-term effects of the Herbst appliance on the craniomandibular system with special reference to the TMJ. *Eur J Orthod.* 1990; 12(3): 244-53.

48. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003; 95(3): 371-7.
49. Hassan B, Nijkamp P, Verheij H, Tairie J, Vink C, van der Stelt P, et al. Precision of identifying cephalometric landmarks with cone beam computed tomography in vivo. *Eur J Orthod.* 2013; 35(1): 38–44.
50. Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, Farman AG. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005; 128(6): 803-11.
51. Hintze H, Wiese M, Wenzel A. Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007; 36(4): 192-7.
52. Honda K, Kashima M, Takano Y, Sawada K, Ejima K, Iwai K. Evaluation of the usefulness of the limited cone beam CT (3DX) in assessment of the thickness of the roof of the glenoid fossa of the temporomandibular joint. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004; 33(6): 391-5.
53. Honda K, Larheim T, Maruhashi K, Matsumoto K, Iwai K. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006; 35(3): 152–7.
54. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 132 (4): 429-38.
55. Hoppenreijns TJM, Freihofer HPM, Stoelinga PJW, Tuinzing DB, van't Hof MA. Condylar remodelling and resorption after Le Fort I and bimaxillary osteotomies in patients with anterior open bite. A clinical and radiological study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1998; 27(2): 81–91.

56. Howe RP, McNamara JA. Clinical management of the bonded Herbst appliance. *J Clin Orthod.* 1983; 17(7): 456-63.
57. Hussain AM, Packota G, Major PW, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008; 37(2): 63-71.
58. İlgüy D, İlgüy M, Fişekçioğlu E, Dölekoğlu S, Ersan N. Articular eminence inclination, height, and condyle morphology on cone beam computed tomography. *Sci World J.* 2014(2):761714.
59. Kamelchuk L S, Grace M G A, Major P W. Post-imaging temporomandibular joint space analysis. *J Craniomandibular Practice.* 1996; 14(1): 23-9.
60. Katkar RA, Kummet C, Dawson D, Moreno Uribe L, Allareddy V, Finkelstein M, et al. Comparison of observer reliability of three-dimensional cephalometric landmark identification on subject images from Galileos and i-CAT cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013; 42(9): 20130059.
61. Katsavrias EG. Morphology of the temporomandibular joint in subjects with Class II Division 2 malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 129(4): 470-8.
62. Kinzinger G, Kober C, Diedrich P. Topography and morphology of the mandibular condyle during fixed functional orthopedic treatment-a magnetic resonance imaging study. *J Orofac Orthop.* 2007; 68(2): 124-47.
63. Kinzinger GS, Roth A, Gülден N, Bücken A, Diedrich PR. Effects of orthodontic treatment with fixed functional orthopaedic appliances on the condyle-fossa relationship in the temporomandibular joint: a magnetic resonance imaging study (Part I). *Dentomaxillofac Radiol.* 2006; 35(5): 339-46.
64. Konik M, Pancherz H, Hansen K. The mechanism of Class II correction in late Herbst treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997; 112(1): 87-91.
65. 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.
66. Lagravère MO, Gordon JM, Guedes IH, Flores-Mir C, Carey JP, Heo G, Major PW. Reliability of traditional cephalometric landmarks as seen in three-dimensional analysis in maxillary expansion treatments. *Angle Orthod.* 2009; 79(6): 1047-56.

67. Lagravère MO, Low C, Flores-Mir C, Chung R, Carey JP, Heo G, et al. Intraexaminer and interexaminer reliabilities of landmark identification on digitized lateral cephalograms and formatted 3-dimensional cone-beam computerized tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137(5): 598–604.
68. Lai M, McNamara JA Jr. An evaluation of two-phase treatment with the Herbst appliance and preadjusted edgewise therapy. *Semin Orthod.* 1998; 4(1): 46-58.
69. Larheim TA, Abrahamsson AK, Kristensen M, Arvidsson LZ. Temporomandibular joint diagnostics using CBCT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015; 44(1): 20140235.
70. Lascala CA, Panella J, Marques MM. Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol.* 2004; 33(5): 291-4.
71. LeCornu M, Cevidanes LH, Zhu H, Wu CD, Larson B, Nguyen T. Three-dimensional treatment outcomes in Class II patients treated with the Herbst appliance: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013; 144(6): 818-30.
72. Liedke GS, Delamare EL, Vizzotto MB, Silveira HLD, Prietsch JR, Dutra V, et al. Comparative study between conventional and cone beam CT-synthesized half and total skull cephalograms. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41(2): 136–42.
73. Loft GH, Reynolds JM, Zwemer JD, Thompson WO, Dushku J. The occurrence of craniomandibular symptoms in healthy young adults with and without prior orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989; 96(3): 264-5.
74. Ludlow JB, Davies KL, Tyndall DA. Temporomandibular joint imaging: a comparative study of diagnostic accuracy for the detection of bone change with biplanar multidirectional tomography and panoramic images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995; 80(6): 735-43.
75. Madeira MC. Articulação temporomandibular. In: *Anatomia da face: base anatomofuncionais.* São Paulo: Sarvier; 1994.
76. Maia SRD, Raveli DB, Dib LS, Landázuri DG, Raveli TB. Análise tomográfica da articulação temporomandibular no tratamento com Herbst em adulto jovem. *Ortodontia SPO.* 2010; 43(1): 71-8.

77. Markic G, Müller L, Patcas R, Roos M, Lochbühler N, Peltomäki T, Karlo CA, Ullrich O, Kellenberger CJ. Assessing the length of the mandibular ramus and the condylar process: a comparison of OPG, CBCT, CT, MRI, and lateral cephalometric measurements. *Eur J Orthod.* 2015; 37(1): 13–21.
78. Martins JCR, Sakima T. Considerações sobre a previsão do surto de crescimento puberal. *Ortodontia.* 1977; 10(3): 164-70.
79. Mavreas D, Athanasiou AE. Tomographic assessment of alterations of the temporomandibular joint after orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* 1992; 14(1):3–15.
80. Merigue LF, Conti ACCF, Oltramari-Navarro PVP, Navarro RL, Almeida MR. Tomographic evaluation of the temporomandibular joint in malocclusion subjects: condylar morphology and position. *Braz Oral Res.* 2016; 30(1): e17.1-7.
81. McNamara Jr JA. Neuromuscular and skeletal adaptations to altered orofacial function. In: *Monograph 1: craniofacial growth series, 4th ed.* Ann Arbor: Center for Human Growth and Development, The University of Michigan; 1972.
82. McNamara Jr JA. Neuromuscular and skeletal adaptations to altered function in the orofacial region. *Am J Orthod Dentof Orthop.* 1973; 64(6): 578- 606.
83. McNamara Jr JA. Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age. *Angle Orthod.* 1981; 51(3): 177–202.
84. McNamara Jr JA. Orthodontic treatment and temporomandibular disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997; 83(1):107-17.
85. McNamara Jr JA, Bryan FA. Long-term mandibular adaptations to protrusive function: an experimental study in *Macaca mulatta*. *Am J Orthod.* 1987; 92(2): 98-108.
86. McNamara Jr JA, Carlson DS. Quantitative analysis of temporomandibular joint adaptations to protrusive function. *Am J Orthod.* 1979; 76(6): 593-611.
87. McNamara Jr JA, Hinton RJ, Hoffman DL. Histological analysis of temporomandibular joint adaptation to protrusive function in young adult rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Am J Orthod.* 1982; 82(4): 288-98.

88. McNamara Jr JA, Peterson Jr JE, Pancherz H. Histologic changes associated with the Herbst appliance in adult rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Semin Orthod.* 2003; 9(1): 26-40.
89. Molina OF. *Fisiopatologia craniomandibular: oclusão e ATM*. São Paulo: Pancast; 1995. p. 677.
90. Naitoh M, Katsumata A, Nohara E, Ohsaki C, Arijji E. Measurement accuracy of reconstructed 2 D images obtained by multi-slice helical computed tomography. *Clin Oral Implants Res.* 2004; 15(5): 570-4.
91. Naji P, Alsufyani NA, Lagravère MO. Reliability of anatomic structures as landmarks in three dimensional cephalometric analysis using CBCT. *Angle Orthod.* 2014; 84(5):762-72.
92. Nakazawa K, Kamimura K. *Anatomical atlas of the temporomandibular joint*. Japan: Quintessence; 1991.
93. Obijou C, Pancherz H. Herbst appliance treatment of Class II, Division 2 malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997; 112(3): 287-91.
94. Oliveira AEF, Cevidanes LHS, Phillips C, Motta A, Burke B, Tyndall D. Observer reliability of three-dimensional cephalometric landmark identification on cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 107(2): 256-65.
95. Owtad P, Park JH, Shen G, Potres Z, Darendeliler MA. The biology of TMJ growth modification: a review. *Critical reviews in oral biology & medicine. J Dent Res.* 2013; 92(4): 315-21.
96. Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Am J Orthod.* 1982; 82(2): 104-13.
97. Pancherz H, Anehus-Pancherz M. The effect of continuous bite jumping with the Herbst appliance on the masticatory system: a functional analysis of treated Class II malocclusions. *Eur J Orthod.* 1982; 4(1): 37-44.
98. Pancherz H, Hägg U. Dentofacial orthopedics in relation to somatic maturation. As analysis of 70 consecutive cases treated with the Herbst appliance. *Am J Orthod.* 1985; 88(4): 273-87.

99. Pancherz H, Michailidou C. Temporomandibular joint growth changes in hyperdivergent and hypodivergent Herbst subjects. A long-term roentgenographic cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004; 126(2): 153-61.
100. Pancherz H, Ruf S, Kohlhas P. Effective condylar growth and chin position changes in herbst treatment: a cephalometric roentgenographic long-term study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998; 114(4): 437-46.
101. Pancherz H, Ruf S, Thomalske-Faubert C. Mandibular articular disk position changes during Herbst treatment: a prospective longitudinal MRI study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999; 116(2):207-14.
102. Paulsen HU, Karle A, Bakke M, Herskind A. CT-scanning and radiographic analysis of temporomandibular joints and cephalometric analysis in a case of Herbst treatment in late puberty. *Eur J Orthod.* 1995; 17(3): 165-75.
103. Peltola JS, Kononen M, Nystrom M. A follow-up study of radiographic findings in the mandibular condyles of orthodontically treated patients and associations with TMD. *J Dent Res.* 1995; 74(9):1571-6.
104. Peltola JS, Nystrom M, Kononen M, Wolf J. Radiographic structural findings in the mandibular condyles of young individuals receiving orthodontic treatment. *Acta Odontol Scand.* 1995; 53(2): 85-91.
105. Periago DR, Scarfe WC, Moshiri M, ScheetzJP, Silveira AM, Farman AG. Linear accuracy and reliability of cone beam CT derived 3-dimensional images constructed using an orthodontic volumetric rendering program. *Angle Orthod.* 2008; 78(3): 387-95.
106. Pittayapat P, Bornstein MM, Imada TS, Coucke W, Lambrichts I, Jacobs R. Accuracy of linear measurements using three imaging modalities: two lateral cephalograms and one 3D model from CBCT data. *Eur J Orthod.* 2015; 37(2): 202-8.
107. Popowich K, Nebbe B, Major PW. Effect of Herbst treatment on temporomandibular joint morphology: A systematic literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003; 123(4): 388-94.

108. Prata THC. Estudo radiográfico da relação entre a posição do côndilo na fossa mandibular e as más-oclusões. [Dissertação de Mestrado]. São Jose dos Campos: Faculdade de Odontologia da Unesp; 2002.
109. Pullinger A, Hollender L. Variation in condyle-fossa relationships according to different methods of evaluation in tomograms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986; 62(6): 719-27.
110. Rabie AB, Xiong H, Hägg U. Forward mandibular positioning enhances condylar adaptation in adult rats. *Eur J Orthod.* 2004; 26(4): 353-8.
111. Ramos ACA, Sarmiento VA, Campos PSF, Gonzales MOD. Articulação temporomandibular- aspectos normais e deslocamentos de disco: imagem por ressonância magnética. *Radiol Bras.* 2004; 37(6): 449-54.
112. Rao SS. *The finite element method in engineering.* New York: Pergamon Press; 1982.
113. Rodrigues AF, Fraga MR, Vitral RWF. Computed tomography evaluation of the temporomandibular joint in Class II Division 1 and Class III malocclusion patients: condylar symmetry and condyle-fossa relationship. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136(2): 199-206.
114. Ruf S, Pancherz H. Temporomandibular joint growth adaptation in Herbst treatment a prospective magnetic resonance imaging and cephalometric roentgenographic study. *Eur J Orthod.* 1998; 20(4): 375-88.
115. Ruf S, Pancherz H. Long-term TMJ effects of Herbst treatment: a clinical and MRI study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998; 114(5): 475-83.
116. Ruf S, Pancherz H. Dentoskeletal effects and facial profile changes in young adults treated with the Herbst appliance. *Angle Orthod.* 1999; 69(3): 239-46.
117. Ruf S, Pancherz H. Temporomandibular joint remodeling in adolescents and young adults during Herbst treatment: a prospective longitudinal magnetic resonance imaging and cephalometric radiographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999; 115(6): 607-18.
118. Ruf S, Pancherz H. Does bite-jumping damage the TMJ? A prospective longitudinal clinical and MRI study of herbst patients. *Angle Orthod.* 2000; 70(3): 183-99.

119. Ruf S, Panchez H. When is the ideal period for Herbst therapy-Early or late? *Semin Orthod.* 2003; 9(1): 47-56.
120. Sanders D, Rigali P, Neace WP, Uribe F, Nanda R. Skeletal and dental asymmetries in Class II subdivision malocclusions using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 138(5): 542.e1-20.
121. Serbesis-Tsarudis C, Panchez H. Effective TMJ and chin position changes in Class II treatment. *Angle Orthod.* 2008; 78(5): 813-8.
122. Scarfe WC, Farman AG. Cone-beam computed tomography. In: White SC, Pharoah MJ, eds. *Oral radiology: principle and interpretation.* 6th ed. Maryland Heights, MO: Mosby.; 2009. p. 225–43.
123. Shaw K, McIntyre G, Mossey P, Menhinick A, Thomson D. Validation of conventional 2D lateral cephalometry using 3D cone beam CT. *J Orthod.* 2013; 40(1): 22-8.
124. Shen G, Darendeliler MA. Cephalometric evaluation of condylar and mandibular growth modification: a review. *Orthod Craniofac Res.* 2006; 9(1): 2-9.
125. Shen G, H€agg U, Darendeliler M. Skeletal effects of bite jumping therapy on the mandible-removable vs. fixed functional appliances. *Orthod Craniofac Res.* 2005; 8(1): 2-10.
126. Shen G, Rabie AB, Zhao ZH, Kaluarachchi K. Forward deviation of the mandibular condyle enhances endochondral ossification of condylar cartilage indicated by increased expression of type X collagen. *Arch Oral Biol.* 2006; 51(4): 315-24.
127. Siara-Olds NJ, Pangrazio-Kulbersh V, Berger J, Bayirli B. Longterm dentoskeletal changes with the bionator, Herbst, twin Block, and MARA functional appliances. *Angle Orthod.* 2010; 80(1): 18-29.
128. Silva-Filho OG, Aiello CA, Fontes MV. Aparelho Herbst: protocolos de tratamento precoce e tardio. *Rev Dent Press Ortodop Ortoped Facial.* 2005; 10(1): 30-45.
129. Singh M, Detamore MS. Tensile properties of the mandibular condylar cartilage. *J Biomech Eng.* 2008; 130(1): 011009.
130. S€umb€ull€u MA, Cağlayan F, Akg€ul HM, Yilmaz AB. Radiological examination of the articular eminence morphology using cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41(3): 234-40.

131. Swennen GR, Schutyser F, Barth EL, De Groeve P, De Mey A. A new method of 3-D cephalometry Part I: the anatomic Cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg.* 2006; 17(2): 314–25.
132. Tallents R, Katzberg R, Murphy W, Proskin H. Magnetic resonance imaging findings in asymptomatic volunteers and symptomatic patients with temporomandibular disorders. *J Prosthet Dent.* 1996; 75(5): 529–33.
133. Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravere MO, Harzer W. Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: a pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 131(4 suppl): 92–9.
134. Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004; 33(3): 196-201.
135. Ural O. Finite element method: basic concepts and applications. New York: Intext Educational; 1973.
136. Uzel A, Özyürek Y, Öztunç H. Condyle position in Class II Division 1 malocclusion patients: Correlation between MPI records and CBCT images. *J World Fed Orthod.* 2013; 2(2): 65-70.
137. VanLaecken R, Martin C A, Dischinger T, Thomas R, Ngan P. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance: A cephalometric and tomographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 130(5): 582-93.
138. Vargas-Pereira MR. Quantitative Auswertungen bildgebender Verfahren und Entwicklung einer neuen metrischen Analyse für Kiefergelenkstrukturen im Magnetresonanztomogramm [master's thesis]. Kiel, Germany: University of Kiel; 1997.
139. Voudouris JC, Woodside DG, Altuna G, Kuftinec MM, Angelopoulos G, Bourque PJ. Condyle-fossa modifications and muscle interactions during Herbst treatment, part 1. New technological methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003; 123(6): 604-13.

140. Voudouris JC, Woodside DG, Altuna G, Angelopoulos G, Bourque PJ, Lacouture CY, et al. Condyle-fossa modifications and muscle interactions during Herbst treatment, Part 2. Results and conclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003; 124(1): 13-29.
141. Wadhawan N, Kumar S, Kharbanda OP, Duggal R, Sharma R. Temporomandibular joint adaptations following two-phase therapy: an MRI study. *Orthod Craniofac Res.* 2008; 11(4): 235–50.
142. Whyte A, McNamara D, Rosenberg I, Whyte A. Magnetic resonance imaging in the evaluation of temporomandibular joint disc displacement-a review of 144 cases. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2006; 35(8): 696-703.
143. Woodside DG, Metaxas A, Altuna G. The influence of functional appliance therapy on glenoid fossa remodelling. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1987; 92(3): 181-98.
144. Zain-Alabdeen EH, Alsadhan RI. A comparative study of accuracy of detection of surface osseous changes in the temporomandibular joint using multidetector CT and cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41(3): 185–91.
145. Zhang Z, Shi X, Ma X, Li G. Detection accuracy of condylar defects in cone beam CT images scanned with different resolutions and units. *Dentomaxillofac Radiol.* 2014; 43(3): 20130414.

APÊNDICE A

Valores individuais -Índice de Jarabak.

paciente	Sexo	JARAB (T1)	JARAB (T2)
1	M	72.8	72.2
2	F	51.1	52.4
3	M	59.7	61.6
4	F	64.0	64.8
5	M	67.5	63.5
6	F	60.4	60.8
7	M	62.3	60.6
8	F	65.7	64.7
9	M	64.6	64.8
10	F	68.3	70.5
11	M	70.9	69.0
12	F	70.3	70.8
13	M	75.8	76.1
14	F	61.5	62.0
15	M	66.6	68.7
16	F	60.2	60.1
17	M	66.5	68.8
18	F	75.7	76.4
19	M	66.3	63.3
20	F	59.4	56.1
21	M	57.7	59.0
22	M	61.4	61.7
23	M	67	65.3
24	M	71.9	71.8

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA

Comitê de Ética em Pesquisa 

Certificado

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "*ESTUDO PROSPECTIVO TOMOGRÁFICO (CBCT) E RADIOGRÁFICO DE INDIVÍDUOS CLASSE II DIVISÃO 1ª DE ANGLE, TRATADOS COM APARELHO DE HERBST, APÓS SURTO DE CRESCIMENTO PUBERAL*", sob o protocolo nº 62/10, de responsabilidade do Pesquisador (a) *DIRCEU BARROBÊ RAVELI* está de acordo com a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS, de 10/10/96, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa-FOAr, com validade de 2 (dois) ano, quando será avaliado o relatório final da pesquisa.

Certify that the research project titled "*PROSPECTIVE TOMOGRAPHY (CBCT) RADIOGRAPHIC STUDY OF INDIVIDUALS CLASS II DIVISION 1 MALOCCLUSION, TREATED WITH HERBST APPLIANCE AFTER GROWTH SPURT*", protocol number 62/10, under Dr. *DIRCEU BARROBÊ RAVELI* responsibility, is under the terms of Conselho Nacional de Saúde/MS resolution # 196/96, published on May 10, 1996. This research has been approved by Research Ethic Committee, FOAr-UNESP. Approval is granted for 2(two) year when the final review of this study will occur.

Araraquara, 8 de fevereiro de 2011.


Prof. Dr. Márcio Marcolini Stagle
Coordenador

ANEXO B

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Fiz, _____, portador de RG nº _____, (idade), residente à Rua (Av.) _____ nº _____, na cidade de _____ Estado _____, autorizo a participação do menor _____ (idade), prontuário nº _____, pelo qual sou responsável como _____ (grau de parentesco), como voluntário na pesquisa intitulada: "ESTUDO PROSPECTIVO TOMOGRAFICO (TEFO) E RADIOGRAFICO DE INDIVÍDUOS CLASSE II DIVISÃO 1ª DE ANGLE, TRATADOS COM APARELHO HERBST, APÓS SURTO DE CRESCIMENTO PUBERAL", tendo prof. _____ como pesquisador responsável. Declaro que o adolescente foi consultado e também concorda em participar. Sendo assim, declaro ainda que estou ciente de que:

1 - A má oclusão é a falta de encaixe dos dentes de cima e osso maxilar superior com os dentes de baixo e osso mandibular inferior. Nesta pesquisa serão tratados os pacientes que apresentam a má oclusão de Classe II divisão 1ª, ou seja, o osso mandibular da parte de baixo não teve capacidade de crescer adequadamente ("queixo" para trás).

2 - O tratamento proposto faz parte de uma pesquisa científica, onde será estudado um aparelho dentário chamado de Herbst. Mesmo o paciente usando corretamente o aparelho, o resultado obtido com o tratamento pode não ser satisfatório, devido à formação de cada indivíduo. Desta forma, poderá haver a necessidade de realização de outros tipos de tratamento. Além do tratamento proposto pela pesquisa, existem outras maneiras de tratar o mesmo problema, através de extrações dentárias ou cirurgia ortognática (cirurgia hospitalar), que é uma cirurgia feita na face para devolver a proporção ideal do osso superior com o inferior da boca. A extração de dentes permanentes é vantajosa por não precisar da colaboração do paciente quanto ao uso do aparelho, porém tem a desvantagem de não corrigir o problema ósseo. A outra opção de tratamento é a cirurgia ortognática, a qual tem a vantagem de não precisar da colaboração do paciente quanto ao uso do aparelho. No entanto, tem como desvantagem a necessidade de se esperar o paciente atingir a idade adulta para operar e o alto custo da cirurgia, além dos riscos inerentes de uma cirurgia hospitalar.

3 - O tratamento proposto tem como objetivo corrigir a estética, a função e a morfologia óssea (forma do osso). Esta pesquisa pretende estudar, se a melhora eventualmente conseguida com o tratamento ocorre por causa de mudanças ósseas (nos ossos), dentárias (nos dentes) ou ambas. Os procedimentos a serem realizados nos indivíduos serão: tomadas radiográficas e tomográficas, análise dos exames, tratamento ortopédico e acompanhamento clínico.

4 - Radiografias são necessárias para o planejamento de todo tratamento ortopédico e ortodôntico, e as tomadas radiográficas irão expor o paciente aos raios X. Sendo assim, para proteção do aparelho reprodutor, será utilizado um avental de chumbo cobrindo a região anterior e posterior do corpo. Para proteção da glândula tireóide, usar-se-á um colar de chumbo. Quando o tratamento ortopédico acabar, se for necessário, o paciente receberá tratamento com aparelho fixo para que os dentes fiquem melhor encaixados.

5 - Foi esclarecido que caso não tome cuidado durante o uso do aparelho como, por exemplo: comer alimentos duros (ex: torresmo, amendoim, milho de pipoca, balas duras etc), poderá ocorrer a quebra deste com maior facilidade, o que pode levar a não correção da má oclusão que possui.

6 - Após a instalação do aparelho, o paciente deverá retornar a clínica em intervalos de 3 a 4 semanas para acompanhamento clínico do tratamento.

7 - Se forem observados dentes que necessitem de tratamento restaurador ou de extração, o adolescente e os responsáveis serão devidamente orientados e auxiliados.

8 - A participação na pesquisa é voluntária, e os responsáveis legais podem desistir dela a qualquer momento, sem dar explicações, sobre os motivos e ainda, sem comprometer qualquer tratamento do paciente na Faculdade de Odontologia FOAr-UNESP-Araraquara.

9 - Os responsáveis legais e o adolescente podem fazer perguntas ou solicitar esclarecimentos sobre quaisquer dúvidas antes e durante o desenvolvimento da pesquisa sobre a pesquisa, o tipo de aparelho utilizado, a maneira de usar, os cuidados com aparelho e a saúde bucal. Os pesquisadores se comprometem em proporcionar-lhes informações atualizadas, mesmo que estas afetem sua vontade em continuar participando da pesquisa.

Araraquara, _____ de _____ de 2010.

Responsável pelo paciente

Paciente

Pesquisador Responsável

Telefones: Comitê de Ética em Pesquisa: (16) 3301-6432/ 3301-6434

Pesquisador responsável:

Autorizo a reprodução deste trabalho
(Direitos de publicação reservados ao autor)

Araraquara, 17 de março de 2017.

KÉLEI CRISTINA DE MATHIAS ALMEIDA