

CURSO DE ODONTOLOGIA

Taís Fernanda Rinaldi

**ESTUDO COMPARATIVO DAS MEDIDAS DA PROTORIPAGEM RÁPIDA
MAXILAR E DO OSSO MAXILAR**

Santa Cruz do Sul

2015

Taís Fernanda Rinaldi

**ESTUDO COMPARATIVO DAS MEDIDAS DA PROTORIPAGEM RÁPIDA
MAXILAR E DO OSSO MAXILAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Odontologia da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Cirurgiã-dentista.

Orientador: Prof. Esp. Paulo Swarowsky

Co-orientador: Prof. Me. Helder Luiz Dettenborn

Santa Cruz do Sul

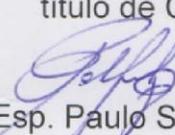
2015

Santa Cruz do Sul
2015

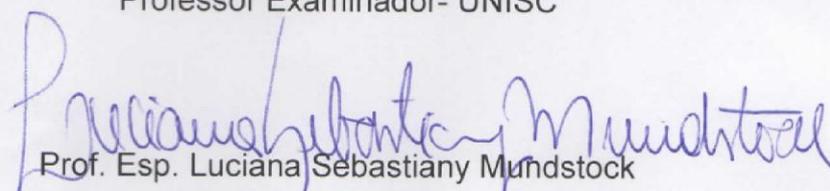
Taís Fernanda Rinaldi

Estudo Comparativo das Medidas da Prototipagem Rápida Maxilar e do Osso
Maxilar

Esse trabalho foi submetido ao processo de avaliação por banca examinadora do Curso de Odontologia da Universidade de Santa Cruz do Sul- UNISC, como requisito para obtenção de título de Cirurgiã-dentista.


Prof. Esp. Paulo Swarowsky
Professor Orientador – UNISC


Prof. Karine Butzke
Professor Examinador- UNISC


Prof. Esp. Luciana Sebastiany Mundstock
Professor Examinador

Santa Cruz do Sul
2015

RESUMO

Ao longo dos anos, a necessidade de uma cirurgia guiada se tornou maior, e para diminuir o tempo de trabalho e dar mais conforto ao paciente foram desenvolvidos Protótipos, através da Prototipagem. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma prototipagem maxilar para comparar com uma amostra real, para identificar medidas exatas, desenvolvendo um melhor trabalho. A metodologia deste trabalho envolveu uma maxila, onde realizamos a tomografia de feixe cônico, Instrumentarium OP300 (Orthopantomograph®), e definimos pontos de medidas. Na amostra de medidas foram desenvolvidos 6 pontos e 3 medidas no protótipo e na maxila, realizados na Máquina Tridimensional da Mitutoyo. Com objetivo de comparar as medidas e o resultado final da Prototipagem.

Palavras-chave: Prototipagem na Odontologia, Prototipagem de Maxila, Prototipagem Rápida.

ABSTRACT

Over the years, the need for a guided surgery has become greater, and to decrease the time of work and give more comfort to the patient, Prototypes were developed, through Rapid Prototyping. The objective of this research was to develop a jaw prototyping to compare to a real sample, to identify accurate measurements, developing a better job. The methodology of this study involved a jaw, where we performed a cone beam tomography, Instrumentarium OP300 (Orthopantomograph®), and defined points of measurement. On the measurement sample, 6 points and 3 sizes were developed in the prototype and in the jaw performed, on the three-Dimensional Machine by Mitutoyo. In order to compare the measurements and the final result of prototyping.

Keywords: Prototyping in Dentistry, Jaw Prototyping, Rapid Prototyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Tomografia maxilar	15
Figura 2	Maxila seca, vista frontal e lateral	23
Figura 3	Tomógrafo computadorizado de feixe cônico	24
Figura 4	Máquina Tridimensional da Mitutoyo	25
Figura 5	Projet 460 Plus	25
Figura 6	<i>Software Invensalius</i>	26
Figura 7	Medidas Maxila	26
Figura 8	Medidas Protótipo	27
Figura 9	Sentido para medida frontal	27
Figura 10	Sentido para medida lateral direita	28
Figura 11	Sentido para medida lateral esquerda	28
Figura 12	Prototipagem Rápida Realizada	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Seleção de pacientes.....	12
2.2	Aquisição de imagens	12
2.3	Pré-processamento	12
2.4	Arquivo STL.....	14
2.5	Tomografia	14
2.6	Etapas para a construção de protótipos	16
2.7	Técnica para confeccionar a prototipagem rápida	17
2.8	Gesso	19
3	METODOLOGIA	21
3.1	Tipo de estudo	21
3.2	Seleção do material bibliográfico.....	21
3.2.1	Base de dados.....	21
3.2.2	Biblioteca	21
3.3	Palavras-chave	22
3.4	Aspectos éticos	22
3.5	Projeto piloto	22
3.6	Instrumentos da pesquisa	22
3.7	Coleta de dados	27
3.7.1	Tomadas das medidas reais	27
3.8	Confecção do protótipo	29
3.9	Apresentação da confecção do protótipo	31
4	RESULTADOS	32

5	DISCUSSÃO.....	33
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36
	ANEXO A - Carta de apresentação à Instituição UNISC	38
	ANEXO B - Ofício material biológico	39
	APÊNDICE A – Ficha usada para registro das medidas	40

O processo de construção de protótipos biomédicos surgiu da união das tecnologias de prototipagem (PR) e do diagnóstico por imagens. No entanto, este processo é complexo, em função da necessária interação entre as ciências biomédicas e a engenharia. Para que bons resultados sejam obtidos, especial atenção deve ser dispensada à aquisição das imagens por tomografia computadorizada e à manipulação dessas imagens em softwares específicos (MEURER et al, 2008).

A Prototipagem Rápida é hoje em dia um instrumento imprescindível ao desenvolvimento de novos produtos nos mais variados setores industriais. Os profissionais da área da saúde compreendem que é possível encurtar significativamente os tempos de intervenção cirúrgica, criar ferramentas personalizadas, facilitar o diálogo com os pacientes e simultaneamente explorar as potencialidades que esta tecnologia oferece em termos de planejamento. Apesar de serem já muito variados os casos de intervenções de sucesso, a sua utilização é ainda relativamente recente, e como tal tem sido alvo de bastante investigação (ANTAS; LINO; NETO, 2008).

Sabendo do histórico e utilização da prototipagem rápida, num futuro próximo ela estará fazendo parte de procedimentos odontológicos, pois tem sido usada para fornecer informações de diagnóstico e tratamentos. Essa nova realidade facilitará e otimizará planejamentos cirúrgicos e resultados finais de nossos procedimentos odontológicos (LIU et al, 2005).

A Prototipagem Rápida abrange algumas áreas da odontologia, pois permite um melhor planejamento cirúrgico. A confecção dos modelos anatômicos facilita a visualização da extensão da lesão e dos tecidos a serem reproduzidos, com isso o planejamento da cirurgia e a utilização dos materiais cirúrgicos no modelo, reduz o tempo de intervenção cirúrgica, diminuindo a exposição do paciente (SAFIRA et al, 2010).

A fabricação de modelos dentários pode ser feita de forma fácil e rápida. A diversidade de sistemas de Prototipagem Rápida (PR) e materiais de construção correspondentes geram objetos dentais com diferentes necessidades, sendo aplicadas em áreas da odontologia (LIU et al, 2005).

Esta tecnologia tem potencial significativo para complementar a formação tradicional das abordagens. A associação de modelos de RP com modelos

tridimensionais é uma técnica viável e acessível que ajuda no processo de ensino-aprendizagem (SOARES et al, 2013).

A prototipagem rápida em Odontologia tem sido usada para fornecer informações para fins de diagnóstico e tratamento. As técnicas são utilizadas para construir Modelos 3D, facilitando os procedimentos dos cirurgiões-dentistas, no entanto, não são comuns as publicações sobre a aplicações da tecnologia na Odontologia, tornando assim um assunto pouco procurado (LIU et al, 2005).

Por conta de poucas informações sobre Prototipagem na Odontologia e o resultado gerado para uma cirurgia guiada, este trabalho propôs analisar se a Prototipagem Rápida (foi escolhida uma maxila para executar a técnica) é coerente à amostra real, buscando verificar diferenças de medições para comparar a maxila e o protótipo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Prototipagem Rápida biomédica foi utilizada na Antiguidade, evoluindo de protótipos manuais para virtuais nos anos 1980, difundindo com sistemas tridimensionais e após protótipos rápidos. Consiste em um processo de fabricação de um modelo tridimensional das estruturas anatômicas ósseas craniomaxilofacial obtidas a partir de imagens de Tomografia Computadorizada (TC) ou Ressonância Magnética (IRM) e confeccionadas por adição de camadas planas sucessivas de vários materiais, tais como resina acrílica, epóxi, metal, porcelana e silicone (CAVALCANTI, 2010).

Os materiais empregues devem ser duros, resistentes, e esterilizáveis. A prototipagem rápida pode auxiliar na redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos (MELLO et al, 2006).

As tecnologias de Prototipagem Rápida (RP) permitem a fabricação de estruturas físicas tridimensionais, conhecidas como protótipos rápidos, sem alterações, com complexo geométricos. Esta tecnologia tem significativo potencial para complementar a formação tradicional de abordagens. A associação de modelos de RP com modelos 3D é uma técnica que ajuda e enriquece o processo de ensino-aprendizagem (SOARES et al, 2013).

O objetivo da prototipagem rápida é obter um modelo físico com as mesmas características geométricas do virtual. Uma das aplicações que tem sido utilizada com maior sucesso é a reprodução de estruturas anatômicas, através de aquisição de imagens por equipamentos de imagens médicas para auxiliar no diagnóstico, planejamento e simulação para futuros procedimentos. As tecnologias de RP permitem a fabricação de estruturas físicas tridimensionais, conhecidas como protótipos rápidos. Este modelo físico, quando aplicado em cuidados de saúde, é chamado de biomodelo (SOARES et al, 2013; CAVALCANTI, 2010).

Os modelos permitem a mensuração de estruturas, simulação de osteotomias e de técnicas de ressecção, além de um planejamento completo dos mais diversos tipos de cirurgia da região bucomaxilofacial. Isso tende a reduzir o tempo de trabalho do procedimento cirúrgico, tempo da anestesia, risco de infecção, promovendo um bom resultado (CAVALCANTI, 2010).

Os modelos físicos são atraentes para os cirurgiões porque eles oferecem a oportunidade de manipular o modelo na mão, proporcionando assim um entendimento direto e intuitivo de detalhes anatômicos complexos (LIU et al, 2006).

O protótipo é fabricado unitariamente, com a finalidade de servir como teste antes da fabricação industrial, ou seja, pode-se dizer que é um experimento virtual ou real que tenta transcrever um sistema real. As áreas de maior aplicabilidade desta tecnologia na área médico-odontológica são: Neurocirurgia, Ortopedia, Cirurgia, Oncologia, Cirurgias Cranimaxilofacial e Plástica, Traumatologia Bucocomaxilofacial, Cirurgia Ortognática e Implantodontia (CAVALCANTI, SALES 2008).

O modelo virtual é cortado, e suas seções transversais são fisicamente reproduzidas através de processos automatizados, construção de camada por camada em pó, sólido ou matérias-primas líquidas (CAVALCANTI, 2010).

Com um modelo físico na mão, um cirurgião é capaz de exercer sobre o modelo com as ferramentas cirúrgicas habituais, permitindo ensaiar diferentes planos cirúrgicos de forma realista. Além disso, a comunicação entre o cirurgião e o paciente antes de uma cirurgia complicada pode ser claramente melhorada pela utilização de modelos físicos (PAIVA et al, 2007).

A opção pela construção do protótipo, em detrimento de técnicas menos onerosas, deve ser reservada apenas aos casos em que houver real benefício ao paciente, desconsiderando o modismo e o mercantilismo. A maior valia será em procedimentos cirúrgicos em que não existam técnicas cirúrgicas consagradas, ou quando essas necessitem ser modificadas e/ou melhoradas. Com um protótipo, o cirurgião pode, durante a fase de planejamento, elaborar a técnica, avaliar detalhes, otimizar o procedimento, antecipar dificuldades (ANTAS; LINO; NETO, 2008).

Técnicas de prototipagem rápida dirigidas por computador têm sido usadas para a terapia odontológica (CHAN et al, 2004).

Esta técnica é uma ferramenta inovadora, facilitando o cirurgião entender a complexidade dos casos e planejar a aproximação antes de qualquer intervenção cirúrgica. O planejamento e o ensaio anterior do caso reduzem o risco de surpresas durante uma operação. Além disso, pode melhorar o conhecimento de decisão, que representa um papel ativo em um procedimento cirúrgico (PAIVA et al, 2007).

A utilização de PR na odontologia traz uma série de benefícios, tais como: auxilia na comunicação com os pacientes, permite um planejamento prévio e mais detalhado, diminui consideravelmente o tempo cirúrgico, permite confeccionar guias cirúrgicas e diminui o nível de dificuldade dos procedimentos. Como desvantagens, podemos citar o alto custo, o tempo para produção do biomodelo e a pouca disponibilidade de equipamentos de prototipagem. A tendência é que cada vez mais

os cirurgiões dentistas utilizem protótipos como um recurso do seu dia a dia, aumentando os pedidos de exames tomográficos que contribuem para que os biomodelos se tornem cada vez mais popular no meio odontológico (BALEM, 2010).

2.1 Seleção de pacientes

Uma das etapas mais importantes na utilização das tecnologias de prototipagem biomédica é a seleção dos pacientes, devendo considerar a relação custo-benefício, devido a obtenção dos protótipos que elevam o custo (CAVALCANTI, SALES 2008)

2.2 Aquisição de imagens

Na aquisição das imagens é desejável a obtenção de um volume único de todo o segmento a ser estudado, utilizando cortes finos. É fundamental considerar que a exposição do paciente à radiação é um fator limitador, sendo responsabilidade do radiologista a escolha do melhor protocolo de obtenção, buscando um equilíbrio entre qualidade do protótipo e dose de radiação (LIMA et al., 2014).

A aquisição das imagens para a confecção dos modelos também faz parte da realização da RP. O cuidado com a obtenção das imagens tem o intuito de otimizá-las para as manipulações posteriores (CAVALCANTI, 2008).

Após, será realizada a etapa de pré-processamento que tem por finalidade a preparação de uma sequência de imagens tomográficas que possam ser submetidas ao processo de reconstrução de superfícies. Contudo, o propósito do pré-processamento é extrair de cada corte, um conjunto de pontos representando seus limites, de modo que a triangulação possa ser feita usando esses pontos da amostragem de cada corte, entre duas fatias consecutivas (CAVALCANTI; SALES, 2008).

2.3 Pré-processamento

Para a realização do pré-processamento, segundo Cavalcanti e Sales (2008), algumas etapas são fundamentais. Entre elas, citamos:

- Limiarização - faz com que as imagens se transformem em imagens binárias.

- Segmentação - identifica as estruturas diferentes para a reconstrução tridimensional, através da segmentação de imagens extrai-se a imagem de estrutura que deverá ser representada no biomodelo.
- Detecção de bordas - as fatias são definidas com um código aplicado em cada corte.
- Afinamento das bordas - serve para reduzir as informações que serão processadas. O contorno está com uma largura de um pixel para facilitar a especificação dos pontos que o definem.
- Rotulação de contornos – neste estágio identificam-se as regiões da imagem, ou seja, a cada objeto é atribuído um rótulo que o identifica. Esse procedimento é útil para definir o número de contornos existentes em cada fatia e para determinar o tipo de ligação entre os contornos.
- Seleção de pontos - este é o último passo na fase de pré-processamento, na qual se verifica os pontos que realmente são relevantes em cada contorno para a interpolação entre pares de fatia. Este método encontra apenas os pontos onde há mudança de orientação, pois só os pontos que possuem orientação diferente é que são relevantes para a triangulação.

A aquisição de dados pode ser executada por qualquer pessoa sem contato ou métodos. Após a aquisição de dados, os mesmos têm de ser processados para construir as imagens 3D. A saída de processamento de dados deve ser convertida nos seguintes formatos:

a) Nos primeiros, os dados lidos podem ser diretamente convertidos para um arquivo STL e entrada em um sistema de RP.

b) Após as imagens das seções transversais da tomografia serem reconstruídas tridimensionalmente e aproximadas por um conjunto de faces triangulares, de forma a poder representar adequadamente a complexa topografia da região maxilofacial, há a necessidade de converter a imagem tridimensional gerada para um formato que seja compreensível pelo sistema de prototipagem rápida em arquivos STL (CAVALCANTI; SALES, 2008; LIU et al., 2006).

2.4 Arquivo STL

Conforme Soares et al (2013), os modelos virtuais em arquivos STL foram transferidos para programas utilizados em prototipagem, produzindo protótipos físicos que reproduzem fielmente a anatomia de interesse.

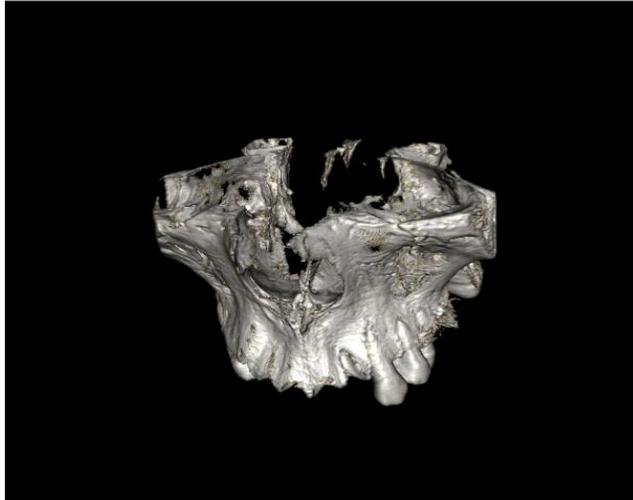
Em todos os processos recorre-se a um desenho 3D que é traduzido para um arquivo STL, em que as superfícies do modelo são convertidas em triângulos. Ao ser introduzido no equipamento de PR, é convertido no arquivo SLI, o qual divide o modelo nas várias camadas de construção, utilizando o software da própria máquina. Em alguns sistemas, o software da máquina gera simultaneamente suportes para possibilitar a construção de zonas dos modelos que não estejam apoiadas (ANTAS; LINO; NETO, 2008).

Como consequência de tais avanços, hoje odontologistas e médicos podem utilizar softwares de reconstrução tridimensional de imagens médicas, frequentemente tendo a disposição ferramentas de medições. Em 3D tem-se a vantagem de compreender com mais detalhes as estruturas anatômicas investigadas, podendo-se analisá-las sob diversos ângulos. O emprego de tais softwares é tido pela literatura como um recurso de grande acurácia e precisão (MORAES; ROSPENDOWSKI; AMORIM, 2008).

2.5 Tomografia

A Tomografia Computadorizada (TC) possibilita a obtenção de uma sequência de imagens médicas bidimensionais que podem, posteriormente, ser reconstruídas em um único modelo tridimensional (3D), utilizando-se softwares adequados. Há aproximadamente dez anos, tomógrafos de feixe cônico (*cone beam*), têm propiciado a difusão de softwares de visualização 3D de imagens médicas na área odontológica, provendo equipamentos mais baratos que emitem menor radiação (SAFIRA, 2010). (FIGURA 1)

Figura 1 - Tomografia maxilar, imagem 3D da maxila.



Fonte: *Software Invesalius*

2.6 Etapas para a construção de protótipos

Alguns cuidados são necessários a fim de otimizar a aquisição das imagens para o pós-processamento computadorizado. No caso da área de interesse ser apenas a face, a mudança no plano de aquisição de axial para coronal pode diminuir substancialmente o número de cortes. A utilização de filtros de imagem durante a aquisição é controversa. Alguns estudos têm reportado maior formação de artefatos com o emprego de filtro para osso durante a aquisição. Artefatos relacionados a restaurações dentárias metálicas precisam ser posteriormente removidos por instrumentos de computação gráfica, sendo um processo demorado, enfadonho, e que muitas vezes interfere negativamente no resultado final. Visando a minimizar a produção desses artefatos, deve-se posicionar o paciente com o plano oclusal (linha de oclusão dos dentes) paralelo ao plano de corte axial; tal manobra restringe os artefatos à região das coroas dentárias, diminuindo o número de cortes a ser editado manualmente (MAIA et al, 2010).

A manipulação ou edição das imagens são realizadas em softwares específicos, sendo salutar, nesta etapa, estreita interação entre as especialidades biomédicas e a engenharia. A meta é a segmentação das imagens, processo que visa a separar os dados de interesse do conjunto de informações disponibilizadas pela TC (MAIA et al, 2010).

No caso dos protótipos para cirurgias bucomaxilofaciais, em que o objeto de estudo é a peça óssea, a segmentação visa à separação da porção óssea dos

tecidos adjacentes. Entre as ferramentas disponíveis para a segmentação das imagens, o *threshold* é bastante utilizado e baseia-se na definição de intervalos de densidade que expressem, por exemplo, somente os *voxels* que correspondam ao tecido ósseo. Se este intervalo for determinado incorretamente, irá ocorrer um efeito chamado *dumb-bell*, podendo resultar na supressão ou alteração de estruturas durante o processo. Em alguns casos, é necessária a edição manual das imagens, com ferramentas como cortar, apagar e selecionar; esta edição é especialmente útil em áreas com artefatos de imagem provenientes de próteses ou restaurações dentárias (MAIA et al, 2010).

O CenPRA (Centro de Pesquisas Renato Archer), por meio do projeto Prototipagem Rápida na Medicina (Promed), desenvolveu o software InVesalius, pioneiro no Brasil para o processamento de imagens médicas, visando à produção de biomodelos. Na elaboração do InVesalius, foram implementados algoritmos que disponibilizam recursos de visualização 3D, segmentação e reformatações 2D e 3D. O software oferece ainda uma função adicional, o processo de conversão, permitindo a exportação de imagens para um formato que seja reconhecido pelos equipamentos de PR (MORAES; ROSPENDOWSKI; AMORIM, 2008).

A integração dos sistemas CAD aos sistemas médicos facilita a manipulação e modelagem de objetos, permitindo que imagens virtuais de estruturas segmentadas possam ser manipuladas como se fossem peças de um quebra-cabeça ou de um protótipo biomecânico. Além disso, sistemas CAD são adequados para definir procedimentos de espelhamento utilizando a simetria contralateral da face, permitindo o planejamento e a obtenção de próteses personalizadas, inclusive com a simulação da montagem da prótese virtual no modelo 3D. A construção da prótese personalizada pode ser feita pela modelagem da estrutura que substituirá a área lesada ou por meio de operações nos sistemas CAD, pela geração de um modelo 3D do molde; o molde obtido por PR é então utilizado para dar forma ao material que será implantado (normalmente polímeros ou materiais cerâmicos implantáveis) (FAOT et al, 2013).

2.7 Técnica para confeccionar a prototipagem rápida

Os protótipos biomédicos apresentam grande potencial na escolha de novas abordagens terapêuticas, muitas vezes alternativas aos tratamentos atuais. A utilização desses protótipos associada ao seu alto custo dificulta a sua aplicação em de procedimentos cirúrgicos de rotina, mesmo quando há indicação. É provável que essas limitações sejam superadas em um curto espaço de tempo, seja pelo avanço tecnológico, seja pela utilização interdisciplinar da tecnologia de PR em centros especializados e públicos, tornando os protótipos biomédicos mais acessíveis (MEURER et al, 2008).

A utilização da PR pode eventualmente provocar um aumento dos custos diretos de projeto, contudo, a segurança induzida na equipe de projeto pode traduzir-se em ganhos significativos, garantindo assim, uma maior agressividade e consequente vantagem competitiva da empresa utilizadora (MEIRA et al, 2013).

Os aparentes incrementos no custo final do produto podem traduzir-se em grandes lucros globais. Paralelamente, a realização rápida de protótipos pode constituir um suporte às ações de marketing e até mesmo, um precioso auxiliar à comercialização dos produtos, em muitos casos, a partir dos protótipos que se realizam as pré-séries, e em outros, as próprias peças definitivas. De uma forma geral, pode dizer-se que se está em presença de PR se o processo se baseia em CAD 3D (MEIRA et al, 2013).

O protótipo é criado quase automaticamente (pode ser necessário algum trabalho de preparação e acabamento), ficando pronto no espaço de algumas horas ou dias e é produzido por adição de camadas de material (MEIRA et al, 2013).

Nos processos de PR, os modelos são obtidos por adição sucessiva de material, camada a camada, até se obter o modelo pretendido. As peças obtidas por estes processos apresentam irregularidades na superfície, correspondentes à espessura de cada camada (LINO; NETO, 2000).

Este defeito de construção é chamado efeito de escada, sendo diretamente proporcional à espessura das camadas, podendo ser atenuado com posteriores operações de acabamento. Em todos os processos recorre-se a um desenho CAD 3D que é traduzido para um ficheiro STL, em que as superfícies do modelo são convertidas em triângulos. O ficheiro STL, ao ser introduzido no equipamento de PR, é por sua vez convertido num ficheiro SLI, o qual divide o modelo em várias camadas de construção, utilizando o software da própria máquina. Em alguns

sistemas, o software da máquina gera simultaneamente suportes para possibilitar a construção de zonas dos modelos que não estejam apoiadas (LINO; NETO, 2000).

O processo de produção de protótipos por prototipagem rápida consiste em projetar e manufaturar o modelo de um produto ou peça a ser construído. A impressão tridimensional (3D) é uma das técnicas de prototipagem rápida, caracterizada por elevada flexibilidade de material e geometria, e merece destaque por ser um processo de prototipagem rápida que diminuiu consideravelmente o tempo de manufatura das partes de um protótipo e da fabricação de componentes. Outros métodos de prototipagem, após o fatiamento digital do modelo em camadas, envolvem muitas horas de máquinas na fabricação, onde o tempo gasto é excessivo em cada camada, com passos lentos, subdivididos em estreitas linhas e com alto custo que, impressoras tridimensionais (3DP) realizam em poucos passos e em tempo muito reduzido (MEIRA et al, 2013).

A redução de tempo proporcionada pela impressão tridimensional revolucionou a prototipagem. A tecnologia de impressão tridimensional (3DP) é baseada em sistemas de impressoras de jato de tinta, que utilizam um cabeçote de impressão com centenas de orifícios que podem despejar milhares de gotículas de *binder* por segundo, e tem seus equipamentos de baixo custo com tecnologia adaptada das impressoras de tintas comerciais (MEIRA et al, 2013).

A construção da peça é feita a partir de um modelo digital em CAD tridimensional, o qual é convertido em formato STL e posteriormente dividido em camadas por um algoritmo de fatiamento, onde cada fatia possui aproximadamente 100µm de espessura, criando assim informações detalhadas sobre cada corte transversal. A máquina de impressão tridimensional inicia o processo de construção da peça depositando uma camada de pó, sobre a qual o *binder* será depositado na geometria da seção da peça, representando a fatia inicial do modelo, muito parecido com uma impressora de jato de tinta quando imprime em uma folha de papel. A camada de pó é então abaixada, e uma nova camada de pó é depositada sobre a primeira camada e novamente o *binder* é depositado, compondo a fatia seguinte do modelo que se consolida com a anterior através do ligante (MEIRA et al, 2013).

Esse processo é repetido para todas as camadas da peça até que ela seja impressa por completo. A impressão da camada emprega o *binder* sobre pós-reativos (gessos e cimentos) e é então iniciada uma reação química que fornece uma resistência inicial ao manuseio da peça. Uma vez que a peça foi impressa

totalmente, o pó que não recebeu o *binder* é removido, a peça é então limpa e o protótipo está consolidado. Posteriormente as superfícies desta peça podem receber uma pintura com adesivo que penetra na peça prototipada e confere resistência mecânica para acabamento superficial, pintura, furações e manipulação. Neste método podem ser usados pós de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos (MEIRA et al, 2013).

O processo de impressão tridimensional, que tem como vantagem adicional sobre a maioria dos processos de prototipagem a não necessidade de imprimir o material suporte, pois o próprio pó que não recebeu ligante tem a função temporária de suporte (estrutura) da peça em impressão. O pó (suporte) é removido, peneirado e seco, e pode então ser reutilizado. A impressão tridimensional é de grande interesse na área de biomateriais onde a presença de poros é desejável, bem como a morfologia, distribuição e interconexão dos macro-poros. Nesta área os produtos em destaque são a alumina, a hidroxiapatita, a zircônia, e os cimentos baseados em apatitas (MEIRA et al, 2013).

A prototipagem rápida de materiais cerâmicos tem sido investigada intensivamente nos últimos anos por diversos autores, que aplicaram diferentes métodos para obtenção de *scaffolds* para implante. A baixa resistência mecânica é obstáculo a ser superado, no momento, relativo à impressão tridimensional de cerâmicas. Quando a cerâmica é um gesso ou cimento, o *binder* é à base de água, e após a impressão da camada inicia-se uma reação química que fornece uma resistência inicial ao manuseio da peça (MEIRA et al, 2013).

2.8 Gesso

O gesso mais comum é um sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) de pouca dureza e de cor branca (quando puro) ou amarelado, obtido da calcinação do mineral gipsita, que é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), onde perde $\frac{3}{2}$ de sua água de cristalização. O sulfato de cálcio hemi-hidratado quando adicionado de água apresenta um tempo de “*pega*” (tempo para manuseio e conformação) e se estabiliza na forma reidratada quando se torna um material mecanicamente estável (endurecido) (MEIRA et al, 2013).

É desejado que o pó para prototipagem rápida possua fluidez para distribuição homogênea, alto empacotamento para densificação máxima do

protótipo, que não seja higroscópico, que as dimensões dos aglomerados sejam menores que a espessura da camada depositada (valor este dependente do equipamento utilizado) e que apresente bom acabamento superficial da camada depositada. A construção pode levar várias horas, dependendo do número de camadas e da altura do protótipo (MEIRA et al, 2013).

A correta seleção de caso é necessária por parte do profissional, visando vantagens e desvantagens desses sistemas e tecnologia para que se tenha uma boa relação custo-benefício (SILVEIRA, 2010).

Técnicas de prototipagem rápida dirigidas por computador têm sido usadas para a terapia odontológica (CHAN et al, 2004). Esta técnica é uma ferramenta inovadora, facilitando para o cirurgião entender a complexidade dos casos e planejar a aproximação antes de qualquer intervenção cirúrgica. O planejamento e o ensaio anterior do caso reduzem o risco de surpresas durante uma operação. Além disso, pode melhorar o conhecimento de decisão, que representa um papel ativo em um procedimento cirúrgico (PAIVA et al, 2007).

As tecnologias podem atingir uma melhor fidelidade, além de eliminar os erros inerentes, no entanto, muitos avanços nessa área ainda precisam ser realizados de modo que o equipamento e software adequado podem ser desenvolvidos e os altos custos de produção reduzidos (LIMA et al, 2013)

A Prototipagem Rápida, utilizada em várias áreas, encurta o tempo de operação e reduz significativamente o risco do paciente. Esta tecnologia não é mais usada exclusivamente para a prototipagem, mas também na fabricação de peças reais de funcionamento (SUN; ZHANG, 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo

O delineamento da pesquisa foi observacional transversal analítico.

3.2 Seleção do material bibliográfico

3.2.1 Bases de dados

A busca de material bibliográfico foi realizada nas seguintes bases de dados:

- Scielo: <http://search.scielo.org/?q=&where=>
- Google Acadêmico: <http://scholar.google.com.br/scholar>.
- GoPubMed: <http://gopubmed.org/web/gopubmed/>
- FullFreePDF: <http://www.freefullpdf.com/#gsc.tab=0>

3.2.2 Biblioteca

A biblioteca e serviço de busca e aquisição de materiais bibliográficos utilizados foram:

- Biblioteca Central da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

3.3 Palavras-chave

As palavras-chave utilizadas para realizar a busca de material bibliográfico nas bases de dados foram:

- Prototipagem na Odontologia
- Prototyping in dentistry
- Prototipagem de Maxila
- Jaw prototyping
- Prototipagem Rápida
- Rapid prototyping

3.4 Aspectos éticos

A pesquisa foi realizada mediante a autorização da Coordenação do Curso de Odontologia da Universidade de Santa Cruz do Sul (ANEXO A).

A peça óssea maxilar foi disponibilizada pelo laboratório de anatomia da UNISC através de um ofício de solicitação (ANEXO B) e liberação de material biológico (ANEXO C).

3.5 Projeto piloto

A tomografia computadorizada em uma maxila foi realizadas, onde pontos para medição foram escolhidos entre espaços dentários.

Os pontos estão representando em três espaços dentários tendo como referência as cúspides dos dentes.. O primeiro sentido escolhido foi entre os dentes 16 e 18; o segundo, entre os dentes 14 e 23; e o terceiro, entre os dentes 25 e 28.

A medição eletrônica da peça maxilar e do protótipo foi realizada com o modelo de Máquina Tridimensional da Mitutoyo e os dados foram analisados para confeccionar a prototipagem rápida.

3.6 Instrumentos da Pesquisa

Os instrumentos de pesquisa foram basicamente os materiais necessários para a obtenção das tomografias radiográficas e o protótipo. Os materiais que foram necessários para análise e medição das imagens geradas para confeccionar o protótipo. Os materiais necessários para a obtenção das imagens tomográficas computadorizadas foram:

- Peça óssea maxilar disponibilizada pelo laboratório de anatomia da UNISC; (FIGURA 2)
- Aparelho ORTHOPANTOMOGRAPH® OPI 300 cone-beam CT (Instrumentarium, Tuusula, Finland); (FIGURA 3)
- PROJET 460 PLUS; (FIGURA 5)
- INVESALIUS (software de tratamento de imagens médicas em desenhos CAD); (FIGURA 6)
- MÁQUINA TRIDIMENSIONAL DA MITUTOYO. (FIGURA 4)

Abaixo, seguem as imagens:

Figura 2 - Maxila seca, vista frontal.



Fonte: acervo pessoal.

Maxila seca, vista lateral direita.



Fonte: acervo pessoal.

Maxila seca, vista lateral esquerda.



Fonte: próprio autor.

Figura 3 - Tomógrafo computadorizado de feixe cônico



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=orthopantomograph+op+300&es_sm=93&source=lnms&bm=isch&sa=X&ved=0CAgQ_AUoAmoVChMIrqiU1ayzyAIVgn-QCh0Feg0Q&biw=1366&bih=667#imgrc=3YXJN2lf76aYCM%3A

Figura 4 - Máquina Tridimensional da Mitutoyo

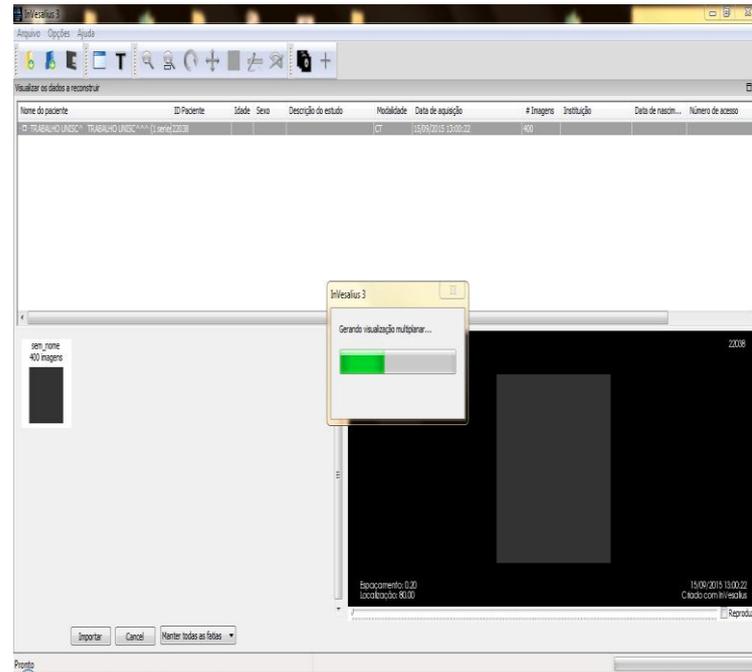


Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=maquina+tridimensional+mitutoyo&biw=1366&bih=667&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0CCEQsARqFQoTCMP25YWss8gCFUGLkAodY3cKKQ#imgrc=DtneIY1EuW7I0M%3a>

Figura 5 – Projet 460 Plus

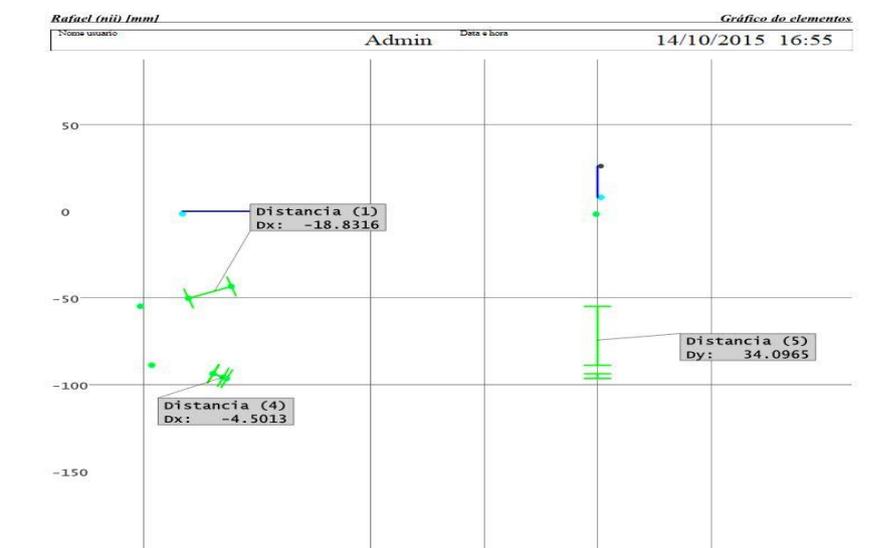


Fonte: https://www.google.com.br/search?q=projet+460+plus&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMltrWfpayzyAIVQwuQCh25XwPM#imgrc=6uHxQvnl8cgSjM%3A

Figura 6 - Software *Invensalius*

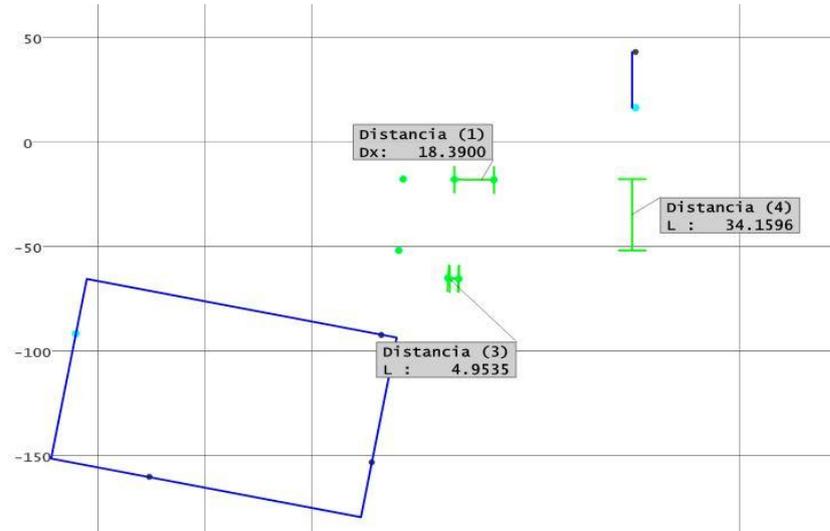
Fonte: próprio autor.

Figura 7 - Medidas da Peça Maxilar.



Fonte: acervo pessoal.

Figura 8 – Medidas Protótipo



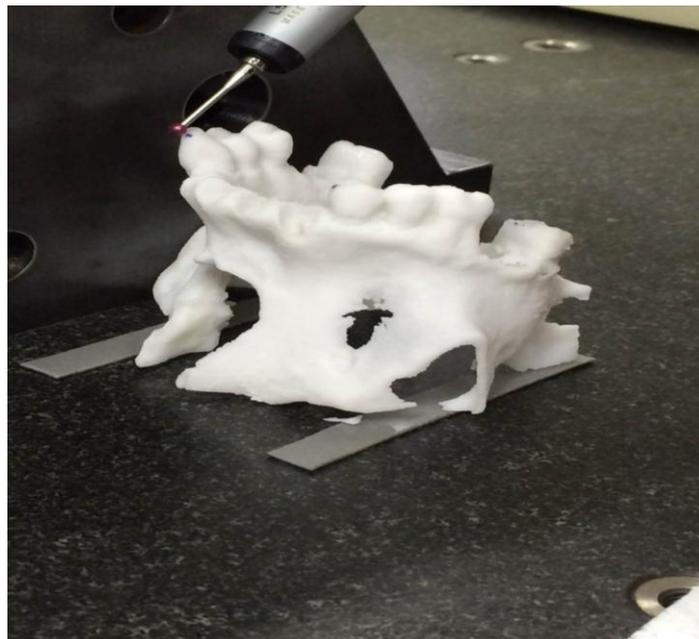
Fonte: acervo pessoal.

3.7 Coleta de dados

3.7.1 Tomadas das Medidas Reais em dcm

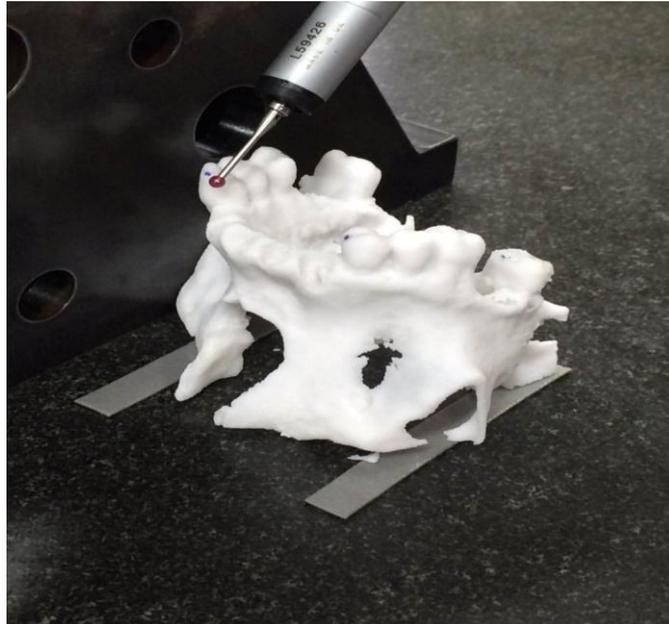
As medidas reais dos pontos escolhidos na maxila foram obtidas com Máquina Tridimensional da Mitutoyo e registradas em uma ficha (APÊNDICE A).

Figura 9 - Sentido para medida frontal



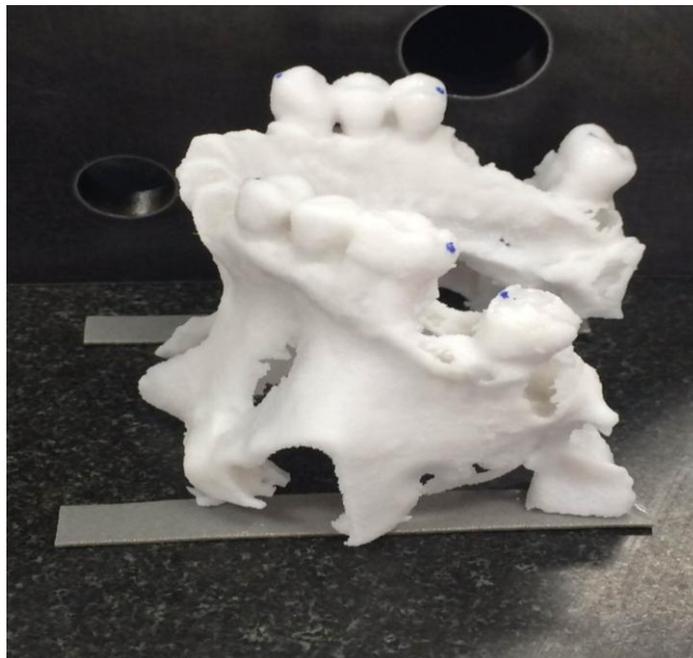
Fonte: acervo pessoal.

Figura 10 - Sentido para medidas lateral direita



Fonte: acervo pessoal.

Figura 11 - Sentido para medida lateral esquerda



Fonte: próprio autor.

3.8 Confeção do Protótipo

A confecção do protótipo foi realizado no Laboratório de Desenvolvimento de Produto no Departamento de Engenharia de Produção, tendo como instrumentos as máquinas:

- Projet 460 PLUS (impressora de gesso)

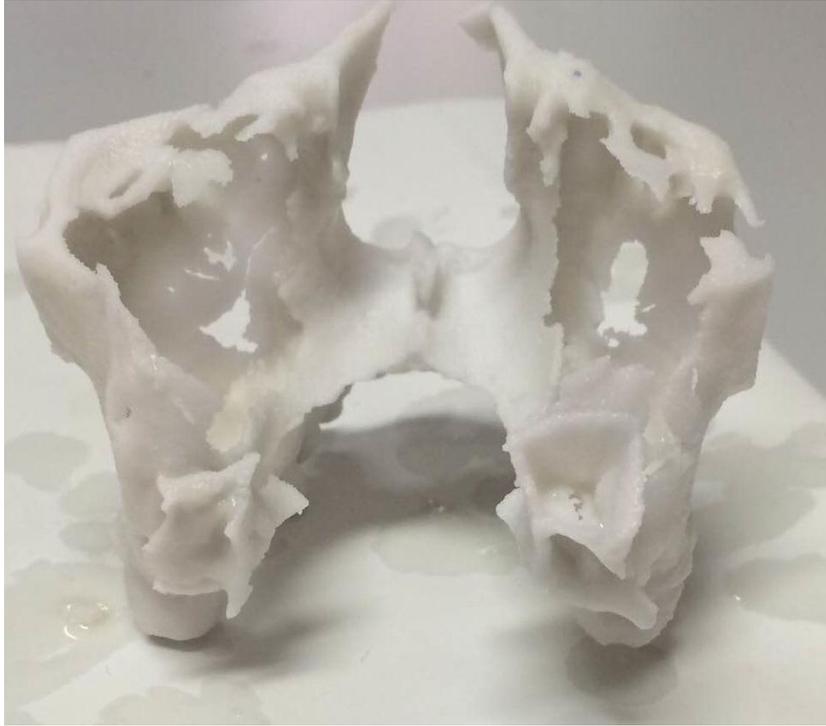
Software usado para transmissão de imagens para análises:

- InVesalius (software de tratamento de imagens médicas em desenhos CAD).

Figura 12- Prototipagem Rápida Realizada



Fonte: acervo pessoal.



Fonte: acervo pessoal.

3.9 Apresentação da confecção do Protótipo

A confecção do protótipo da maxila em gesso realizado foi apresentado no Trabalho de Conclusão de Curso de Odontologia.

4 RESULTADOS

Para obtenção dos resultados, foram realizadas medições na peça maxilar e no protótipo. Os pontos a serem medidos, foram escolhidos aleatoriamente, tendo como objetivo analisar e comparar medidas.

Na peça maxilar foram realizadas medidas frontal, e laterais, direita e esquerda. Na medida frontal foi marcado com uma caneta pontos nos dentes 14 e 23, tendo como resultado no valor de 34,0965 decímetros. Na medida lateral direita os pontos foram demarcados nos dentes 16 e 18 obtendo um valor de 4,5013 decímetros. Na medição lateral esquerda a demarcação realizada nos dentes 25 e 28, resultando no valor de 18,8316 decímetros.

No protótipo, os mesmos lugares foram demarcados, medida frontal com o resultado de 34,1596 decímetros, medida lateral direita o valor resultante de 4,9535 decímetros, e medida lateral esquerda o valor de 18,3900 decímetros.

Como não foi confeccionados pontos a serem medidos na maxila e no protótipo, foi realizado marcações com caneta, os resultados encontrados foram

diferentes, pois não se conseguiu estipular as marcações nos mesmos lugares, tanto na maxila, como no protótipo, resultando em um erro de medição.

Outros erros podem ocorrer durante a obtenção das medidas, tendo como resultados diferentes nas verificações. O erro comum que pode ocorrer, é do operador, pois este terá que estar calibrado e treinado para que não faça movimentos indesejáveis, resultando em medidas diferentes.

Outro erro encontrado é a expansão do protótipo, pois para que não ocorresse perda de material durante a manipulação das medidas, o protótipo foi imerso no Cianocrilato, assim não tivemos o risco de perder alguma estrutura durante a sua manipulação.

5 DISCUSSÃO

A Prototipagem Rápida não têm sido utilizada com frequência na Odontologia, devido a seu custo e aplicações. Mas um futuro próximo será empregado a técnica com grande relevância para o sucesso nos tratamentos odontológicos.

A utilização da Prototipagem Rápida pode eventualmente provocar um aumento dos custos diretos, podendo traduzir em ganhos significativos, garantindo assim uma maior vantagem competitiva da empresa utilizadora. Os aparentes incrementos no custo final do produto podem traduzir-se em grandes lucros globais (LINO, NETO 2000).

O custo-eficácia da PR está melhorando a cada dia, o diagnóstico médico e planejamento cirúrgico preciso, encurtam o tempo de operação e reduz significativamente o risco dos pacientes (SUN et al., 2012).

A aplicação de Prototipagem na Odontologia, na especialidade de prótese dentária, reduz o potencial de erros, resultando em melhor controle na qualidade. Além disso, a determinação do eixo de inserção é automática, e a identificação de

áreas de retenção é rápida, reduzindo o tempo de preparação das próteses. Nas Próteses Removíveis realizadas por prototipagem, a adaptação adequada está presente, semelhante com a das próteses preparadas convencionais, requerendo menos ajustes (LIMA et al., 2014).

A fabricação de prótese dentária também tem sido muito dependentes da qualificação de dentistas e técnicos. Comparado com os métodos tradicionais, próteses dentárias pode ser fabricada por técnicas de Prototipagem Rápida para projetar, desenvolver e fabricar próteses dentárias tais como, coroas e próteses parciais fixas. O custo do trabalho será substancialmente reduzido, e restaurações dentárias mais rápido será alcançado. Considerado como uma alternativa promissora para prótese dentária (SUN et al., 2012).

Em Implantodontia, a Prototipagem permite a confecção de modelos tridimensionais que mostram altura, largura e profundidade do local previsto para o implante. Levando a uma segurança maior, proporcionando cirurgias seguras e auxiliando tanto na conduta profissional como na integridade do paciente (SILVEIRA, 2010).

Na Ortodontia é possível separar dentes do osso através do estudo tomográfico e criar um protótipo apenas de dentes, o que permite a avaliação da dentição do paciente, inclusive o posicionamento exato de dentes inclusos, o que auxilia na elaboração do diagnóstico e plano de tratamento do paciente (SILVEIRA, 2010).

Na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial o uso de modelos físicos também cria melhores pré-requisitos para planejamento e simulação da cirurgia complexa. Com um modelo físico na mão, um cirurgião é capaz de exercer sobre o modelo com as ferramentas cirúrgicas habituais, permitindo ensaiar diferentes planos cirúrgicos de forma realista. Com base nisso, a cirurgia pode ser simulada de uma maneira que não é possível, mesmo com as mais recentes tecnologias de visualização. Tal planejamento intensivo de procedimentos cirúrgicos permite a seleção sobre a melhor abordagem técnica. Além disso, a comunicação entre o cirurgião e o paciente antes de uma cirurgia complicada pode ser claramente melhorada pela utilização de modelos físicos (LIU, 2006).

A Odontologia atual exige padrões de qualidade muito superiores, sob dois itens fundamentais, funcionalidade e estética (BALEM, 2010).

6 CONCLUSÃO

A utilização da Prototipagem Rápida na Odontologia traz uma série de benefícios, tanto para o profissional, quanto para o paciente. A tendência é que cada vez mais os cirurgiões dentistas utilizem os protótipos como um recurso no seu dia-a-dia. A comparação entre a peça maxilar e o protótipo, proporcionou grande validade ao trabalho, pois esta mostrou resultados aproximados, tendo como interferências pontos como a função motora do operador, o uso do material Cianocrilato que gera uma expansão no protótipo e ter marcações coerentes a estrutura anatômica e o protótipo. A Prototipagem torna-se mais popular no meio odontológico, assim viabilizando acesso e diminuindo o seu custo.

REFERÊNCIAS

ANTAS, A. F.; LINO, F. J.; NETO, R. *Utilização das tecnologias de prototipagem rápida na área médica*. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2008.

BALEM, F. P. *A utilização da Prototipagem Rápida na Odontologia*. Monografia (Curso de Especialização em Radiologia e Imaginologia – Especialização) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, f. 19, Porto Alegre, 2010.

CAVALCANTI, M. G.; SALES, M. A. Tomografia computadorizada. In: CAVALCANTI, Marcelo G. P. *Diagnóstico por imagem da face*. São Paulo: Santos, Cap. 1, p. 3-44, 2008.

CAVALCANTI, M. *Tomografia computadorizada por feixe cônico: interpretação e diagnóstico para o cirurgião-dentista*. São Paulo: Santos, 2010. p. 4-12.

CHAN, D. C. et al. Application of Rapid Prototyping to Operative Dentistry Curriculum. *Journal of Dental Education*. V.68, n. 1, 2004.

FAOT, F. et al. Tilted implants and prototyping: a security option for improving the anchorage in atrophic maxilla. *Dentistry*, 2013.

- LIMA, J. M. C. et al. Removable Partial Dentures: Use of Rapid Prototyping. *Journal of Prosthodontics*. São José dos Campos, São Paulo, n. 23, 2014.
- LINO, F. J.; NETO, R. J. *A Prototipagem Rápida na Indústria Nacional*. 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica da Ordem dos Engenheiros. Coimbra, 2000.
- LIU, Qingbing et al. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. University of Missouri, Rolla, USA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 29, p. 317-335, 2005.
- MAIA, M. et al. Reconstrução da estrutura facial por biomateriais: revisão de literatura. *Rev. Bras. Cir. Plást.* v. 25(3), p. 566-72, 2010.
- MEIRA, C. R. et al. Desenvolvimento de pó à base de gesso e *binder* para prototipagem rápida. *Cerâmica*, São Paulo, v. 59, n. 351, 2013.
- MELLO, C. H. P. et al. Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo e tempo. In: XXVI ENEGEP 2006, Fortaleza, Ceará. *Anais do XXVI ENEGEP*, Fortaleza, 2006.
- MEURER, M. I. et al. Aquisição e manipulação de imagens por tomografia computadorizada da região maxilofacial visando à obtenção de protótipos biomédicos. *Radiol Bras.*, v. 41(1), p. 49-54, 2008.
- MORAES, T. F.; ROSPENDOWSKI, T. A. M.; AMORIM, P. H. J. Medições em Imagens Médicas Tridimensionais utilizando VTK. Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer. Campinas/SP, 2008.
- PAIVA, W. S. et al. Application of the Stereolithography Technique in Complex Spine Surgery. *Arq Neuropsiquiatr. Internetal Open Acess Journal of the American Society of Plastic Surgeons*, n. 65(2-B), p.443-445, 2007.
- SAFIRA, L. C. et al. Aplicação dos biomodelos de prototipagem rápida na Odontologia, confeccionados pela técnica da impressão tridimensional. *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*, n. 9(3), p. 240-246, 2010.
- SILVEIRA, B. S. *Utilização dos Materiais e Sistemas de Prototipagem Rápida na Odontologia*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, f. 22, Porto Alegre, 2010.
- SOARES, P. V. et al. Rapid Prototyping and 3D-Virtual Models for Operative Dentistry Education in Brazil. *Journal of Dental Education*, v. 77, n. 3, 2013.
- SUN, J.; ZHANG, F. Q. The Application of Rapid Prototyping in Prosthodontics. *Journal of Prosthodontics*, v. 21, p. 641-644, 2012.

ANEXO A - CARTA DE APRESENTAÇÃO

ANEXO A – Carta de apresentação ao Comitê de Ética e Pesquisa

Santa Cruz do Sul, abril de 2015.

Ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP/UNISC)

Prezados Senhores,

Declaramos para os devidos fins conhecer o protocolo de pesquisa intitulado: **“ANÁLISE DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA MAXILAR”**, desenvolvido pelo(a) acadêmico(a) Taís Fernanda Rinaldi, do Curso de Odontologia, da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC, sob a orientação do professor Paulo Swarowsky, bem como os objetivos e a metodologia de pesquisa e autorizamos o desenvolvimento na Clínica de Radiologia Radiodonto de Santa Cruz do Sul e no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos na Universidade de Santa Cruz do Sul.

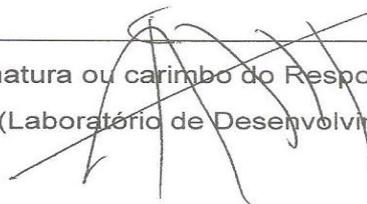
Informamos concordar com o parecer ético que será emitido pelo CEP/UNISC, conhecer e cumprir com a Resolução do CNS 466/12 E DEMAIS Resoluções Éticas Brasileiras. Esta instituição está ciente das suas corresponsabilidades como instituição co-participante do projeto de pesquisa e no seu compromisso do resguardo da segurança e bem estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de infraestrutura necessária.

Atenciosamente,



Assinatura ou carimbo do Responsável Institucional
(Clínica de Radiologia Radiodonto)

Assinatura ou carimbo do Responsável Institucional
(Laboratório de Desenvolvimento de Produtos)



ANEXO B - OFÍCIO MATERIAL BIOLÓGICO

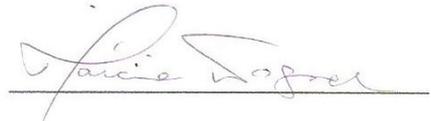
ANEXO C – Ofício de Solicitação e Liberação de Material Biológico

Senhora Leda Maria Bartholdy.

Eu, Taís Fernanda Rinaldi, acadêmica concluinte do curso de Odontologia da UNISC, matrícula 78451, venho através do presente solicitar à Vossa Senhoria uma maxila para ser usada em um estudo, meu trabalho de conclusão de curso. Pretendo realizar uma tomografia e após a prototipagem e analisar as medidas entre a maxila e o protótipo. Tenho como orientador do trabalho o Professor Paulo Swarowsky, especialista em Radiologia Odontológica.

A tomada tomográfica será realizada na clínica de radiologia Radiodonto, Rua Marechal Deodoro 110, Centro – Santa Cruz do Sul, e a prototipagem será realizado no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos, na Universidade de Santa Cruz do Sul.

Comprometo-me a retirar os ossos nos dias previstos para os procedimentos e devolver, após as experiências, antes do fim do último turno de expediente do laboratório.



Prof Dr. Márcia Helena Wagner



Prof Esp. Paulo Swarowsky



Taís Fernanda Rinaldi

Acadêmica

APÊNDICE A - FICHA USADA PARA REGISTRO DAS MEDIDAS

REGIÃO	ESPAÇOS DENTÁRIOS	MAXILA	PROTÓTIPO
ANTERIOR	14-23	34,0965	34,1596
LATERAL DIREITA	16-18	4,5013	4,9535
LATERAL ESQUERDA	25-28	18,8316	18,3900

As medidas estão expressas em decímetros.