



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Rogélio Carpes Pinheiro

**DESIGN & CIRURGIA PLÁSTICA: Contribuições Técnicas e Metodológicas para o
Planejamento Cirúrgico Virtual**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2023

ROGÉLIO CARPES PINHEIRO

**Design & Cirurgia Plástica: Contribuições Técnicas e Metodológicas para o
Planejamento Cirúrgico Virtual**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Design.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Gonçalves
Teixeira

Porto Alegre

2023

Catálogo da Publicação

Pinheiro, Rogélio Carpes
Design & Cirurgia Plástica: Contribuições Técnicas
e Metodológicas para o Planejamento Cirúrgico Virtual
/ Rogélio Carpes Pinheiro. -- 2023.
163 f.
Orientador: Fábio Gonçalves Teixeira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Design Virtual. 2. Cirurgia Plástica. 3.
Planejamento Cirúrgico Virtual. I. Teixeira, Fábio
Gonçalves, orient. II. Título.

Rogélio Carpes Pinheiro

DESIGN & CIRURGIA PLÁSTICA: Contribuições Técnicas e Metodológicas para o Planejamento Cirúrgico Virtual

Porto Alegre, 17 de março de 2023.

Prof. Dr. Fabio Pinto da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira**

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS

Prof. Dr. Fernando Batista Bruno

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG/UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares

Programa de Pós-Graduação em Medicina – PGCIRUR/UFRGS – Examinador Externo

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Programa de Pós-Graduação em Design – PGDesign/UFRGS – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

À Fernanda Trein, pelo seu amor, apoio e compreensão, necessários à realização do doutorado. Aos meus irmãos e, em especial, aos meus pais, por facilitarem sempre que possível a minha vida para que eu pudesse me concentrar nesse projeto.

Aos professores do PGDesign da UFRGS, em especial ao meu orientador Fábio Gonçalves Teixeira, pelos ensinamentos, compreensão das minhas limitações e confiança no meu trabalho. Muito, muito obrigado!!! Também, aos professores Fernando Batista Bruno, Regio Pierre da Silva e professora Tânia Luisa Koltermann da Silva, membros das minhas bancas de ingresso, qualificação e defesa, pelas suas considerações, ideias e apoio à essa tese, não só nesses *stage gates*, como, principalmente, no dia a dia de pesquisa. Foi uma honra conviver e aprender com vocês nesse período.

Ao Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares e sua equipe do HCPA, em especial a Profa. Dra. Daniele Walter Duarte, que são referências em suas especialidades e, ainda assim, abrem portas para trabalhos interdisciplinares, como este, na busca por resultados cada vez melhores a seus pacientes.

Aos colegas do VID, pela amizade, cafés, discussões científicas e avulsas, que também ajudaram em diversos níveis a execução do trabalho: Clariana, Guilherme, Gustavo, Felipe, Flora, Kelin, Rebeca, Stella, muito obrigado!

Agradeço à CAPES, por financiar esta pesquisa.

“, nevermind”
KURT COBAIN

RESUMO

PINHEIRO, R. C. **Design & Cirurgia Plástica: Contribuições Técnicas e Metodológicas para o Planejamento Cirúrgico Virtual.** 2023. 163 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola de Engenharia / Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

O objetivo desta tese é apresentar uma abordagem virtual integrada para o planejamento cirúrgico, baseado na obtenção dos dados 3D do paciente, planejamento em software CAD e fabricação digital de guias cirúrgicos. Existem, atualmente, diversos softwares, bem como equipamentos para escaneamento 3D, específicos para planejamento cirúrgico virtual, porém, possuem custos elevados. Nesse contexto, esse trabalho propõe a aplicação de softwares livres e *hardwares* de baixo custo para essas funções, aliados a equipamentos já utilizados no planejamento cirúrgico tradicional, como a tomografia computadorizada, propiciando, assim, um acesso amplo a esse modelo de planejamento. Utilizando a metodologia *Design Science Research*, essa tese caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, com uma abordagem qualitativa e finalidade prescritiva. Como resultados, se tem a proposição de técnicas e metodologias relacionadas ao design virtual para auxiliar profissionais, tanto da área médica quanto de design e áreas afins, a incluírem o planejamento cirúrgico virtual ao seu fluxo de trabalho, em casos em que o planejamento tradicional apresenta limitações.

Palavras-chave: Design Virtual. Cirurgia Plástica. Planejamento Cirúrgico Virtual.

ABSTRACT

PINHEIRO, R. C. **Design & Plastic Surgery: Technical and Methodological Contributions to Virtual Surgical Planning.** 2023. 163 p. Thesis (Doctorate in Design) – Engineering School / Faculty of Architecture, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

The objective of this thesis is to present an integrated virtual approach to surgical planning, based on obtaining 3D patient data, planning using CAD software and digital manufacturing of surgical guides. Currently, there are several softwares, as well as equipment for 3D scanning, specific for virtual surgical planning, however, they have high costs. In this context, this work proposes the application of free software and low cost hardware for these functions, together with equipments already used in traditional surgical planning, such as computed tomography, thus providing broad access to this planning model. Using the Design Science Research methodology, this thesis is characterized as an exploratory research, with a qualitative approach and descriptive purpose. As a result, it is proposed techniques and methodologies, linked to virtual design, to assist professionals, both in the medical and design fields, along with related areas, when including virtual surgical planning in their workflow, in cases where traditional planning has limitations.

Keywords: Virtual Design. Plastic Surgery. Virtual Surgical Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de aplicação da pesquisa	21
Figura 2. Metodologia de desenvolvimento de produto	22
Figura 3. Exemplo de Sequência Pierre Robin: (A) Pré e (B) Pós operatório	25
Figura 4. Exemplo de paciente de cirurgia ortognática.....	26
Figura 5. Representação dos termos relacionados à metodologia de projeto	29
Figura 6. Representação Gráfica do Modelo de Referência.....	31
Figura 7. Exemplo da sobreposição de atividades	32
Figura 8. Macrofases e fases do PDP.....	34
Figura 9. Métodos de representação linear (A), cascata (B) e espiral (C)	36
Figura 10. Metodologia para sobreposição de tecidos moles à TC	41
Figura 11. Fluxograma de comparação pré e pós-cirúrgico	41
Figura 12. Atores envolvidos no VSP.....	42
Figura 13. Abordagem colaborativa de planejamento virtual.....	43
Figura 14. Software de VSP como centro da metodologia	44
Figura 15. Metodologia comum de VSP.....	45
Figura 16. Metodologia de composição dos scans intraorais à TC.....	46
Figura 17. Relação do PLM com o planejamento cirúrgico virtual.....	47
Figura 18. Processo genérico de planejamento cirúrgico virtual	47
Figura 19. Metodologia de comparação Pré e Pós-operatório	48
Figura 20. Tecnologias de escaneamento tridimensional.....	50
Figura 21. Exemplo de escaneamento por fotogrametria para a área médica	51
Figura 22. Alinhamento das fotos para criação da malha 3D	52
Figura 23. Ângulo entre fotos.....	53
Figura 24. Luz uniforme (direita) adequada e inadequada (esquerda)	53
Figura 25. Marcações no paciente para facilitar o cálculo de fotogrametria	54
Figura 26. Exemplo de projeção induzida	54
Figura 27. Tipos de projeção para luz estruturada	54
Figura 28. Sobreposição de fotos	55
Figura 29. Digitalização através do Artec (A) e do Kinect (B).....	58
Figura 30. Alinhamento do rosto e espelhamento da orelha	59
Figura 31. Modelo da orelha espelhada para impressão 3D	59
Figura 32. A) Projeto do molde; B) Ilustração do uso molde para a extração da cartilagem	60
Figura 33. Molde para marcação dos volumes do implante	60
Figura 34. Processo de desenvolvimento do molde da hélice.....	61
Figura 35. Projeto do implante	61
Figura 36. Projeto da máscara para posicionamento	62
Figura 37. <i>Templates</i> prontos para serem utilizados na sala cirúrgica	63

Figura 38. Utilização da máscara de posicionamento	64
Figura 39. Molde negativo da hélice e cartilagem modelada.....	64
Figura 40. (A) Molde para retirada da cartilagem; (B) Molde; (C) cartilagem costal	64
Figura 41. Modelagem do implante pelo cirurgião com o uso dos templates	65
Figura 42. Modelo do implante, implante moldado e molde para marcação.....	65
Figura 43. Utilização da máscara de posicionamento ao fim da cirurgia	66
Figura 44. Exemplo de paciente com Pierre Robin	67
Figura 45. Evolução do tratamento com distração osteogênica	68
Figura 46. Alívio da obstrução lingual através da DO.....	68
Figura 47. Exemplo de distração óssea da mandíbula.....	69
Figura 48. Transferência do VSP para a cirurgia	70
Figura 49. Sequência de aplicação do gabarito de VSP	71
Figura 50. Distratores externos.....	72
Figura 51. Distrator utilizado nas cirurgias de Pierre Robin.....	73
Figura 52. Osteotomias e vetores	73
Figura 53. Planos das osteotomias	74
Figura 54. Áreas a serem evitadas nas osteotomias (em vermelho).....	74
Figura 55. Ângulo de distração	75
Figura 56. Exemplo de planejamento cirúrgico 2D.....	76
Figura 57. Transferência do VSP para a cirurgia	76
Figura 58. Exemplo de aplicação do VSP	77
Figura 59. VSP de caso de assimetria mandibular.....	77
Figura 60. Possibilidades de transposições da cefalometria 2D.....	78
Figura 61. Etapas da metodologia fundamentada na DSR	81
Figura 62. Exemplos de buscas nas bases de dados ScienceDirect.....	84
Figura 63. Organização dos artigos para leitura.....	84
Figura 64. Exemplo de aplicação do método de reconstrução auricular.....	88
Figura 65. Demografia dos pacientes de reconstrução auricular.....	89
Figura 66. Estrutura de arquivos DICOMs	90
Figura 67. Visualização da Tomografia no 3DSlicer.....	91
Figura 68. Especificação das camadas osseas, dentais e superficiais.....	92
Figura 69. Tomografia importada no Blender	92
Figura 70. Importação em alta resolução da mandíbula.....	93
Figura 71. Tomografia de um caso de Pierre Robin	93
Figura 72. Planos das osteotomias	94
Figura 73. Planos da osteotomia	95
Figura 74. Ângulo de distração	96
Figura 75. Teste do posicionamento dos gabaritos na mandíbula	96
Figura 76. Gabaritos na sala cirúrgica	97
Figura 77. Posicionamento do gabarito na cirurgia	98

Figura 78. Distratores posicionados.....	98
Figura 79. Dimensões cefalométricas para aferir a distração.....	99
Figura 80. Tomografia do segundo caso.....	100
Figura 81. Projeto do gabarito direito.....	101
Figura 82. Detalhes do gabarito.....	101
Figura 83. Comparação do modelo virtual com o impresso.....	102
Figura 84. Gabarito aplicado na cirurgia.....	102
Figura 85. Pierre Robin com assimetria sagital.....	103
Figura 86. Cefalometria em caso de Pierre Robin.....	103
Figura 87. Impressão quebrada devido ao tamanho.....	104
Figura 88. Indicação das posições das osteotomias e canaletas.....	105
Figura 89. Teste de estabilização do gabarito.....	105
Figura 90. Dificuldades de projeto: tamanho e assimetria.....	106
Figura 91. Quebra do gabarito impresso.....	107
Figura 92. Comparativo do gabarito com o VSP.....	108
Figura 93. <i>Offset</i> do nervo alveolar.....	109
Figura 94. Posicionamento das osteotomias.....	109
Figura 95. Simulação da DO e impacto nos tecidos moles.....	110
Figura 96. Comparação pós-cirúrgico e VSP.....	110
Figura 97. Casos estudados de Pierre Robin.....	111
Figura 98. Exemplo de imagens do planejamento cirúrgico atual.....	113
Figura 99. TC de paciente de cirurgia ortognática.....	113
Figura 100. Dados cefalométricos utilizados no planejamento cirúrgico.....	114
Figura 101. Pontos cefalométricos aplicados à TC.....	115
Figura 102. Sobreposição da fotogrametria / tomografia.....	115
Figura 103. Detalhes da fotogrametria.....	116
Figura 104. Malha tridimensional da área dental.....	116
Figura 105. Escaneamento das arcadas dentárias.....	117
Figura 106. Modelo configurado para o VSP.....	118
Figura 107. Posição das osteotomias da mandíbula.....	118
Figura 108. Configuração das posições ósseas finais.....	119
Figura 109. Reposicionamento dos pontos S, N, A e B.....	120
Figura 110. Visualização pré-operatória (A) e resultado do VSP (B).....	120
Figura 111. Gabarito da osteotomia e simetrização da maxila.....	121
Figura 112. Gabarito de posicionamento da maxila.....	122
Figura 113. Reposicionamento da mandíbula.....	122
Figura 114. Gabarito para posicionamento do mento.....	123
Figura 115. Fratura óssea – zigoma e maxila.....	124
Figura 116. Local do tecido doador e organização da reconstrução.....	125
Figura 117. Posicionamento do tecido doador.....	125

Figura 118. Isolamento de cada perfil do tecido doador.....	126
Figura 119. Impressão do crânio do paciente	126
Figura 120. Exemplos do objetivo da cirurgia	127
Figura 121. Exemplo de distrator externo rígido.....	127
Figura 122. Posicionamento do distrator RED	128
Figura 123. Exemplo de paciente	128
Figura 124. Impressão 3D do crânio	129
Figura 125. Paciente com defeito mandibular	129
Figura 126. Estudo da mandíbula com <i>splint</i> de posicionamento final	130
Figura 127. Impressão do crânio e mandíbula com simetria ideal.....	131
Figura 128. Planejamento a partir da impressão 3D e distrator físico	131
Figura 129. Exemplo de pré e pós-operatório de mamoplastia	132
Figura 130. Análise de modificação dimensional	133
Figura 131. Análise de simetria e volumetria pós-cirúrgica	134
Figura 132. Análise volumétrica e de simetria.....	134
Figura 133. Orelha escaneada através de fotogrametria	135
Figura 134. Testes com projeção de padrões de textura	136
Figura 135. Exemplo de digitalização de um rosto.....	136
Figura 136. Corpo inteiro escaneado através de fotogrametria.....	137
Figura 137. Fotogrametria para reconstruções auriculares	138
Figura 138. Escaneamento pré-cirúrgico	138
Figura 139. Simplificação dos modelos.....	139
Figura 140. Sequência de fotos para VSP de reconstrução auricular	140
Figura 141. Resolução das fotos e marcação de pontos.....	141
Figura 142. Modelo 3D texturizado e liso da orelha saudável	142
Figura 143. Modelo 3D da microtia	142
Figura 144. Desenho total do modelo	144
Figura 145. Planejamento de projeto	145
Figura 146. Engenharia reversa.....	146
Figura 147. Exemplo de visualização de voxels a partir de uma TC.....	146
Figura 148. Vista geral da etapa projeto CAD	147
Figura 149. Etapa inicial da etapa CAD	148
Figura 150. Exemplo de graus de influência dos segmentos ósseos nos tecidos moles	149
Figura 151. Etapa intermediária de CAD.....	149
Figura 152. Etapa de projeto dos <i>splints</i>	150
Figura 153. Fabricação digital.....	151
Figura 154. Cirurgia	151
Figura 155. Validação	152

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Princípios para a elaboração de modelos de referência.....	33
Quadro 2. Decomposição de fases de metodologias projetuais.....	35
Quadro 3. Objetivos e Procedimentos metodológicos.....	82

ABREVIATURAS E SIGLAS

2D: Duas Dimensões

3D: Três Dimensões

CAS: Computer Aided Surgery – Cirurgia Auxiliada por Computador

CASS: Computer Aided Surgical Planning – Planejamento Cirúrgico Auxiliado por Computador

CAD: Computer Aided Design - Projeto Auxiliado por Computador

CAE: Computer Aided Engineering - Engenharia Auxiliada por Computador

CAM: Computer Aided Manufacturing - Manufatura Auxiliada por Computador; Fabricação Digital

DICOM: Digital Imaging and Communication in Medicine

DO: Distração Osteogênica

DSR: Design Science Research – Pesquisa Científica de Design

FDM: Fused Deposition Modeling – Modelagem por Deposição Fundida

GR: Graus

ICP: Iterative Closest Point – Ponto Iterativo Mais Próximo

INPI: Instituto Nacional da Propriedade Industrial

HCPA: Hospital de Clínicas de Porto Alegre

MB: Megabytes

ML: Mililitros

MM: Milímetros

NA-MIC: National Alliance for Medical Image Computing

PDP: Processo de Desenvolvimento de Produtos

PLA: Políácido Láctico

PLM: Product Lifecycle Management - Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto

PMI: Project Management Institute

PMMA: Polimetil-Metacrilato

PPG: Programa de Pós-Graduação

PR: Prototipagem Rápida

RE: Reverse Engineering - Engenharia Reversa

RI: Radiação Ionizante

RS: Rio Grande do Sul

SPR: Sequência Pierre Robin

SUS: Sistema Único de Saúde

TC: Tomografia Computadorizada

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ViD: Laboratório Virtual Design

VSP: Virtual Surgical Planning - Planejamento Cirúrgico Virtual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PROBLEMA E HIPÓTESE	22
1.2	OBJETIVOS	23
1.3	DELIMITAÇÃO	24
1.4	JUSTIFICATIVA	24
1.5	ESTRUTURA DA PESQUISA	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1	METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	28
2.1.1	Modelo de Referência	31
2.1.2	Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)	33
2.1.3	Metodologias de Projeto	34
2.1.3.1	Requisitos para a elaboração do modelo para VSP	37
2.2	PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL (VSP)	37
2.2.1	Abordagens Metodológicas de VSP	40
2.3	ENGENHARIA REVERSA – TOMOGRAFIA E DIGITALIZAÇÃO 3D	49
2.3.1	Fotogrametria	52
2.4	PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS ABORDADOS	55
2.4.1	Reconstrução Auricular	56
2.4.1.1	Processo de VSP de Reconstrução Auricular	58
2.4.2	Sequência Pierre Robin	67
2.4.2.1	Sequência Pierre Robin no HCPA	72
2.4.3	Cirurgia Ortognática	75
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	79
3.1	DELINEAMENTO	80
3.1.1	Diagnóstico	83
3.1.1.1	Revisão da Literatura	83
3.1.2	Planejamento	85
3.1.3	Desenvolvimento	85
3.1.4	Avaliação	85
3.1.5	Conclusão	86

4	INSTANCIÇÕES E EVOLUÇÃO DO MODELO VSP	87
4.1	RECONSTRUÇÃO AURICULAR.....	87
4.2	SEQUÊNCIA PIERRE ROBIN	89
4.2.1	Importação da Tomografia Computadorizada – DICOMs	90
4.2.2	Casos acompanhados de PRS	93
4.2.3	Síntese dos casos de PRS	111
4.3	CIRURGIA ORTOGNÁTICA	112
4.4	POTENCIAIS APLICAÇÕES FUTURAS.....	124
4.4.1	Reconstrução Facial.....	124
4.4.2	Craniossinostose.....	126
4.4.3	Distração De Sínfise Mandibular	129
4.4.4	Mamoplastia de Aumento	132
4.5	MÉTODO DE ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAL	135
4.5.1	Método de Escaneamento Reconstrução Auricular.....	140
5	MODELO DE VSP	144
5.1	PLANEJAMENTO DE PROJETO	144
5.2	ENGENHARIA REVERSA	145
5.3	PROJETO CAD	147
5.4	FABRICAÇÃO DIGITAL.....	150
5.5	CIRURGIA.....	151
5.6	VALIDAÇÃO	152
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	156
	REFERÊNCIAS	158

1 INTRODUÇÃO

O processo de design requer, além do conhecimento de suas técnicas, a ciência sobre seu processo, ou seja, as noções necessárias para proceder de forma eficaz e eficiente. Isso implica que, para a concepção de um produto, os designers devem recorrer a diversas áreas do conhecimento científico, bem como a métodos e ferramentas diversas para apoiar a aplicação desse conhecimento (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

A atividade de design consistia, até algumas décadas atrás, em uma tarefa de uma única pessoa, cuja experiência permitia visualizar todo o processo de resolução do problema. Com a complexidade crescente dos produtos e processos, o ato de projetar passou a exigir um conjunto de conhecimentos interdisciplinares, já que o uso de novas técnicas e teorias se tornou indispensável. As metodologias de projeto surgem, então, para evitar o reducionismo de basear-se apenas em experiências individuais (BOMFIM, 1995). Essas novas abordagens projetuais são mediadas por propostas de novas metodologias e por diferentes usos das ferramentas do Design (MOREIRA; BERNARDES; ALMENDRA, 2016).

Esse cenário interdisciplinar implica no design passando do contexto tecnicista, rígido e linear, para o âmbito tecnológico, flexível e multidimensional. Há a necessidade de meios auxiliares para estruturar as etapas de projeto, levando em consideração o incremento de informações relacionadas ao desenvolvimento de cada produto. Dessa forma, os métodos são determinados pelos fins, ou seja, a metodologia projetual a ser utilizada depende do produto a ser desenvolvido (BÜRDEK, 2006).

Atualmente, é comum as empresas adotarem metodologias específicas ou *frameworks* para orientar o desenvolvimento de seus produtos. Os modelos metodológicos mais detalhados especificam procedimentos, métodos, ferramentas e critérios de avaliação, além de conceitos e referências que precisam ser considerados para a realização de um projeto (ROZENFELD *et al.*, 2006). Uma etapa central do desenvolvimento de produtos é o Design Virtual, que se caracteriza pela utilização de meios digitais, integrando uma base teórica a tecnologias e metodologias específicas para essa função, configurando-se, dessa forma, como ciência aplicada.

O CAD¹, CAE², CAM³ e a RE⁴ são exemplos de aplicação do Design Virtual, que possibilitam desde o estudo de diferentes alternativas, na fase de concepção, até a análise do fim da vida útil do produto, auxiliando, assim, em todas as etapas do seu desenvolvimento (TEIXEIRA *et al.*, 2008; DING *et al.*, 2019).

Se, por um lado, na área de bens de consumo, o Design Virtual já alcança todas as etapas envolvidas no processo, na medicina, o uso de tecnologias 3D tem uma utilização distinta. Enquanto produtos físicos são concebidos e projetados em softwares CAD, no caso da medicina o objeto 3D já existe (o corpo humano), e somente nas últimas décadas as tecnologias de virtualização se tornaram acessíveis para a obtenção de modelos tridimensionais de alta precisão do paciente (LANE; HARRELL, 2008; GARETTI; ROSA; TERZI, 2012; CHANDRASEGARAN *et al.*, 2013).

O corpo humano precisa ser considerado como um objeto tridimensional, já que quaisquer alterações, desde expressões faciais a procedimentos cirúrgicos, ocorrem em três dimensões. A importância de se pensar tridimensionalmente na cirurgia plástica se estende ao planejamento pré-operatório, análise da estética, discussão dos objetivos com os pacientes e simulação cirúrgica, constituindo-se como guia para o procedimento em si (CINGI; OGHAN, 2011).

A cirurgia plástica está comprometida com a precisão e exatidão de forma semelhante aos conceitos utilizados no desenvolvimento de produtos, uma vez que as duas áreas trabalham com objetos tridimensionais. Dessa forma, ferramentas do Design Virtual, como a digitalização tridimensional, aliada ao projeto em CAD e à fabricação digital, podem auxiliar o cirurgião no diagnóstico, análise, simulação, monitoramento do tratamento e avaliação de resultados (LANE; HARRELL, 2008).

O Planejamento Cirúrgico Assistido por Computador (*Virtual Surgical Planning*, ou simplesmente VSP), por sua vez, auxilia no tratamento de casos complexos, com benefícios para o paciente e para a prática cirúrgica. As ferramentas de software para o diagnóstico e planejamento da cirurgia permitem a preparação de planos operacionais detalhados, entre outras coisas, prevendo dificuldades do procedimento. Isso torna mais abrangente a elaboração do plano cirúrgico, aumentando o nível de detalhes e a precisão do tratamento (CEVIDANES *et al.*, 2010).

¹ Computer Aided Design: Projeto Auxiliado por Computador

² Computer Aided Engineering: Engenharia Auxiliada por Computador

³ Computer Aided Manufacturing: Manufatura Auxiliada por Computador; Fabricação Digital

⁴ Reverse Engineering: Engenharia Reversa

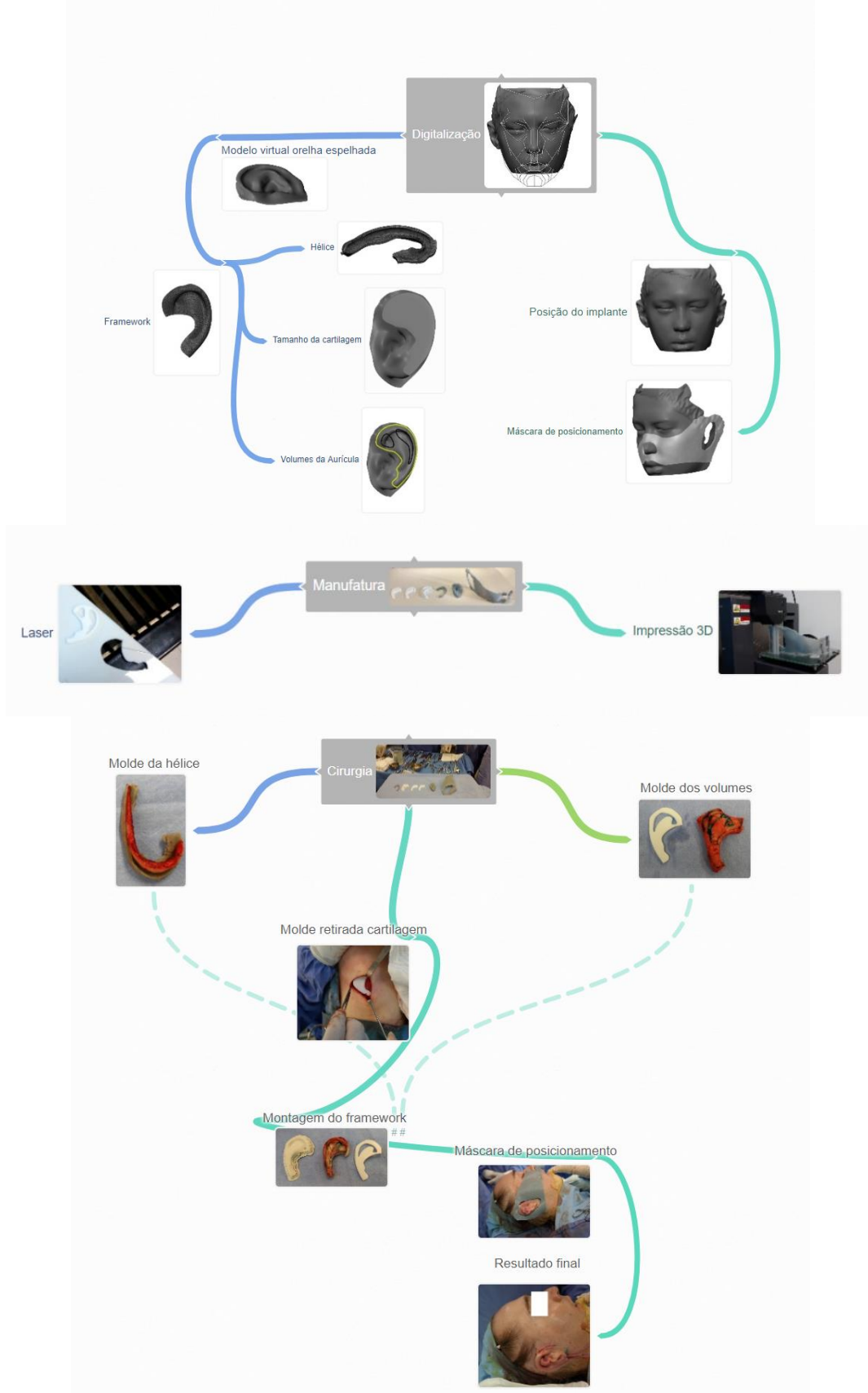
Esses avanços na computação de imagens tridimensionais para fins médicos, especificamente para a cirurgia plástica, possibilitaram inovações e permitiram resultados inéditos no diagnóstico virtual, planejamento de tratamento e análise dos resultados (SWENNEN; MOLLEMANS; SCHUTYSER, 2009a). No âmbito nacional e local, observa-se que, embora exista a aplicação do VSP em variados casos, não há uma abordagem metodológica projetual de Design orientando esse processo, o que pode torná-lo mais eficiente.

Observa-se que o uso do Design Virtual no desenvolvimento de produtos passou por estágios semelhantes à sua utilização no planejamento cirúrgico, e a evolução das metodologias possibilitaram o incremento de seu uso:

A maioria das empresas utiliza algum tipo de recurso virtual no desenvolvimento de seus produtos, mas são atividades isoladas como parte de um processo convencional. A falta de aplicação de metodologias apropriadas é um dos fatores que contribuem para que o Design Virtual não seja um padrão. Para mudar esse cenário, é necessário investir em pesquisa científica para desenvolver metodologias e sistemas de gestão que permitam o uso contínuo do Design Virtual como processo de desenvolvimento de produtos. (TEIXEIRA *et al.*, 2008)

Nesse sentido, esse projeto propõe-se a estender a aplicação de uma pesquisa já em andamento: o planejamento cirúrgico virtual de reconstrução auricular com material autógeno (PINHEIRO, 2015), envolvendo o Laboratório Virtual Design (ViD), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Design (PGDesign) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas (PPGCM) da mesma universidade, em conjunto com o Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA). Utilizando a abordagem projetual do Design, integrando procedimentos de digitalização e projeto 3D à fabricação digital, a pesquisa citada desenvolveu um método integrado, que inclui o planejamento cirúrgico baseado na imagem tridimensional do paciente, resultando em dispositivos personalizados que auxiliam o processo cirúrgico (Figura 1).

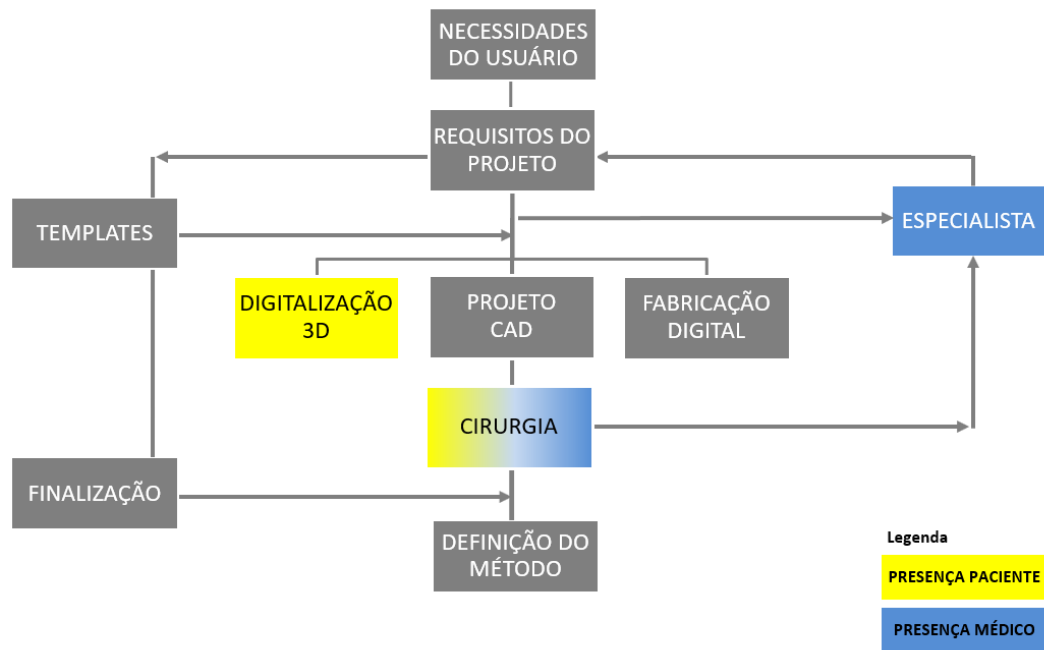
Figura 1. Diagrama de aplicação da pesquisa



Fonte: Pinheiro (2015).

A metodologia de desenvolvimento de produto utilizada na pesquisa (Figura 2) visa reduzir o tempo de cirurgia, minimizar o tamanho das incisões e quantidade de cartilagem costal retirada, além de aumentar a precisão dos resultados anatômicos (PINHEIRO, 2015). Esse trabalho resultou na patente depositada no INPI, sob o registro BR10201801042.

Figura 2. Metodologia de desenvolvimento de produto



Fonte: Pinheiro (2015).

Essa metodologia já foi aplicada, sob a coordenação do Prof. Dr. Marcus Vinícius Martins Collares, em mais de 25 cirurgias. No presente momento, existem aproximadamente 25 pacientes na fila de espera para cirurgia de reconstrução auricular no HCPA e, em todos os casos, é prevista a aplicação do método citado. De acordo com a equipe médica envolvida, seria um retrocesso retornar à técnica tradicional, sem o uso do planejamento cirúrgico virtual.

Dado o resultado alcançado, surgiu o interesse em expandir esse estudo para outras áreas da cirurgia plástica, resultando nas questões de pesquisa dessa tese.

1.1 PROBLEMA E HIPÓTESE

O problema da presente pesquisa é: como uma metodologia específica para planejamento cirúrgico virtual, utilizando uma abordagem amplamente acessível, através de *hardwares* de baixo custo e softwares livres, pode auxiliar na elaboração de produtos personalizados para a cirurgia plástica, contribuindo para que os procedimentos cirúrgicos sejam mais eficientes?

Dessa forma, pretende-se investigar como os processos de design podem auxiliar o planejamento de cirurgias ortognáticas, Sequência Pierre Robin, além do aprimoramento da pesquisa anterior, sobre reconstrução auricular (PINHEIRO, 2015).

A partir do problema, essa tese propõe a hipótese de que a sistematização dos Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDPs) e metodologias projetuais direcionados à indústria, bem como estudos das metodologias para planejamentos cirúrgicos virtual, com o uso de imagens 3D, ou seja, processos intrínsecos do design, fornecem parâmetros e diretrizes para a criação de um modelo específico para o planejamento virtual de cirurgias plásticas craniomaxilofaciais.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal da tese é o detalhamento de contribuições metodológicas e técnicas para planejamento cirúrgico virtual, aplicada à cirurgia plástica craniomaxilofacial, através da digitalização, projeto tridimensional e fabricação digital. Serão estudados os procedimentos de reconstrução auricular, cirurgia ortognática e Sequência Pierre Robin. Nessa abordagem, são utilizados, exclusivamente, softwares livres e *hardwares* de baixo custo, somados aos elementos que já fazem parte do planejamento tradicional.

Os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos a fim de atingir o objetivo principal:

1. Analisar os *frameworks*, modelos de referência, PDPs e metodologias projetuais mais utilizados na área do design, verificando a estrutura comum entre eles e identificando seus métodos (técnicas e ferramentas), para gerar parâmetros de evolução do modelo prévio para planejamento cirúrgico virtual.
2. Analisar a utilização do planejamento cirúrgico virtual nas cirurgias plásticas mencionadas no objetivo principal, com foco nas suas abordagens metodológicas, para compreender suas necessidades e peculiaridades, e a forma como os requisitos são atendidos.
3. Detalhar as técnicas de aquisição de dados de superfície 3D (Reverse Engineering - RE), definindo parâmetros e diretrizes para utilização no escaneamento dos pacientes, bem como a integração com a TC, utilizando *hardwares* acessíveis e de baixo custo, em combinação com softwares livres.
4. Conhecer os processos cirúrgicos abordados na pesquisa (reconstrução auricular, cirurgia ortognática e Sequência Pierre Robin) e suas possíveis relações com o VSP, no contexto do Hospital de Clínicas de Porto Alegre.
5. Aplicar e evoluir o modelo prévio para os processos cirúrgicos abordados na

pesquisa: reconstrução auricular, cirurgia ortognática e Sequência Pierre Robin. As aplicações englobam o VSP desde o escaneamento do paciente, passando pelo projeto e fabricação de dispositivos de auxílio à cirurgia (*splints*).

6. Propor um modelo de referência de VSP preliminar, a partir dos resultados em diferentes aplicações para integração das atividades comuns e das especificidades dos processos representados.

1.3 DELIMITAÇÃO

A fim de viabilizar a realização desta pesquisa, ela é delimitada em aspectos espaciais e temporais. A base da metodologia para o desenvolvimento desse projeto será baseada no trabalho já desenvolvido na dissertação de mestrado do autor (PINHEIRO, 2015), que utiliza a abordagem projetual do Design para estruturar as atividades de planejamento cirúrgico virtual dos processos cirúrgicos de reconstrução auricular.

Em termos espaciais, a pesquisa delimita-se às cirurgias plásticas no Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Quanto ao recorte temporal, são consideradas avaliações do modelo proposto com profissionais especialistas dessa instituição, no período de realização dessa tese de doutorado. O modelo proposto é avaliado sob o nível de implementação, por profissionais do HCPA, a partir da sua aplicação em paralelo ao planejamento cirúrgico tradicional. As aplicações propostas nessa tese, são elaboradas e testadas como uma abordagem adicional e/ou paralela, servindo para comparar com o processo cirúrgico tradicional, dessa forma, sem riscos adicionais ao paciente.

A disponibilidade efetiva de infraestrutura e apoio técnico disponíveis para o desenvolvimento do projeto são o Laboratório Virtual Design (ViD), da UFRGS, que conta com equipamentos, professores doutores e alunos de mestrado e doutorado, e o Grupo de pesquisa do Departamento de Cirurgia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, sob a coordenação do Dr. Marcus Vinicius Martins Collares, que tem à disposição as instalações do HCPA e profissionais qualificados para realizar os procedimentos cirúrgicos, entre médicos residentes, alunos de mestrado e doutorado, além de professores.

1.4 JUSTIFICATIVA

Após o trabalho interdisciplinar resultante da dissertação de mestrado já referida ter se mostrado relevante para a prática cirúrgica local, se tornando o método padrão de planejamento cirúrgico para casos de reconstrução auricular, buscou-se elencar outros tipos

de procedimentos que poderiam se beneficiar das tecnologias do Design Virtual. Assim, juntamente com o Departamento de Medicina da UFRGS, busca-se aprimorar e estender o método de forma a criar uma metodologia de projeto específica para o planejamento cirúrgico virtual, para ser aplicado não apenas nas cirurgias de **reconstrução auricular**, mas também nos casos de **Sequência de Pierre Robin** e de cirurgias **ortognáticas**.

A Síndrome ou Sequência de Pierre Robin (SPR) se caracteriza pela associação de micrognatia⁵ e glossoptose⁶, com e sem fissura do palato. Frequentemente, essa síndrome é diagnosticada logo no período neonatal e a criança pode apresentar desde leve dificuldade respiratória e alimentar até graves crises de asfixia, que podem levar ao óbito se não houver rápida intervenção médica (MARQUES *et al.*, 2005; CÔTÉ *et al.*, 2015). Há incidência na população geral de 1/8500 a 1/14000 nascidos vivos (MARQUES, 2011).

No caso da SPR (Figura 3), o Design Virtual tem o potencial de auxiliar o processo de planejamento cirúrgico utilizando, inicialmente, a tomografia computadorizada (TC) como fonte de dados 3D do paciente, para auxiliar o posicionamento das osteotomias e dos distratores necessários para o alongamento mandibular. Posteriormente, o uso do escaneamento tridimensional pode ser utilizado para o acompanhamento da evolução do tratamento, evitando o uso pós cirúrgico da TC, uma vez que a exposição excessiva à radiação advinda desse processo tem sido relacionada a um aumento do risco de câncer, especialmente na exposição pré-natal e infantil (BERNIER *et al.*, 2015).

Figura 3. Exemplo de Sequência Pierre Robin: (A) Pré e (B) Pós operatório



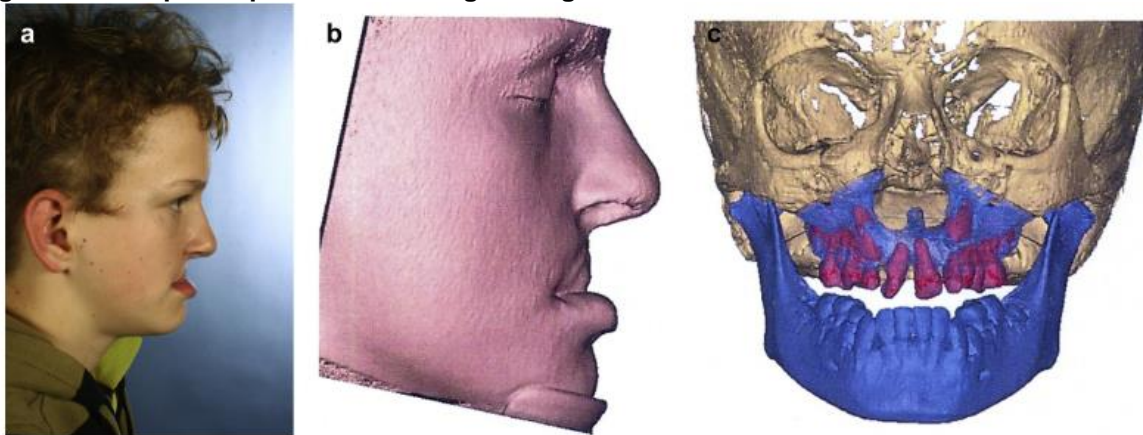
Fonte: Lee; Bradley (2014).

⁵ Deformação da mandíbula, que a deixa menor

⁶ Retração da língua

A cirurgia ortognática, por sua vez, busca a correção de deformidades dentofaciais, tornando a face mais funcional e, também, esteticamente harmoniosa. As assimetrias e desproporções elevadas comumente acarretam em dores no esqueleto mastigatório, entretanto, são as questões estéticas que levam a maior parte dos pacientes a buscarem esse procedimento (COSTA *et al.*, 2015). Levando em conta essas questões, para um resultado satisfatório, o plano cirúrgico deve considerar análises faciais, cefalométricas e das arcadas dentárias, que refletem diretamente nos contornos dos tecidos moles. Apesar de a TC já ser utilizada no HCPA para esses casos (Figura 4), permitindo a aquisição de imagens tanto do esqueleto facial quanto dos tecidos moles, o planejamento cirúrgico é organizado a partir de imagens bidimensionais extraídas da TC.

Figura 4. Exemplo de paciente de cirurgia ortognática



Fonte: Adolphs *et al.* (2014).

Assim, uma abordagem projetual para o planejamento cirúrgico baseada nas tecnologias do Design Virtual permite propor soluções através da simulação tridimensional, auxiliando o cirurgião durante o procedimento. Ainda, possibilita o acompanhamento pós-cirúrgico para a avaliação dos resultados, realimentando a base de dados e propiciando o aprimoramento do método de VSP.

As aplicações cirúrgicas aqui apresentadas demonstram a relevância deste projeto, uma vez que são procedimentos realizados em milhares de pessoas anualmente no país, e que podem ser aprimorados com o desenvolvimento dessa pesquisa. Além dos benefícios à prática médica e ao paciente em si, busca-se também reduzir custos relacionados a reoperações e, possivelmente, diminuir o uso de equipamentos de alto custo, como a TC. A partir deste trabalho, o modelo pode ser ampliado para outros procedimentos, auxiliando a popularização do VSP para outros procedimentos craniomaxilofaciais, uma vez que não se exige altos custos de implantação.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A tese está organizada em seis capítulos, sendo este de caráter introdutório, mostrando um panorama da pesquisa, fornecendo uma introdução à área em que o estudo se situa, descrevendo e explicando o problema, incluindo lacunas de conhecimento atuais, para formular questões e objetivos de pesquisa (JOHANESSON; PERJONS, 2007). Além disso, fornece uma visão geral do conteúdo da tese, explicitado a seguir.

A revisão da literatura, assunto do segundo capítulo, fornece uma síntese das contribuições relevantes existentes e identifica o teor fundamental para a pesquisa, seu nível de inovação e relevância, além de ajudar a esclarecer e aperfeiçoar o seu foco (JOHANESSON; PERJONS, 2007). Para tanto, será feita uma revisão sistemática acerca das metodologias de planejamento cirúrgico virtual, bem como sobre os procedimentos cirúrgicos abordados. Além disso, esse capítulo terá a sistematização de metodologias de desenvolvimento de produto, que podem contribuir para a construção do modelo VSP.

O terceiro capítulo aborda a metodologia da pesquisa, necessária para orientar o desenvolvimento do trabalho na consecução dos objetivos estabelecidos. As etapas de execução da proposta e das atividades deste projeto estão descritas detalhadamente nesse capítulo. Além dos detalhes sobre a metodologia de pesquisa, esse capítulo mostra os métodos utilizados para abordar cada questão e hipótese intrínsecas nos objetivos específicos, bem como a argumentação que embasa a metodologia e os métodos selecionados (BLESSING; CHAKRABARTI, 2009).

A presente tese ainda será composta pelos capítulos de avaliação e descrição do modelo VSP, além de um capítulo final de caráter conclusivo. O capítulo final desta tese reflete sobre o significado do estudo e seu impacto sobre a prática futura, além de avaliar em que medida o problema, objetivos e questões de pesquisa foram abordadas ao longo do estudo, juntamente com a eficácia e validade dentro de cada etapa da pesquisa. As descobertas são discutidas em contexto e, quando apropriado, comparado e contrastado com a literatura. Finalmente, uma descrição das oportunidades para futuras pesquisas também é descrita (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo de revisão da literatura científica estuda o planejamento cirúrgico virtual em cada um dos tipos de cirurgia delimitados na tese, a fim de investigar as principais etapas e atividades, bem como buscar a identificação de possibilidade de intervenção do Design Virtual. No intuito de orientar a construção do modelo serão revisados os principais PDPs e metodologias projetuais de design. Ainda, nesse sentido, serão estudadas as metodologias de VSP nas cirurgias em questão.

Para ser possível a utilização do Design Virtual na área da saúde, é necessário o conhecimento sobre como obter os dados tridimensionais do paciente. Assim, serão vistos os processos de engenharia reversa aplicáveis aos procedimentos abordados. Serão considerados a tomografia computadorizada e, especialmente, o escaneamento tridimensional.

2.1 METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

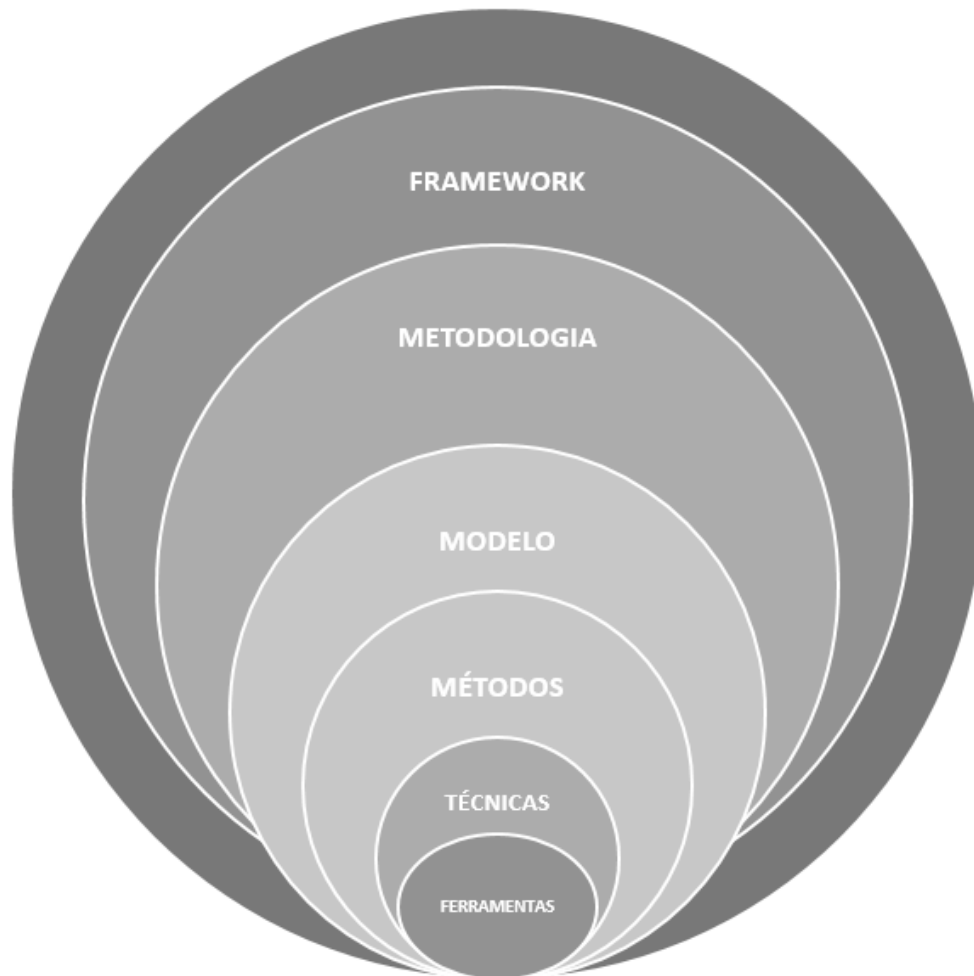
O conjunto de métodos, técnicas e ferramentas utilizados em um projeto configura-se como **metodologia projetual** e serve para guiar o trabalho nas suas diferentes etapas e fases na busca de solução para requisitos específicos (BOMFIM, 1995). Torna-se, dessa forma, parte essencial na presente tese.

As definições dos termos relacionados à metodologia projetual e seus componentes podem ser sintetizadas da seguinte forma (BOMFIM, 1995; MUNARI, 1998; BLESSING, 2009; DRESCH, LACERDA e ANTUNES JR, 2015; SCHERER, 2017):

- **Ferramentas:** são instrumentos físicos, virtuais ou conceituais empregados no cumprimento de uma ação.
- **Técnica:** compreende a ação menos complexa em termos de procedimentos envolvidos. São meios intermediários na solução de problemas, como matrizes, *brainstorming*⁷, cenários, cronogramas etc.
- **Método:** é uma diretriz metodológica, sendo o procedimento lógico, auxiliar no desenvolvimento de projetos. É o modo sistematizado de agir, sendo composto de várias técnicas.
- **Processo:** é o caminho, o passo a passo das fases que o método deve percorrer. Mostra a visão geral e conceitos de um modelo ou metodologia.
- **Metodologia:** é uma abordagem e um conjunto de métodos e diretrizes de suporte a serem usados como uma estrutura para aplicação em um projeto.

⁷ *Brainstorming*: técnica de geração de múltiplas ideias.

Figura 5. Representação dos termos relacionados à metodologia de projeto



Fonte: Autor.

O **framework**, como abordagem de projeto, pode ser descrito como uma estrutura que apresenta indicações para o processo projetual, podendo se apresentar de diferentes formas, como processos, métodos, conceitos, princípios, técnicas e etapas, desenvolvidos a partir de conhecimentos teóricos e experiências práticas (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013 *apud* PEREIRA, 2016). Uma vez que se tem essa estrutura (*framework*) aliada a um conjunto de padrões, ferramentas e práticas, a metodologia preenche as lacunas da estrutura.

O **modelo de referência**, por sua vez, é a representação gráfica ou textual de um processo ideal, que serve de base para a elaboração ou melhoria de uma metodologia de projeto específica de uma determinada área. A partir de um modelo de referência genérico, pode-se definir um específico para determinada aplicação, que se torna o manual de procedimentos para o projeto (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O conhecimento do processo de desenvolvimento de produtos apresenta reflexos importantes na maneira como ele é gerenciado. Considerando um cenário multidisciplinar, em que os membros da equipe de projeto não têm uma linguagem comum, os modelos de referência minimizam esses problemas, unificando os pontos de vista, nivelando os conhecimentos, passando a apresentar uma linguagem única e definindo um mapa que serve a todos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O modelo de PDP de Rozenfeld *et al.* (2006) originou-se da união das metodologias, estudos de caso, modelos, experiências e melhores práticas desenvolvidas e coletadas por pesquisadores da área. O núcleo central desse modelo, representado pela estruturação das etapas e atividades, é o foco do modelo de referência.

Dessa forma, a principal característica dos modelos de referência é a visão integrada do processo, em que os elementos, as estratégias, as atividades, as informações, os recursos, a organização e as interrelações são destacadas (ROZENFELD *et al.*, 2006). Assim, os modelos são responsáveis pela obtenção de uma maior compreensão dos processos estudados e praticados (ROMANO, F. V., 2003), tendo como principais funções:

- Adquirir e registrar o conhecimento para uso posterior;
- Definir uma base para diagnóstico do processo;
- Planejar e especificar avanços no processo diagnosticado;
- Simular o funcionamento do processo aperfeiçoado;
- Definir uma base para a tomada de decisão no desenvolvimento do processo;
- Racionalizar e garantir o fluxo de informações durante o processo.

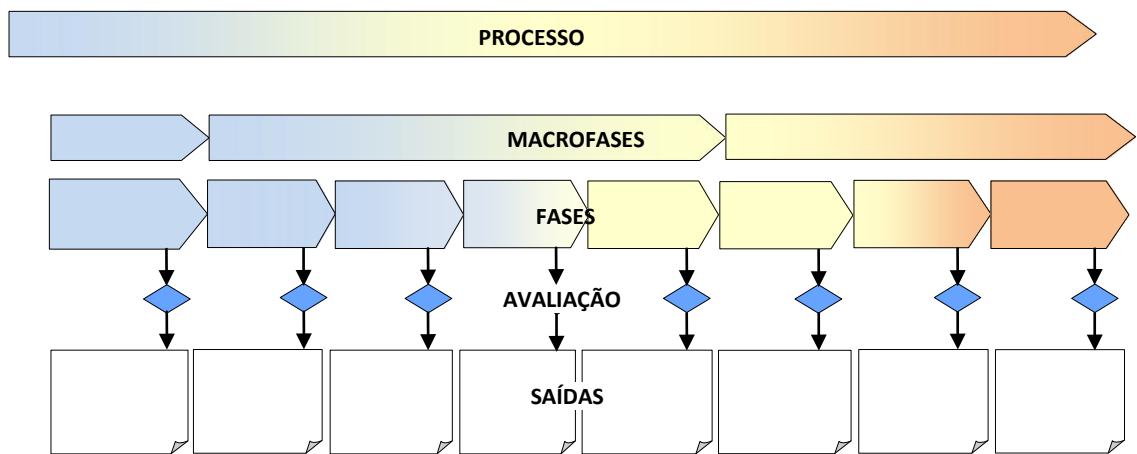
Observa-se que os conceitos de modelos de referência e *frameworks* têm pontos em comum e, pela característica desse trabalho, que abrange tanto a área do Design quanto da Medicina, sem entrar diretamente nos detalhes dos procedimentos cirúrgicos (da área de conhecimento específica da Medicina), será criado um modelo, em que parte das lacunas são preenchidas pelos conhecimentos relativos ao Design Virtual e outros pela Cirurgia Plástica.

Considerando a proximidade conceitual de Modelo de Referência, Metodologia Projetual e Processo de Desenvolvimento de Produtos e suas correlações com às áreas de conhecimento envolvidas nessa tese, é necessário abordá-los com maior profundidade no decorrer desse capítulo.

2.1.1 Modelo de Referência

Um exemplo de Modelo de Referência (Figura 6) é constituído pelo **Processo**, dividido em **Macrofases**, que, por sua vez, se decompõem em diversas **Fases**. A quantidade de macrofases e de fases dependerá do processo estudado e os pontos de avaliação dessas etapas levam a saídas, ou seja, aos resultados esperados de cada fase (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 6. Representação Gráfica do Modelo de Referência



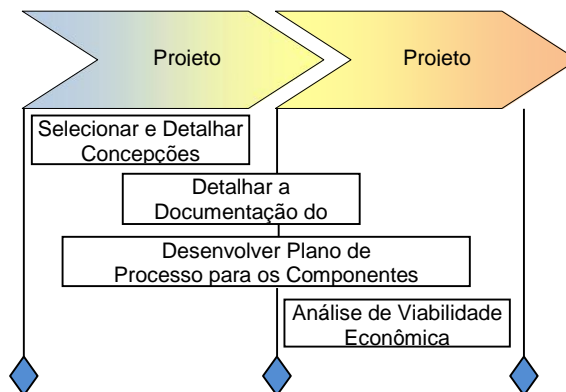
Fonte: Romano, L. N. (2003).

As fases são determinadas pela construção de um conjunto de resultados esperados, dessa forma, determinando a evolução do projeto. Os resultados criados nesta fase ficam congelados quando esta é finalizada e avaliada. A partir de saídas resultantes de outras fases, esses resultados podem ser revistos (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A avaliação do resultado de cada fase constitui-se um marco para análise do andamento do projeto, em que ocorre a verificação e a antecipação de possíveis problemas. Além disso, nesse momento são registrados aprendizados para projetos futuros. Esta avaliação, que é realizada através de um processo formalizado, é conhecida por transição de fase, composta por uma revisão ampla e detalhada, em que são consideradas a qualidade dos resultados obtidos, a situação do projeto em relação ao planejamento e o impacto dos problemas encontrados para sua sequência (ROZENFELD *et al.*, 2006).

A sequência na qual as fases se apresentam visa facilitar o entendimento do modelo. Entretanto, em determinados projetos, as atividades de uma fase podem ser realizadas, pelo menos parcialmente, dentro de outra (Figura 7), o que é característico nas tarefas executadas em paralelo ou simultaneamente no intuito de diminuir o tempo de desenvolvimento do processo (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Figura 7. Exemplo da sobreposição de atividades



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

Cada tarefa é definida por Entradas, Mecanismos, Controles e Saídas (ROMANO, F. V., 2003), como observa-se a seguir:

- Entradas podem ser informações ou objetos processados pela tarefa;
- Mecanismos podem ser recursos físicos e/ou informações importantes para sua execução;
- Controles são informações utilizadas para monitorar a atividade;
- Saídas podem ser informações ou objetos resultados da tarefa.

As tarefas do modelo de referência são classificadas por Domínios de Conhecimento, com o objetivo de identificar as pessoas e habilidades necessárias para sua realização (ROZENFELD *et al.*, 2006). A natureza multidisciplinar dos processos pode fazer com que determinadas tarefas estejam ligadas a mais de um Domínio de Conhecimento (ROMANO, F. V., 2003).

A modelagem do processo de projeto é uma etapa comum a qualquer esforço de melhoria, pois trata-se do levantamento da situação atual, em que se estuda os métodos e ferramentas necessárias para apresentar os processos com atividades, recursos, informações, fases, responsabilidades etc (ROMANO, F. V., 2003; ROZENFELD *et al.*, 2006). Quanto aos objetivos que justificam a modelagem de processos, podem-se citar:

- Estabelecer e nivelar o entendimento sobre o processo.
- Estabelecer uma base para planejar e especificar funções, informações, comunicação, etc.
- Estabelecer uma base para a tomada de decisões sobre o processo.
- Estabelecer uma base para simulação do funcionamento do processo, permitindo a identificação de problemas e promoção de melhorias no processo.
- Estabelecer uma base para a escolha e o desenvolvimento de sistemas computacionais de suporte ao processo.
- Estabelecer uma base para planejar o registro dos conhecimentos para uso posterior.

- Melhorar a interação e a comunicação entre os intervenientes no processo na medida em que permite racionalizar e garantir o fluxo de informações.
- Permitir uma maior eficiência na seleção, treinamento e adaptação de novos integrantes do processo. (ROMANO, F. V., 2003)

Os princípios que devem ser levados em consideração para a elaboração de modelos de referência são mostrados no Quadro 1:

Quadro 1. Princípios para a elaboração de modelos de referência

PRINCÍPIO	DESCRIÇÃO
Separação de conceitos	Modelar em partes, representando as áreas funcionais separadamente ou por domínio do problema.
Decomposição funcional	Abranger hierarquicamente todas as funções, decompondo-as num conjunto de subfunções até a descrição das funções mais específicas.
Modularidade	Facilitar as alterações de modo que possa ser atualizado e melhorado continuamente.
Generalização	Possibilitar a criação de classes genéricas que agrupem os objetos cujas propriedades sejam similares.
Reusabilidade	Utilizar blocos predefinidos ou reutilizar modelos parciais, reduzindo o tempo de desenvolvimento do modelo.
Separação entre procedimentos e funcionalidade	Os métodos (procedimentos) não podem ser confundidos com as atividades, permitindo modificações em um sem impacto ao outro, e vice-versa.
Separação entre processos e recursos	Separar o que deve ser feito dos recursos para fazê-lo, preservando a flexibilidade operacional.
Conformidade	Relacionado à exatidão sintática e semântica da representação no domínio da aplicação do modelo.
Visualização	Representação gráfica de fácil comunicação e entendimento.
Simplicidade vs adequação	Expressar de forma concisa, sem que se perca informações.
Gerenciamento da complexidade	Limitar a complexidade de fases através da sua decomposição.
Rigor da representação	Evitar ambiguidade e redundância, servindo como referência para a verificação de propriedades, análises e simulações do processo.
Separação entre dados e controles	Distinguir os dados necessários para a realização de um processo das informações necessárias para controlar o processo.

Fonte: Adaptado de Vernadat (1996) *apud* Romano, L. N. (2003).

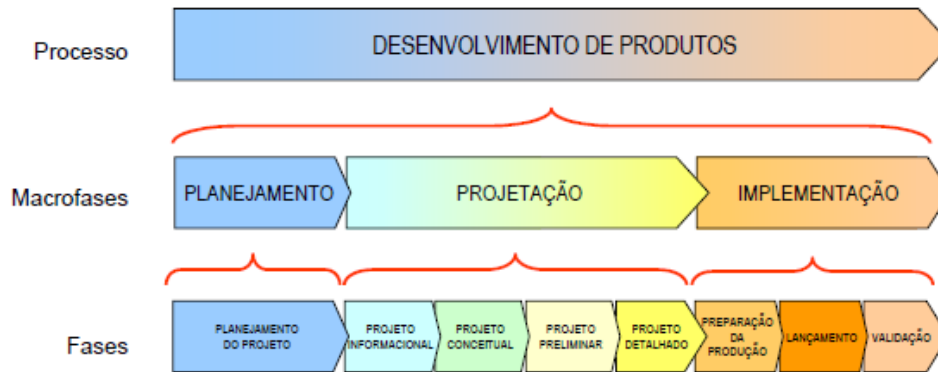
2.1.2 Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

O Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) é um conjunto de atividades pelas quais se busca chegar às especificações do projeto de produto e do seu processo de produção, levando em conta as necessidades do cliente e as possibilidades e restrições tecnológicas (ROZENFELD *et al.*, 2006).

Normalmente os projetos que envolvem o desenvolvimento de produtos são subdivididos em várias fases para facilitar o seu gerenciamento e, também, estabelecer vínculos com os demais setores das empresas. Quando agrupadas, as fases do projeto

formam seu ciclo de vida (PMI, 2000 *apud* ROMANO, L. N., 2003). Nesse contexto, o PDP possui três macrofases: Planejamento, Projetação e Implementação. Essas, por sua vez, são divididas em diversas fases, conforme a necessidade e complexidade de cada projeto (Figura 8).

Figura 8. Macrofases e fases do PDP



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

No contexto do VSP, as fases de planejamento podem se relacionar com os objetivos e características da cirurgia, sendo a projeção análoga ao projeto em CAD e fabricação digital de guias cirúrgicos. A implementação, por sua vez, pode equivaler à cirurgia e ao acompanhamento pós-cirúrgico.

As fases de um projeto são caracterizadas pela conclusão de um ou mais resultados ou saídas esperadas, que devem ser verificáveis e quantificáveis. Portanto, as fases são parte de uma lógica normalmente sequencial, planejada para garantir a definição correta do resultado do projeto, determinando quais as técnicas e ferramentas devem ser utilizadas em cada fase e quem deve estar envolvido (ROMANO, L. N., 2003).

No modelo VSP, as saídas podem ser, por exemplo, os cálculos cefalométricos pré e pós-cirúrgicos. Já os envolvidos, em diferentes fases, serão o paciente, especialistas da área médica (ortodontistas e cirurgiões, por exemplo) e, quando necessário, especialistas da área do design.

As saídas principais de cada fase devem ser, geralmente, aprovadas antes das atividades seguintes serem iniciadas. Entretanto, quando os riscos envolvidos forem previamente calculados, pode acontecer sobreposição com atividades da próxima fase (ROZENFELD *et al.*, 2006).

2.1.3 Metodologias de Projeto

A seguir, no Quadro 2, são mostradas metodologias de projeto transpostas no PDP de Rozenfeld *et al.* (2006), organizadas de forma cronológica no intuito de buscar

semelhanças e decomposição de fases que possam ser úteis ao modelo para planejamento cirúrgico virtual.

Quadro 2. Decomposição de fases de metodologias projetuais

AUTORES	FASES		
ROZENFELD (2006)	PLANEJAMENTO	PROJETAÇÃO	IMPLEMENTAÇÃO
ASIMOW (1962)	- ESTUDO DE EXEQUIBILIDADE - PROJETO PRELIMINAR	- PROJETO DETALHADO	- PLANEJAMENTO DO CICLO PRODUÇÃO / CONSUMO
ARCHER (1965)	- PROGRAMAÇÃO - COLETA DE DADOS	- ANÁLISE - SÍNTESE - DESENVOLVIMENTO	- COMUNICAÇÃO
ARCHER (1974)	- PESQUISA PRELIMINAR - ESTUDO DE EXEQUIBILIDADE	- DESENVOLVIMENTO DO PROJETO - DESENVOLVIMENTO DO MODELO	- ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO - DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO - PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO
BURDEK (1975)	- PROBLEMATIZAÇÃO - ANÁLISE DA SITUAÇÃO	- PROJETO DE CONCEITOS - CONSTRUÇÃO DE ALTERNATIVAS	- PLANEJAMENTO DO DESENVOLVIMENTO E DE PRODUÇÃO
BOMFIM (1977)	- COMPREENSÃO DA NECESSIDADE - PROCESSOS DE SOLUÇÃO E ANÁLISE	- DESENVOLVIMENTO	- IMPLANTAÇÃO
BACK (1983)	- ESTUDO DE VIABILIDADE	- PROJETO PRELIMINAR - PROJETO DETALHADO	- PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO - PLANEJAMENTO DE MARKETING
BONSIEPE (1984)	- DEFINIÇÃO DO PROBLEMA - GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS	- PROJETO	- REALIZAÇÃO - ANÁLISE FINAL DA SOLUÇÃO
PAHL e BEITZ (1984)	- CLARIFICAÇÃO DA TAREFA - PROJETO CONCEITUAL	- PROJETO PRELIMINAR - PROJETO DETALHADO	
PUGH (1991)	- ESPECIFICAÇÃO DE PROJETO - PROJETO CONCEITUAL	- PROJETO DETALHADO	- MANUFATURA
ULLMANN (1992)	- DESENVOLVIMENTO DA ESPECIFICAÇÃO - PROJETO CONCEITUAL	- PROJETO DO PRODUTO	- PRODUÇÃO
ULRICH e EPPINGER (1995)	- DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO	- PROJETO NÍVEL DE SISTEMA - PROJETO DETALHADO	- TESTES E MELHORIAS - PRODUÇÃO E LANÇAMENTO
BAXTER (1998)	- ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO - PROJETO CONCEITUAL	- PROJETO DE CONFIGURAÇÃO - PROJETO DETALHADO	- PROJETO PARA FABRICAÇÃO
KOTLER (1998)	- GERAÇÃO DE IDEIAS	- DESENVOLVIMENTO E TESTE - ESTRATÉGIA DE MARKETING - ANÁLISE COMERCIAL - DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO	- TESTE DE MERCADO - COMERCIALIZAÇÃO
ROZENFELD (2006)	- PLANEJAMENTO DO PROJETO	- PROJETO INFORMACIONAL - PROJETO CONCEITUAL - PROJETO PRELIMINAR - PROJETO DETALHADO	- PREPARAÇÃO DA PRODUÇÃO - LANÇAMENTO - VALIDAÇÃO

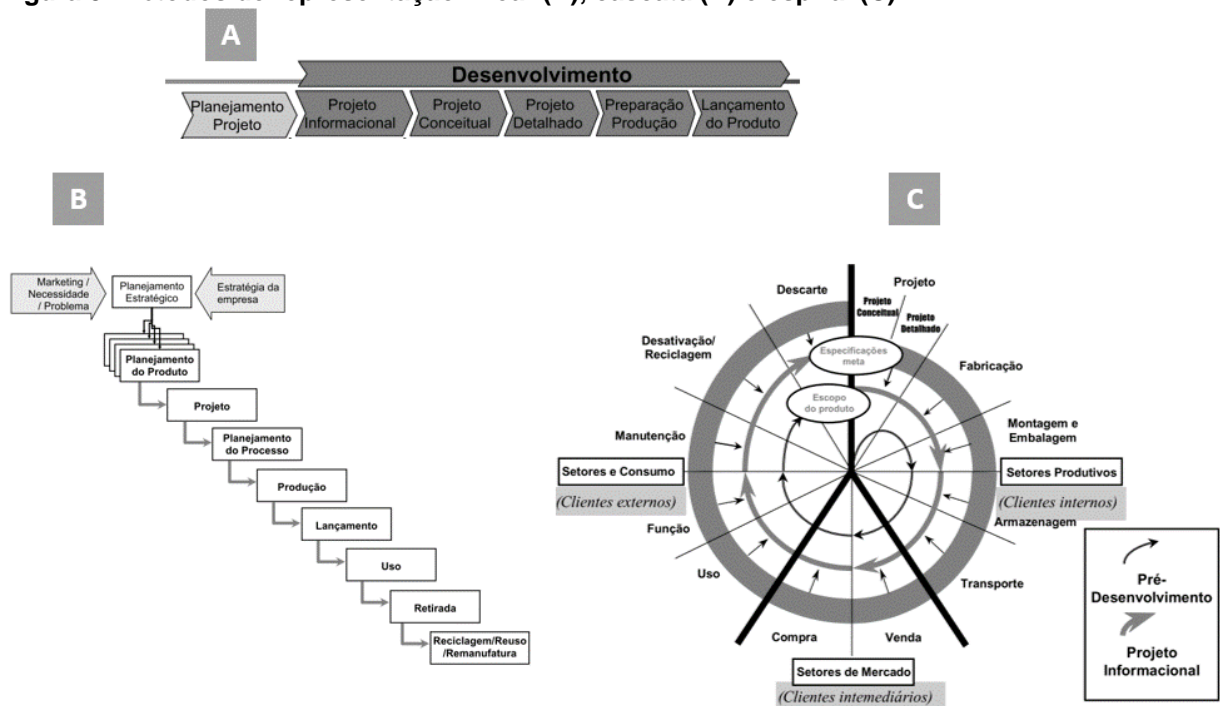
Fonte: Autor.

Nota-se muitos elementos comuns entre os autores, ainda mais quando se considera sinônimos, como manufatura e produção, evidenciando consistência entre as abordagens. No contexto do modelo para VSP, é possível utilizar as macrofases propostas por

ROZENFELD *et al.* (2006), compondo as fases com elementos vistos no Quadro 2 com outros específicos a suprir as necessidades do tipo de artefato desejado, que poderá ser o planejamento virtual voltado à visualização e simulação, combinado ou não a guias cirúrgicos.

Observa-se que, embora o Quadro 2 apresente muitas similaridades entre as metodologias transpostas ao modelo de PDP de Rozenfeld *et al.* (2006), os seus métodos de representação variam de acordo com o modo como a metodologia é desenvolvida e como deve ser aplicada. A Figura 9 apresenta os métodos de representação gráfica do PDP utilizando o método linear, em cascata e espiral.

Figura 9. Métodos de representação linear (A), cascata (B) e espiral (C)



Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006).

Devido ao caráter interdisciplinar dessa tese e, considerando a adequação à leitura para profissionais não familiarizados com a área do Design, apesar de alguns métodos recentes apresentarem representações mais fluídas e menos estruturadas, buscando evidenciar a fluidez da metodologia, evitando a rigidez de fases e marcos (SCHERER, 2017), o método de representação linear se encaixa no contexto dessa tese, sendo já consolidado na área do design, bem como utilizado também em diversos estudos nos estudos metodológicos de VSP, vistos no item 2.2.1 dessa tese.

2.1.3.1 Requisitos para a elaboração do modelo para VSP

Como o propósito do modelar o processo para o planejamento cirúrgico virtual é de explicitar o conhecimento acerca dele, a sua elaboração exige o desenvolvimento de uma estrutura capaz de atender aos seguintes requisitos (ROMANO, L. N., 2003; ROMANO, F. V., 2003; ROZENFELD *et al.*, 2006):

- A visão de todo o processo de desenvolvimento do artefato através da unidade visual de representação gráfica e descritiva.
- Subdivisão do processo em macrofases e fases.
- Indicação das atividades e tarefas de cada fase e sua sequência lógica.
- Definição das saídas desejadas para cada fase.
- Definição das áreas de conhecimento envolvidas em cada tarefa.
- Apresentação de como realizar as atividades através da definição dos principais métodos, ferramentas, técnicas etc.
- Definição das avaliações que marcam o término das fases, e que definem os resultados desejados (saídas) para a mudança de fase.
- Implementação de melhorias ao modelo de referência (novas fases, atividades etc.).
- Possibilidade de registrar as lições aprendidas.
- Emprego de uma ferramenta computacional de fácil acesso e utilização.
- Verificação da consistência do processo.
- Avaliação do modelo para o processo de planejamento cirúrgico virtual.

2.2 PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL (VSP)

Várias evoluções tecnológicas, advindas de diferentes áreas, levaram ao estágio atual do planejamento cirúrgico virtual. As primeiras evoluções podem ser datadas nas indústrias automobilística e aeroespacial na década de 1970, como resultado da aplicação da tecnologia CAD / CAM, obtendo-se ganhos em relação aos métodos prévios de projeto e fabricação. O amplo uso dessas tecnologias nas indústrias, por sua vez, levantou o desejo de traduzir os objetos projetados em CAD em protótipos físicos, o que, posteriormente, levou à criação da impressão 3D (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012).

O desenvolvimento da tomografia computadorizada (TC), na década de 1970, possibilitou, pela primeira vez, a obtenção da anatomia humana em 3D, por meio da captura de imagens transversais do paciente. No final da década de 1980, algoritmos de reconstrução 3D foram otimizados e tornaram-se uma ferramenta frequentemente usada para fornecer ao cirurgião imagens de estruturas anatômicas complexas, como o crânio.

Essa técnica representa com precisão o tamanho real e a forma do objeto e, com softwares adequados, viriam a ser usadas para diagnóstico e planejamento cirúrgico (XIA *et al.*, 2000).

Posteriores desenvolvimentos tecnológicos contribuíram para a implementação do VSP, como a melhoria da qualidade e resolução das imagens médicas, além do desenvolvimento de softwares de visualização específicos. A criação de biomateriais e materiais facilmente esterilizáveis, que podem ser fabricados através de impressão 3D é outro fator relevante, bem como a tecnologia computacional, uma vez que as imagens médicas necessitam de capacidade de processamento muito superiores aos projetos em CAD da indústria de transformação (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012).

Como resultado dessas evoluções, o VSP, atualmente, é uma ferramenta de interesse no campo da cirurgia plástica, pois é capaz de lidar com problemas como assimetrias e desproporções multidimensionais, permitindo realizar simulações virtuais sem a necessidade da presença do paciente, além de permitir a realização de simulacros para verificar possibilidades de intervenções cirúrgicas. Ainda, com o modelo 3D do paciente e acesso à internet, é possível a cooperação remota entre profissionais (PASCAL *et al.*, 2018).

Essas novas opções forneceram aos médicos ferramentas importantes para auxiliar no diagnóstico, planejamento do tratamento e avaliação pós-operatória, melhorando a eficiência da investigação pré-cirúrgica, ilustrando a correção multidimensional (esqueleto e tecidos moles), fornecendo uma visão pré-operatória da intervenção cirúrgica e possibilitando a transferência do plano virtual para a sala de operações. Embora o resultado das cirurgias dependa predominantemente da atenção à técnica intraoperatória, a criação de um plano cirúrgico preciso tem potencial na melhora do resultado da cirurgia, aumentando a eficiência e a precisão, além de diminuir o tempo de operação, a perda de sangue e o tempo de isquemia dos segmentos ósseos (ZINSER *et al.*, 2013; FARRELL; FRANCO; TUCKER, 2014; GRAY *et al.*, 2017).

A aplicação sistemática do projeto e fabricação auxiliados por computador na área da saúde revolucionaram a medicina diagnóstica e intervencionista. Isso porque o VSP fornece a capacidade de reproduzir modelos anatômicos detalhados e fabricar guias cirúrgicos e implantes personalizados. O sucesso desses casos depende de cada etapa do processo de trabalho: **seleção da modalidade de imagem, aquisição de dados, diagnóstico do paciente, planejamento virtual, projeto e fabricação de implantes/dispositivos individuais e execução cirúrgica**. Embora cada etapa seja crítica, o esforço metódico realizado nas fases iniciais do planejamento aumentará a probabilidade de sucesso na sala de operações (HUA; AZIZ; SHUM, 2019).

No presente século, a simulação cirúrgica ganhou considerável progresso quando a segmentação de diferentes tecidos e o movimento do objeto 3D se tornaram disponíveis para simular osteotomias e o movimento dos elementos esqueléticos com graus de

liberdade em todos os eixos. Diferentemente dos modelos físicos (impressos em 3D), da década de 1990, o sistema de simulação por computador agora permite ao cirurgião ensaios ilimitados para quantificar as deformidades, simular o procedimento cirúrgico e projetar os implantes virtualmente, tornando-se, então, uma ferramenta de engenharia reversa para aplicações clínicas (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012).

Paralelamente à aquisição volumétrica de dados 3D, como TC e ressonância magnética, os scanners de superfície se tornaram disponíveis para a prática clínica. Essa tecnologia de aquisição de dados evoluiu tanto em relação aos scanners a laser e luz branca, quanto aos sistemas ópticos que capturam a textura e a cor dos tecidos moles usando várias fotos do paciente. Os conjuntos de dados de imagem superficial podem ser sobrepostos e fundidos com dados de TC, para criar um modelo digital mais preciso e realista. Eles fornecem não apenas uma nova maneira de avaliar o resultado cirúrgico, sem exposição à radiação para os pacientes, mas também informações críticas para modelar e simular as respostas dos tecidos moles aos movimentos ósseos e implantes (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012).

Ao realizar o VSP, o cirurgião pode comparar e otimizar as várias opções cirúrgicas. Posteriormente, na entrega do gabarito ou implante personalizado diretamente para a sala de operação, o VSP é transferido para a mesa cirúrgica, em vez de apenas permanecer no computador. Dessa forma, um procedimento cirúrgico menos invasivo, menos demorado e com melhores resultados estéticos pode ser alcançado (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012).

No entanto, o VSP tem limitações, pois pode exigir várias horas de trabalho em cada caso e, tampouco, é infalível, já que persistem dificuldades devido às diversas características próprias de cada paciente e, também, as simulações de tecidos moles ainda não possuem precisão absoluta. Também, o VSP usualmente requer equipamentos (software e *hardware*) caros, muitos deles chegando a valores proibitivos (BELL, 2010; PASCAL *et al.*, 2018; SHARKH; MAKHOUL, 2019).

Portanto, hoje o VSP não é suficientemente acessível para ser universalmente presente no ambiente ambulatorial, mas possui o potencial de, progressivamente, se tornar padrão no planejamento cirúrgico de casos complexos (PASCAL *et al.*, 2018). Outra questão a ser considerada é a necessidade de familiarização do cirurgião com o software, que pode ser uma barreira. Uma alternativa é a VSP assistida por um projetista, porém, novamente deve-se considerar seu custo: um planejamento de reconstrução mandibular, incluindo os devidos dispositivos e talas a serem utilizados na cirurgia, por uma empresa profissional terceirizada, custa em média US\$ 2500,00 (SHARKH; MAKHOUL, 2019).

Mesmo assim, outros fatores devem ser considerados, como a eficiência oferecida pelo VSP à cirurgia convencional, que pode economizar horas do dia do cirurgião por meio de uma avaliação mais concisa e de uma experiência intraoperatória mais calma, com

confiança e precisão (FARRELL; FRANCO; TUCKER, 2014). As tendências futuras provavelmente incluirão uma ampla disponibilidade da tecnologia de impressão e fabricação 3D e um número crescente de cirurgiões assumindo o papel que, atualmente, muitas vezes compete a um engenheiro ou designer para efetuar o planejamento cirúrgico (HUA; AZIZ; SHUM, 2019).

2.2.1 Abordagens Metodológicas de VSP

Este capítulo é focado em abordagens metodológicas relacionadas ao planejamento cirúrgico virtual. Embora as pesquisas relacionadas ao VSP sejam inúmeros e apresentem a metodologia própria do estudo, foram selecionados para análise os artigos que abordam o processo de VSP de uma forma mais abrangente e não, exclusivamente, do seu uso em um tipo de cirurgia específica. Além disso, são retratados métodos parciais, que não abordam um processo cirúrgico inteiro, e sim partes dele que podem ser expandidos e generalizados para outros tipos de cirurgia.

Outro critério de seleção foi o alinhamento das metodologias com a familiarização dos cirurgiões com softwares 3D, considerando a ideia de se utilizar um software CAD 3D (Blender) adaptado para o VSP. Nesse contexto, mesmo cirurgiões que já tenham experiência com o método em outros softwares, potencialmente precisarão de suporte, pelo menos inicial, em relação ao fluxo de trabalho no Blender.

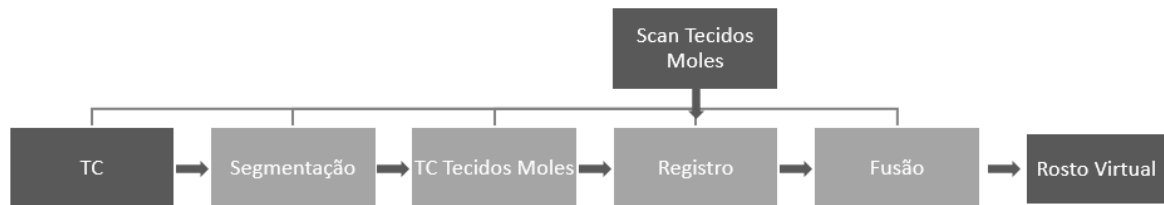
A escolha pelo Blender se dá pelo fato de ser um software livre, que conceitualmente extrapola a simples gratuidade (*free*). Junto a isso, está atrelado o acesso ao seu código fonte (*open source*) e, dessa forma, os usuários têm a liberdade de executar, estudar, distribuir e modificar o software, buscando seu aperfeiçoamento (FREE SOFTWARE FOUNDATION, 2020). Nesse sentido, existem iniciativas como o *plugin* OrtogOnBlender, que integra as ferramentas do software em uma sequência lógica para o ensino de planejamento de cirurgia ortognática digital (MORAES, 2019).

Inicialmente, cabe abordar a investigação de **Ayoub et al. (2007)**, cujo objetivo foi avaliar a viabilidade de construir um rosto humano virtual, sobrepondo uma imagem tridimensional dos tecidos moles do rosto do paciente, e sobrepô-lo virtualmente no crânio na posição correta (Figura 10). A superfície 3D dos tecidos moles da face foi capturada usando um método de fotogrametria e os ossos foram digitalizados através de tomografia computadorizada.

A tomografia computadorizada não é capaz de capturar detalhes de superfície de tecidos moles de alta resolução, nem suas propriedades ópticas e, portanto, a aparência fotorrealista de pele não pode ser obtida dessa maneira. Assim, a metodologia proposta

sobrepõe a malha da fotogrametria à TC, e é alinhada via algoritmo ICP (*Iterative Closest Point*, visto mais detalhadamente nos próximos capítulos), comum a vários softwares 3D. Essa técnica pode se mostrar útil para, além de uma melhor visualização da pele, resolver a influência da gravidade, em virtude de a TC ser executada com o paciente deitado.

Figura 10. Metodologia para sobreposição de tecidos moles à TC

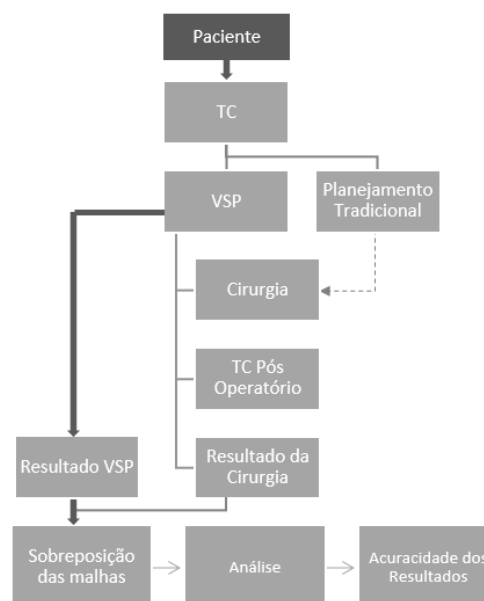


Fonte: Adaptado de Ayoub *et al.* (2007).

Já o método sugerido por **Xia *et al.* (2007)** busca medir as diferenças entre pré e pós-cirúrgico (Figura 11). Assim, a precisão da cirurgia é determinada comparando os resultados planejados com os reais.

A avaliação dos resultados se dá sobrepondo a malha 3D pós-operatória no modelo oriundo do VSP e depois procedem-se as medições das diferenças entre essas duas malhas. Os critérios usados para determinar a precisão da técnica consistiram em uma diferença linear entre resultados planejados e reais de menos de 2 mm, e uma diferença angular inferior a 4°. A sobreposição das malhas também é realizada através do algoritmo ICP.

Figura 11. Fluxograma de comparação pré e pós-cirúrgico



Fonte: Adaptado de Xia *et al.* (2007).

Robiony et al. (2007) mostram um método que detalha com clareza as atividades, os *inputs*, *outputs*, instrumentos e atores em sua metodologia de planejamento virtual (Figura 12). Observa-se que, devido ao ano de publicação e área de atuação (maxilofacial), a complexidade dos *softwares* de VSP exigiam a colaboração de um especialista nessa área. Atualmente, dependendo do procedimento e software utilizado, o cirurgião pode realizar todo o VSP sozinho.

Como o presente trabalho utiliza um software CAD 3D, adaptado para o VSP, é de se esperar que, pelo menos as primeiras cirurgias da área, executadas através do modelo proposto, tenham a contribuição de um especialista no software. Em um segundo momento, mesmo com o cirurgião dominando a metodologia VSP, é possível transferir parte do trabalho, que atualmente ainda exige um tempo considerável, em virtude também do tempo de importação e processamento de tomografias e fotogrametrias, para projetistas. Outro item a se considerar é que, em muitos casos, outros profissionais são envolvidos, como radiologistas e ortodontistas. Dessa forma, é interessante que todos utilizem a mesma plataforma para o VSP, desde a cefalometria até a impressão dos gabaritos cirúrgicos.

Figura 12. Atores envolvidos no VSP

Atividades	Input	Outputs	Instrumentos	Atores
Aquisição de Dados	Paciente	Imagens de TC	Tomógrafo	Radiologista - Cirurgião
Reconstrução Virtual	TC	Modelo 3D	Software Dedicado	Especialista 3D - Cirurgião
Modelo Físico	Modelo 3D (STL)	Modelo Impresso	Stereolitografia	Especialista PR - Cirurgião
Validação do Modelo	Modelo Impresso	Validação Modelo 3D	-	Cirurgiões
VSP	Modelo 3D	VSP / Medidas Relevantes	Software 3D	Especialista 3D - Cirurgião
Validação VSP	VSP	Validação VSP	-	Cirurgiões
Simulação Cirúrgica	Medidas Relevantes	Simulação Física	Modelo Impresso	Cirurgiões
Cirurgia	Modelo Impresso, Medidas Relevantes	Paciente	Instrumentos Cirúrgicos	Cirurgiões

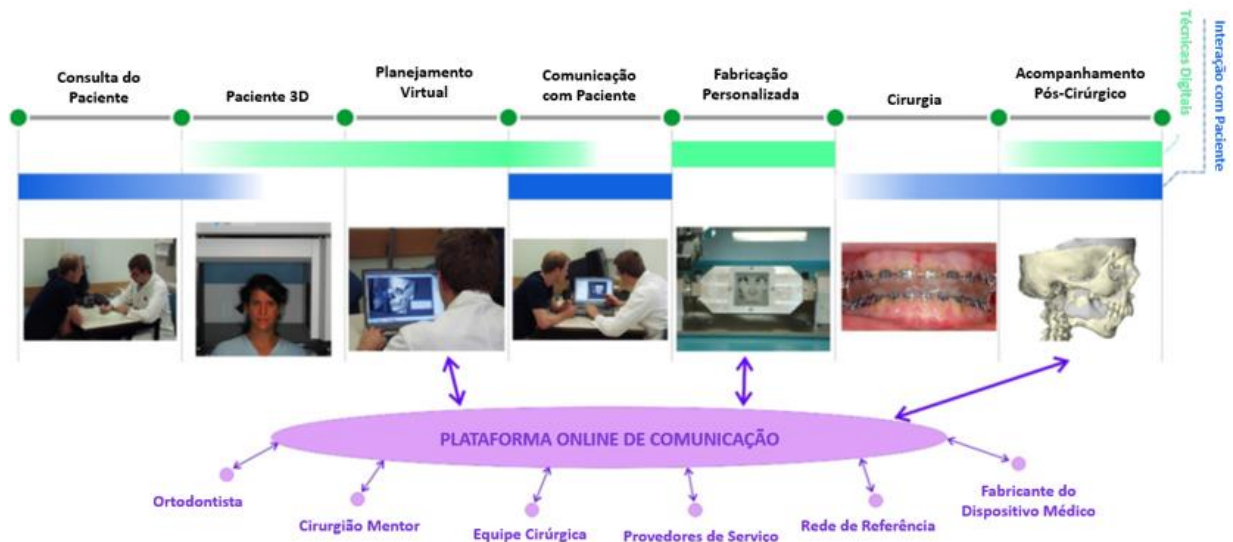
Fonte: Adaptado de Robiony et al. (2007).

Swennen, Mollemans e Schutyser (2009) propõem uma metodologia com ênfase na comunicação entre a equipe envolvida (Figura 13), composta pelas seguintes etapas:

- Aquisição de imagem;
- Processamento dos dados de imagem do paciente;
- Diagnóstico virtual 3D do paciente;
- Planejamento de tratamento virtual;
- Comunicação do planejamento de tratamento virtual em 3D;
- Fabricação das guias cirúrgicas;
- Transferência do planejamento virtual para a sala de operações;
- Avaliação do resultado do tratamento virtual em 3D.

Levando em conta a questão colaborativa, o plano de tratamento virtual em 3D pode ser salvo em um formato genérico que pode ser compartilhado com outros colaboradores do processo cirúrgico. Também pode ser discutido e individualizado de acordo com as necessidades do paciente. A abordagem virtual, ainda, se apresenta com uma ferramenta adicional para o ensino de médicos residentes.

Figura 13. Abordagem colaborativa de planejamento virtual



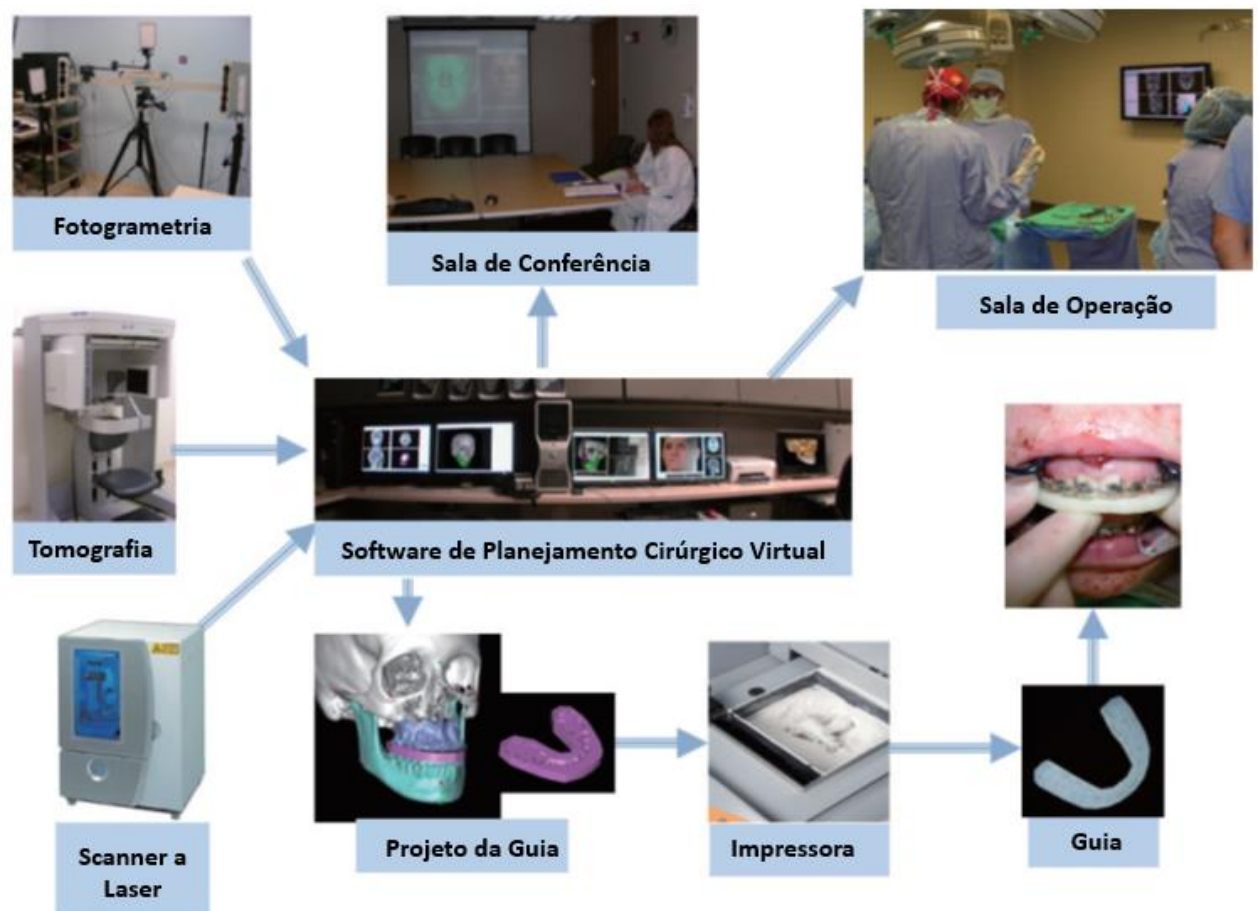
Fonte: Adaptado de Swennen; Mollemans; Schutyser (2009).

Zhao, Patel e Cohen (2012) utilizam uma abordagem similar ao processo mostrado anteriormente, porém, seu método de representação e base da metodologia é o software de planejamento cirúrgico, uma vez que todas as etapas do processo passam por ele (Figura 14).

A partir da importação dos dados do paciente, incluindo fotos 3D, de tomografia e imagens de superfície de um scanner a laser, um modelo composto é construído e a simulação cirúrgica é realizada usando o software de VSP, que pode ser acessado na sala de conferências pela equipe de planejamento e, também, na sala de operações. Os objetos físicos, como implantes e talas, podem ser projetados virtualmente e fabricados usando uma impressora 3D e entregues na sala cirúrgica.

Embora possa variar dependendo da aplicação específica, um sistema VSP típico inclui, mas não se limita, aos seguintes componentes: 1) aquisição de dados, 2) análise de imagens médicas, 3) análise antropométrica 3D, 4) simulação cirúrgica, 5) projeto de implante / modelo via software CAD, 6) fabricação de implante / modelo via RP, 7) ferramenta de comunicação *on-line* e 8) sistema de gerenciamento.

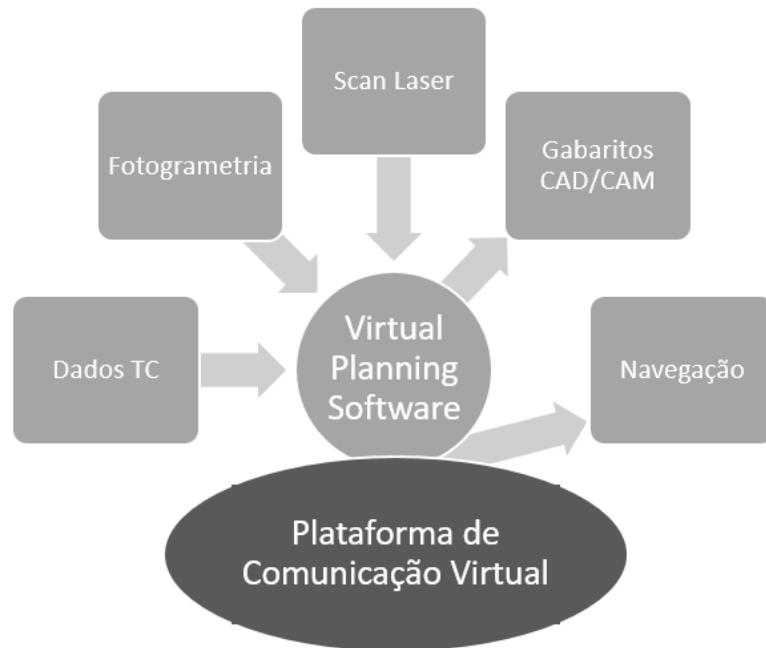
Figura 14. Software de VSP como centro da metodologia



Fonte: Adaptado de Zhao; Patel; Cohen (2012).

Percebe-se na metodologia de **Zinser *et al.* (2013)** muitas similaridades com os dois métodos anteriores, observando-se um padrão comum nas etapas e no método de representação (Figura 15).

Figura 15. Metodologia comum de VSP

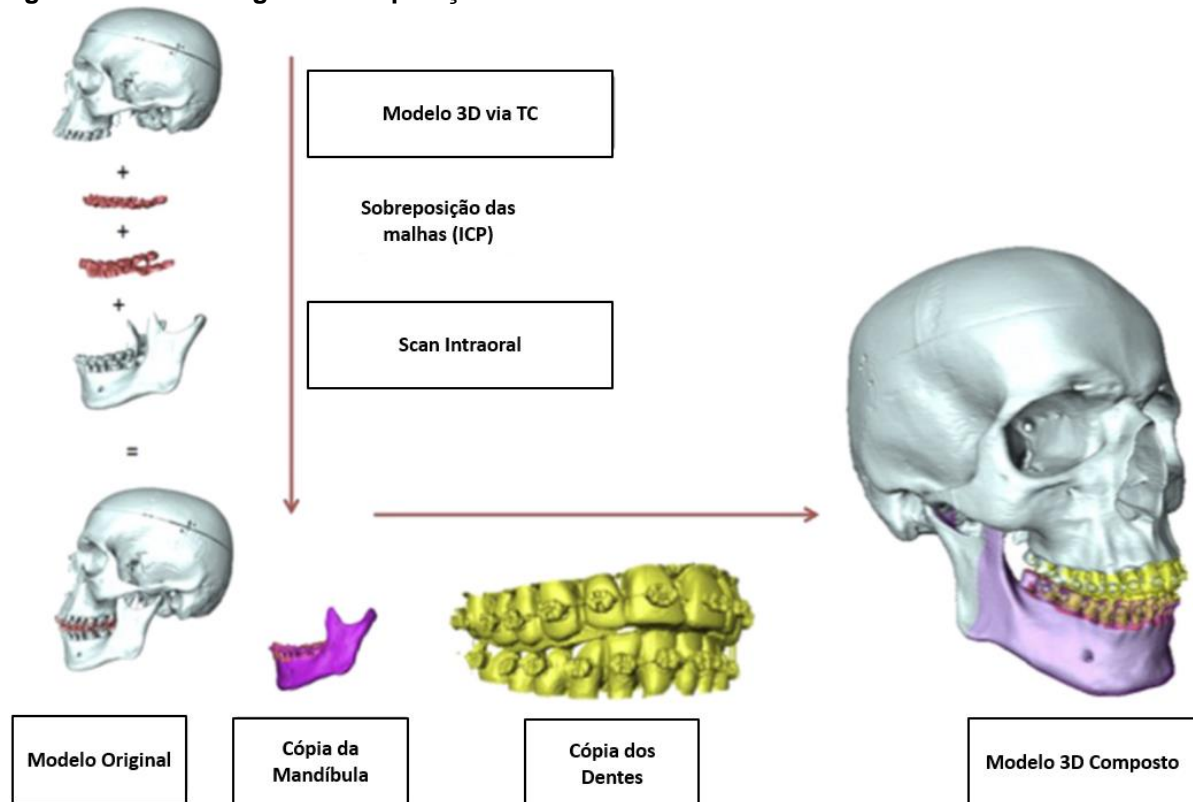


Fonte: Adaptado de Zinser *et al.* (2013).

O estudo de **Nilsson *et al.* (2016)** propõe estabelecer e avaliar uma metodologia para criar um modelo 3D da região craniomaxilofacial adotando a digitalização intraoral para o posicionamento das arcadas, eliminando a necessidade de modelos de gesso ou TCs adicionais (Figura 16). Isso porque, até o presente momento, nenhuma das técnicas de imagem podem capturar um modelo 3D adequado das estruturas faciais (isto é, esqueleto, dentição e tecidos moles) com a qualidade exigida para cirurgia ortognática. Assim, é necessário combinar e mesclar diferentes técnicas de digitalização 3D para estabelecer um modelo virtual com a qualidade mínima necessária para o VSP.

Nessa abordagem, os autores sugerem uma TC tradicional, com o paciente na posição de mordida fechada, e o escaneamento somente da área dental, utilizando um scanner intraoral. Posteriormente, as malhas são unidas através do algoritmo ICP.

Figura 16. Metodologia de composição dos scans intraorais à TC



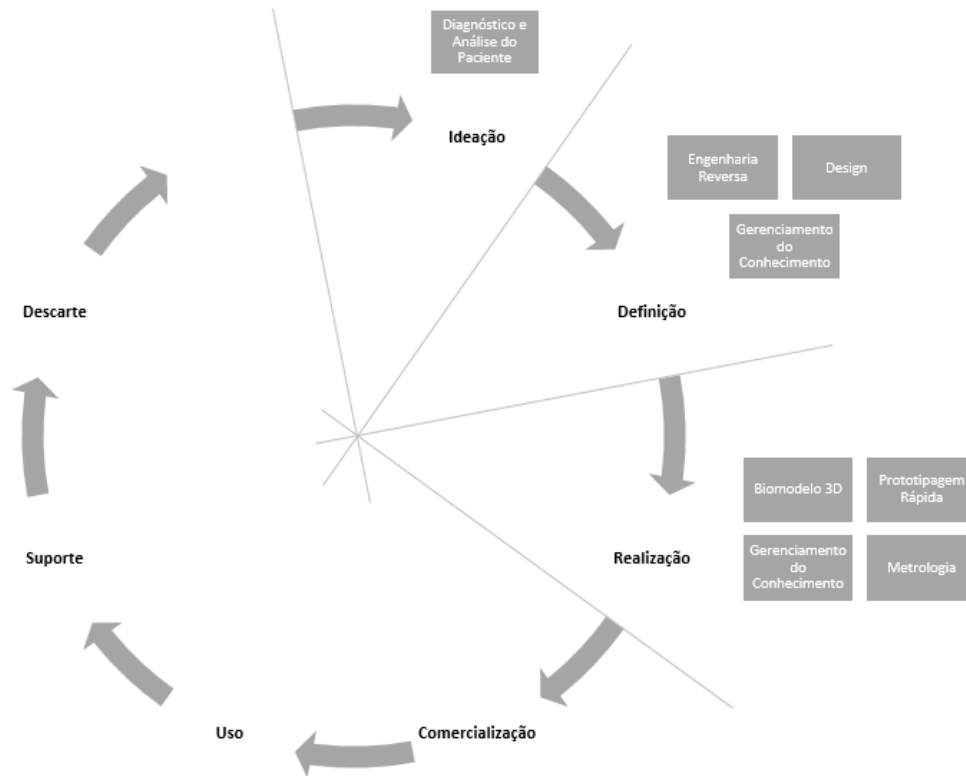
Fonte: Adaptado de Nilsson *et al.* (2016).

Ardila *et al.* (2018) correlacionam as etapas comuns de VSP integradas no gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM), comumente utilizado na indústria no processo de desenvolvimento de produtos. Foram estabelecidas três etapas para alcançar uma integração entre as áreas: a) ideação, b) definição e c) desenvolvimento (Figura 17).

Na primeira etapa, de Ideação, ocorre o processo de diagnóstico, em que o médico especialista deve gerar as especificações e os requisitos do processo. Na segunda etapa, de Definição, a engenharia reversa, design e áreas de processos de gestão do conhecimento são alocadas, sendo esta última relacionada à obtenção de informações para futuros procedimentos. Já na terceira etapa, de Desenvolvimento, são alocadas a prototipagem rápida, metrologia e os processos de Gestão do Conhecimento, que se referem à criação de informações e manuais de utilização.

Por meio do fluxo operacional proposto, diferentes funções são atribuídas a profissionais específicos, conforme os requisitos e parâmetros previamente estabelecidos. De acordo com essas etapas e suas áreas de conhecimento, pode-se citar o cirurgião especialista como analista de requisitos; o designer, responsável pelas etapas de engenharia reversa e projeto; e um profissional de metrologia, responsável pela inspeção de qualidade dos guias cirúrgicos.

Figura 17. Relação do PLM com o planejamento cirúrgico virtual



Fonte: Adaptado de Ardila *et al.* (2018).

Landaeta-Quinones, Hernandez e Zarroug (2018) apresentam o planejamento cirúrgico virtual do ponto de vista de processo (Figura 18), em que as fases são tomografia computadorizada, conversão dos dados DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), sessão virtual de planejamento com designers e fabricação digital.

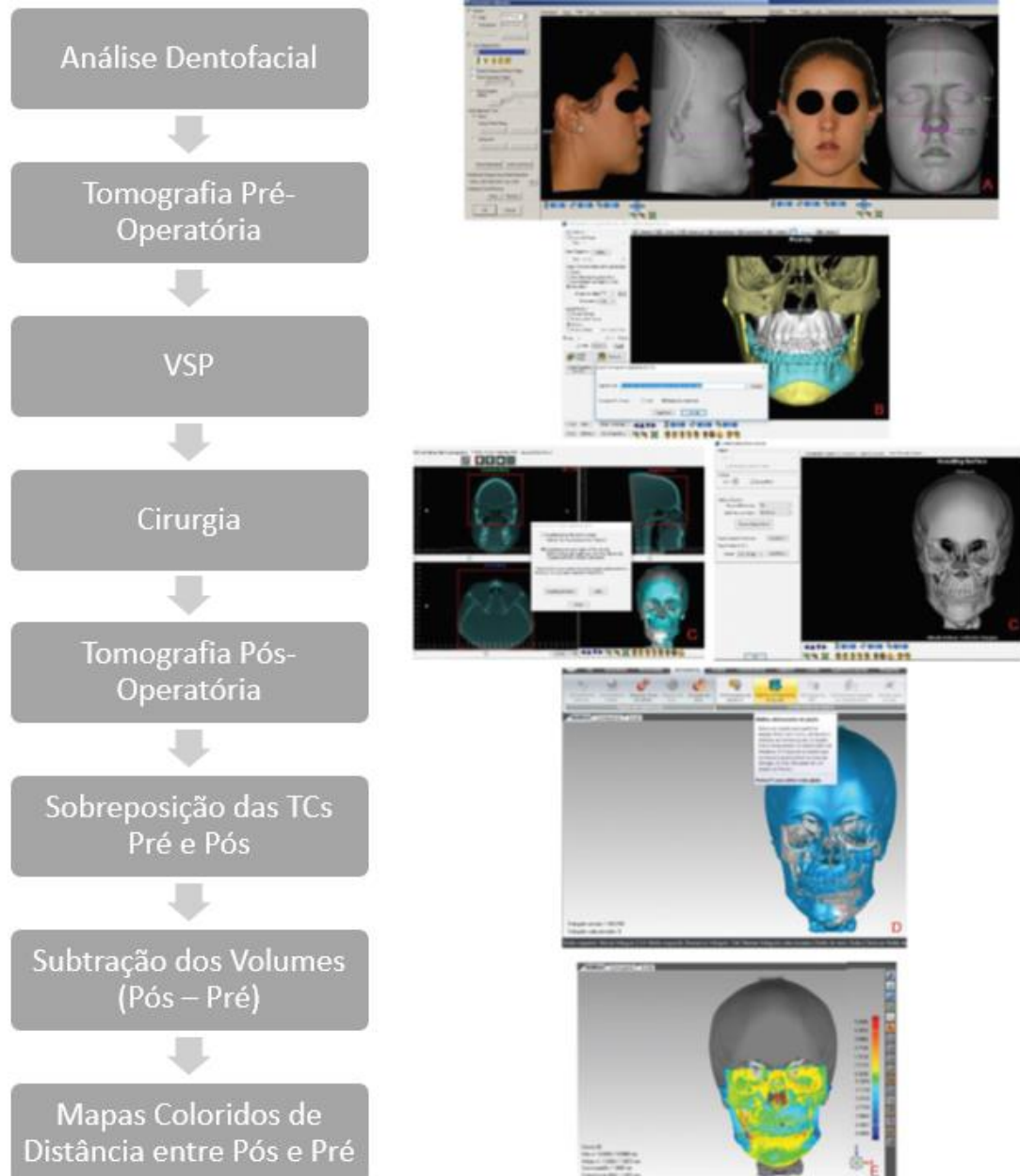
Figura 18. Processo genérico de planejamento cirúrgico virtual



Fonte: Adaptado de Landaeta-Quinones; Hernandez; Zarroug (2018).

A metodologia de **Marlière, Demétrio e Schmitt (2019)** foca na comparação dos resultados cirúrgicos com os objetivos do planejamento cirúrgico virtual (Figura 19). Para isso, os arquivos de TC, pré e pós-operatório, são sobrepostos e medidos os desvios 3D entre os pontos. Apesar de se usar softwares dedicados à área médica, os métodos e algoritmos utilizados são similares aos encontrados no Blender.

Figura 19. Metodologia de comparação Pré e Pós-operatório



Fonte: Adaptado de Marlière; Demétrio; Schmitt (2019).

Como considerações parciais desse capítulo, pode-se citar que para projetar e desenvolver o modelo de planejamento cirúrgico virtual, foi realizada uma revisão das metodologias, métodos e técnicas de desenvolvimento de produto, bem como das abordagens metodológicas de aplicação do VSP. Com base nesses conhecimentos,

requisitos elaborados pelos especialistas e observação dos procedimentos abordados, se estruturará um modelo que pode ser replicado e/ou adaptado às necessidades de diferentes procedimentos cirúrgicos que possam se beneficiar das tecnologias do Design Virtual.

A seguir são estudadas as técnicas de engenharia reversa e os procedimentos cirúrgicos que serão abordados nesse trabalho.

2.3 ENGENHARIA REVERSA – TOMOGRAFIA E DIGITALIZAÇÃO 3D

A análise tridimensional quantitativa da morfologia corporal é vital na cirurgia plástica e reconstrutiva e, para isso, métodos de captura da geometria do paciente são fundamentais (TZOU; FREY, 2011).

Os exames de diagnóstico médico são a principal fonte de exposição à radiação ionizante (RI) induzida intencionalmente. Este tipo de exposição está crescendo atualmente, principalmente devido à tomografia computadorizada (TC), que é uma técnica de imagem médica altamente informativa. Nos últimos 20 anos, a facilidade e a velocidade da aquisição de imagens de TCs, em paralelo aos seus benefícios de diagnóstico, aumentaram o número desses procedimentos e levaram a uma maior exposição dos pacientes à radiação (UNSCEAR, 2008 *apud* BERNIER *et al.*, 2015).

Essas tendências são também observadas no diagnóstico de doenças infantis e neonatais, levando a um aumento no uso de TC em pediatria, sendo que cerca de 11% dos exames deste tipo é realizado nessa faixa etária. Isso pode representar um problema, pois a tomografia computadorizada está associada a doses altas de radiação, muito maiores do que a radiologia convencional (raio X). A exposição à radiação para fins de diagnóstico médico tem sido relacionada a um aumento do risco de câncer na exposição pré-natal e infantil (BERNIER *et al.*, 2015).

Mesmo que a TC seja uma ferramenta muito útil e valiosa para o diagnóstico e o acompanhamento de condições médicas especiais, a preocupação com o potencial risco radio-induzido associado a esse exame foi levantada, especialmente em relação a crianças. Os dois primeiros grandes estudos estatísticos sobre o tema, publicados em 2012 e 2013, observaram que há uma elevação do risco de câncer e leucemia associado à exposição à TC na infância (BERNIER *et al.*, 2015).

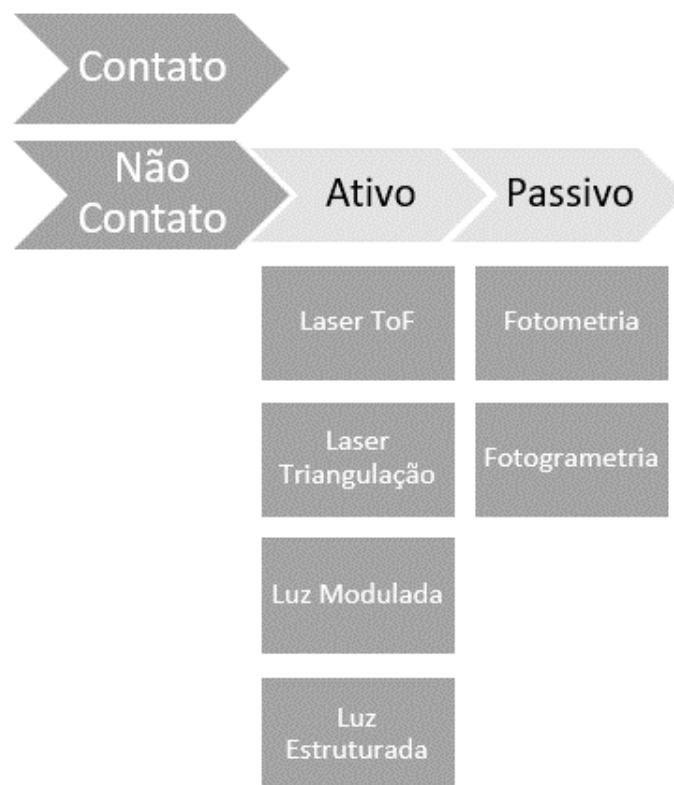
Embora a TC seja essencial para casos em que se necessita da visualização de tecidos ósseos, em relação à digitalização de tecidos moles pode-se evitar tal exposição através de scanners tridimensionais, uma vez que esse método de obtenção de imagens não se traduz em riscos à saúde do paciente (PESCE *et al.*, 2015). Mesmo em casos em que a TC seja necessária na fase pré-operatória, a avaliação dos resultados pode ser feita

através do escaneamento 3D, auxiliando o cirurgião na análise da evolução dos tecidos moles, comparando através de um software com os dados prévios, oriundos da própria TC ou de escaneamento pré-operatório.

Adicionalmente, quando é necessária a análise do comportamento dos tecidos moles em relação às mudanças ósseas, deve-se levar em consideração que a TC normalmente é realizada com o paciente deitado. Dessa forma, a gravidade influencia no resultado do modelo 3D. Assim, para se obter resultados mais exatos, é possível escanear o paciente em pé, e combinar essa digitalização à malha da TC (MORAES; MIAMOTO, 2015).

Existem diferentes sistemas de scanners 3D disponíveis atualmente (Figura 20), sendo divididos em passivos e ativos (WEISS, 2017). Os mais utilizados na área médica são os de luz estruturada e modulada, bem como a fotogrametria (TEPPER *et al.*, 2006).

Figura 20. Tecnologias de escaneamento tridimensional



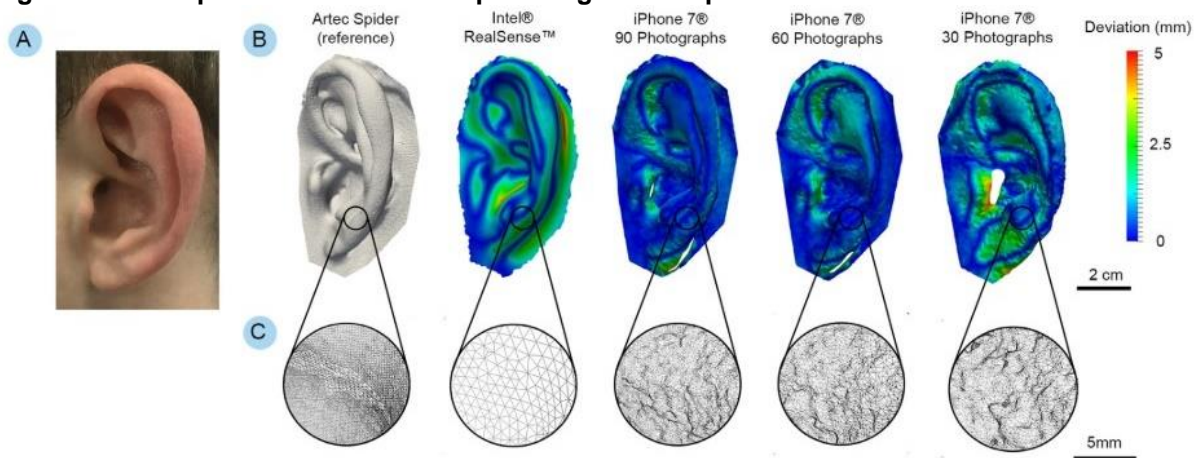
Fonte: Adaptado de Weiss (2017).

Na fotogrametria, câmeras alinhadas de acordo com cálculos matemáticos triangulam diversas imagens para produzir valores de profundidade, sendo então combinadas no espaço para criar um modelo 3D. Os sistemas de laser e de luz baseiam-se em métodos semelhantes de triangulação, mas usam uma fonte de luz projetada no objeto e captada por um sensor para recriar a superfície. As vantagens específicas de cada sistema dependem da utilização pretendida, porque os scanners diferem em vários fatores, tais

como facilidade de uso, velocidade de aquisição de dados, requisitos para pós-processamento, capacidade de captura de textura e precisão dimensional (TEPPER *et al.*, 2006).

A comparação entre esses sistemas de digitalização mostra que a precisão dos scanners chega a 0,05 mm (laser), 0,1 mm (luz branca) (SILVA, 2011) e 0,3 mm na fotogrametria (MORAES; PEREIRA, 2018). Como pode-se ver na Figura 21, o uso da fotogrametria, comparado com scanners de alta precisão, produz resultados com pouca distorção, sendo sua precisão suficiente para grande parte de procedimentos médicos.

Figura 21. Exemplo de escaneamento por fotogrametria para a área médica



Fonte: Ross (2018).

Um fator que deve ser levado em conta no escaneamento para a área médica é que o corpo humano é um organismo vivo em constante movimento: está sujeito a variações na forma de fatores externos (gravidade e temperatura) e internos. As variações de forma são induzidas por alterações na expressão facial, oscilação, respiração, distribuição de fluídos corporais, mudanças na pose, pulsação do sangue e correção do reflexo motor para controle da estabilidade postural. Assim, os movimentos involuntários dos pacientes podem influenciar as medições, sendo a fonte mais comum de desvios dimensionais na digitalização humana (PESCE *et al.*, 2015).

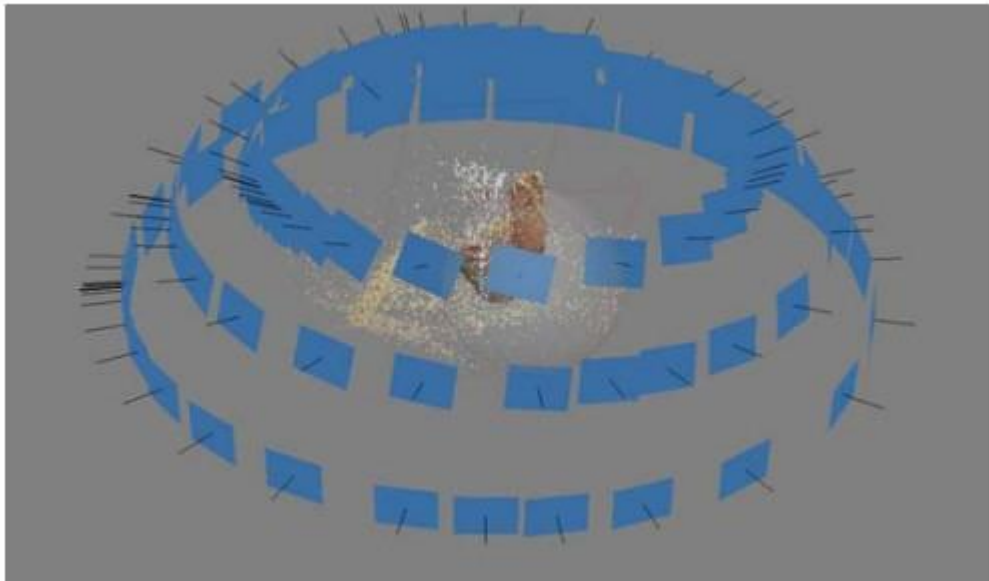
Devido a esses fatores, neste trabalho será abordado o sistema de fotogrametria, por ser a técnica mais adequada para escaneamento humano, principalmente devido à possibilidade de reduzir os erros relacionados aos movimentos involuntários dos indivíduos (SPORLEDER, 2016; WEISS, 2017). Além disso, o uso desse sistema possibilita evitar os riscos relacionados à exposição do paciente à radiação ionizante, decorrente do uso de métodos sem contato, como a tomografia de raios-X, tradicionalmente empregada na varredura humana na medicina (PESCE *et al.*, 2015).

2.3.1 Fotogrametria

Os sistemas médicos de imagem de superfície 3D baseados em fotogrametria são ferramentas já estabelecidas no cenário atual da cirurgia plástica (CHANG *et al.*, 2015). Embora os sistemas comerciais de imagem 3D geralmente ofereçam soluções de *hardware* e *software* bem projetadas, seus custos de aquisição são geralmente altos, comumente passando dos US\$ 100.000,00. Devido a essas restrições, diversas alternativas vêm sendo estudadas, utilizando sensores mais acessíveis e softwares *open source* (HOWES *et al.*, 2017; KOBAN *et al.*, 2018).

A fotogrametria funciona rastreando qualquer ponto (pixel) da imagem através do centro da perspectiva da lente. Esse mesmo ponto, capturado em uma segunda foto, com uma orientação diferente, permitirá que a posição do ponto seja triangulada. A orientação relativa das diferentes câmeras (Figura 22), as suas propriedades, a distância principal, afetada pela distância focal e as coordenadas 3D são todas calculadas simultaneamente por softwares de pós processamento (SPORLEDER, 2016; WEISS, 2017).

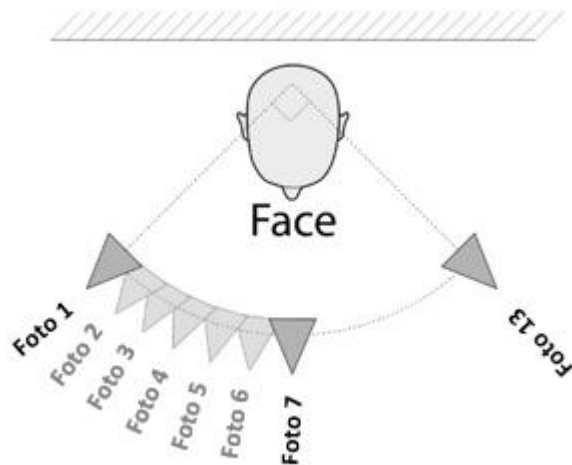
Figura 22. Alinhamento das fotos para criação da malha 3D



Fonte: Sporleder (2016).

O ângulo entre fotos, usualmente, não deve ser maior que 20° (Figura 23), pois perspectivas extremamente oblíquas reduzem a precisão, uma vez que pequenos desvios nos valores de entrada resultam em perda de exatidão.

Figura 23. Ângulo entre fotos



Fonte: Adaptado de Moraes (2019).

A iluminação uniforme é essencial para a correta leitura das fotos, uma vez que sombras fazem com que os diferentes ângulos não tenham a mesma luminosidade, impossibilitando o correto processamento. Na Figura 24, pode-se ver um exemplo de iluminação adequada e inadequada para o escaneamento de uma face.

Figura 24. Luz uniforme (direita) adequada e inadequada (esquerda)



Fonte: Moraes (2019).

O acréscimo de informações na superfície, como pequenos adesivos, pontos e outras marcações (Figura 25), podem ser usados para auxiliar o software a ler corretamente os pontos no ambiente 3D (WEISS, 2017; MORAES, 2019).

Figura 25. Marcações no paciente para facilitar o cálculo de fotogrametria



Fonte: Moraes (2019).

Além desses pontos, projeções de luz no objeto, similar às técnicas de escaneamento por luz estruturada, podem auxiliar o processamento da fotogrametria (Figura 26).

Figura 26. Exemplo de projeção induzida



Fonte: Tzou, Frey (2011); Weiss (2017).

Vários tipos de projeção podem ser utilizados, sendo os padrões matemáticos comumente usados no escaneamento por luz estruturada (Figura 27), possivelmente, os mais adequados (GENG, 2011).

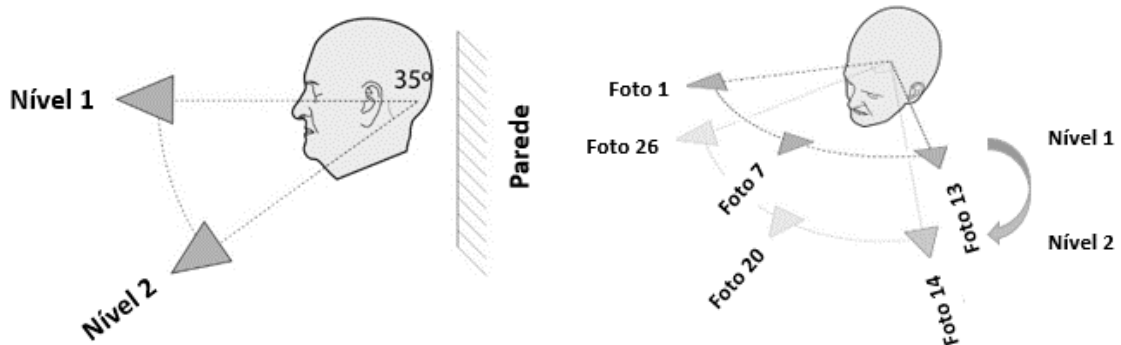
Figura 27. Tipos de projeção para luz estruturada



Fonte: Geng (2011).

A sobreposição entre imagens deve ser considerada, sendo que a coincidência de até 50% pode ser necessária (Figura 28). Essa sobreposição aumentará a quantidade de leitura por ponto, o que aumenta a redundância e, portanto, a precisão (WEISS, 2017).

Figura 28. Sobreposição de fotos



Fonte: Adaptado de Moraes (2019).

Áreas não visíveis em uma imagem, porque outra parte do objeto bloqueia a visualização da câmera, não são reconstruídas pelos softwares de fotogrametria. Portanto, é importante que essas áreas sejam visíveis em outras fotos, de diferentes ângulos. Como em qualquer imagem, elas devem ter sobreposição suficiente para que os pontos de ligação possam ser bem distribuídos (WEISS, 2017).

Para minimizar a chance de movimentação do paciente durante o escaneamento, com apenas um smartphone, é necessário que o paciente fique sentado e de olhos fechados. Da mesma forma, o ambiente deve ter uma iluminação uniforme e, adicionalmente, pode conter projeção de padrões ou marcação de pontos para auxiliar a leitura das fotos pelo software de fotogrametria.

2.4 PROCEDIMENTOS CIRÚRGICOS ABORDADOS

Nesta etapa é feita a revisão da literatura acerca dos procedimentos cirúrgicos abordados neste trabalho, com enfoque na utilização do planejamento cirúrgico virtual. No caso das reconstruções auriculares, é descrita a técnica utilizada atualmente, desenvolvida na dissertação de mestrado do autor (PINHEIRO, 2015). Porém, nessa tese, seu planejamento cirúrgico é transferido de um software comercial (Autodesk 3DS Max) para um software *open source* e livre, no caso, o Blender. Além disso, outra evolução desse método é a digitalização por fotogrametria, no lugar de um scanner de luz branca, facilitando assim a aplicação dessa técnica por outros hospitais, sem a necessidade de contar com um scanner de alto custo ou softwares comerciais, igualmente de custo elevado.

Os outros procedimentos serão abordados majoritariamente do ponto de vista do VSP, visto que não serão alteradas sequências ou técnicas cirúrgicas e, sim, analisadas as possíveis contribuições do planejamento virtual, para auxiliar as técnicas já utilizadas no HCPA.

2.4.1 Reconstrução Auricular

Esse subcapítulo aborda, de forma resumida, a pesquisa desenvolvida na dissertação de mestrado do autor (PINHEIRO, 2015). A técnica foi validada durante o período de doutorado, tendo sido utilizada em mais de 25 cirurgias de reconstrução auricular até o momento, e trata-se de um método padrão para esse tipo de cirurgia no HCPA. Posteriormente, no capítulo 4, é descrita sua evolução, utilizando-se fotogrametria como método de escaneamento no software Blender.

Além das questões funcionais relacionadas à audição, as orelhas são órgãos importantes para o equilíbrio estético da composição facial. Quando há um desequilíbrio nesse sentido (tamanho, forma ou localização), devido a uma anormalidade na região auricular, os pacientes com essa condição tendem a ficar insatisfeitos com sua aparência física, o que pode gerar danos psicológicos. Portanto, a cirurgia de reconstrução auricular restabelece não só as características físicas, mas também psicológicas do paciente (CARVALHO *et al.*, 2010).

A maior parte dos casos de reconstrução auricular se deve ao desenvolvimento anormal da parte externa da orelha durante a gestação (microtia). A ocorrência é de 1 em 4000 a 20000 nascimentos, variando de acordo com a etnia da população estudada (CABIN *et al.*, 2014).

Existem diversas técnicas de reconstrução auricular, sendo que a cirurgia utilizando cartilagens costais para a confecção da estrutura do implante⁸, tende a trazer os resultados mais satisfatórios. Além dos resultados estéticos, essa técnica minimiza as complicações no período pós-operatório, pois utiliza material autógeno (BRENT, 2002; SAKAE, 2007; CIOCCA *et al.*, 2009; ZHAO *et al.*, 2009).

O procedimento cirúrgico de reconstrução auricular se inicia com a extração das cartilagens da costela do paciente. A extração da cartilagem é crítica para o processo, pois deve fornecer material suficiente para a cirurgia. No entanto, uma retirada demasiada de material pode deixar uma cavidade excessiva no tórax, podendo causar desconforto físico e estético (BRENT, 1994). Após, inicia-se a modelagem do implante, construído de forma

⁸ No contexto da reconstrução auricular, a estrutura do implante é comumente chamada na literatura de *framework*. Nesse trabalho será utilizado o termo implante, para evitar confusão com o termo relacionado a metodologia projetual.

artesanal pelo cirurgião, o que torna o resultado totalmente dependente de sua habilidade manual. Retira-se, então, os fragmentos da microtia e o implante, já no formato final, é introduzido na região subcutânea, no local da nova orelha. Esse procedimento deve ser realizado de forma precisa, para manter harmonia e simetria do rosto do paciente, sendo um processo totalmente visual, o que dificulta a análise realizada pelo cirurgião.

Diante dessas constatações e após o estudo das técnicas de VSP para esse procedimento, foi criado o método de planejamento virtual de reconstrução auricular, em que, inicialmente, foram definidos os principais pontos para serem aprimorados no processo cirúrgico tradicional, motivadores da pesquisa:

- Melhorar a acuracidade das dimensões da extração da cartilagem intercostal, extraíndo-se material suficiente, mas evitando uma cavidade residual excessiva;
- Criar modelos físicos da nova orelha para servir de base para a reconstrução;
- Aumentar a precisão na construção do implante com relação à forma e ao posicionamento dos seus elementos constituintes;
- Aprimorar o posicionamento da nova orelha, considerando a harmonia do rosto, simetria e contorno capilar.

Todos esses requisitos estão relacionados à precisão do processo em suas várias etapas e também na redução da dependência da habilidade manual e visual do cirurgião. Diante disso, fica evidente que a precisão global do processo de reconstrução auricular está diretamente relacionada às dimensões anatômicas da cabeça do paciente e de suas características tridimensionais. Assim, foi considerado fundamental digitalizar o rosto inteiro para, de posse de um modelo virtual 3D, orientar o planejamento de todo o procedimento. Com o rosto em 3D, é possível gerar um modelo da orelha a ser reconstruída a partir do espelhamento da orelha saudável. É possível, então, definir a localização do implante em consonância com as características físicas do paciente, o que pode ser simulado virtualmente, em um software CAD, com precisão.

Dessa forma, foi definida uma lista de dispositivos (moldes, gabaritos e modelos) para orientar o processo cirúrgico, resultado de um planejamento realizado em conjunto com o cirurgião especialista. A partir do modelo tridimensional da orelha a ser reconstruída, é gerado um molde para a extração da cartilagem do paciente com as medidas apropriadas ao processo, sem excessos. Também com base na geometria da orelha, são projetados um molde para a conformação da hélice, um gabarito para guiar a construção do implante e um modelo da orelha inteira, a fim de guiar as etapas subsequentes à cirurgia. Finalmente, a partir da definição da posição da orelha no software CAD, é projetado um gabarito que é ajustado às dimensões do paciente, para garantir o posicionamento correto do implante.

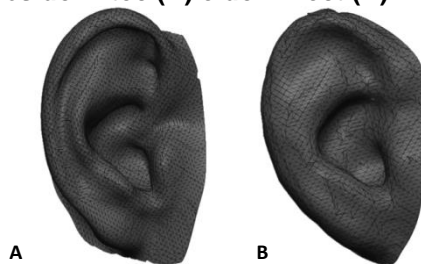
Após a manufatura desses artefatos via fabricação digital e esterilização, eles estão prontos para serem utilizados na cirurgia.

A seguir, serão descritos detalhadamente os principais procedimentos para o desenvolvimento da proposta de intervenção para a melhoria do processo de reconstrução auricular, incluindo o processo de digitalização tridimensional, os projetos dos *templates* (modelos, gabaritos e moldes) e seus processos de fabricação.

2.4.1.1 Processo de VSP de Reconstrução Auricular

Para a obtenção da forma 3D da orelha saudável e do rosto do paciente, foram comparados dois sistemas de digitalização, cujos resultados são apresentados na Figura 29. Ficam evidentes as diferenças entre as digitalizações por dispositivo de luz branca, com scanner Artec EVA (A), e por dispositivo com infravermelho de baixo custo, no caso, o Microsoft Kinect (B).

Figura 29. Digitalização através do Artec (A) e do Kinect (B)



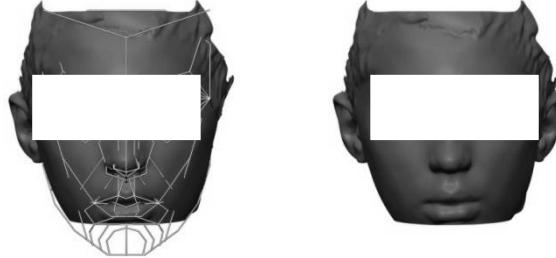
Fonte: Pinheiro (2015).

As digitalizações realizadas pelos dois dispositivos resultaram em modelos 3D de dimensões similares. Entretanto, a versão digitalizada com o sistema Artec EVA (de luz branca) possui um detalhamento dos contornos e volume auricular superior ao modelo digitalizado via Kinect (infravermelho). Isso se deve também às complexas reentrâncias e contornos da superfície da orelha, que dificultam a leitura para ambos os scanners. Dessa forma, equipamentos de maior resolução tendem a apresentar melhores resultados, sendo definido o dispositivo de luz branca como preferencial para o processo.

A partir dos dados digitalizados, o rosto do paciente é alinhado de forma a permitir a identificação de sua linha de simetria, possibilitando o espelhamento da orelha saudável. Devido à assimetria da face, comum a todos os seres humanos e acentuada, muitas vezes, em pacientes com microtia, a orelha espelhada é reposicionada, levando em consideração a área da região a ser reconstituída (Figura 30). Essa etapa é base para o projeto da máscara de posicionamento e deve ser avaliada cuidadosamente em casos de assimetria facial mais elevada. Fatores como contorno capilar, formato da superfície do osso mastoide e a posição

da orelha com má formação (em casos de microtia) devem ser levados em consideração para o posicionamento do novo membro a ser reconstruído.

Figura 30. Alinhamento do rosto e espelhamento da orelha

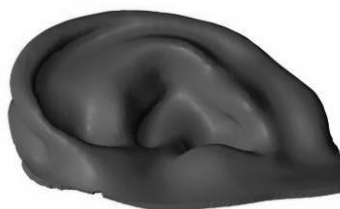


Fonte: Pinheiro (2015).

A partir do modelo 3D virtual da orelha a ser reconstituída são projetados também os dispositivos para auxiliar a cirurgia, os quais são descritos individualmente a seguir. Para a edição das malhas foi utilizado o programa Autodesk 3DS Max, devido à sua funcionalidade e disponibilidade na instituição em que foi desenvolvido o presente trabalho. Entretanto, outros softwares CAD 3D com capacidade para trabalhar com superfícies digitalizadas podem ser utilizados, como, por exemplo, o Blender, que é um software gratuito e de código aberto.

O modelo virtual da orelha a ser reconstruída (Figura 31) é utilizado como base para a criação dos dispositivos para auxiliar a cirurgia. Além disso, ele também é utilizado para a produção de um modelo físico, impresso em 3D, o qual serve de referência para o cirurgião, após a primeira etapa da cirurgia, sendo utilizado para orientar a finalização dos formatos da orelha, como lóbulo e sua aposição (quão afastada a orelha fica do crânio). Esse é um grande avanço em relação à técnica tradicional, em que não há nenhuma referência física direta para orientar o processo cirúrgico.

Figura 31. Modelo da orelha espelhada para impressão 3D

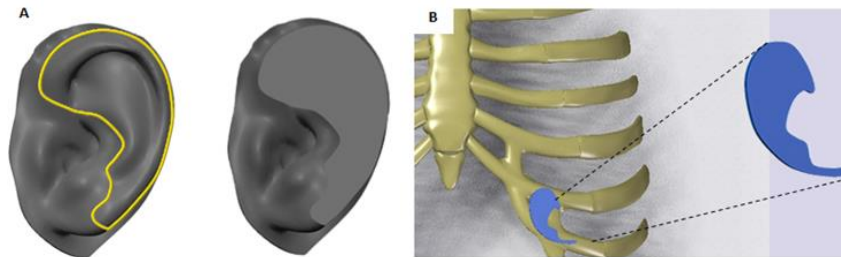


Fonte: Pinheiro (2015).

Conforme Brent (1994), o molde para a retirada da cartilagem costal tem a função de determinar a quantidade correta de cartilagem para a modelagem do implante. Na técnica tradicional, o molde é feito a partir de um desenho manual das formas básicas da orelha saudável sobre um filme de raio-x, sendo realizado pelo cirurgião em consultas pré-operatórias ou no início da cirurgia.

O molde é projetado a partir do modelo virtual da orelha a ser reconstituída. Trata-se de uma peça plana que pode ser produzida em placa de acrílico (PMMA – acrônimo de polimetil-metacrilato), que é de fácil esterilização e pode ser cortada a laser, agilizando o processo de fabricação. Na ausência de tal equipamento, a peça pode ser fabricada via impressão 3D, em poliácido láctico (PLA). A Figura 32A ilustra o processo de projeto do molde a partir do modelo virtual da orelha. A Figura 32B mostra, por sua vez, como o molde é utilizado para demarcar a área de cartilagem a ser extraída do paciente.

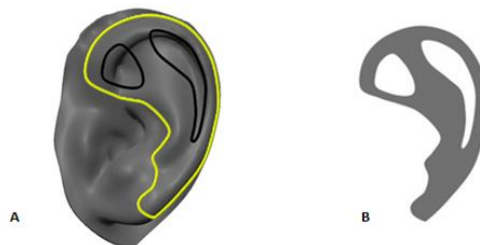
Figura 32. A) Projeto do molde; B) Ilustração do uso molde para a extração da cartilagem



Fonte: Pinheiro (2015).

O molde para marcação dos volumes do implante é construído tendo como referência o modelo virtual da orelha a ser reconstituída. As linhas são traçadas sobre o modelo do implante. As linhas dos recortes do molde são feitas nos locais em que o cirurgião deve esculpir o bloco principal. Assim, durante a cirurgia, essas linhas são transferidas para o bloco principal de cartilagem para referenciar a modelagem. Isto facilita o processo para o cirurgião, que agora possui uma referência de como esculpir a cartilagem para moldar o implante. Na Figura 33A, é mostrado o traçado das linhas de corte do molde sobre a orelha e o formato final da peça (Figura 33B).

Figura 33. Molde para marcação dos volumes do implante

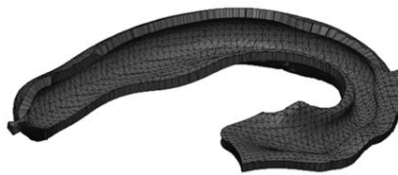


Fonte: Pinheiro (2015).

Esse molde auxilia a modelagem da hélice, isoladamente, sem a necessidade de o bloco principal de cartilagem estar disponível. O projeto é feito a partir do formato negativo da orelha (Figura 34). Assim, no caso de a cirurgia contar com mais de um cirurgião, o que é uma prática regular nos casos de reconstrução auricular, a hélice pode ser moldada logo

após a retirada da cartilagem flutuante, enquanto outro médico continua a retirar o material para o bloco principal. Trata-se, portanto, de uma melhoria significativa que reduz o tempo de cirurgia, pois, sem esse molde, um cirurgião precisa aguardar a retirada dos dois blocos de cartilagem para iniciar a modelagem da orelha. Além disso, aumenta-se a precisão da construção do implante, uma vez que esse molde garante precisamente a geometria da hélice da orelha que será reconstruída.

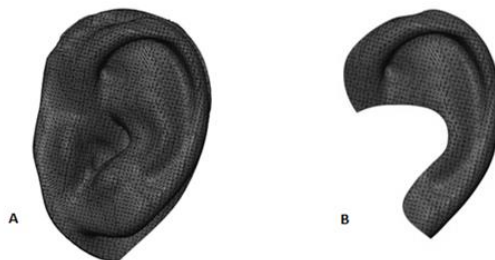
Figura 34. Processo de desenvolvimento do molde da hélice



Fonte: Pinheiro (2015).

Foram analisadas duas possibilidades de formato para esse *template*: molde negativo, para o cirurgião verificar o formato do implante através do seu encaixe no molde, ou modelo positivo, que fornece a possibilidade de comparação visual. Após a comparação física de ambas as propostas pelo cirurgião, foi selecionado o modelo positivo, que mostra o aspecto da orelha ao final da primeira cirurgia. Esse modelo serve como referência visual para a elaboração e montagem do implante de cartilagens costais, reduzindo a imprevisibilidade, aumentando a precisão e abreviando o tempo do processo cirúrgico. A Figura 35B mostra o projeto do molde, elaborado a partir do modelo da orelha espelhada (Figura 35A).

Figura 35. Projeto do implante



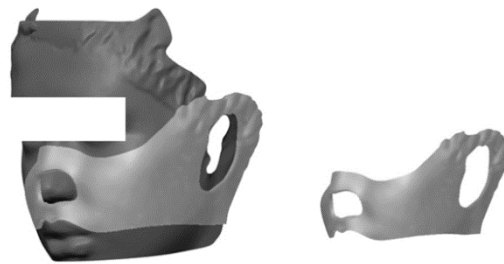
Fonte: Pinheiro (2015).

A partir da pesquisa realizada no decorrer do trabalho, percebeu-se a necessidade de desenvolver uma ferramenta para determinar o correto posicionamento da orelha a ser reconstruída. Isso porque, no método tradicional, o médico precisa medir e traçar as linhas para o posicionamento do implante já com o paciente na mesa cirúrgica, o que eleva o tempo do procedimento. Além disso, devido às ferramentas de medição lineares, como trena e paquímetro, e limitações relacionadas à visualização das características geométricas

complexas da face, como sua simetria, é possível atingir um melhor resultado analisando o posicionamento da orelha virtualmente, através de um software CAD, durante o planejamento da cirurgia.

Dessa forma, após o espelhamento e alinhamento da orelha, é projetada uma máscara para ser posicionada no rosto do paciente, a fim de demarcar o local em que o implante deve ser implantado. O posicionamento virtual prévio possibilita um alinhamento mais preciso, considerando a melhor posição anatômica da orelha a ser reconstruída em relação à simetria facial, contornos capilares e da superfície óssea. O nariz, por sua posição e formato, é o principal referencial para a máscara, pois permite uma referência de posicionamento e apoio para a sua fixação e estabilização. Para garantir a estabilidade, a máscara possui exatamente o contorno externo da face. Assim, durante a cirurgia, ela é encaixada e o local do implante é traçado no paciente com tinta cirúrgica, a partir de um recorte para demarcar sua posição (Figura 36).

Figura 36. Projeto da máscara para posicionamento



Fonte: Pinheiro (2015).

O tempo total de projeto dos dispositivos desde o início do trabalho com a malha escaneada até os modelos estarem prontos para fabricação é de aproximadamente 5 horas. Trata-se de um tempo considerável, entretanto, é um período de planejamento e projeto no qual nem paciente, nem cirurgião estão envolvidos, ficando essa etapa sob responsabilidade do designer. Ainda, vale considerar que o planejamento cirúrgico prévio implica em redução prática do tempo do procedimento cirúrgico em si e na melhoria dos resultados finais.

Para avaliar a aplicabilidade dos dispositivos e a melhoria do processo cirúrgico de reconstrução auricular, foi realizada uma cirurgia piloto em um paciente adulto⁹ com microtia, em que todo o procedimento foi planejado através do processo desenvolvido na dissertação de mestrado do autor e aqui retomados. Dessa forma, o paciente foi avaliado pela equipe médica e, após a indicação da cirurgia, foi submetido ao processo de digitalização 3D.

⁹ Deve ser observado que quando a reconstrução é feita em crianças, o tamanho de cartilagem costal disponível pode ser menor que a quantidade ideal necessária para a cirurgia, sendo então necessário fazer adaptações para encontrar a melhor solução.

O paciente foi voluntário no experimento da técnica de reconstrução com o método proposto, sendo previamente explicados os objetivos da utilização dos mesmos e o caráter de pesquisa científica, bem como o sigilo em relação à sua identidade em qualquer publicação resultante do trabalho. Após tais esclarecimentos, o paciente concordou em participar da pesquisa, assinando, para isso, um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Além desse termo, o Hospital de Clínicas de Porto Alegre mantém arquivados os documentos relacionados ao protocolo cirúrgico, conforme norma da instituição.

A partir do modelo 3D do rosto do paciente, foi feito o espelhamento da orelha saudável e realizado o projeto dos seis (6) dispositivos personalizados para a cirurgia. Após, eles foram impressos em 3D e, novamente, submetidos à análise e aprovação do cirurgião.

Depois de serem submetidos a um processo de esterilização, os *templates* foram alocados juntamente com os demais materiais e instrumentos utilizados na cirurgia. A Figura 37 apresenta os *templates* identificados conforme a numeração: 01 – Molde negativo da hélice; 02 – Modelo do implante; 03 – Molde para retirada da cartilagem costal; 04 – Molde para a marcação dos volumes da aurícula; 05 – Orelha espelhada e 06 – Máscara de posicionamento.

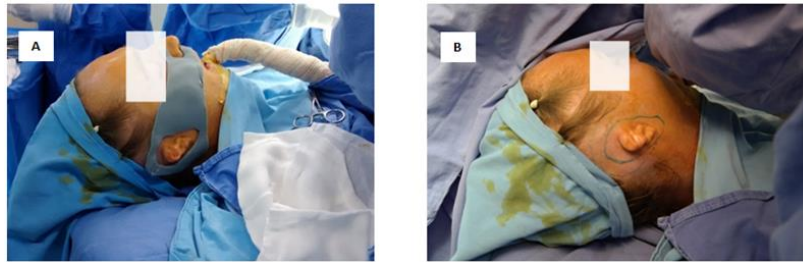
Figura 37. *Templates* prontos para serem utilizados na sala cirúrgica



Fonte: Pinheiro (2015).

O primeiro dispositivo utilizado na cirurgia foi a máscara de posicionamento do implante, que foi usada para comparar a posição do implante com o método convencional (Figura 38A), no qual o cirurgião demarca o local através de medição com paquímetro. Observou-se uma diferença de 2 mm entre os dois métodos de posicionamento, o que foi considerado adequado pela equipe cirúrgica, comprovando a efetividade da máscara. Na Figura 38B, é possível observar a marcação da orelha a ser reconstruída feita a partir do recorte da máscara.

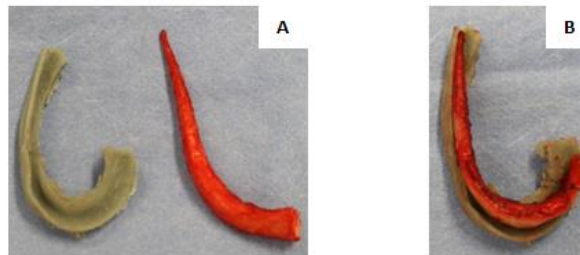
Figura 38. Utilização da máscara de posicionamento



Fonte: Pinheiro (2015).

O molde negativo da hélice é utilizado assim que a cartilagem flutuante é extraída. Na Figura 39A é possível observar a cartilagem no estado em que é retirada do paciente, já possuindo o formato aproximado da hélice. Após 20 minutos de modelagem, o cirurgião chegou ao formato desejado através da retirada de partes da cartilagem, para que ela ficasse mais flexível, até encaixar no molde (Figura 39B). Esse molde também se mostrou adequado, uma vez que possibilitou a modelagem precisa da hélice isoladamente, sem a necessidade de o bloco principal de cartilagem estar disponível.

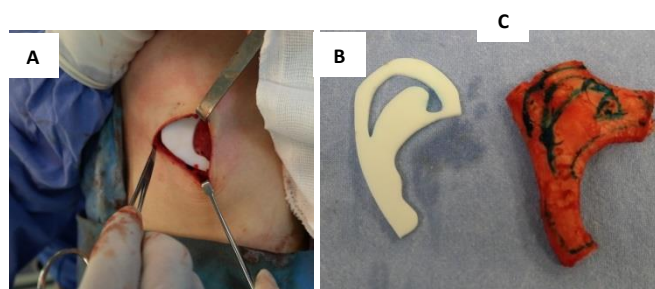
Figura 39. Molde negativo da hélice e cartilagem modelada



Fonte: Pinheiro (2015).

O uso do molde para a retirada da cartilagem costal foi de grande utilidade (Figura 40A), possibilitando ao cirurgião selecionar a parte mais adequada em relação ao seu tamanho, forma e espessura. Nesse caso, pelo fato de o paciente ser adulto, foi possível extrair um bloco com dimensões apropriadas à modelagem do implante.

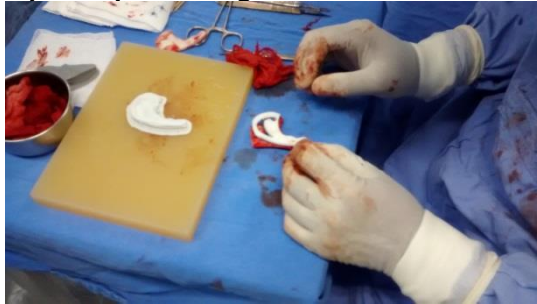
Figura 40. (A) Molde para retirada da cartilagem; (B) Molde; (C) cartilagem costal



Fonte: Pinheiro (2015).

A cartilagem recém retirada do corpo (Figura 40C) foi marcada com o formato externo e com os recortes da aurícula. Assim, conforme o molde para marcação dos volumes do implante (Figura 40B), o cirurgião pôde saber em quais pontos deveria retirar mais material do bloco cartilaginoso. Após a limpeza da cartilagem, esta foi esculpida a partir das marcações, contando ainda com a experiência do cirurgião (Figura 41). O tempo de modelagem dos volumes da base do implante foi de 12 minutos.

Figura 41. Modelagem do implante pelo cirurgião com o uso dos templates



Fonte: Pinheiro (2015).

Na Figura 42 podem ser comparadas as formas do modelo do implante, dos blocos de cartilagem costal já finalizados e do molde para marcação. Durante essa primeira aplicação, foi verificada a necessidade de o modelo do implante incorporar toda a hélice, como ocorre no bloco autógeno (detalhe em amarelo). Nessa cirurgia, o tempo de montagem do bloco principal com a hélice foi de 11 minutos.

Figura 42. Modelo do implante, implante moldado e molde para marcação



Fonte: Pinheiro (2015).

A máscara de posicionamento também foi utilizada na etapa final da cirurgia, após a orelha ter sido implantada, a fim de verificar se houve alguma mudança em virtude da alteração dos volumes da pele relacionada à inserção do implante (Figura 43). Isso demonstra mais uma utilidade da máscara de posicionamento, pois além de planejar a cirurgia, serve também para verificar a precisão do procedimento.

Figura 43. Utilização da máscara de posicionamento ao fim da cirurgia



Fonte: Pinheiro (2015).

Após essa etapa de verificação, são posicionados os tubos de drenagem, para que o implante tenha a aderência adequada ao crânio do paciente, procedimento comum à técnica convencional. Além de fixar a cartilagem, a drenagem possibilita que a pele inicie o processo de adequação aos novos contornos da orelha recém-implantada.

O resultado do uso dos *templates* foi avaliado positivamente pelo cirurgião responsável, melhorando o processo de reconstrução auricular. Aspectos como redução do tempo total da cirurgia, auxílio na modelagem e posicionamento do implante e, principalmente, no planejamento cirúrgico, são os benefícios mais destacados pela equipe médica.

Os tempos de modelagem da hélice e da base do implante tiveram uma pequena redução em relação à técnica convencional. A maior redução, entretanto, foi no tempo total desde a retirada das cartilagens até a união delas, devido à possibilidade de esculpir a hélice sem a necessidade de se ter em mãos o bloco principal de cartilagem. Como é comum nesse procedimento a participação de mais de um cirurgião, enquanto o primeiro esculpe a hélice oriunda da extração da costela flutuante, o segundo remove a cartilagem intercostal, otimizando os esforços e reduzindo o tempo total de modelagem.

Além disso, a máscara de posicionamento evita que o cirurgião precise traçar e medir o melhor ponto anatômico para a implantação do implante, definindo a posição do implante com precisão a partir de um planejamento prévio, o que reduz o trabalho médico e, conseqüentemente, o tempo do procedimento. O molde para a retirada da cartilagem costal permite a remoção da exata quantidade de cartilagem e no formato aproximado da base do implante. Sua utilização teve o resultado esperado, reduzindo o tempo e aumentando a precisão do processo.

Os moldes para marcação e o modelo do implante possibilitam que o cirurgião possa esculpir a cartilagem sem a necessidade de olhar a orelha do paciente e espelhá-la

mentalmente para chegar à forma desejada. Isso melhorou a precisão do processo, reduziu o esforço e o estresse do cirurgião, contribuindo para a melhoria da qualidade da cirurgia.

2.4.2 Sequência Pierre Robin

A Sequência de Pierre Robin (SPR) é uma condição congênita descrita pela primeira vez pelo médico francês Pierre Robin, em 1923. A SPR envolve micrognatia e glossoptose, podendo ainda estar associada à fissura palatina, resultando na obstrução mecânica do trato respiratório superior e dificuldade de alimentação. Esses problemas iniciais podem levar a sintomas secundários, como distúrbios respiratórios e do sono, desnutrição, aumento lento ou, mesmo, perda de peso corporal e morte precoce em casos graves (COLLARES *et al.*, 2016; MAO; ZHANG; CUI, 2019).

Figura 44. Exemplo de paciente com Pierre Robin



Fonte: Scott; Tibesar; Sidman (2012).

A técnica cirúrgica ideal para pacientes com SPR não é completamente estabelecida. Uma das técnicas cirúrgicas atualmente utilizada é a distração osteogênica mandibular bilateral, na qual a mandíbula é gradualmente estendida (Figura 46) e, por sua vez, move a língua para a frente, aliviando a obstrução do trato respiratório, melhorando a respiração, o sono e a deglutição (SCOTT; TIBESAR; SIDMAN, 2012; RESNICK, 2018).

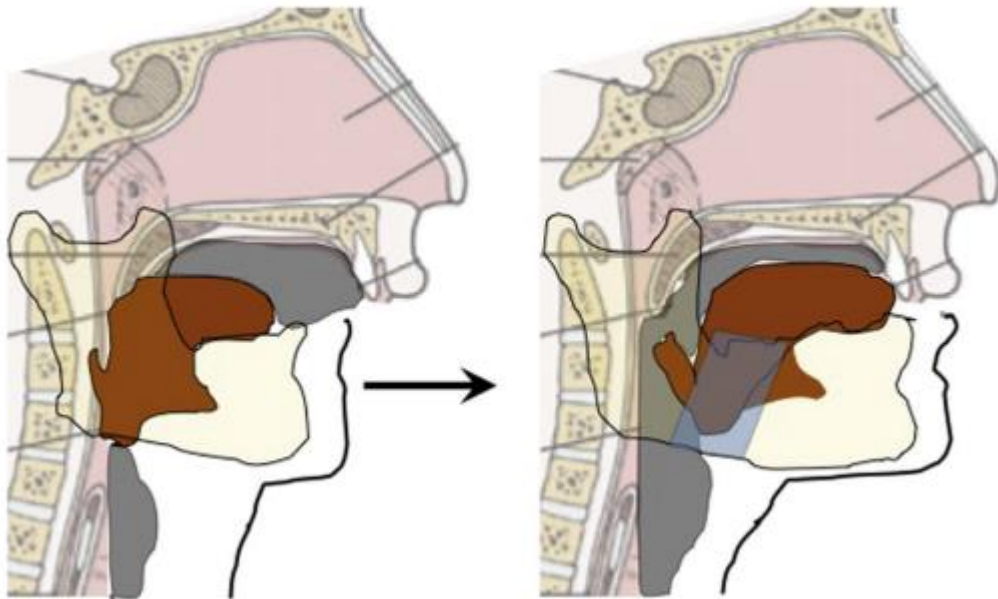
Figura 45. Evolução do tratamento com distração osteogênica



Fonte: Resnick (2018).

A Distração Osteogênica (DO) do esqueleto craniofacial em casos de Pierre Robin foi demonstrada, pela primeira vez, em 1992 (DOSCHER *et al.*, 2014) e, apesar de seus riscos potenciais, é muito utilizada, visto que 97% das crianças com Sequência de Pierre Robin tratadas através de DO demonstram melhora dos sintomas respiratórios (DOSCHER *et al.*, 2014; COLLARES *et al.*, 2016). Salienta-se que esse é o único tratamento que atua diretamente sobre a causa inicial da doença: a morfologia mandibular (DUARTE, 2020).

Figura 46. Alívio da obstrução lingual através da DO



Fonte: Scott; Tibesar; Sidman (2012).

Como qualquer tipo de cirurgia, a DO (Figura 47) é um tratamento de risco quando realizado na infância, pois podem ocorrer múltiplas complicações pós-operatórias, como lesão dentária permanente, acidentes por fratura, lesão do nervo alveolar mandibular, não união óssea, infecção e problemas de cicatrização (RESNICK, 2018; MAO; ZHANG; CUI, 2019).

Figura 47. Exemplo de distração óssea da mandíbula



Fonte: Pierre Robin: uma (con)sequência de vida (2019).

Adicionalmente, os bebês que sofrem de SPR comumente são pequenos e pouco desenvolvidos, com desnutrição moderada à grave. Portanto, precisão, sangramento intraoperatório reduzido e tempos de operação curtos são críticos para o êxito da cirurgia, tornando a preparação do plano cirúrgico muito importante. Atualmente, radiografias bidimensionais ou tomografia computadorizada (TC) são usadas para o planejamento cirúrgico, mas são limitadas por sua incapacidade de servir como um verdadeiro guia intraoperatório (DOSCHER *et al.*, 2014), uma vez que a maioria dos guias cirúrgicos usados para a distração mandibular são feitos à mão e, portanto, podem trazer desvantagens, como baixa precisão dimensional (MAO; ZHANG; CUI, 2019).

Como as malformações congênitas variam amplamente entre os pacientes, o planejamento individualizado pré-operacional é essencial para melhorar a eficácia da cirurgia e reduzir as complicações pós-operatórias. Nos bebês, o pequeno tamanho da mandíbula requer procedimentos e técnicas operacionais altamente precisas, em que qualquer erro pode levar a complicações graves (MAO; ZHANG; CUI, 2019).

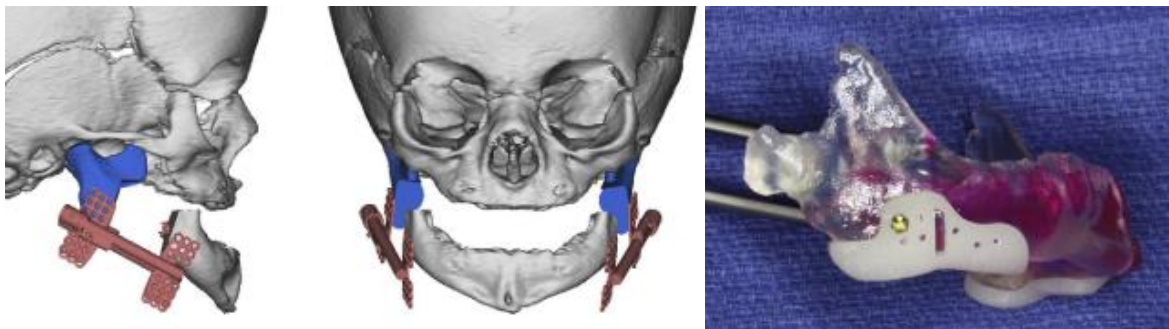
Para a DO mandibular neonatal, existem poucos relatos da utilização do VSP, porém, nos casos demonstrados, é verificada a melhora do planejamento cirúrgico, facilitando o gerenciamento de vetores de distração e simplificação da operação. A aplicação da técnica

de impressão 3D tem o potencial de reduzir os riscos cirúrgicos e aumentar a precisão e a eficácia do tratamento (RESNICK, 2018; MAO; ZHANG; CUI, 2019).

Os benefícios do planejamento virtual em 3D, nesse caso, se enquadram em duas categorias: (1) planejamento operacional e (2) execução cirúrgica. Duas características principais no VSP são os pontos de fixação do distrator e os vetores de distração, uma vez que um problema comum é a pouca área de osso disponível para posicionar o distrator e a definição ideal do ângulo (vetor) para distração. Uma vez posicionados no modelo virtual, pode-se medir a espessura da mandíbula em vários pontos e planejar o local apropriado para o posicionamento dos parafusos. Da mesma forma, o nervo alveolar inferior pode ser visualizado, bem como os germes dentais, que devem ser evitados nas osteotomias (RESNICK, 2018).

O segundo grande benefício é a capacidade de transferir o plano virtual para a sala de cirurgia usando guias e gabaritos operacionais. Guias de osteotomias personalizadas podem ser projetadas no espaço virtual e depois fornecidas como modelos 3D físicos (Figura 48). Encaixando-as na mandíbula durante a cirurgia, podem orientar a osteotomia e a colocação dos parafusos do distrator, correspondendo ao vetor planejado anteriormente (DOSCHER *et al.*, 2014).

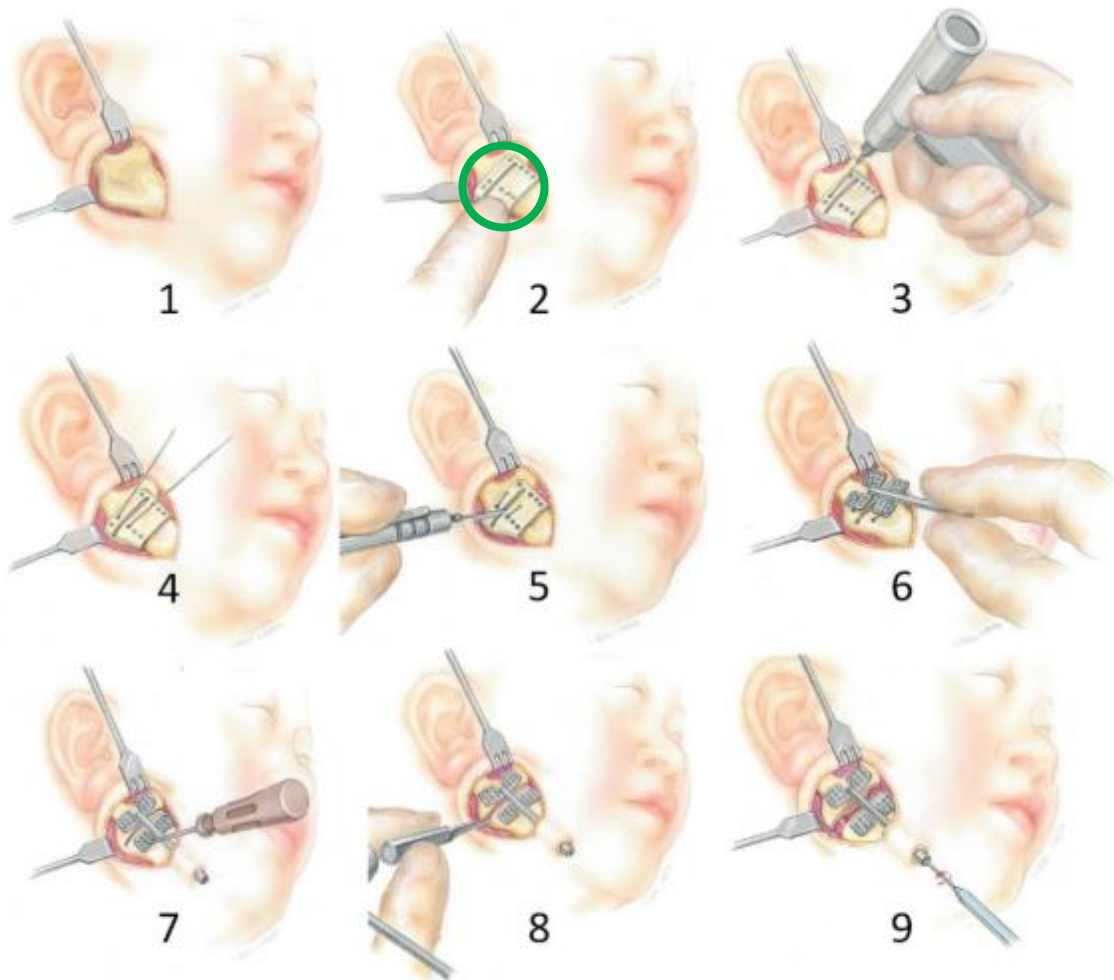
Figura 48. Transferência do VSP para a cirurgia



Fonte: Resnick (2018).

A sequência típica de aplicação do VSP em casos de Pierre Robin é mostrada na Figura 49, em que a diferença para o método tradicional é a inclusão do gabarito, salientado em verde, para orientar os pontos de fixação dos parafusos do distrator e, também, da posição da osteotomia.

Figura 49. Sequência de aplicação do gabarito de VSP



Fonte: Doscher *et al.* (2014).

Atualmente, a média de tratamentos de SPR no Hospital de Clínicas de Porto Alegre/RS é de 40 pacientes ao ano, sendo aproximadamente 60% pacientes com convênios ou particulares e 40% tratados via Sistema Único de Saúde (SUS). Considerando esse panorama, o potencial desse trabalho pode, no futuro, ser aplicado nos casos existentes no HCPA, e expandido para outros profissionais e instituições. Para isso, é importante salientar a utilização de softwares *open source* e impressoras 3D de baixo custo, de forma a definir um método eficaz e de custo acessível.

No HCPA, são utilizados distratores externos (“Pierre Robin: uma (con)sequência de vida”, 2018), visto que sua retirada é simplificada e menos traumática para o paciente, minimizando riscos relacionados a sedação severa, além dos riscos comuns a qualquer tipo de cirurgia (

Figura 50). O paciente fica com o distrator entre 45 e 60 dias, sendo sua alimentação, nesse período, realizada por sonda, seringas ou outros métodos que não envolvam a capacidade de sucção do bebê (amamentação ou mamadeira).

Figura 50. Distratores externos



Fonte: Pierre Robin: uma (con)sequência de vida (2018).

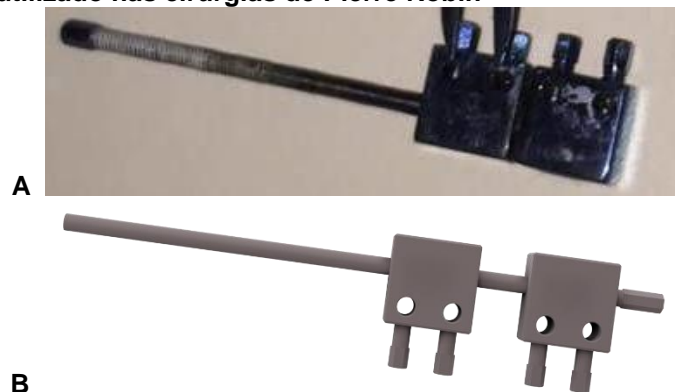
Baseado nessas informações, os principais objetivos elencados para a aplicação da VSP, nos casos de Pierre Robin, são:

- Definir os ângulos de distração, visando a melhora respiratória e de alimentação e, em consequência, melhoria estética.
- Proteger os germes dentais e o nervo alveolar inferior nas osteotomias.
- Posicionar os locais dos distratores, diminuindo as chances de fratura óssea.

2.4.2.1 Sequência Pierre Robin no HCPA

Os casos de Pierre Robin no HCPA utilizam o modelo de distrator externo (Figura 51A), que possibilita ajustes mais fáceis que os distratores internos, entretanto, apresentam cicatrizes maiores. Já a (Figura 51B) mostra o distrator em 3D, modelado para orientar o VSP.

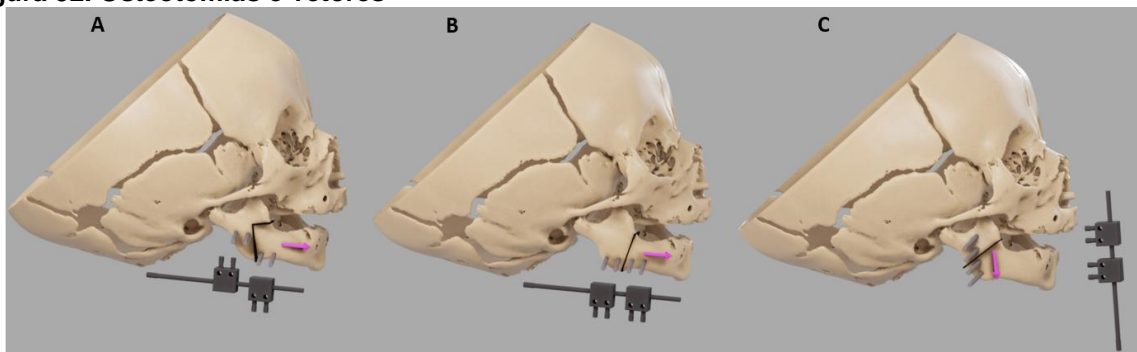
Figura 51. Distrator utilizado nas cirurgias de Pierre Robin



Fonte: Duarte (2020).

Três tipos de osteotomias são utilizadas, dependendo das especificidades do caso (Figura 52): em L invertido para alongamento de corpo ósseo (A), a oblíqua sobre o corpo para alongamento de corpo nos casos em que o L invertido não é tecnicamente possível (B) e a osteotomia horizontal sobre o ramo, nos casos de necessidade de alongamento de ramo e vetores verticais (C). Para casos em que não existe espaço para a colocação linear dos pinos de Schanz, devido ao pequeno tamanho da mandíbula, há a possibilidade de se inverter as caixas (A). Adicionalmente, as setas indicam o vetor de distração e, conseqüentemente, a posição do distrator (DUARTE, 2020).

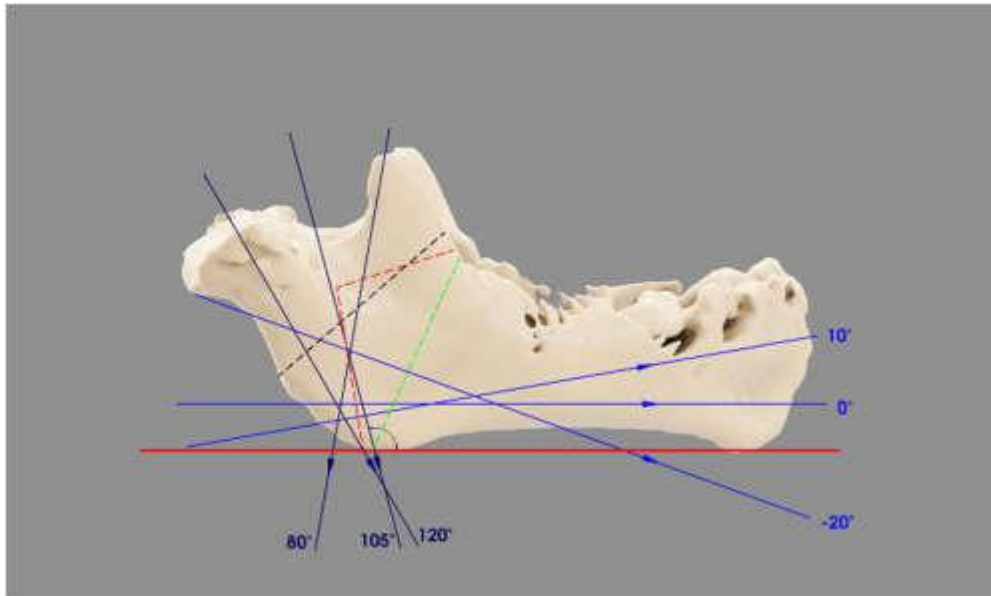
Figura 52. Osteotomias e vetores



Fonte: Duarte (2020).

A decisão sobre os vetores de distração varia conforme a morfologia mandibular. Os vetores verticais variam de 80 a 120 graus e os horizontais/ oblíquos de 10 a -20 graus em relação ao plano mandibular (gônio ao mento). A Figura 53 mostra as inclinações máximas para cada vetor e as três diferentes osteotomias utilizadas e seus vetores, respectivamente (DUARTE, 2020).

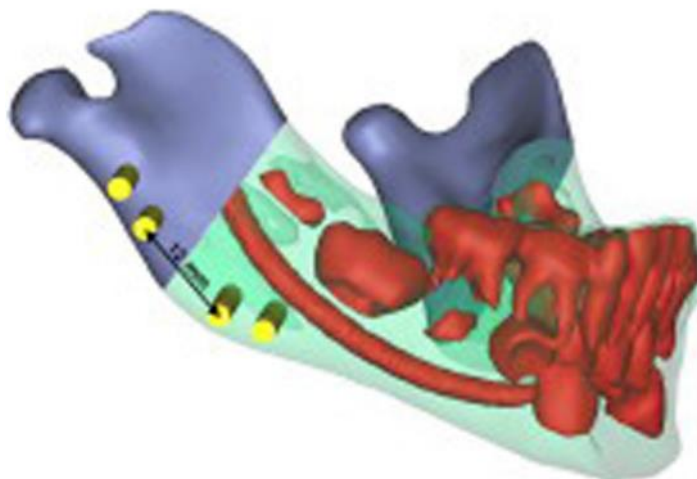
Figura 53. Planos das osteotomias



Fonte: Duarte (2020).

O plano da osteotomia (em azul) pode resultar na ruptura do nervo alveolar (salientado em vermelho na Figura 54), que deve ser evitado, mesmo em detrimento da possível ruptura dos germes dentais. Idealmente, deve-se evitar ambas as situações, porém, em bebês muito pequenos, por vezes prematuros, a fixação dos pinos do distrator é um desafio, pois além desses limitantes, deve-se tomar cuidado para que os pinos não fiquem muito próximos das extremidades da mandíbula, o que pode causar fratura óssea (HOARAU *et al.*, 2014)

Figura 54. Áreas a serem evitadas nas osteotomias (em vermelho)

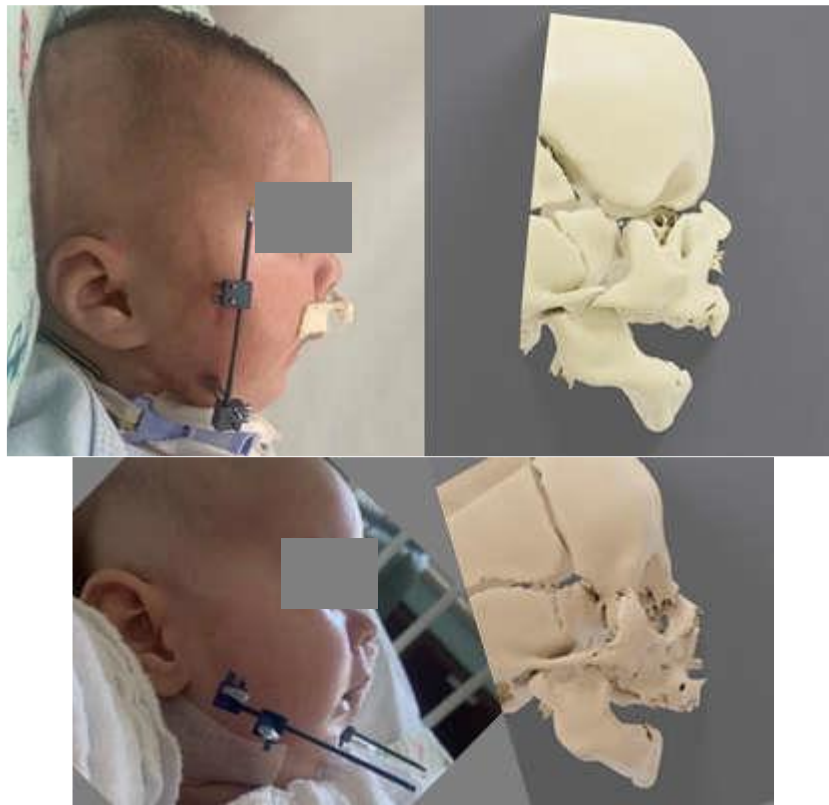


Fonte: Hoarau *et al.* (2014).

A próxima etapa é estabelecer os pontos de fixação dos distratores, que são fixados na mandíbula com quatro pinos de Schanz, que são similares a parafusos auto atarraxantes.

Após o ângulo ser adequado pela equipe cirúrgica, levando em conta o pouco espaço disponível na mandíbula, o distrator é posicionado, ficando o plano de osteotomia relativamente centralizado em relação aos pinos (DUARTE, 2020). Observa-se que o ângulo desses pinos estabelece o vetor de distensão da mandíbula (Figura 55).

Figura 55. Ângulo de distração

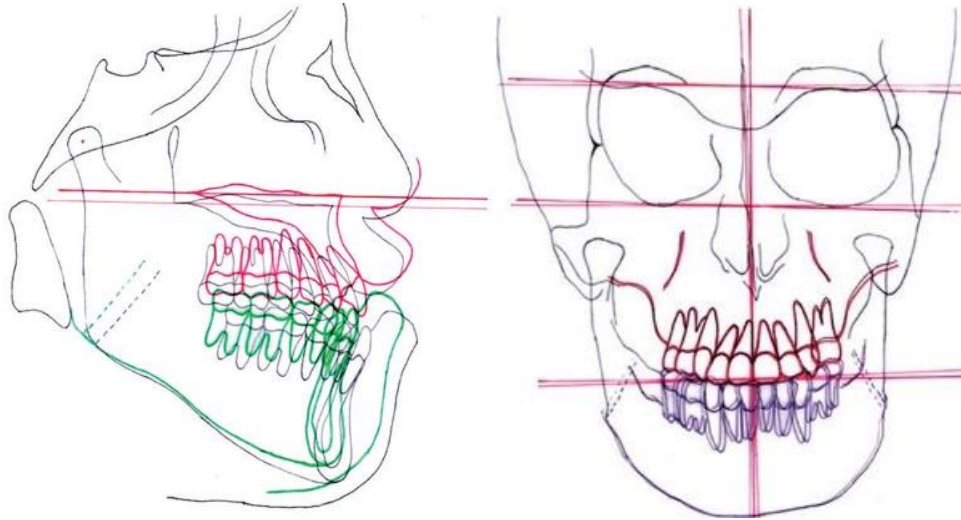


Fonte: Duarte (2020).

2.4.3 Cirurgia Ortognática

A cirurgia ortognática consiste no reposicionamento da maxila, mandíbula e seus segmentos ósseos, com três objetivos: ortodôntico, funcional e estético (PASCAL *et al.*, 2018). Seu planejamento envolve exames físicos, radiografias, cefalometrias - laterais e frontais - bidimensionais (Figura 56), moldes dentários, arco facial, articuladores e fotos. Porém, um procedimento tradicional de planejamento baseado em imagens 2D e moldes de gesso não consegue levar em conta algumas informações anatômicas do crânio, as quais, em pacientes com deformidades graves, podem levar a problemas significativos (CHIN *et al.*, 2017).

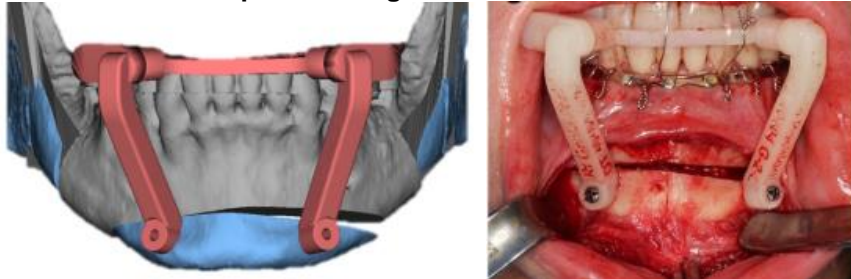
Figura 56. Exemplo de planejamento cirúrgico 2D



Fonte: Gandedkar; Chng; Yeow (2016).

O VSP, nesse caso, permite simulações combinadas de ossos e tecidos moles e medições quantitativas precisas. Também possibilita ferramentas de transferência do plano virtual para a cirurgia, ou seja, talas e gabaritos projetados e fabricados através de impressão 3D (Figura 57), o que permite maior acuracidade no planejamento e maior visibilidade para a atuação do cirurgião (PASCAL *et al.*, 2018; QIN *et al.*, 2019).

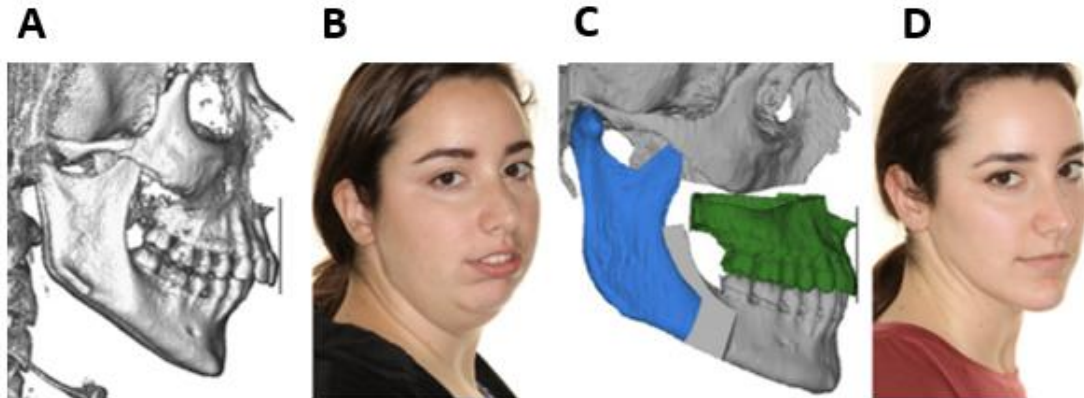
Figura 57. Transferência do VSP para a cirurgia



Fonte: Farrell; Franco; Tucker (2014).

Não é adequado considerar um elemento isolado para a orientação, diagnóstico ou tratamento do planejamento de cirurgia facial. O sucesso é alcançado através da concentração do foco nos padrões e nas relações entre as partes (GUNSON; ARNETT, 2019). O diagnóstico tridimensional virtual e o planejamento do tratamento têm o potencial de melhorar os resultados para os pacientes, obtendo-se resultados funcionais e estéticos superiores, como mostrado na Figura 58, em que é mostrado um exemplo pré-operatório (A, B), planejamento virtual (C) e resultado final (D).

Figura 58. Exemplo de aplicação do VSP

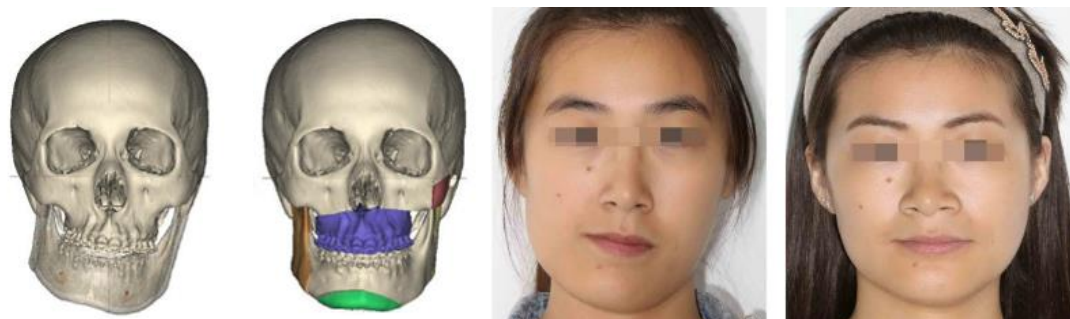


Fonte: Gunson; Arnett (2019).

O planejamento virtual aperfeiçoa a capacidade do clínico de diagnosticar e tratar problemas de forma e posição facial que impedem o paciente de realizar os três elementos-chaves da face: comer, respirar e se comunicar. Também aprimora a orientação esquelético-facial, posicionamento maxilar e mandibular e correção de assimetrias (GUNSON; ARNETT, 2019).

A assimetria facial, mencionada anteriormente, é um tipo de deformidade tridimensional complexa no campo da cirurgia maxilofacial. Tradicionalmente a escolha do procedimento cirúrgico depende, principalmente, da experiência clínica do cirurgião e das necessidades subjetivas dos pacientes, em vez de análises quantitativas. As radiografias cefalométricas tradicionais em 2D são geralmente de uso limitado para entender algumas deformidades da mandíbula, pois carecem de análise tridimensional. A análise cefalométrica baseada nas imagens 3D, por sua vez, fornece uma visão abrangente dos tecidos maxilofaciais, e a cirurgia virtual permite que os cirurgiões planejem os procedimentos de forma a prever os resultados finais, como pode ser visto na Figura 59 (QIN *et al.*, 2019).

Figura 59. VSP de caso de assimetria mandibular



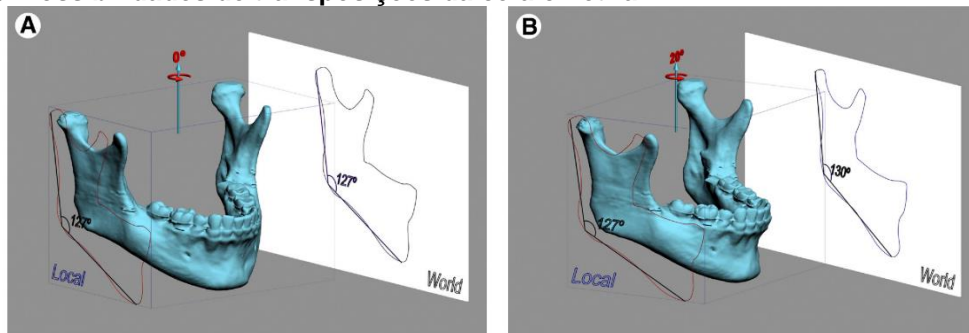
Fonte: Qin *et al.* (2019).

Ao planejar em 3D, o cirurgião é capaz de visualizar a arcada dentária, o esqueleto ósseo e os tecidos moles, tudo em um único modelo virtual. Além disso, as deformidades e

assimetrias podem ser detectadas pelo planejamento virtual, que não seriam detectados pela análise cefalométrica tradicional ou pelo exame físico (STOKBRO *et al.*, 2014).

A assimetria facial afeta as medidas cefalométricas, principalmente em 2D, já que dependem do parâmetro geométrico sendo medido, isto é, forma, tamanho, posição ou orientação (GATENO; XIA; TEICHGRAEBER, 2011). No exemplo da Figura 60, o ângulo gonial de uma mandíbula com simetria intrínseca é medido. Quando os ângulos de alinhamento do crânio e da mandíbula são iguais (A), a projeção bidimensional da mandíbula no plano sagital é traçada corretamente (127°). Quando a mandíbula é assimétrica em relação ao resto da face, pode ocorrer o mostrado na imagem B: o ângulo gonial projetado no plano é distorcido, nesse caso, aumentado para 130° .

Figura 60. Possibilidades de transposições da cefalometria 2D



Fonte: Gateno; Xia; Teichgraeber (2011).

Dessa forma, é visível que os recentes avanços na computação de imagens médicas tridimensionais para cirurgia ortognática possibilitaram um grande avanço e permitiram diagnóstico virtual, planejamento de tratamento e avaliação dos resultados do tratamento de deformidades maxilofaciais aprimorados. No entanto, para permitir que o cirurgião faça essa mudança no planejamento de rotina da cirurgia ortognática, de 2D para 3D, os sistemas de aquisição de imagens e o software de planejamento virtual em 3D devem ser simples de usar, facilmente acessíveis e disponíveis a um custo relativamente baixo (SWENNEN; MOLLEMANS; SCHUTYSER, 2009b).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A produção de conhecimento pode ser tanto puramente acadêmica e se referir a uma única disciplina, quanto, ainda, ser transdisciplinar, com o objetivo de resolver problemas, normalmente ocorrendo no contexto da aplicação. Essa abordagem da produção de conhecimento está fortemente relacionada aos objetivos da Pesquisa Científica de Design (Design Science Research – DSR), quando se considera que sua missão é desenvolver conhecimento que pode ser usado por profissionais para resolver seus problemas cotidianos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

A DSR não visa apenas produzir um artefato¹⁰, mas também gerar conhecimento sobre ele. Quando esse conhecimento está maduro e abrangente, ele pode ser sistematizado em uma teoria de design, podendo ter os formatos de constructos, modelos, métodos ou instanciações. O propósito de expressar o conhecimento do design como uma teoria é torná-lo explícito e sistemático para que ele possa ser usado e estendido em um processo de desenvolvimento cumulativo de conhecimento (JOHANESSON; PERJONS, 2007; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Portanto, devido a essas características que naturalmente se aproximam do teor deste trabalho, a DSR será a metodologia utilizada como base para estruturar as estratégias e métodos de pesquisa.

Design e DSR podem parecer muitos semelhantes, pois ambos se concentram no desenvolvimento de artefatos. Ambos também visam a novidade, ou seja, destinam-se a produzir ou investigar artefatos originais que diferem dos existentes. No entanto, os seus propósitos são diferentes no que se refere à sua generalização e à sua contribuição para o conhecimento. Por vezes, os resultados do trabalho de design são relevantes apenas para uma prática local, ou seja, em que apenas um único indivíduo, grupo ou organização se envolve, enquanto a DSR, em contraste, produz resultados relevantes para uma prática global, para a comunidade profissional e de pesquisa (JOHANESSON; PERJONS, 2007).

Os diferentes propósitos do design em relação à DSR dão origem a três requisitos adicionais. Em primeiro lugar, a finalidade de criar novos conhecimentos de interesse geral exige que esses projetos façam uso de métodos de pesquisa específicos. Em segundo lugar, o conhecimento produzido deve estar relacionado a uma base de conhecimento já existente, a fim de garantir que os resultados propostos sejam cientificamente

¹⁰ Um artefato é um objeto, físico ou virtual, feito com a intenção de ser usado para resolver um problema prático, podendo ser, por exemplo, uma metodologia ou *framework*.

fundamentados. Por fim, os resultados devem ser comunicados aos demais profissionais e pesquisadores da área (JOHANESSON; PERJONS, 2007).

Uma contribuição de DSR pode se apresentar de várias formas, como a construção de algo novo ou uma melhoria em relação a uma solução estabelecida para um problema conhecido ou, ainda, apenas uma modificação marginal de algo existente (JOHANESSON; PERJONS, 2007). Nesse contexto, essa pesquisa se encaixa na melhoria do processo de planejamento cirúrgico atual, de procedimentos específicos, com dificuldades e requisitos já estabelecidos.

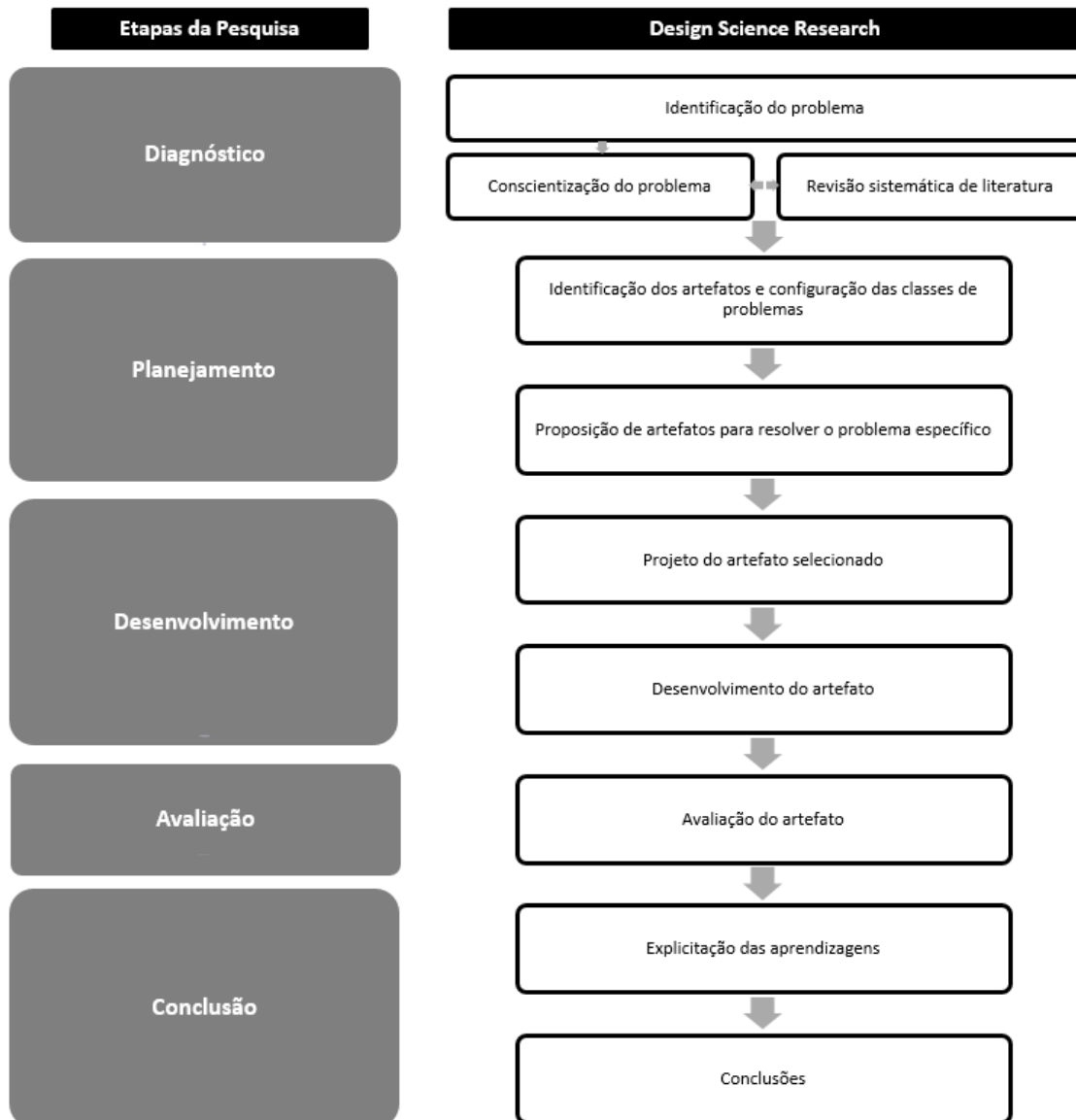
3.1 DELINEAMENTO

Para o delineamento da pesquisa, foram considerados o objetivo geral e os específicos, de maneira a possibilitar a verificação da hipótese e responder o problema de pesquisa (

Figura 61). O processo cíclico de pesquisa-ação da DSR consiste em cinco fases (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015) e, a partir delas, o projeto está estruturado da seguinte forma:

- **Diagnóstico:** Investiga e analisa a situação do problema para entender como pode ser modificado.
- **Planejamento:** Planeja ações que possam mudar e melhorar a situação atual.
- **Desenvolvimento:** Executa as ações planejadas.
- **Avaliação:** Avalia os resultados da intervenção.
- **Conclusão:** Reflete sobre a pesquisa realizada, em particular sobre os resultados para a prática local e o conhecimento gerado.

Figura 61. Etapas da metodologia fundamentada na DSR



Fonte: Adaptado de Dresch; Lacerda; Antunes Jr (2015).

Os procedimentos metodológicos para a consecução dos objetivos específicos estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3. Objetivos e Procedimentos metodológicos

Objetivos Específicos	Procedimentos Metodológicos
<p>1. Revisão de metodologias de projeto, PDPs e métodos de VSP.</p>	<p>1.1 Revisão dos principais PDPs e metodologias projetuais de design;</p> <p>1.2 Revisão da literatura relacionada ao planejamento cirúrgico virtual, com foco na sua aplicação metodológica.</p>
<p>2. Analisar os métodos de VSP, dentro dos procedimentos cirúrgicos estudados.</p>	<p>2.1 Identificar os pontos em comum, tanto na abordagem metodológica quanto técnica dos procedimentos cirúrgicos em si.</p>
<p>3. Compreender as técnicas de aquisição de dados de superfície 3D, definindo parâmetros e diretrizes para utilização no escaneamento facial.</p>	<p>3.1 Análise da utilização da digitalização 3D e tomografia computadorizada no VSP.</p> <p>3.2 Estudo sobre as especificidades da fotogrametria para os processos de escaneamento direcionado para os procedimentos cirúrgicos abordados.</p>
<p>4. Conhecer os processos de intervenções médicas referidos no objetivo geral.</p>	<p>4.1 Revisão da literatura científica da área de cada um dos tipos de cirurgia, com foco na utilização do VSP em cada procedimento.</p>
<p>5. Aplicar e desenvolver o modelo prévio e testá-lo para integração e isolamento das atividades comuns e das especificidades dos procedimentos abordados.</p>	<p>5.1 A partir do mapeamento gerado nas etapas anteriores, são propostos métodos para a solução dos problemas de posicionamento, simetria, avaliação de forma e volume e de modelagem através dos seguintes procedimentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Criação de modelos 3D a partir da digitalização dos pacientes; Integração e alinhamento de tomografia com escaneamento; Processamento das malhas para a medição de parâmetros relativos à cirurgia; Elaboração de gabaritos e dispositivos para auxílio à cirurgia, através de técnicas de fabricação digital.
<p>6. Propor um modelo de referência a partir dos resultados das diferentes aplicações.</p>	<p>Elaboração da metodologia refinada será com as sugestões de alterações propostas pelos cirurgiões, através de seus testes práticos:</p> <p>6.1 Protocolo dos procedimentos de aquisição de dados para a elaboração dos guias cirúrgicos, utilizando metodologia de projeto;</p> <p>6.2 Com base nas avaliações pela equipe de cirurgia e de problemas encontrados nas etapas de escaneamento, projeto e manufatura aditiva, descrever as contribuições metodológicas do design virtual nos planejamentos cirúrgicos abordados.</p>

Fonte: Autor.

3.1.1 Diagnóstico

A etapa de diagnóstico engloba a identificação e conscientização do problema, o que ocorre através da revisão da literatura, permitindo a construção da fundamentação teórica para o planejamento e desenvolvimento dos artefatos nas próximas etapas da pesquisa.

Esta pesquisa pode ser entendida como uma investigação com o objetivo de desenvolver teorias, estabelecer evidências e resolver problemas. Para esse efeito, é necessário que o pesquisador esteja ciente do que foi pesquisado anteriormente, de como foi pesquisado, dos resultados obtidos e do que ainda não foi investigado (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Para tanto, é necessária uma estratégia para revisão da literatura, vista a seguir.

3.1.1.1 Revisão da Literatura

As bases de dados utilizadas para a revisão de periódicos relacionados à medicina foram a ScienceDirect (www.sciencedirect.com) e a Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (www.rbc.org.br), além da revisão de artigos sugeridos pelos especialistas, bem como periódicos analisados na pesquisa prévia (dissertação de mestrado). As buscas no ScienceDirect foram feitas pelas *strings* “*Virtual Surgical Planning*”, “*Computer Assisted Surgery*”, “*Computer Aided Surgical Simulation*”, “*Plastic Surgery VSP 3D*”, “(3D OR VSP) AND *Pierre Robin*”, “(3D OR VSP) AND *Ortognatic Surgery*”, “(3D OR VSP) AND *Ear Reconstruction*” e “*Body Scan 3D*”, nos campos “*Title*”, “*Abstract*” e “*Keywords*”. Artigos publicados em línguas diferentes do inglês, português, francês e espanhol foram excluídos da próxima etapa de revisão.

Já na RBCP foram utilizadas as mesmas *strings*, em língua inglesa, e também as suas equivalências em português, dessa vez em todos os campos de pesquisa: “Planejamento Cirúrgico Virtual”, “CAS ¹¹ Planejamento Cirúrgico”, “CASS ¹² Planejamento Cirúrgico”, “Planejamento Cirúrgico AND Cirurgia Plástica”, “Pierre Robin”, “Cirurgia Ortognática”, “Reconstrução Auricular” e “Escaneamento Tridimensional”. Foi excluído o sufixo “3D” nessa base de dados devido à baixa ocorrência de resultados.

¹¹ Computer Aided Surgery

¹² Computer Aided Surgical Simulation

Figura 62. Exemplos de buscas nas bases de dados ScienceDirect

ScienceDirect Journals & Books

Advanced Search

Find articles with these terms

In this journal or book title _____ Year(s) _____

Author(s) _____ Author affiliation _____

Title, abstract or author-specified keywords
(3D OR VSP) AND pierre robin

▼ Show all fields

Cancel Search Q

Fonte: Autor.

Títulos, palavras chaves e *abstracts* foram revisados, sendo excluídos artigos que não eram de interesse. Posteriormente, ocorreu a leitura integral dos artigos que passaram da primeira etapa de filtragem, para análise dos pontos de interesse e correlação com os objetivos da tese. A organização desses arquivos foi feita no gerenciador de referências Mendeley Desktop (Figura 63), para estruturação das leituras e marcação dos artigos a serem transpostos para o texto definitivo.

Figura 63. Organização dos artigos para leitura

Mendeley Desktop

File Edit View Tools Help

Add Folders Related Sync Help

Search... Rogêllo

Authors	Title	Year	Published In	Added
Ramsay, Joyce; Seoud, Lama; Barchi, Soraya; Cheriet, Far...	Assessment of Breast Asymmetry in Adolescent Idiopathic Scoliosis Using an Automated 3D Body Surface Measur...	2017	Spine Deformity	01/10/19
Sun, Shuh Ping; Hsu, Ko Wen; Chen, Jing Shyr	The stable status evaluation for female breast implant surgery by calculating related physics parameters	2008	Computer Methods and Pr...	01/10/19
Sforza, Marcos; Andjelkovic, Katarina; Zaccardo, Renat...	Hybrid Breast Augmentation : A Reliable Formula for Preoperative Assessment of Fat Graft Volume Based on F...	2016	Aesthetic Surgery Journal	11/12/19
Hoves, Benjamin H. I.; Watson, David I.; Fosh, Be...	A preliminary assessment of the predictability of fat grafting to correct silicone breast implant-related complic...	2016	Aesthetic Surgery Journal	01/10/19
Sun, Shuh Ping; Hsu, Ko Wen; Chen, Jing Shyr	Magnetic Resonance Imaging Versus 3-Dimensional Laser Scanning for Breast Volume Assessment after Breast Rec...	2017	Annals of Plastic Surgery	01/10/19
Kobani, Konstantin C.; Hartnagel, Felix; Tiltz, Virgini...	Postoperative evaluation platform of female breast implant surgery with breast configuration indicator	2009	Computers in Biology and Me...	01/10/19
Yang, Jiqiao; Zhang, Run; Shen, Jian; Hu, Yuanyan; ...	Chances and limitations of a low-cost mobile 3D scanner for breast imaging in comparison to an established 3D photog...	2018	Journal of Plastic, Reconstructive ...	01/10/19
Denoeel, C.; Ismael Aguirre, M. F.; Bianco, G.; Mahaudens, ...	The Three-Dimensional Techniques in the Objective Measurement of Breast Aesthetics	2015	Aesthetic Plastic Surgery	01/10/19
Pesce, M.; Galantucci, L. M.; Perocco, G.; Lavecchia, F.	Idiopathic scoliosis and breast asymmetry	2009	Journal of Plastic, Reconstructive ...	01/10/19
Isaac, Kathryn V.; Murphy, Blake D.; Beber, Brett; Brow...	A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects	2015	Procedia CIRP	01/10/19
Zheng, Rong; Yu, Winnie; Fan, Jintu	The Reliability of Anthropometric Measurements Used Preoperatively in Aesthetic Breast Surgery	2016	Aesthetic Surgery Journal	01/10/19
Li, Danni; Cheong, Audrey; Reece, Gregory P.; Crosby...	Development of a new chinese bra sizing system based on breast anthropometric measurements	2007	International Journal of Indu...	01/10/19
Wu, Rongwei; Yang, Xiaonan; Jin, Xiaolei; Lu, Hebin; Ja...	Computation of breast ptosis from 3D surface scans of the female torso	2016	Computers in Biology and Me...	01/10/19
Small, Kevin H.; Tepper, Oren M.; Unger, Jacob G.; Kumar...	Three-dimensional volumetric analysis of 3 fat-Processing techniques for facial fat grafting a randomized clinical trial	2018	JAMA Facial Plastic Surgery	01/10/19
Castro, Claudio Cardoso De;	Re-defining pseudoptosis from a 3D perspective after short scar-medial pedicle reduction mammoplasty	2010	Journal of Plastic, Reconstructive ...	01/10/19
	Conceituação sobre as Mamoplastias e Mastopexias	2002	Rev. Soc. Bras. Cir. Plast.	01/10/19

Details Notes Contents

Type: Journal Article

The effect of mandibular distraction osteogenesis on airway obstruction and polysomnographic parameters in children with Robin sequ...

Authors: A. da Costa, D. Manica, C. Schweiger et al.

View research catalog entry for this paper

Journal: *Journal of Crani-Maxillofacial Surgery*

Year: 2018

Volume: 46

Issue: 8

Pages: 1343-1347

Abstract:
Introduction: The optimal surgical technique for the management of patients with Robin Sequence (RS) has not been established. One of the most commonly used surgical techniques, mandibular distraction osteogenesis (MDO), is still controversial because of its potential risks and the lack of clear evidence of its efficacy. Objectives: To assess variations in airway patency, clinical symptoms, and polysomnographic parameters in children with RS who underwent MDO. Methods: In this prospective cohort study, 38 patients with RS were evaluated before and after MDO.

Fonte: Autor.

Já no âmbito das metodologias de projeto, recorreram-se a fontes consolidadas no ensino de design, abrangendo, principalmente, livros e teses que tratam da teoria da construção e aplicação das metodologias de projeto.

No capítulo seguinte, são compiladas e sintetizadas as informações dos artigos encontrados, explanando brevemente as doenças que levam à busca do tratamento e, subsequentemente, como o VSP é utilizado atualmente em cada caso.

3.1.2 Planejamento

Para a proposição do artefato, é necessária a triangulação dos dados da revisão da literatura (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015) e, para tanto, os dados coletados na fase inicial serão confrontados. Por meio dessa análise será possível realizar a definição do escopo, além de determinar e organizar os requisitos para a definição das estratégias e ações que irão compor o modelo VSP.

3.1.3 Desenvolvimento

Nesta etapa, os artefatos para a solução do problema de pesquisa são projetados. Esse artefato deve ser percebido como a organização dos componentes do ambiente interno, ou seja, os dados previamente levantados advindos da revisão da literatura, para atingir os objetivos de um ambiente externo – a prática cirúrgica (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Os dados coletados na fundamentação são confrontados e, por meio dessa análise, é possível realizar a definição dos requisitos técnicos e metodológicos para o planejamento cirúrgico virtual dos procedimentos abordados.

3.1.4 Avaliação

Esta etapa descreve a estratégia, o processo de avaliação e os instrumentos utilizados para tanto, especialmente em como as estratégias e métodos de pesquisa selecionados serão aplicados. A avaliação de um artefato para o design pode ser realizada através da instanciamento, que é a aplicação dos artefatos projetados em uma aplicação real (JOHANESSON; PERJONS, 2007) ou simulada (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Após a avaliação do modelo inicial, baseado nos procedimentos de reconstrução auricular, é feito o refinamento do modelo e a simulação de sua aplicação, em casos de cirurgias craniomaxilofaciais. Essas aplicações ocorrem em paralelo a pesquisas de doutorado do Faculdade de Medicina da UFRGS em parceria com o HCPA, sendo a aplicação do modelo VSP testada não como ferramenta primária de planejamento, dessa forma não sendo um elemento de risco adicional ao processo cirúrgico.

Nessa etapa é possível analisar a fluidez e efetividade do modelo, tanto pela observação do pesquisador, como pelas percepções dos especialistas participantes. Caso necessário, após a aplicação, é realizado o refinamento das técnicas utilizadas.

A análise dos resultados ocorre a partir dos registros documentais, dos resultados gerados pelos especialistas, e pela observação participante. A observação participante é uma abordagem e um estudo em profundidade, qualitativos, com interesse no pensamento e na interação humana vistos a partir da perspectiva de pessoas que são membros de situações específicas (FLICK, 2009). Essa análise serve para verificação de inconsistências na metodologia e técnicas utilizadas, bem como possíveis lacunas.

3.1.5 Conclusão

A conclusão da pesquisa apresenta a generalização de conceitos para uma classe de problemas e aborda questões sobre as limitações encontradas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Esta etapa também reflete sobre a pesquisa realizada e suas contribuições, discute a novidade e o valor do artefato em comparação com os existentes, descreve a importância prática e teórica das contribuições. Ainda, pode sugerir elementos para futuras pesquisas (JOHANESSON; PERJONS, 2007).

O capítulo final também avalia em que medida o problema, os objetivos e as questões de pesquisa foram abordados ao longo do estudo, juntamente com a eficácia e validade dos mesmos dentro de cada etapa. As descobertas são discutidas em contexto e, quando apropriado, comparadas e contrastadas com a literatura. Dessa forma, o modelo e as técnicas de VSP poderão ser expandidos para além dos procedimentos cirúrgicos aplicados, sendo viável sua generalização para outras áreas da cirurgia plástica.

A divulgação científica será realizada a partir de publicações em periódicos científicos, eventos da área, congressos, seminários, dentre outras formas. Os processos, técnicas e produtos desenvolvidos serão disponibilizados sem custos de propriedade para o sistema de saúde público, bem como para outras instituições de ensino.

4 INSTANCIACIONES E EVOLUÇÃO DO MODELO VSP

As etapas desenvolvidas até o momento possibilitaram o aprofundamento e a compreensão do contexto teórico da pesquisa e das variáveis que envolvem o problema, assim como a estruturação da metodologia de pesquisa. A seguir são mostrados os resultados obtidos, com casos estudados a partir da participação em projetos de pesquisas ligados ao Programa de Pós-graduação em Ciências Cirúrgicas da UFRGS e ao HCPA, orientados pelo Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares.

O detalhamento dessas pesquisas está descrito nos subcapítulos e foi possibilitado ao pesquisador acompanhar alguns casos, para que ocorresse a familiarização com os requisitos de projeto dos cirurgiões. Os planejamentos virtuais, à exceção dos casos de reconstrução auricular, foram estudados para verificar, de maneira inicial, se correspondiam às expectativas para futura utilização como ferramenta principal de planejamento cirúrgico, não sendo utilizadas, nesse momento, como método primário de planejamento.

Todos os casos utilizaram, exceto os de reconstrução auricular, o planejamento tradicional como ferramenta primária para a cirurgia, sendo o VSP utilizado como proposta de avaliação da metodologia proposta.

4.1 RECONSTRUÇÃO AURICULAR

O método de planejamento virtual de reconstruções auriculares resultou na aplicação prática em três cirurgias durante o período do mestrado (PINHEIRO, 2015). O resumo do método se encontra no capítulo 2 dessa pesquisa, já seu detalhamento, bem como os termos de anuência e parceria entre as instituições PGDesign/UFRGS e HCPA, estão descritas na dissertação, disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/131064>. A Figura 64 mostra um exemplo de aplicação dos gabaritos durante a cirurgia.

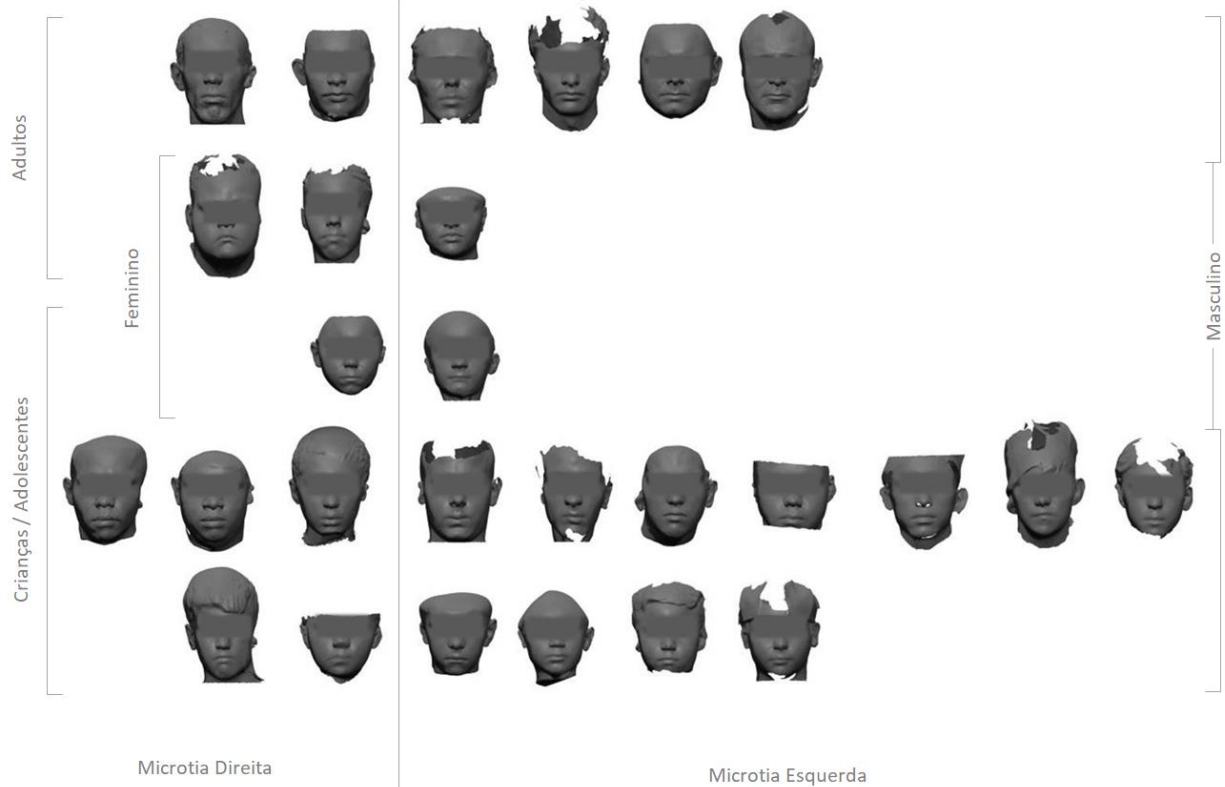
Figura 64. Exemplo de aplicação do método de reconstrução auricular



Fonte: Pinheiro (2015).

Posteriormente, durante o doutorado, foram realizadas outras 22 cirurgias, sendo que outros casos estão em atual desenvolvimento, visto que há demanda recorrente no HCPA. Essas aplicações foram utilizadas, também, como avaliação do modelo VSP, sendo validado e estabelecido como método padrão de planejamento para as cirurgias de reconstruções auriculares. Há, ainda, uma fila de aproximadamente 25 pacientes aguardando o procedimento. A Figura 65 apresenta uma demografia dos casos realizados até o momento, em que se observa predominância de procura por tratamento por pessoas do sexo masculino e com microtia esquerda.

Figura 65. Demografia dos pacientes de reconstrução auricular



Fonte: Autor.

Buscando facilitar sua aplicação em outros locais e por outros especialistas, será necessário torná-lo acessível, tanto do ponto de vista financeiro, quanto do viés de facilidade de aplicação. Assim, o processo passará a utilizar a fotogrametria para o escaneamento do paciente, através de fotos de celular. Isso evita necessidade de um scanner 3D de luz branca, que possui um alto custo (superior a US\$ 15.000,00) e, dessa forma, é inacessível a muitos profissionais e instituições de saúde.

O processo de projeto será transferido do software Autodesk 3DS Max para o Blender, em virtude de não ter custo e por possuir capacidades similares ao software utilizado atualmente. Além disso, serão disponibilizadas as informações relacionadas à fabricação digital, planejadas para utilização de uma impressora 3D FDM de custo inferior a R\$ 3.000,00.

4.2 SEQUÊNCIA PIERRE ROBIN

Os casos de Pierre Robin abordados aqui, bem como de Cirurgia Ortognática, visto no capítulo a seguir, fazem parte do projeto de pesquisa de doutorado da Dra. Daniele Walter Duarte, ligada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cirúrgicas da UFRGS e ao HCPA, orientada do Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares. A pesquisa busca definir

padrões dimensionais da área palatal de bebês saudáveis, no intuito de auxiliar a definição de parâmetros para o planejamento de cirurgias de Pierre Robin.

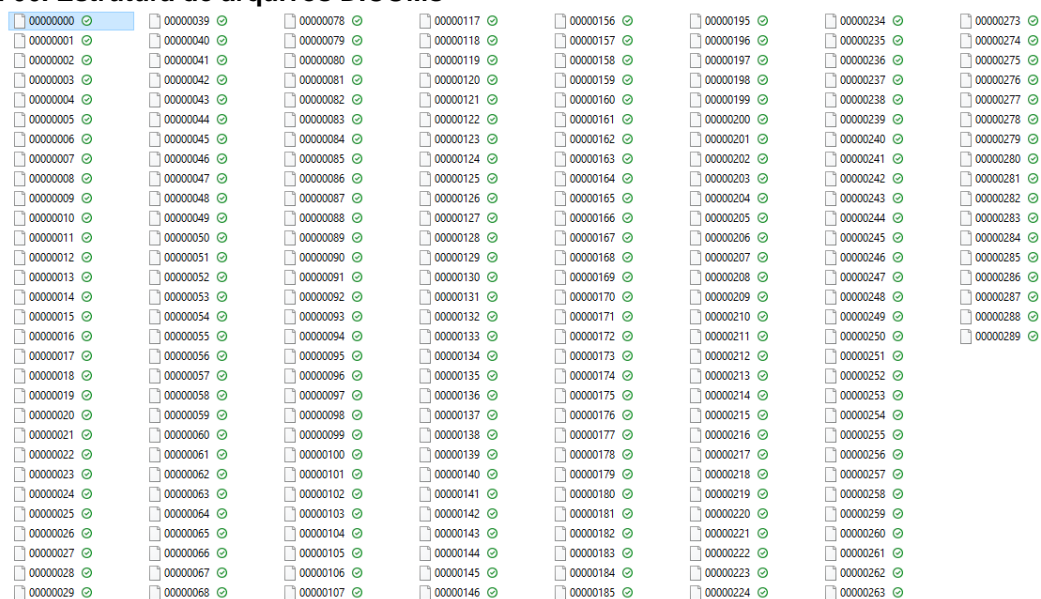
Nesse primeiro estágio, foram feitos testes de possível aplicação de um método inspirado no planejamento das cirurgias de reconstrução auricular, contemplando o posicionamento virtual das osteotomias e pontos de fixação dos distratores responsáveis pela distensão da mandíbula. Nesse momento, o método foi utilizado para verificar se estava de acordo com o planejamento cirúrgico tradicional, e não com o intuito de ser a ferramenta principal de planejamento.

Os estudos, vistos a seguir, serviram para relacionar com as publicações acerca do assunto, bem como estabelecer um modelo de VSP de cirurgias de distração osteogênica de Pierre Robin.

4.2.1 Importação da Tomografia Computadorizada – DICOMs

Para a visualização da tomografia computadorizada é necessária a conversão dos arquivos DICOMs, originários do tomógrafo, que se caracterizam por inúmeros arquivos individuais, resultados de cada fatia de imagem digitalizada, configurando-se como uma espécie de uma sequência de radiografias feitas ao longo do volume do crânio do paciente. A quantidade de fatias varia de acordo com a área a ser coberta pelo tomógrafo, bem como de sua resolução. No exemplo da Figura 66 é mostrado uma estrutura de arquivos, formada por 289 arquivos DICOMs, número médio para TCs de crânio de bebês.

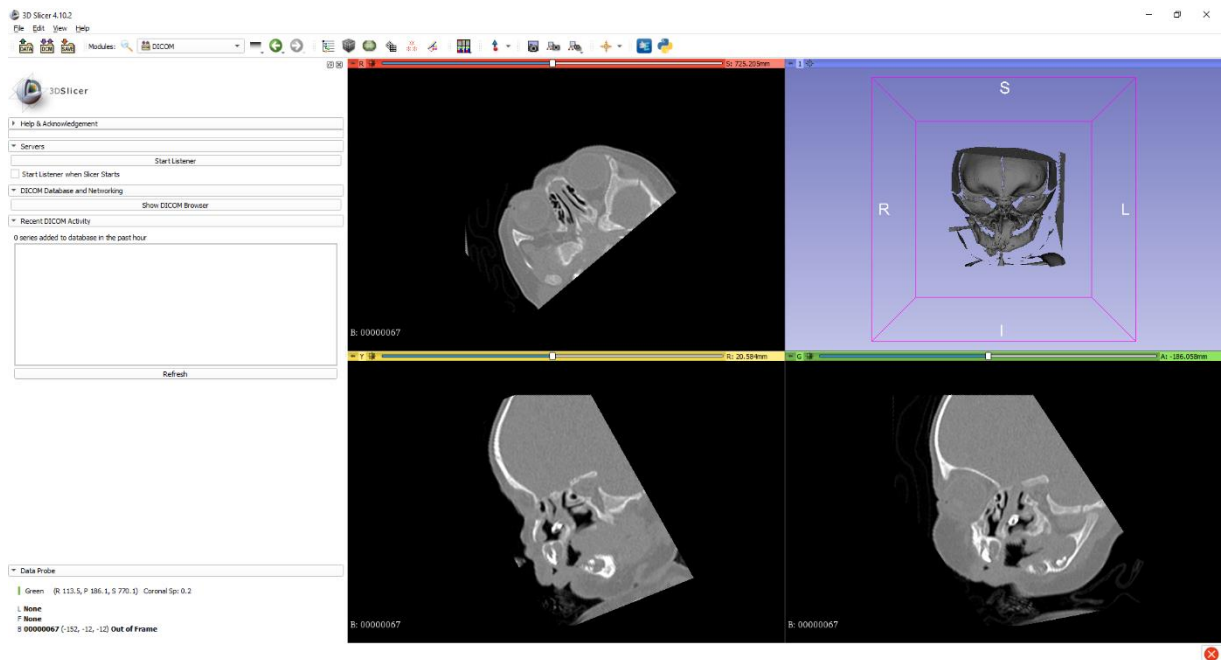
Figura 66. Estrutura de arquivos DICOMs



Fonte: Autor.

Nativamente o Blender não lê arquivos DICOMs e, para isso, é utilizado um software intermediário para a conversão em STL, uma extensão de arquivo genérica de objetos 3D. O 3DSlicer (Figura 67) é uma iniciativa do National Alliance for Medical Image Computing (NA-MIC), que proporciona a leitura dos arquivos DICOMs de forma gratuita.

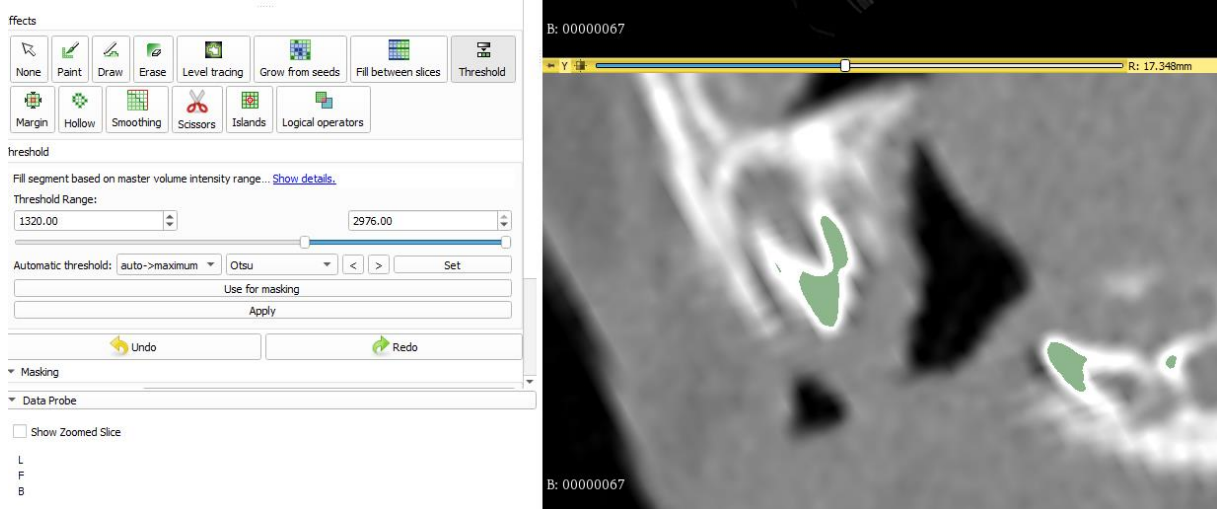
Figura 67. Visualização da Tomografia no 3DSlicer



Fonte: Autor.

Através da ferramenta *Threshold* (Limite), é possível percorrer um *slider* para visualizar o nível de densidade dos tecidos, salientado em verde na Figura 68. Assim, é possível especificar corretamente os valores para os dentes, ossos e tecidos moles, para o software separar os dados desses três segmentos e exportá-los em diferentes camadas, facilitando a organização do arquivo no Blender.

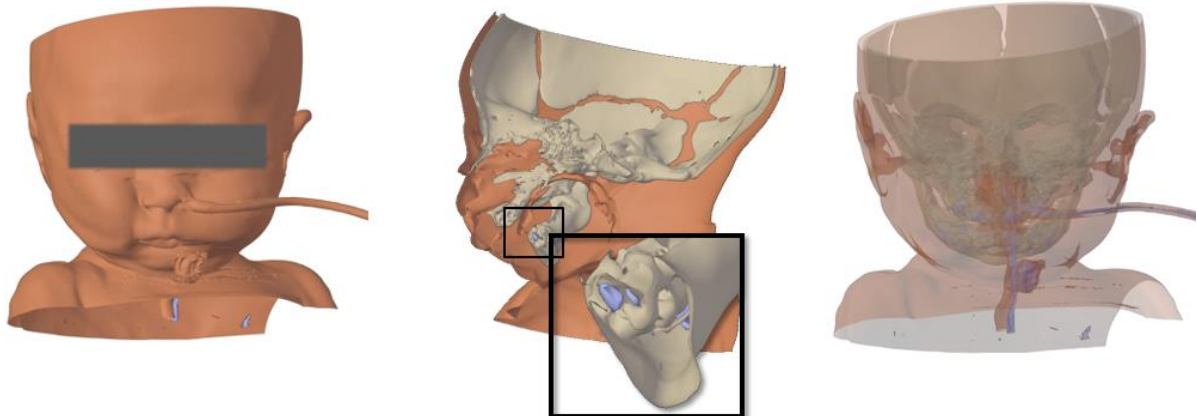
Figura 68. Especificação das camadas osseas, dentais e superficiais



Fonte: Autor.

Esse processo é facilitado pelo uso do *add-on* Ortogonblender (MORAES, 2019), uma extensão do Blender que possui diversos atalhos e fluxos sequenciais para aprimorar e agilizar o trabalho com imagens médicas, voltado para cirurgias ortognáticas. Na Figura 69 pode-se ver um exemplo de tomografia já importada no Blender, em que são exibidos em laranja os tecidos moles, em azul os dentes e, em branco, os ossos.

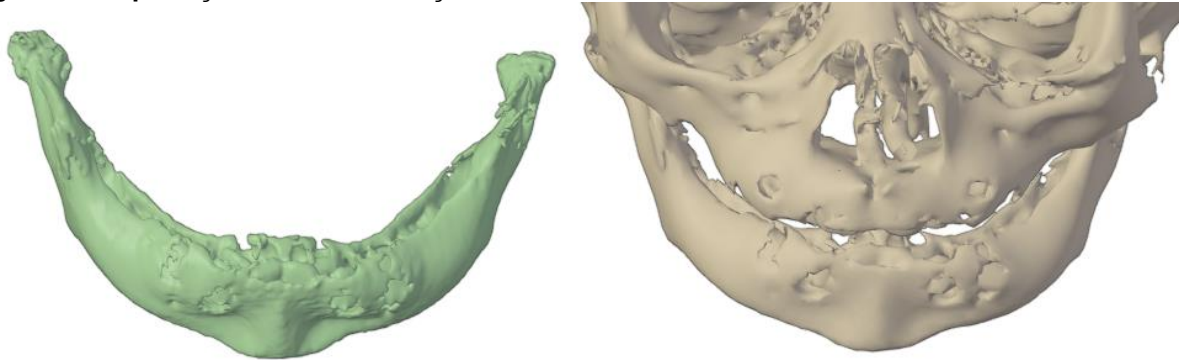
Figura 69. Tomografia importada no Blender



Fonte: Autor.

Como a quantidade de informações oriundas da TC é grande, a simplificação da malha se faz necessária para facilitar o processamento gráfico. Pode-se simplificar as áreas que não são o foco do VSP e importar a área de interesse com uma resolução maior, como o caso da mandíbula, mostrada em verde na Figura 70.

Figura 70. Importação em alta resolução da mandíbula



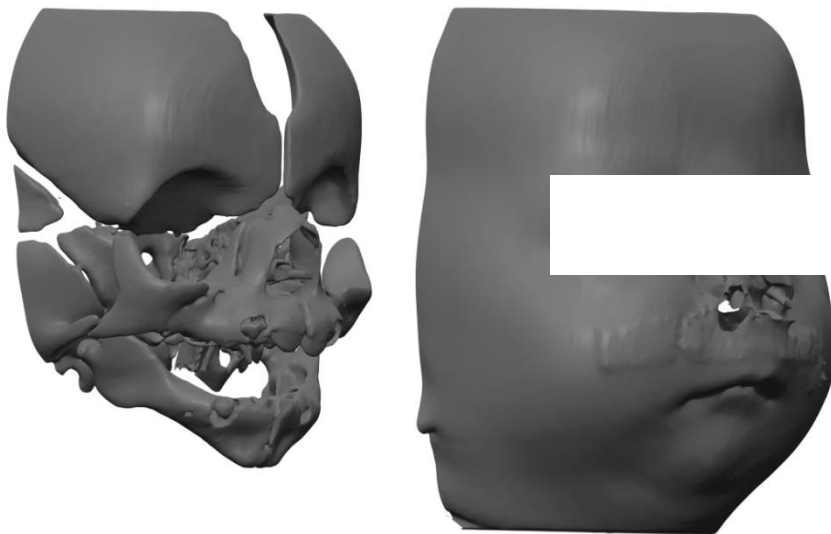
Fonte: Autor

Com o processo de importação definido, pode-se partir para as análises relativas ao VSP.

4.2.2 Casos acompanhados de PRS

Para que o pesquisador pudesse se familiarizar com o tema e relacioná-lo com a literatura, o HCPA oportunizou o acompanhamento de um caso de DO em paciente com Sequência Pierre Robin, mostrado na Figura 71. Após importar a tomografia para o software Blender, pôde-se analisar a geometria inicial e simular o VSP, em conjunto com a equipe cirúrgica, envolvendo posicionamento das osteotomias, do distrator e vetores de distração.

Figura 71. Tomografia de um caso de Pierre Robin

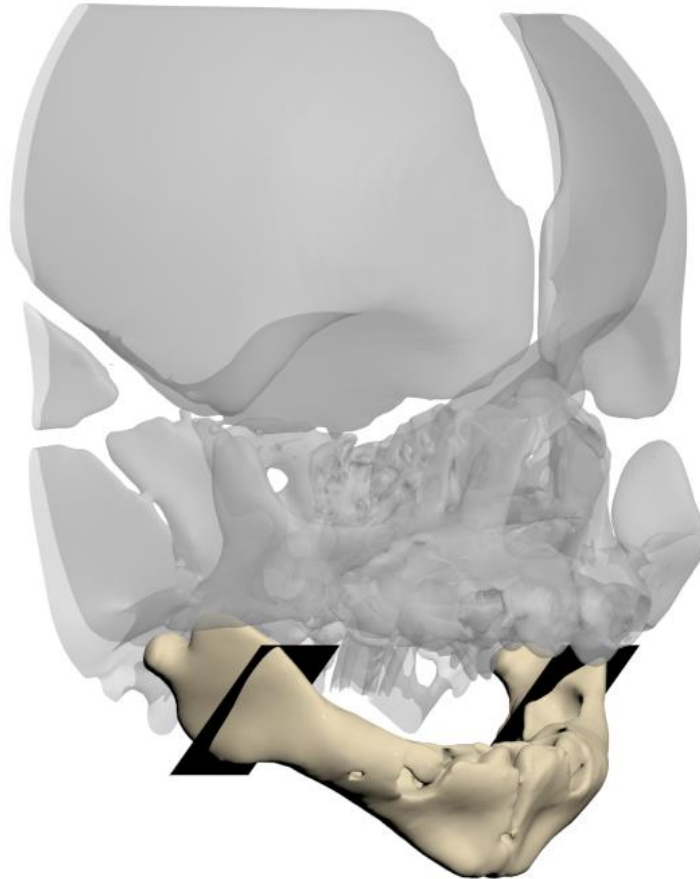


Fonte: Autor.

O modelo 3D foi segmentado, fazendo-se a separação da mandíbula do crânio, para facilitar a visualização e alterações posteriores nessa área. A linha da osteotomia foi traçada

a partir dos ângulos estipulados pelos especialistas para a distração osteogênica da mandíbula (Figura 72).

Figura 72. Planos das osteotomias

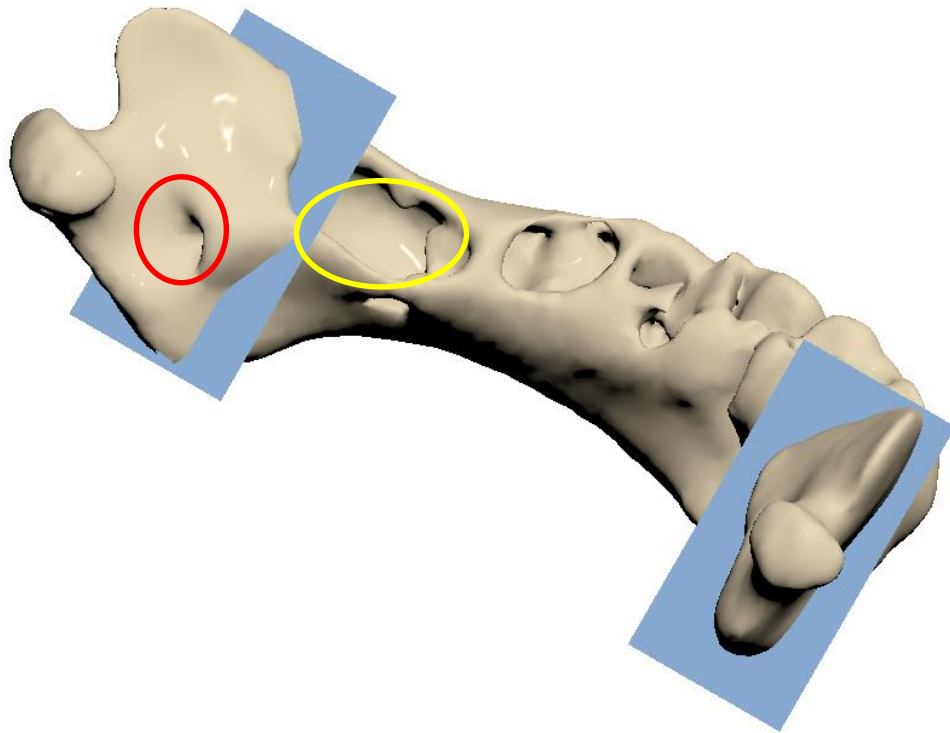


Fonte: Autor.

Depois da visualização em 3D, notou-se que o plano da osteotomia (em azul) poderia resultar na ruptura do nervo alveolar (salientado em vermelho na

Figura 73), que deve ser evitado, mesmo em detrimento da possível ruptura dos germes dentais (marcação em amarelo). Idealmente, deve-se evitar ambas as situações, porém, em bebês muito pequenos, por vezes prematuros, a fixação dos pinos do distrator é um desafio, pois além desses limitantes, deve-se tomar cuidado para que os pinos não fiquem muito próximos das extremidades da mandíbula, o que pode causar fratura óssea.

Figura 73. Planos da osteotomia

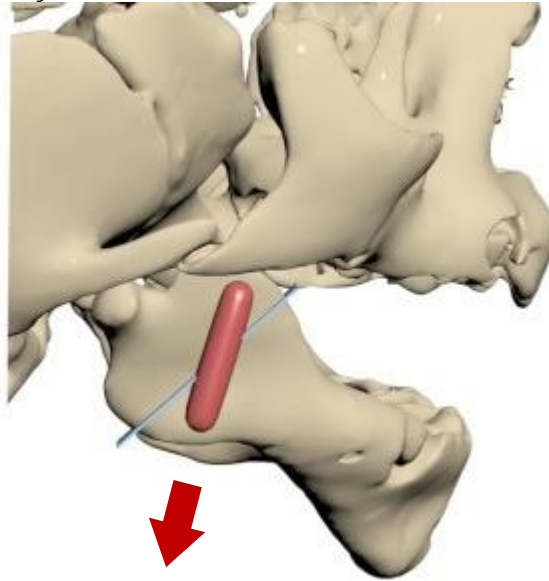


Fonte: Autor.

A próxima etapa é estabelecer os pontos de fixação dos distratores, que são fixados com quatro pinos de Schanz, que são similares a parafusos auto-atarraxantes. Após o ângulo ter sido readequado pela equipe cirúrgica, levando em conta o pouco espaço disponível na mandíbula, o distrator foi posicionado virtualmente, ajustando-se, a partir disso, o plano de osteotomia, para que ficasse relativamente centralizado em relação aos pinos. Observa-se que o ângulo desses pinos estabelece o vetor de distensão da mandíbula (seta vermelha na Figura 74).

Para transferir o VSP para a cirurgia, foi levantada a possibilidade de imprimir um gabarito de encaixe na mandíbula para marcar cada um dos furos, ou se utilizar uma canaleta (retângulo na Figura 74), marcando o ângulo e as posições finais, possibilitando ao cirurgião o ajuste do local dos parafusos no momento do procedimento.

Figura 74. Ângulo de distração



Fonte: Autor.

Foram projetados um gabarito direito e um esquerdo, com o objetivo de serem transferidos via marcação de lápis, no osso, identificando a osteotomia e a posição dos pinos. Um requisito de projeto foi seu tamanho compacto, com o intuito de manter a incisão do tamanho dos procedimentos atuais. Considerou-se fazer o gabarito bipartido, porém, visto que a largura ficou em 17 mm, pôde-se fabricar em peça única, já que as incisões comumente são maiores que 20 mm. Para verificar a estabilização do gabarito, projetado para se travar nos próprios contornos ósseos, foi impressa a mandíbula do paciente (Figura 75). Observou-se margem para melhoria, visto que, dependendo de como se insere o gabarito, pode ocorrer o posicionamento inadequado.

Figura 75. Teste do posicionamento dos gabaritos na mandíbula



Fonte: Autor.

Após a verificação com a equipe cirúrgica, os gabaritos foram aprovados para serem testados no procedimento cirúrgico, no intuito de verificar se os ângulos e o posicionamento se dariam de acordo com o planejamento tradicional. Os mesmos foram esterilizados e preparados com os demais equipamentos padrões do procedimento (Figura 76).

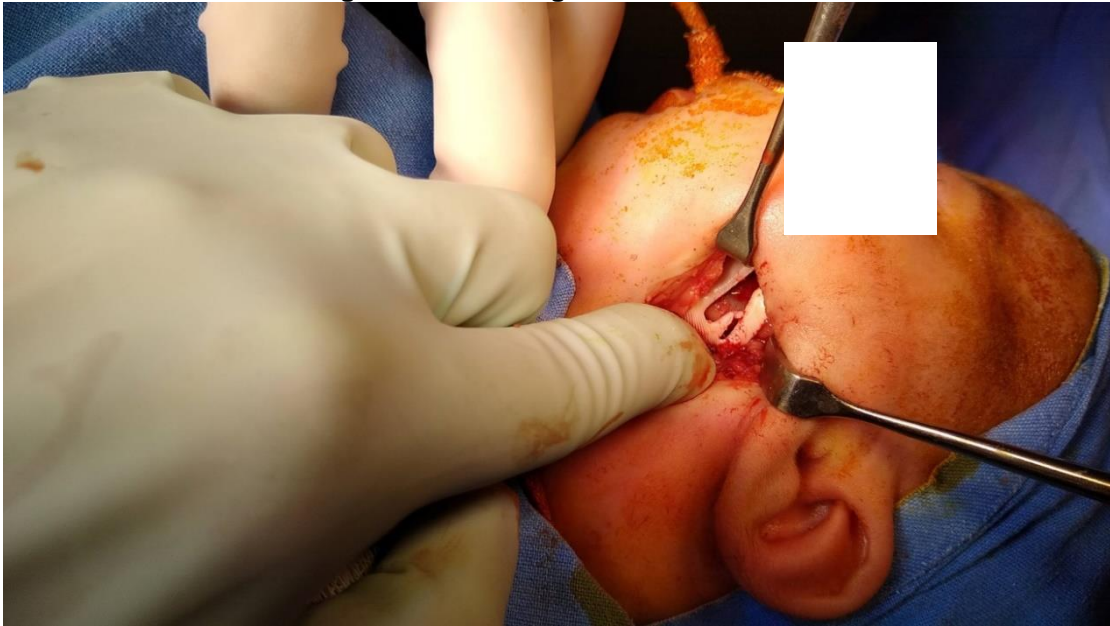
Figura 76. Gabaritos na sala cirúrgica



Fonte: Autor.

Durante a cirurgia observa-se que, em virtude de o paciente estar deitado, pode ocorrer dúvidas se o gabarito está na posição esperada e, em consequência, se os ângulos estão corretos. Foram utilizadas imagens do projeto para verificar se o gabarito estava realmente na posição certa e, assim, os ângulos do gabarito foram conferidos com o planejamento tradicional, utilizando os recortes como guias. O recorte para a osteotomia se mostrou muito estreito, não sendo possível o lápis chegar até o osso, o que deve ser revisto (Figura 77).

Figura 77. Posicionamento do gabarito na cirurgia



Fonte: Autor.

Após a execução das osteotomias e posicionamento dos distratores, pôde-se observar que uma variável a ser levada em consideração no VSP é o ângulo de entrada de fixação dos pinos, que são posicionados manualmente pelo cirurgião, sendo muito difícil os quatro ficarem no mesmo ângulo. Vários fatores dificultam esse processo, como o fato de o cirurgião precisar rosqueá-los manualmente no osso, os contornos ósseos da mandíbula e o próprio ângulo em que o paciente se encontra no momento da cirurgia.

Apesar de o distrator ter tolerância em seus furos/pinos possibilitando um leve ajuste e dando margem para a correção desses ângulos, um método para estabilizar o parafusamento dos pinos poderia auxiliar o processo.

Figura 78. Distratores posicionados



Fonte: Autor.

Para fins de correlação futura, os tempos cirúrgicos foram cronometrados e são apresentados na Tabela 1.

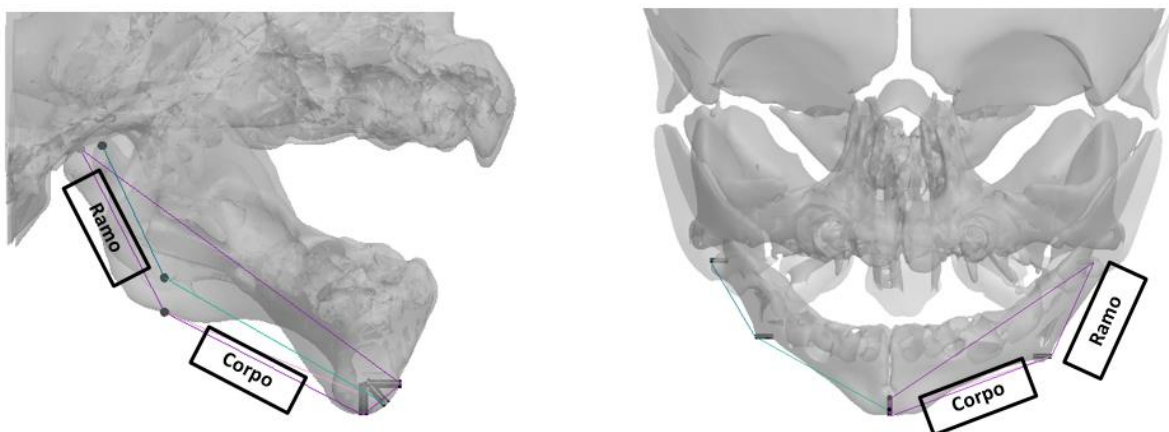
Tabela 1. Tempos cirúrgicos de Distração Osteogênica em caso de Pierre Robin

Tempo (hh:mm)	Etapa
00:40	Preparação do paciente
00:20	Incisão direita
00:30	Osteotomia direita
00:10	Fixação distrator
00:15	Incisão esquerda
00:25	Osteotomia esquerda
00:10	Fixação distrator
00:20	Fechamento das incisões

Fonte: Autor.

Alguns dias após o procedimento, o VSP serviu para aferir a distração, a qual, usualmente, é realizada 1 mm por dia, até se chegar à extensão desejada. Foram realizadas medições cefalométricas (Figura 79) utilizando os pontos estabelecidos na pesquisa da especialista, sendo o **ramo** representado por Côndilo-Gônio e o **corpo mandibular** por Gônio-Gnatio. Na face esquerda, obteve-se as dimensões de 18,5 para ramo e 34,5 para o corpo. Já para a parte direita, o ramo resultou em 15,5 e o corpo em 32,3 (dimensões em mm).

Figura 79. Dimensões cefalométricas para aferir a distração



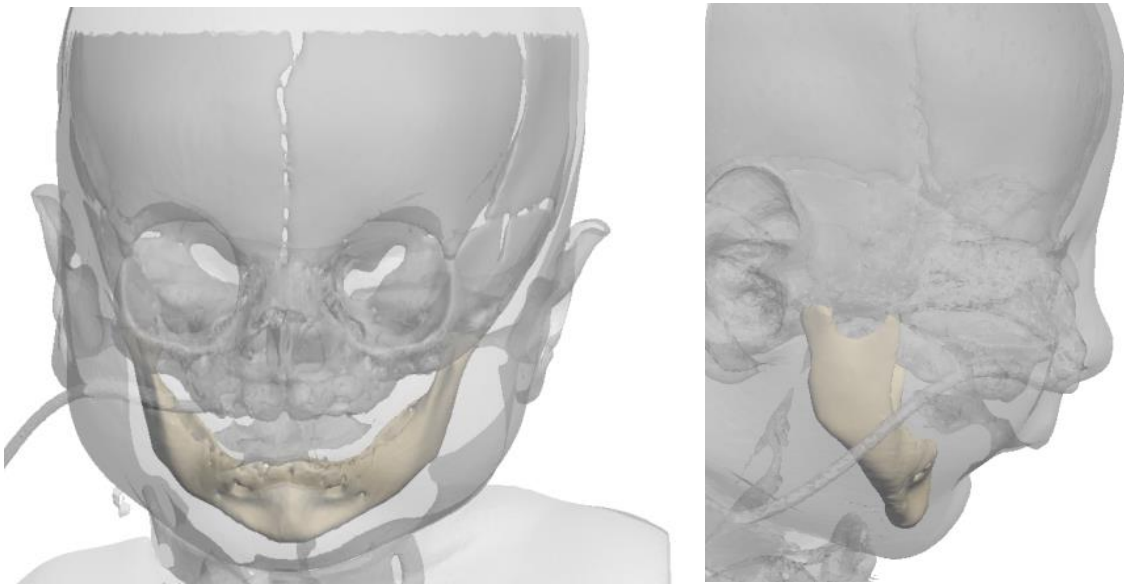
Fonte: Autor.

A análise cefalométrica auxiliou a comprovar a necessidade de distração extra no lado direito, devido à assimetria do paciente que resulta em ramo e corpo menores.

Caso 02

No segundo caso (Figura 80) utilizou-se estratégia similar ao descrito anteriormente, porém, as particularidades fizeram com que o projeto se desenvolvesse de maneira distinta. Ao contrário do primeiro caso, o avanço mandibular deveria ser praticamente horizontal, conforme os requisitos determinados pela equipe cirúrgica.

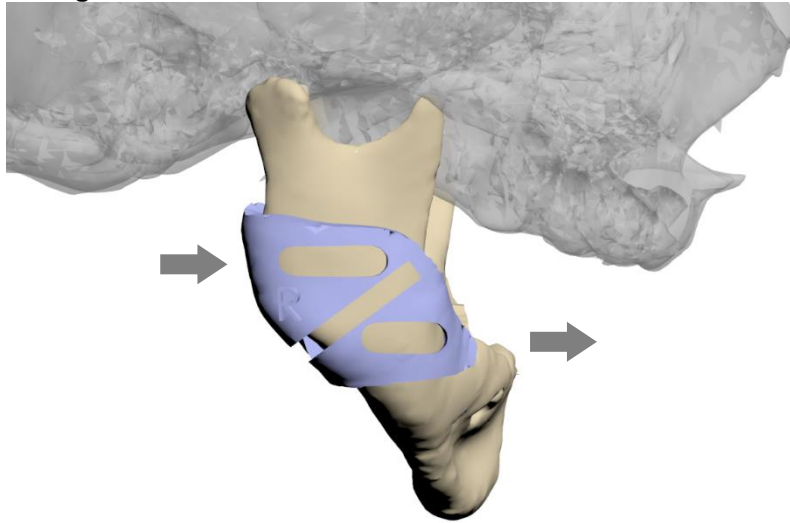
Figura 80. Tomografia do segundo caso



Fonte: Autor.

Dessa forma, diferentes posições das osteotomias foram avaliadas pelos especialistas, levando em conta os nervos alveolares e posições dos distratores, chegando ao formato mostrado na Figura 81, em que as caixas dos distratores precisaram ser rotacionadas para que houvesse espaço suficiente para os pinos de Schanz. As canaletas, salientadas pelas setas, indicam a posição dos parafusos e, em consequência, o sentido de distração, ao passo que o recorte inclinado marca a posição da osteotomia.

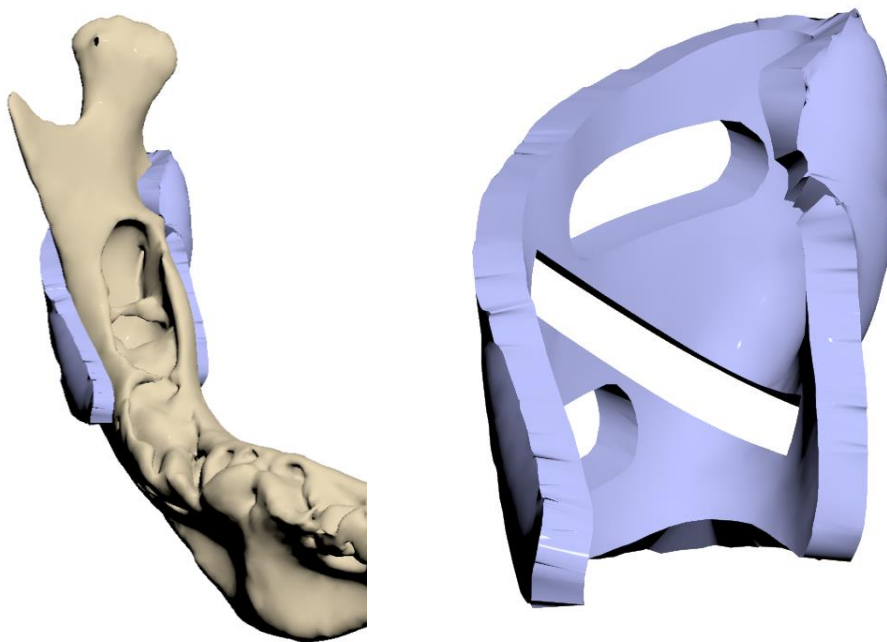
Figura 81. Projeto do gabarito direito



Fonte: Autor.

A Figura 82 mostra o encaixe anatômico do dispositivo na mandíbula, projetado de forma ao seu encaixe delimitar sua posição exata.

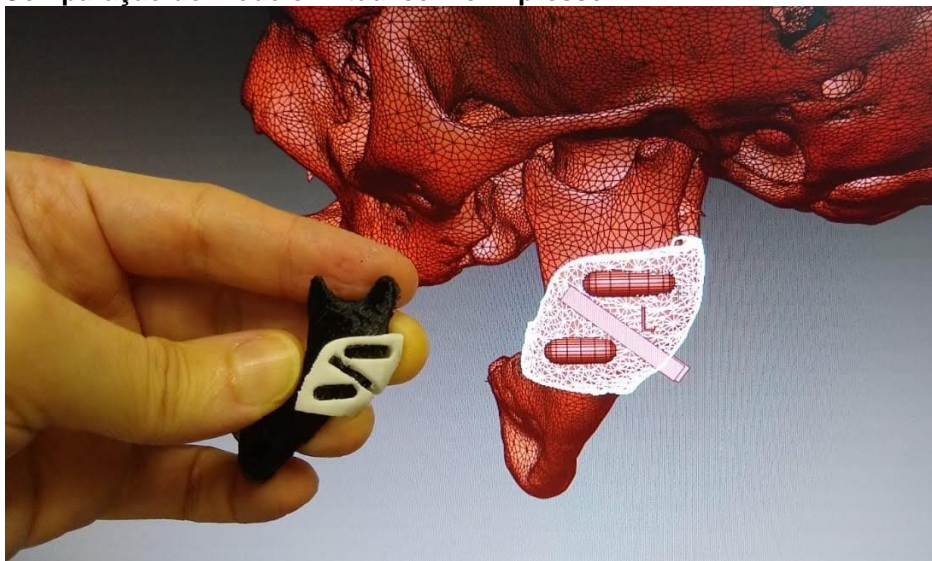
Figura 82. Detalhes do gabarito



Fonte: Autor.

A Figura 83 mostra o comparativo da mandíbula e dispositivo impressos com o modelo virtual, verificando-se a estabilidade do mesmo, bem como se a área necessária para os parafusos seria suficiente. Observa-se que o tamanho reduzido dos elementos é um dificultador, tanto para a impressão dos *splints* quanto, principalmente, para o processo cirúrgico.

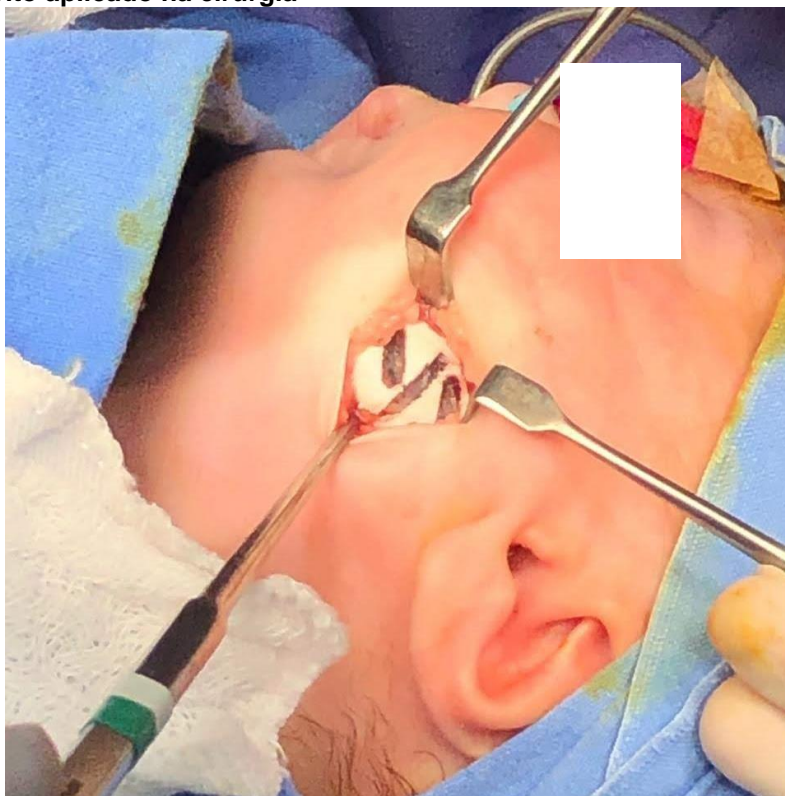
Figura 83. Comparação do modelo virtual com o impresso



Fonte: Autor.

Os dispositivos foram utilizados na cirurgia (Figura 84) para fins de verificação da aplicabilidade e conferência com o planejamento convencional. Percebeu-se, ainda, dificuldade de transferência das marcações do gabarito para a mandíbula, devido ao tamanho pequeno dos recortes.

Figura 84. Gabarito aplicado na cirurgia

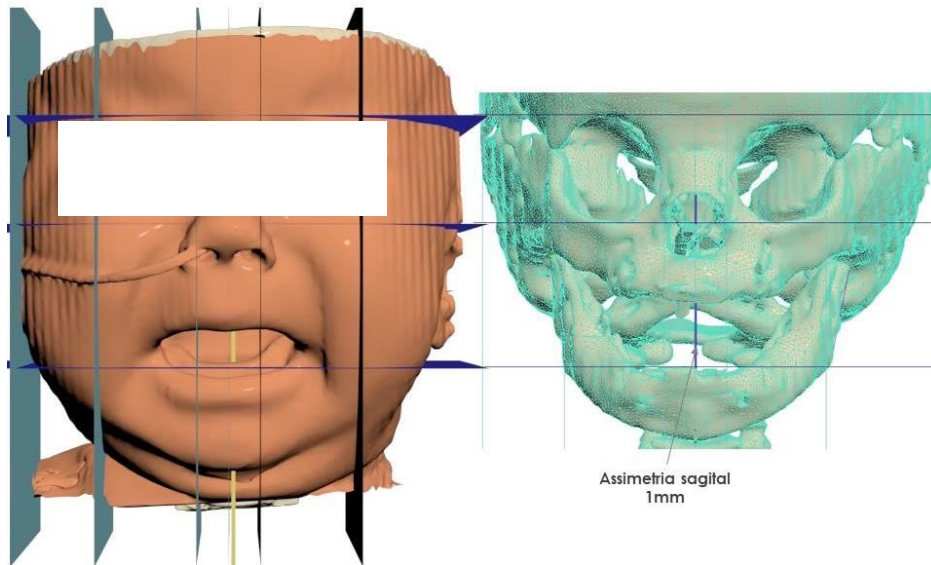


Fonte: HCPA.

Caso 03

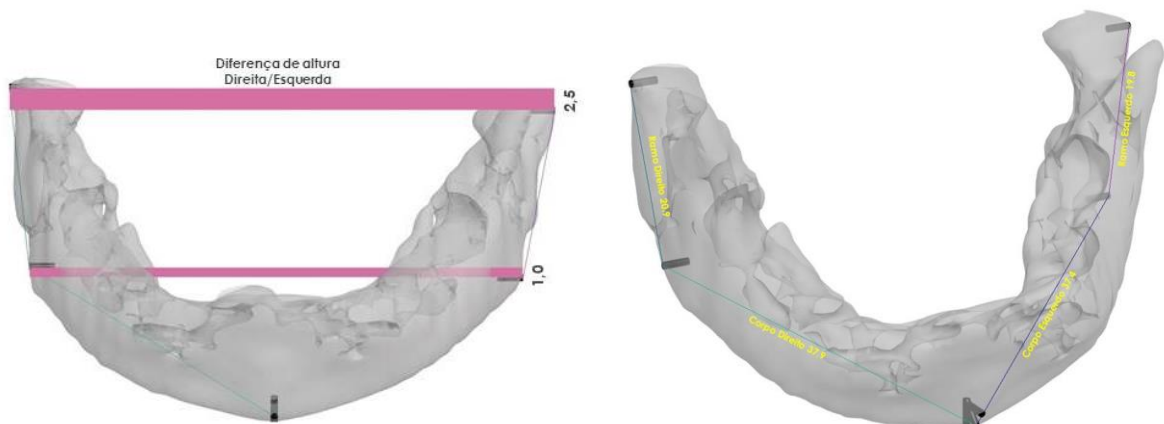
O caso 03 apresentou outras peculiaridades, como a assimetria sagital, que, apesar de ser verificada como 1 mm, é representativa devido ao pequeno tamanho dos pacientes (Figura 85). O VSP torna viável a verificação das dimensões exatas dos ramos e corpos mandibulares, bem como dos pontos de rotação da mandíbula (Figura 86).

Figura 85. Pierre Robin com assimetria sagital



Fonte: Autor.

Figura 86. Cefalometria em caso de Pierre Robin



Fonte: Autor.

Em relação à fabricação digital, percebe-se que, devido ao tamanho dos gabaritos e a necessidade de suportes para impressão devido a suas formas orgânicas, eles tornam-se frágeis, podendo ocorrer a quebra, tanto na retirada do gabarito da impressora como durante o processo de remoção dos suportes (Figura 87).

Figura 87. Impressão quebrada devido ao tamanho

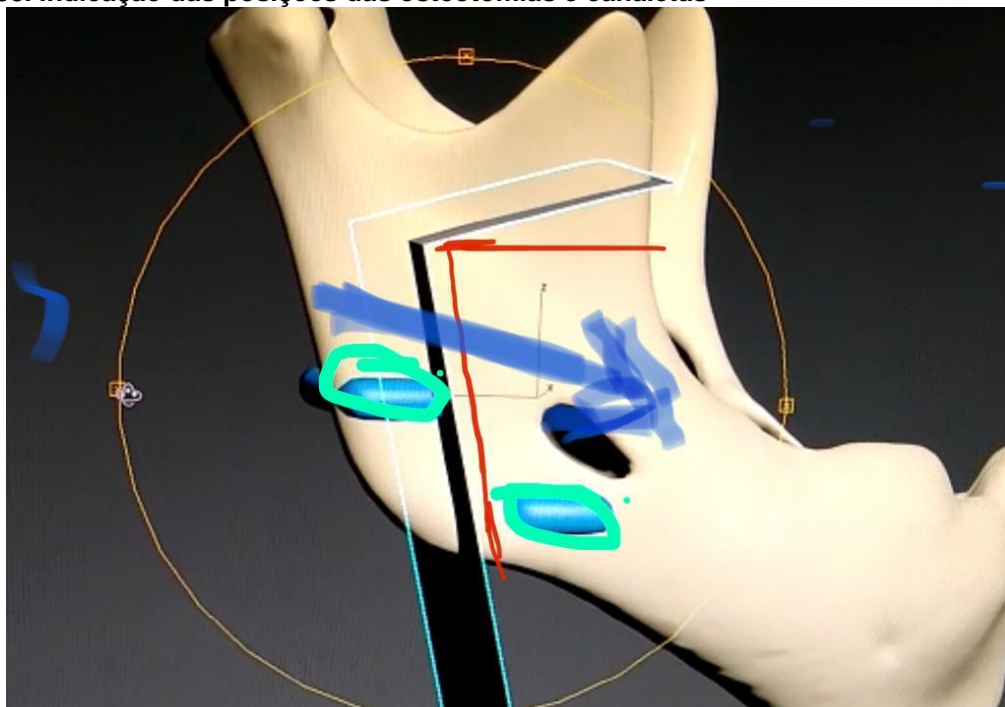


Fonte: Autor.

Caso 04

A possibilidade de planejamento cirúrgico virtual diretamente pelo cirurgião cada vez é mais presente, com softwares específicos e interfaces mais amigáveis. Iniciativas como o Ortoconblender (MORAES, 2019) facilita a análise tridimensional em softwares 3Ds, como o Blender, propiciando o planejamento cirúrgico sem a necessidade de profundo conhecimento específico no CAD. Ainda assim, no desenvolvimento de novos protocolos, percebe-se que a atuação de um designer, com conhecimento em softwares 3D, pode facilitar esse processo. A comunicação dos requisitos deve ser bem compreendida e ferramentas de comunicação rápida, como o Whatsapp, servem para troca de imagens e informações para se chegar aos objetivos do planejamento cirúrgico. Na Figura 88, pode-se ver um exemplo de comunicação cirurgião-projetista, em que são indicados os pontos de interesse para a realização do VSP.

Figura 88. Indicação das posições das osteotomias e canaletas



Fonte: Autor.

Como um dos requisitos de projeto é o tamanho não superior às incisões realizadas no processo cirúrgico tradicional, o encaixe e estabilização do gabarito podem não ter a eficiência necessária. Nesse teste, o gabarito foi estendido até a parte superior da mandíbula, propiciando uma estabilidade superior aos casos anteriores.

Figura 89. Teste de estabilização do gabarito



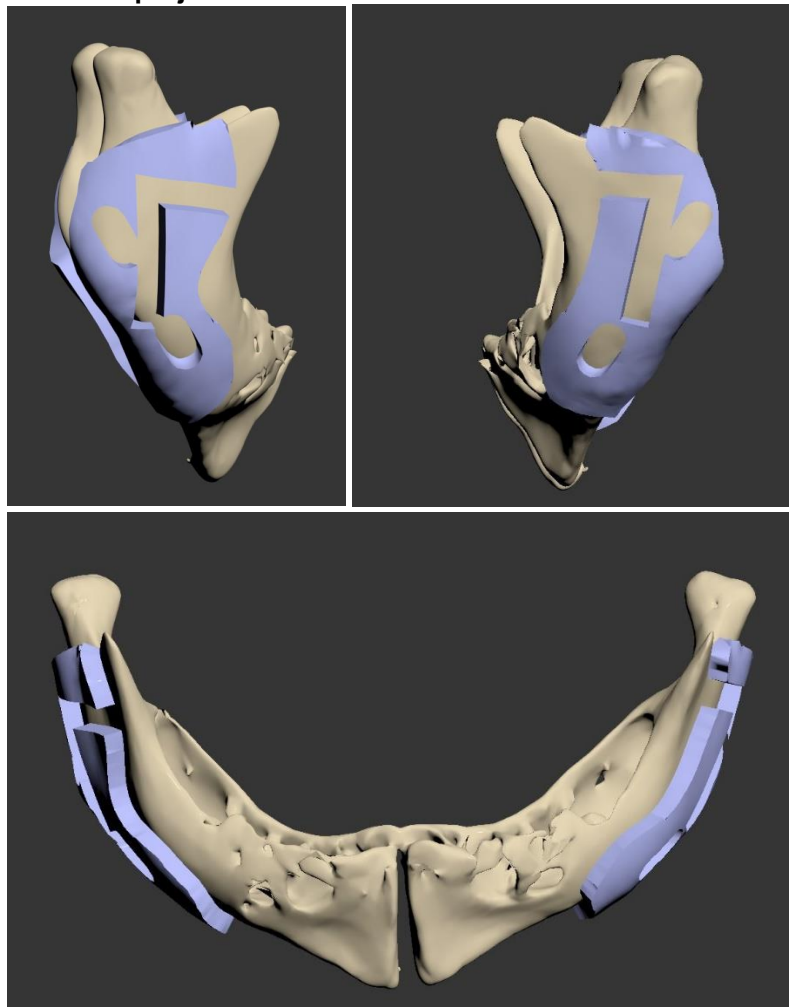
Fonte: Autor.

Em uma última consulta pré-cirúrgica, o paciente foi diagnosticado com malácia, condição em que as cartilagens da laringe não são rígidas o suficiente para possibilitar a quantidade de ar correta para os pulmões. Assim, os moldes não foram testados nesse caso.

Caso 05

A Figura 90 mostra um caso que evidencia uma dificuldade para o VSP e, em consequência, para a cirurgia: o tamanho pequeno da mandíbula deixa os pinos muito próximos de suas extremidades, trazendo o risco de fratura óssea durante a fixação. Esse fator também dificulta o posicionamento da osteotomia, que leva em consideração o posicionamento dos pinos, a posição do nervo alveolar e os germes dentais. Adicionalmente, pode-se notar uma assimetria considerável nessa área, fazendo com que cada lado tenha gabaritos substancialmente diferentes.

Figura 90. Dificuldades de projeto: tamanho e assimetria



Fonte: Autor.

Levando-se em conta os requisitos mostrados, os dispositivos resultaram em uma geometria difícil de imprimir, que, inevitavelmente, exigem elementos de suporte, os quais se mostram difíceis de retirar preservando a integridade do dispositivo (Figura 91). Para resolver isso, pode-se cogitar espessuras maiores nas áreas críticas ou, ainda, utilizar uma impressora multimateriais a fim de permitir a impressão de suportes solúveis, que diluem em água ao fim da impressão, sem a necessidade de sua remoção mecânica.

Figura 91. Quebra do gabarito impresso



Fonte: Autor.

Caso 06

O caso mostrado na Figura 92 exhibe como a variação geométrica da mandíbula influencia no formato final do gabarito, deixando-o, por exemplo, mais alongado. Nesses casos, percebe-se que a estabilização é facilitada pelos contornos naturais da mandíbula, entretanto, testes físicos de encaixe e estabilização parecem ser necessários, até existir mais dados que levem à uma parametrização do formato externo do gabarito.

Figura 92. Comparativo do gabarito com o VSP



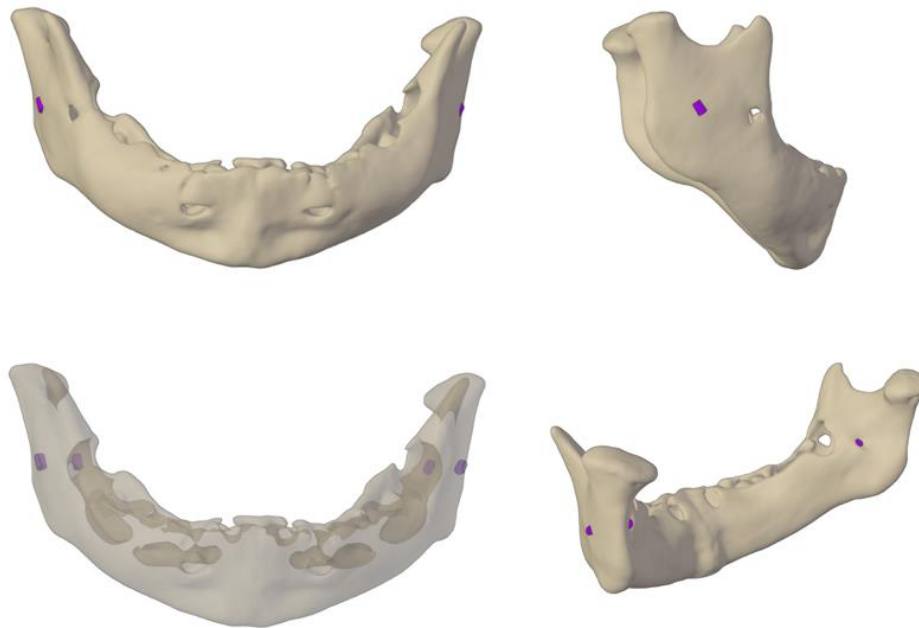
Fonte: Autor.

Caso 07

A marcação da osteotomia, na parte externa da mandíbula, deve considerar a proteção do nervo alveolar, localizado na parte interna. Devido aos diversos ângulos envolvidos, é uma etapa demorada no planejamento, e ainda mais complexa na cirurgia, uma vez que, se o cirurgião inclinar a serra em um ângulo não perpendicular à mandíbula, pode resultar num resultado diferente do planejado e, talvez, atingir o nervo. Ao mesmo tempo, o cirurgião não pode se precaver e inclinar a serra no ângulo oposto ao nervo pois, dessa forma, poderá reduzir a área útil para fixação dos pinos de Schanz.

Como não se pode aumentar demasiadamente o tamanho da guia, para não ampliar o tamanho da incisão, é uma etapa que ainda depende muito da experiência do cirurgião. Em relação ao planejamento cirúrgico, uma solução encontrada para facilitar o posicionamento das osteotomias foi transferir a posição do nervo alveolar (marcações em lilás na Figura 93) para a parte externa da mandíbula, utilizando-se um *offset* respeitando o ângulo do corpo da mandíbula.

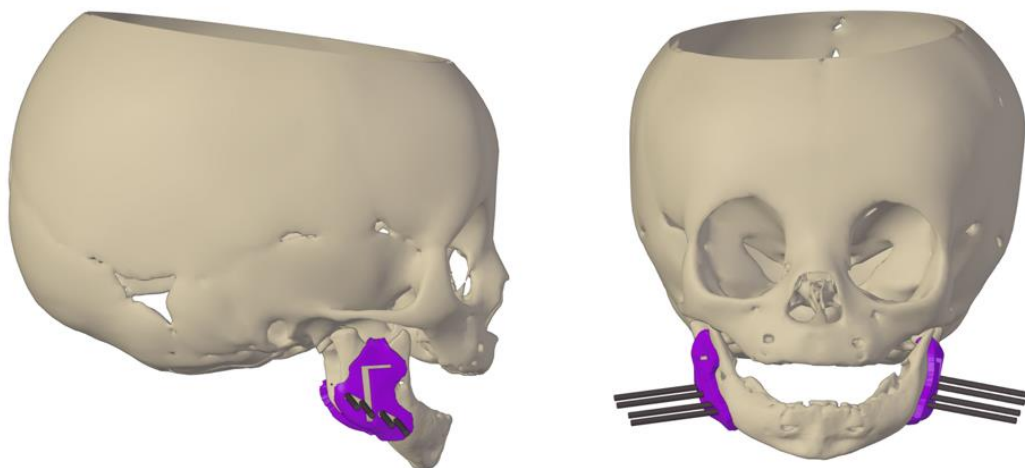
Figura 93. Offset do nervo alveolar



Fonte: Autor.

Dessa forma, percebeu-se uma facilidade maior em relação aos planejamentos anteriores no posicionamento das osteotomias. A Figura 94 mostra os guias cirúrgicos indicando os locais das osteotomias e dos pinos de Schanz.

Figura 94. Posicionamento das osteotomias

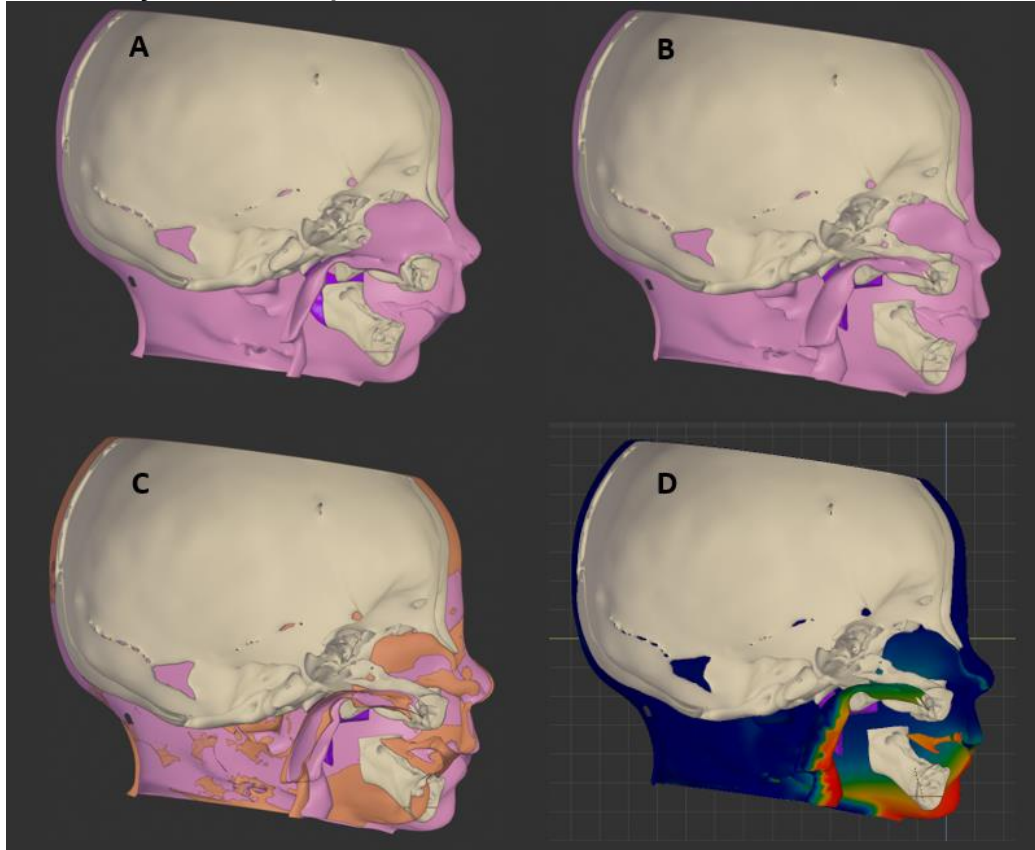


Fonte: Autor

A Figura 95 mostra um esboço da possibilidade de simular a movimentação dos tecidos moles resultantes da DO, tanto da parte externa do rosto como das vias respiratórias. A Figura 95A mostra o pré-cirúrgico, a B o resultado da distensão no VSP, e a C a sobreposição dos tecidos moles. A imagem D exibe a gradiente de cores que influenciam a movimentação dos tecidos, sendo as áreas em vermelhas as que sofrem

maior influência da DO e as azuis, as que não se alteram. Essa abordagem precisa de análise mais profunda para verificar sua efetividade em relação aos resultados reais, e poderiam ser utilizadas para se definir a área (volume) adequada para passagem de ar, líquidos e alimentos.

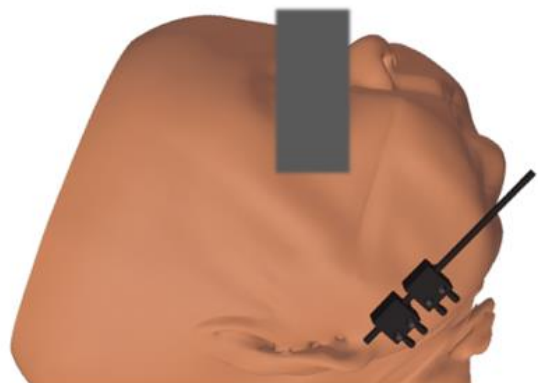
Figura 95. Simulação da DO e impacto nos tecidos moles



Fonte: Autor.

A Figura 96 mostra a comparação do resultado cirúrgico com o posicionamento do distrator no VSP.

Figura 96. Comparação pós-cirúrgico e VSP

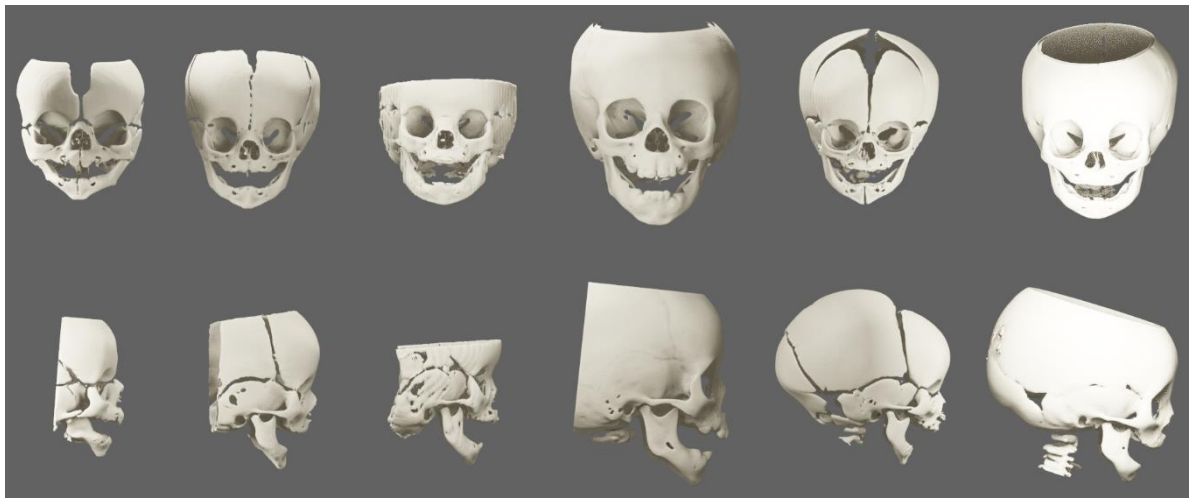


Fonte: Autor.

4.2.3 Síntese dos casos de PRS

Na Figura 97 é mostrada uma demografia dos casos estudados. Dos 7 casos, quatro foram utilizados apenas no âmbito virtual e em outros três, utilizados os gabaritos na cirurgia, para verificar a viabilidade do VSP como ferramenta de planejamento principal no futuro.

Figura 97. Casos estudados de Pierre Robin



Fonte: Autor.

Observa-se que pode haver diferença considerável de tamanho entre os pacientes, entretanto há predominância de recém-nascidos. O pequeno tamanho da mandíbula implica em problemas relacionados aos guias cirúrgicos, que devem ser projetados de forma a serem resistentes durante a manipulação por parte do cirurgião, ao mesmo tempo que devem possuir o menor tamanho possível para não influenciar o tamanho da incisão, comumente por volta de 2 centímetros. A técnica de projeto precisa propiciar maior rigidez durante a fabricação, evitando áreas frágeis e quebradiças.

A comunicação entre cirurgião e projetista se faz necessária para, inicialmente, o correto posicionamento das osteotomias e vetores de distração. Após essas definições, ainda são necessárias trocas de informações para o ajuste desses parâmetros em função da posição dos nervos alveolares e germes dentais. Tudo isso se mostra viável através de troca de mensagens via Whatsapp, e é possível realizar o processo de VSP,

fabricação e esterilização dos gabaritos em 24h, embora um tempo maior seja indicado, pois possibilita, por exemplo, o teste de estabilização e encaixe dos gabaritos em uma mandíbula do paciente impressa.

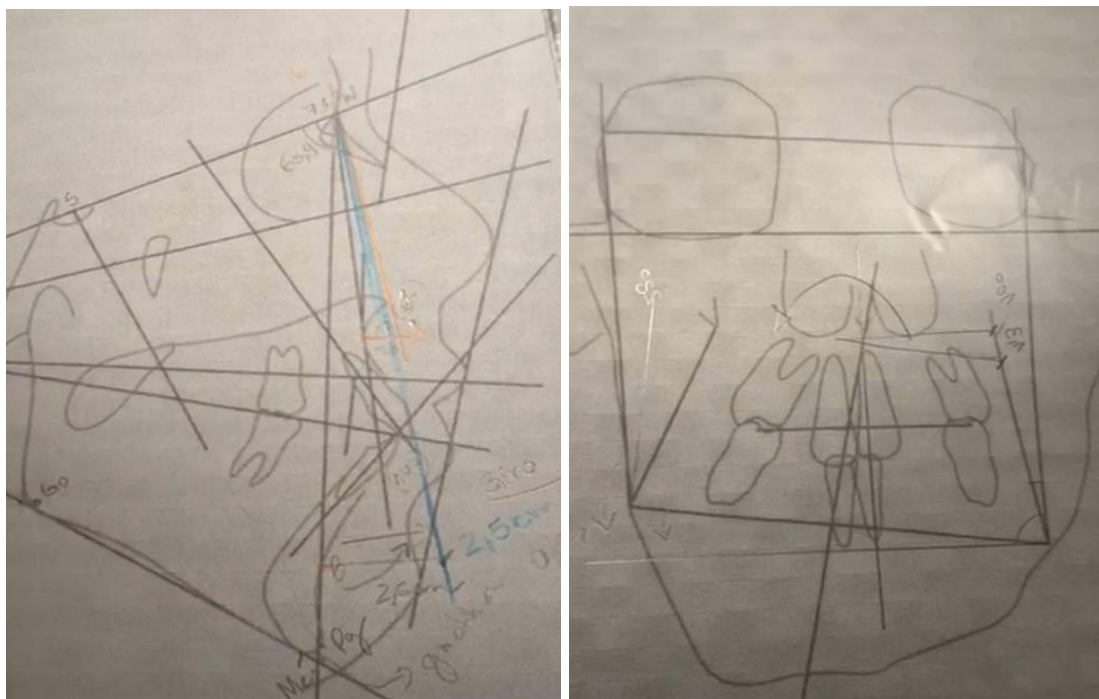
Em relação ao *feedback* da equipe cirúrgica, destaca-se resultados diferentes de acordo com a familiaridade do cirurgião com a técnica de DO. De seis crianças, cinco foram operadas por um cirurgião menos experiente e um caso operado pelo cirurgião sênior da equipe. Para o cirurgião sênior, a maior vantagem apontada é o estudo pré-operatório dos casos com aplicabilidade na maior proteção de nervo alveolar inferior e germes dentários. No transoperatório, porém, a guia pode ser supérflua, até mesmo aumentando o tempo cirúrgico.

Para o cirurgião menos experiente, a utilização das guias, além dos benefícios educacionais e de planejamento das osteotomias, também pode colaborar no transoperatório, dando segurança na osteotomia e no posicionamento dos distratores de forma a manter a direção dos vetores simétricas. A possibilidade de verificar diferentes extensões em cada lado do rosto, devido a assimetria prévia do paciente, também é um item visto como útil pelos especialistas.

4.3 CIRURGIA ORTOGNÁTICA

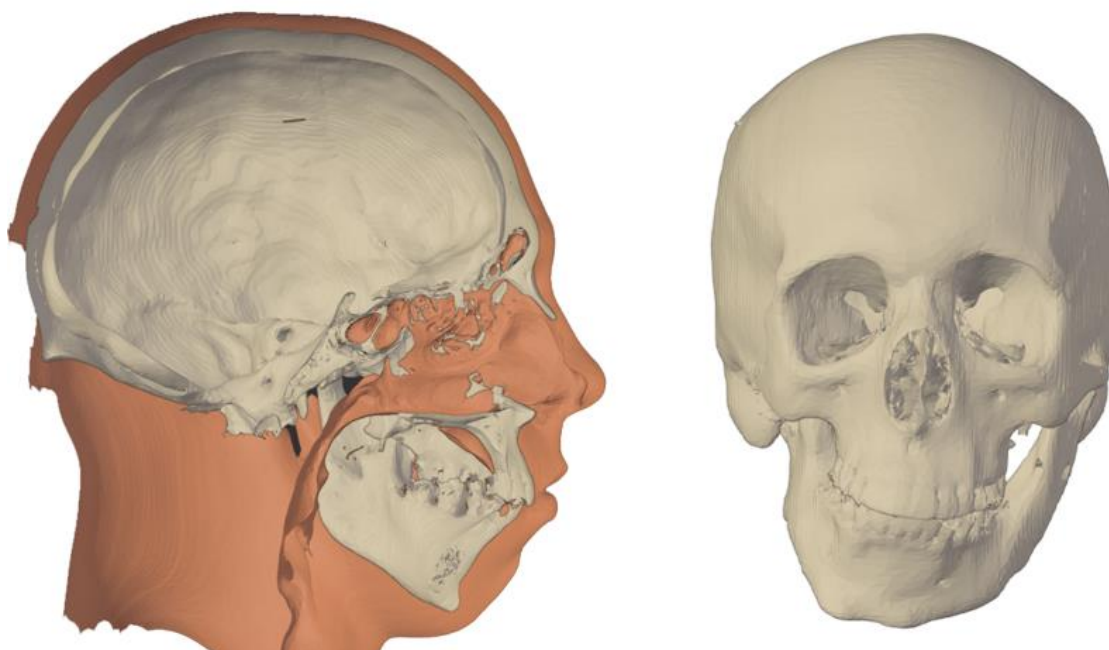
Atualmente, as cirurgias ortognáticas no HCPA são planejadas através de cefalometria 2D, levando em conta as vistas frontais e laterais da face (Figura 98), moldes das arcadas dentárias e tomografia computadorizada (Figura 99), que permite a visualização 3D. O planejamento é realizado analisando-se os pontos cefalométricos, as arcadas e o resultado esperado, baseado na literatura existente e análise cefalométrica. Devido às diversas características tridimensionais da face, a hipótese estudada nesse trabalho é que o planejamento virtual poderá analisar com maior precisão as alterações que as mudanças ósseas causarão nos tecidos moles. Para tanto, foi estudado um caso cirúrgico, no intuito de espelhar o planejamento cirúrgico tradicional, e verificar as possibilidades e limitações do VSP.

Figura 98. Exemplo de imagens do planejamento cirúrgico atual



Fonte: HCPA.

Figura 99. TC de paciente de cirurgia ortognática



Fonte: HCPA.

A análise cefalométrica (Figura 100) especifica os ângulos (gr) e medidas (mm) dos pontos de interesse, bem como, automaticamente mostra os valores considerados normais. A partir dessa análise, usualmente o ortodontista sugere ao cirurgião as movimentações para se chegar a um resultado que concilie funcionalidade à estética.

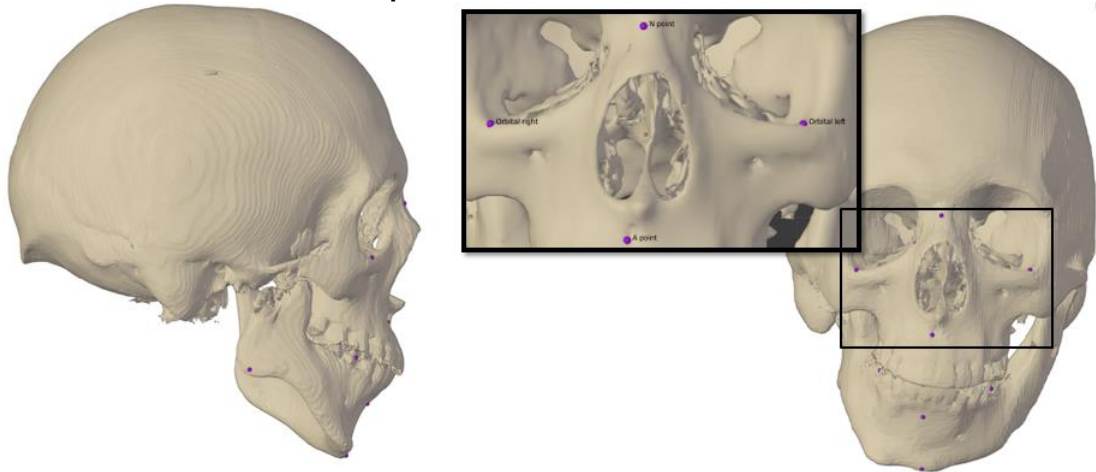
Figura 100. Dados cefalométricos utilizados no planejamento cirúrgico

SRO		Cefalometria computadorizada		Análise USP	
Paciente: [REDACTED]		Idade: 19 anos e 3 meses		Sexo: Masc	
Doutor(a): Hospital de Clínicas de Porto Alegre		Data: 10/04/2019			
Fatores		Valor Obtido	Norma/Classif.	Desvios	
1	(N-Pog).(Po-Orb)	104.96 gr	88.00 ± 1.00	+++++	16
2	N-A.Pog	13.74 gr	0.00 ± 2.00	+++++	
3	S-N.A	73.19 gr	82.00		
4	S-N.B	65.93 gr	80.00		
5	A-N.B	7.26 gr	2.00		
6	S-N.D	63.20 gr	76.00		
7	S-N.Gn	83.66 gr	67.00		
8	S-N.Ocl	34.22 gr	14.00		
9	(S-N).(Go-Me)	51.10 gr	32.00		
10	(Go-Gn).Ocl	15.29 gr	18.00		
11	I/I	108.74 gr	131.00		
12	I/NS	99.27 gr	103.00		
13	/I-Orbita	10.79 mm	5.00		
14	I/NA	26.08 gr	22.00		
15	I/NA	7.31 mm	4.00		
16	/I.NB	37.92 gr	25.00		
17	/I-NB	15.63 mm	4.00		
18	/I.NPog	15.60 mm	0.00		
19	H.(N-B)	12.80 gr	10.50 ± 1.50	+	
20	H-Nariz	-1.15 mm	10.00 ± 1.00	----	11
21	Pog-NB	0.06 mm	0.00		
22	Eminência Mentoniana	6.42 mm	7.00 ± 1.00		
23	FMIA	37.09 gr	68.00		
24	FMA	42.02 gr	25.00		
25	IMPA	100.89 gr	87.00		
26	TPI	4.72 mm	0.00		

Fonte: Autor.

Para o início do VSP, após a importação e alinhamento da TC são marcados os pontos cefalométricos, assinalados em roxo (Figura 101).

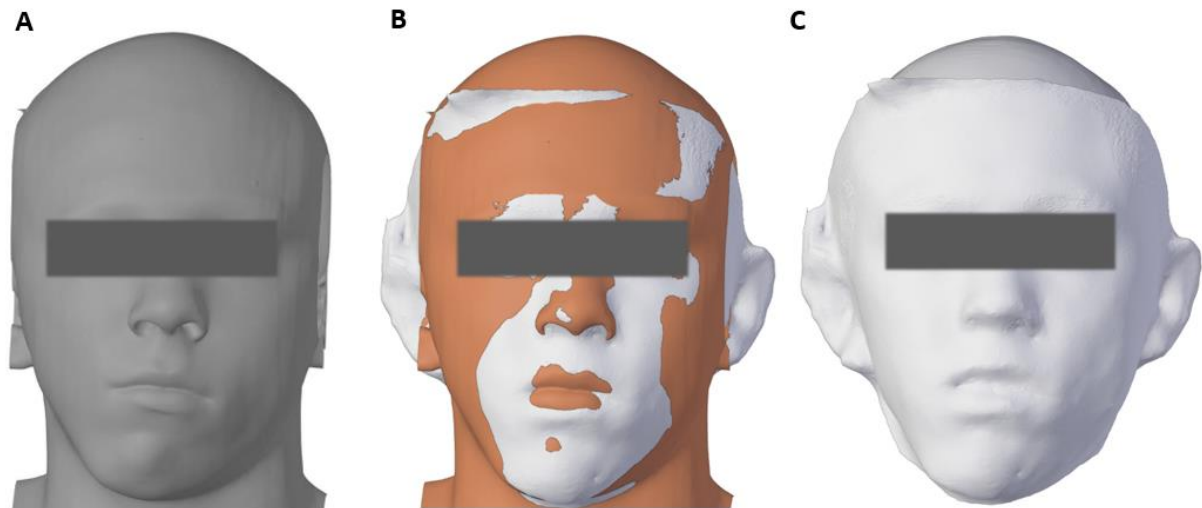
Figura 101. Pontos cefalométricos aplicados à TC



Fonte: Autor.

Na Figura 102 pode se ver a sobreposição (B) do escaneamento da face sobre a tomografia (A), alinhado automaticamente pela ferramenta *ICP Align (Iterative Closest Point)*, do Blender. Essa etapa se faz necessária para levar em consideração o efeito da gravidade nos tecidos moles, uma vez que a TC é realizada com o paciente deitado. Assim, a partir desse momento se descarta os tecidos moles da tomografia e se utiliza o rosto escaneado (C).

Figura 102. Sobreposição da fotogrametria / tomografia



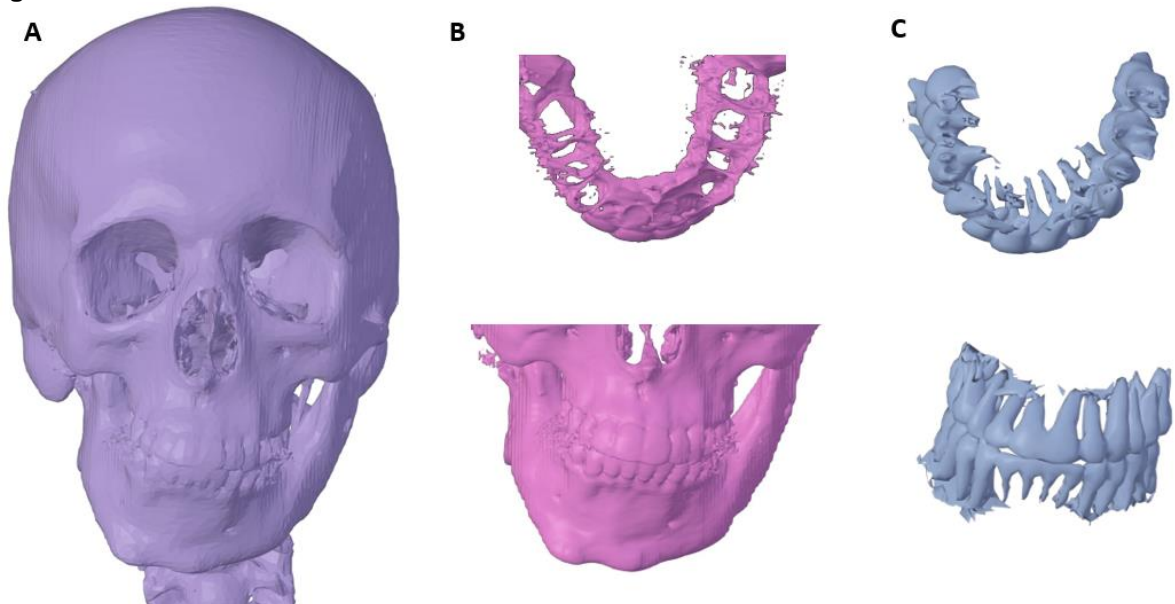
Fonte: Autor.

O escaneamento foi realizado através de 39 fotos, de um *smartphone* Apple Iphone XS, com resolução de 3 megapixels e parâmetros ajustados para as fotos possuírem alta nitidez, o que influencia no resultado da digitalização. Na Figura 103 pode-se ver a geometria do rosto escaneado.

Figura 103. Detalhes da fotogrametria

Fonte: Autor.

Com o objetivo de não deixar a malha da tomografia muito pesada, o que dificulta o processamento gráfico do computador, ela é simplificada (Figura 104A). Especificamente na área dos dentes se exige uma resolução melhor, dessa forma se tentou mesclar a área dental com a resolução máxima (B). Ainda assim, pode-se ver na parte superior que as coroas dos dentes não são interpretadas corretamente pela TC. É possível, também, importar os dentes isoladamente (C), utilizando a ferramenta da TC que distingue a densidade dos tecidos, mas a resolução continua aquém do desejado.

Figura 104. Malha tridimensional da área dental

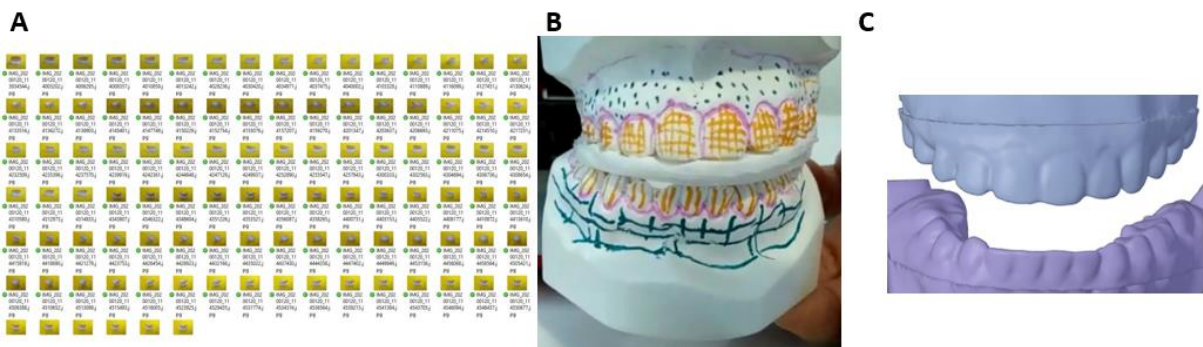
Fonte: Autor.

Adicionalmente, deve-se levar em conta que parte dos pacientes de cirurgia ortognática usam aparelho ortodôntico metálico, que não é digitalizável através de TC. Há duas soluções para isso: escaneamento intraoral via scanner específico ou a digitalização dos moldes de gesso. Como o planejamento tradicional já utiliza os moldes de gesso, foram feitas 82 fotos dos moldes da arcada inferior e 103 da superior (Figura 105A). Como foi utilizado um celular com câmeras intermediárias (Motorola Moto G6), optou-se por um número grande de fotos, que pode ser reduzido no futuro.

Nesse contexto, é interessante pontuar que tanto a TC quanto os moldes de gesso são cobertos pelo SUS para o planejamento das cirurgias por esse convênio. Assim, evitando-se o scanner intraoral, o VSP não necessita de alterações no ciclo normal de trabalho.

Para confirmar a precisão das dimensões das arcadas digitalizadas, foi impresso um modelo negativo delas, com o objetivo de testar o encaixe nos moldes de gesso (B). Como o teste comprovou a precisão do modelo 3D, as digitalizações foram alinhadas no crânio do paciente (C), pelo mesmo método da fotogrametria da face, e os dentes provenientes da TC foram excluídos.

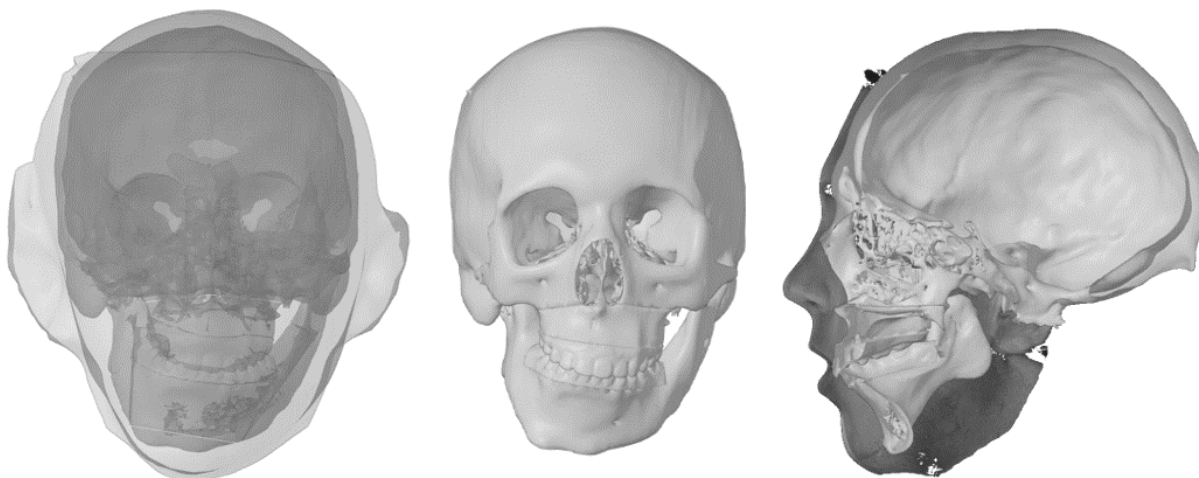
Figura 105. Escaneamento das arcadas dentárias



Fonte: Autor.

A Figura 106 exhibe o modelo pronto para se iniciar as alterações ósseas e, em consequência, dos tecidos moles do paciente. Nessa configuração encontram-se os ossos oriundos da TC, as arcadas oriundas dos moldes escaneados e, por fim, a fotogrametria da face.

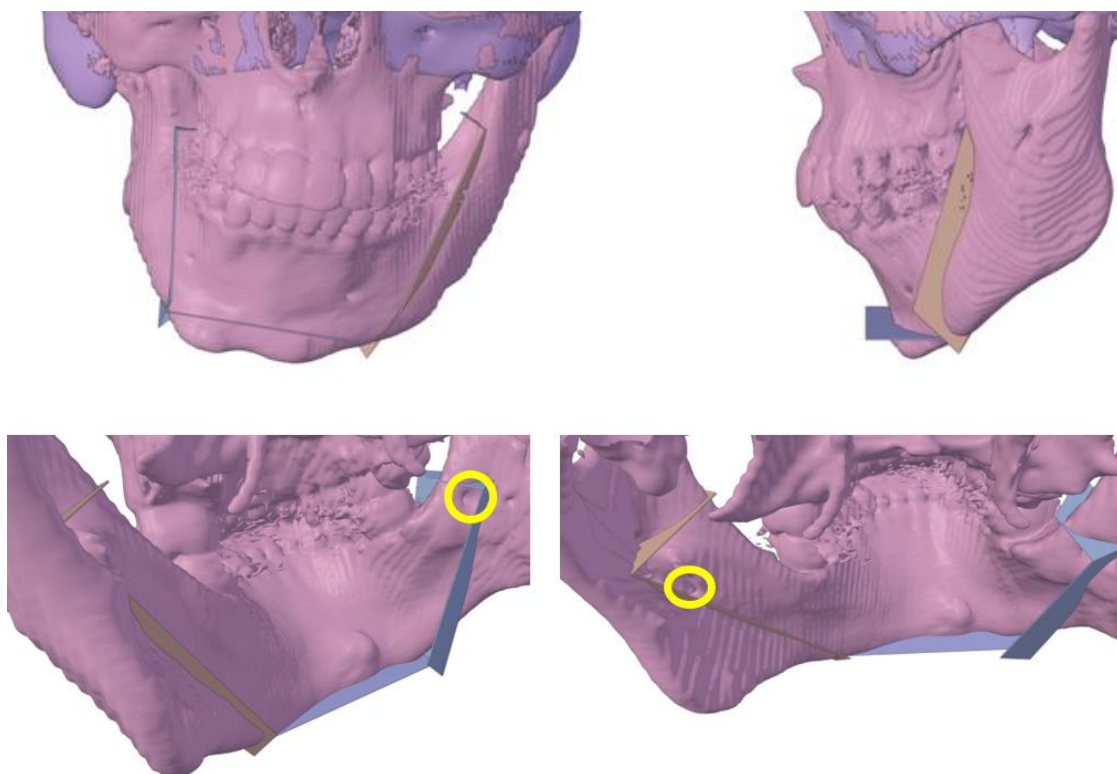
Figura 106. Modelo configurado para o VSP



Fonte: Autor.

Na Figura 107 pode-se ver as posições das osteotomias na mandíbula. Assim como os casos de Pierre Robin, os nervos alveolares (salientados em amarelo) devem ser protegidos nas osteotomias. Com a resolução da TC esses pontos se tornam claramente visíveis.

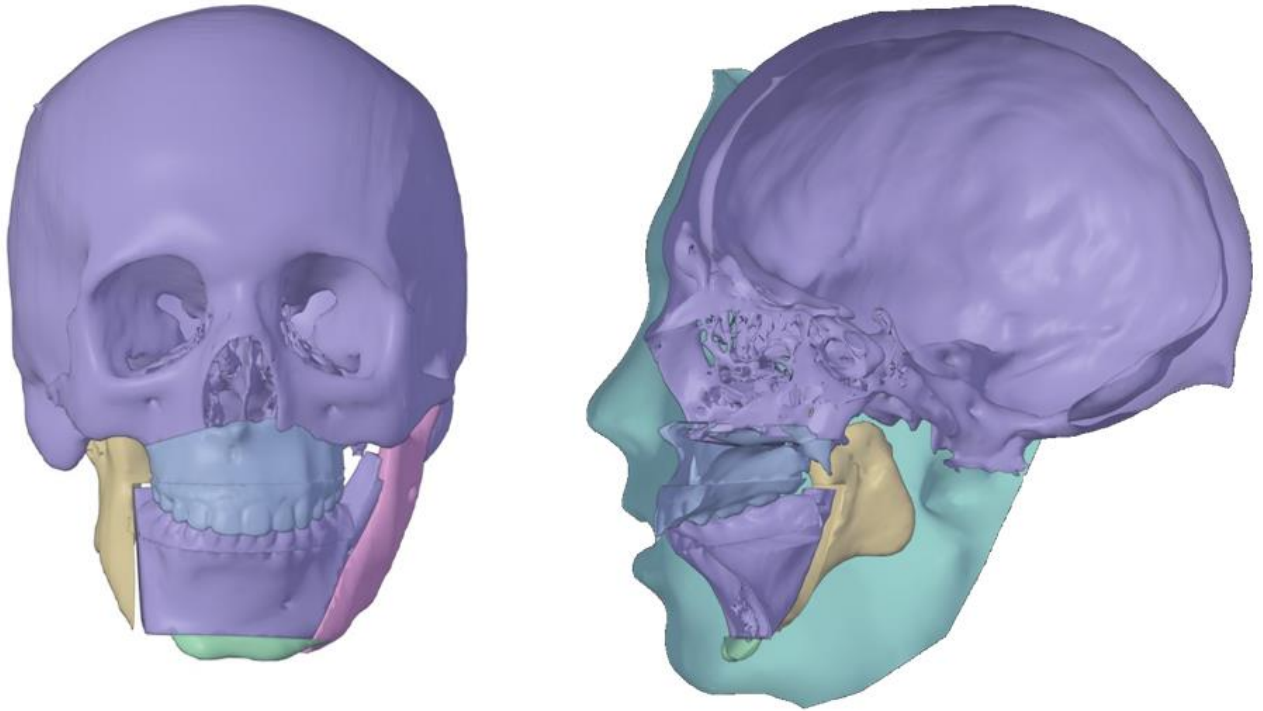
Figura 107. Posição das osteotomias da mandíbula



Fonte: Autor.

A partir dos cálculos cefalométricos do planejamento tradicional, os ângulos e dimensões da mandíbula e maxila foram alterados de acordo com as medidas indicadas pelos especialistas (Figura 108).

Figura 108. Configuração das posições ósseas finais

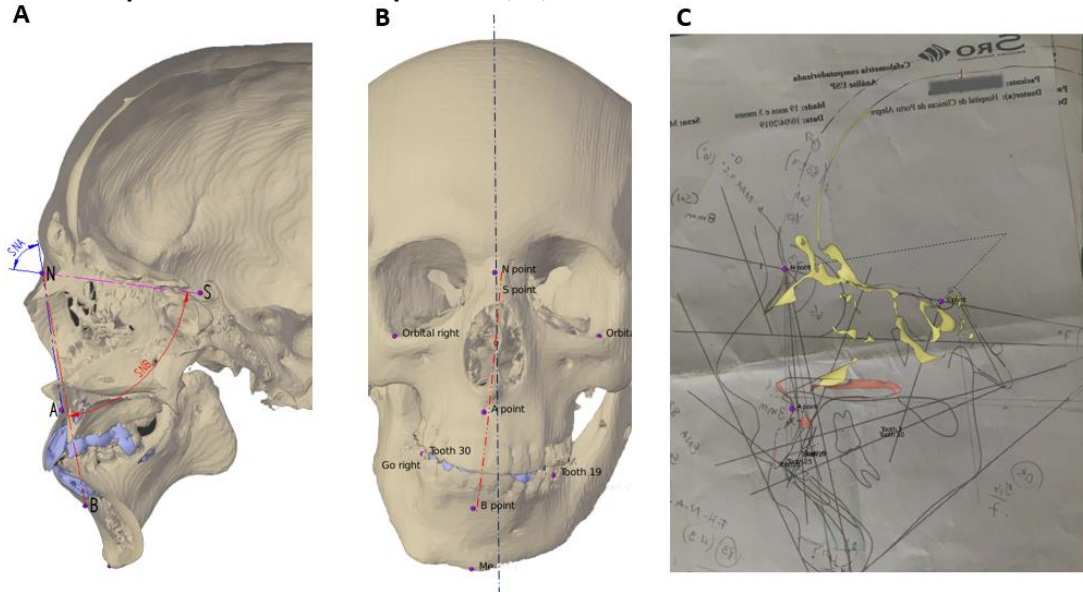


Fonte: Autor.

A partir dessas movimentações foram aferidos os ângulos SNA e SNB (Figura 109A), para verificar o VSP em relação ao planejamento tradicional. Esses ângulos apresentaram 2 e 3° de diferença, respectivamente, o que trouxe dúvidas em relação ao que estava causando essa discrepância. Após algumas análises, se verificou que a assimetria sagital do paciente foi levada em consideração na marcação dos pontos no VSP (linha vermelha tracejada na Figura 109B), o que não acontece com o planejamento tradicional, que utiliza uma fatia específica do centro da tomografia (linha azul).

Para verificar essa diferença, a imagem do planejamento 2D (Figura 109C) foi utilizada para reposicionamento dos pontos e, a partir disso, os ângulos refletiram o planejamento tradicional, trazendo segurança em relação à utilização do VSP. Isso demonstra uma limitação do planejamento tradicional, já vista na revisão da literatura e que se apresentou no caso estudado.

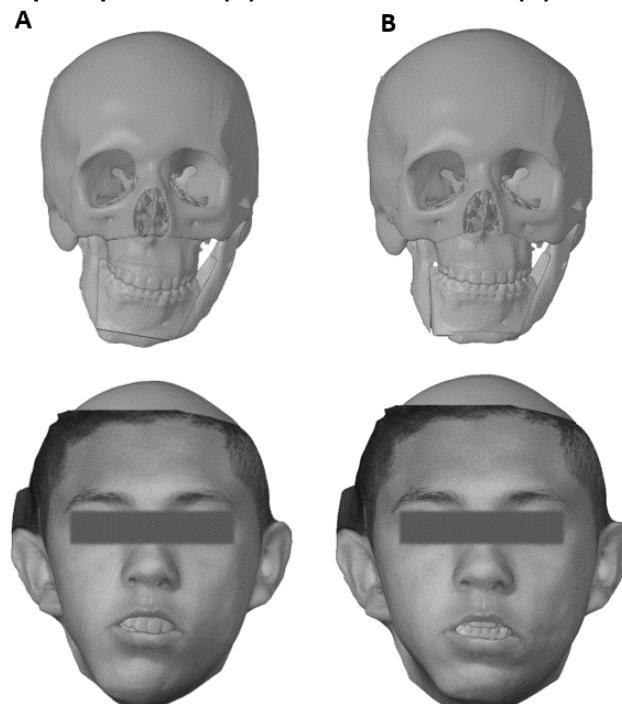
Figura 109. Reposicionamento dos pontos S, N, A e B



Fonte: Autor.

A Figura 110A exibe a tomografia e tecidos moles pré-operatórios e, na B, são mostrados os resultados do VSP. Observa-se o alinhamento horizontal da maxila, mento e mandíbula, bem como a movimentação dos ramos. O deslocamento dos tecidos moles exibe uma previsão dos resultados finais (B), porém, há necessidade de ajustes, como, por exemplo, nos casos em que o lábio inferior não encosta no superior, situação relativamente comum em pacientes de cirurgia ortognática.

Figura 110. Visualização pré-operatória (A) e resultado do VSP (B)



Fonte: Autor.

A partir do VSP foram projetados gabaritos para a transferência dos dados para a cirurgia, baseando-se na literatura e requisitos dos cirurgiões. Para a maxila, foi projetado um guia (Figura 111) que serve, inicialmente, para a marcação da osteotomia e, depois, para guiar a retirada do excesso ósseo para corrigir a assimetria sagital.

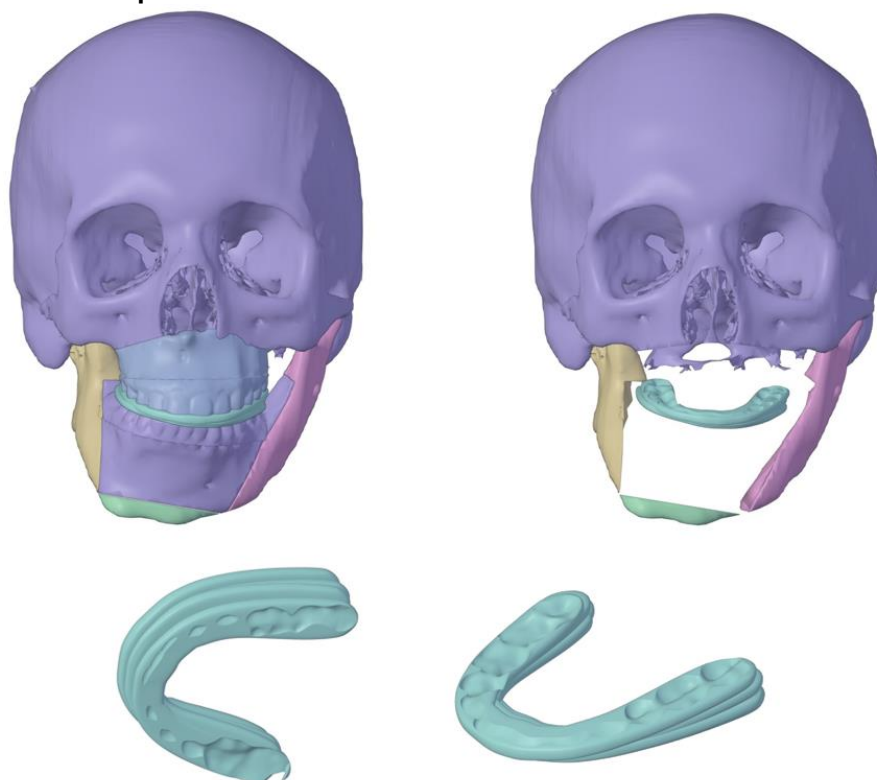
Figura 111. Gabarito da osteotomia e simetrização da maxila



Fonte: Autor.

Para o correto reposicionamento da maxila, o gabarito mostrado na Figura 112 utiliza como referência a arcada inferior, que ainda não foi alterada na cirurgia, para posicioná-la no seu local exato. Esse gabarito se utiliza do encaixe em ambas as arcadas para obter estabilização.

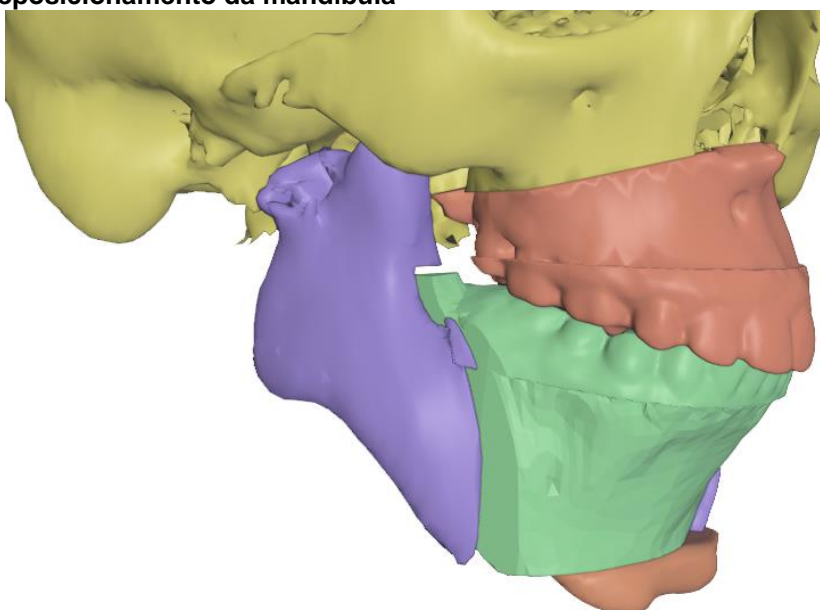
Figura 112. Gabarito de posicionamento da maxila



Fonte: Autor.

Com a maxila já fixada na sua posição final, são realizadas as osteotomias mandibulares laterais e a mandíbula é alinhada em sua posição final através do encaixe entre as duas arcadas (Figura 113). Na sequência, os corpos mandibulares (roxo) são alinhados em função da mandíbula e fixados em suas novas posições.

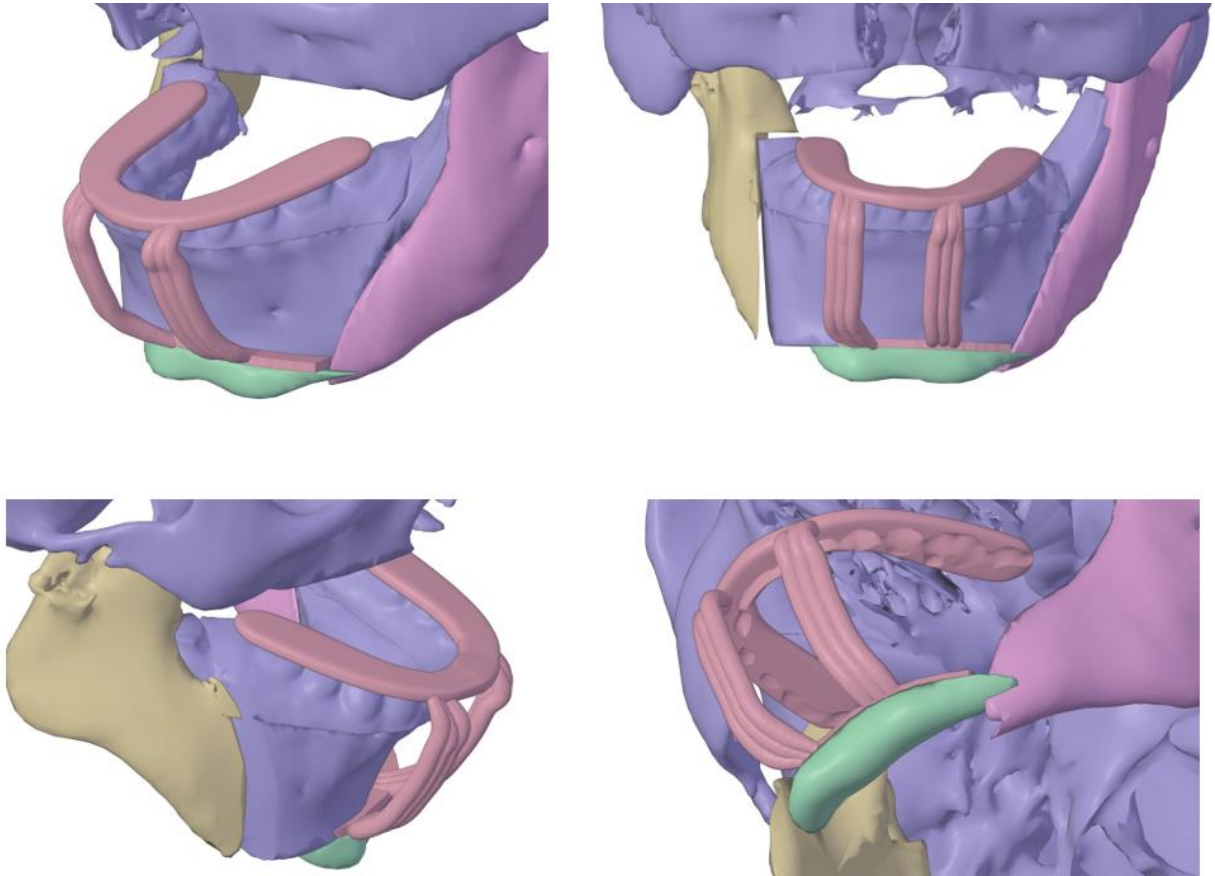
Figura 113. Reposicionamento da mandíbula



Fonte: Autor.

Finalmente, para o posicionamento do mento se utiliza um gabarito com alinhamento pela arcada inferior (Figura 114). Esse guia pode servir tanto para traçar a osteotomia quanto para o alinhamento do mento.

Figura 114. Gabarito para posicionamento do mento



Fonte: Autor.

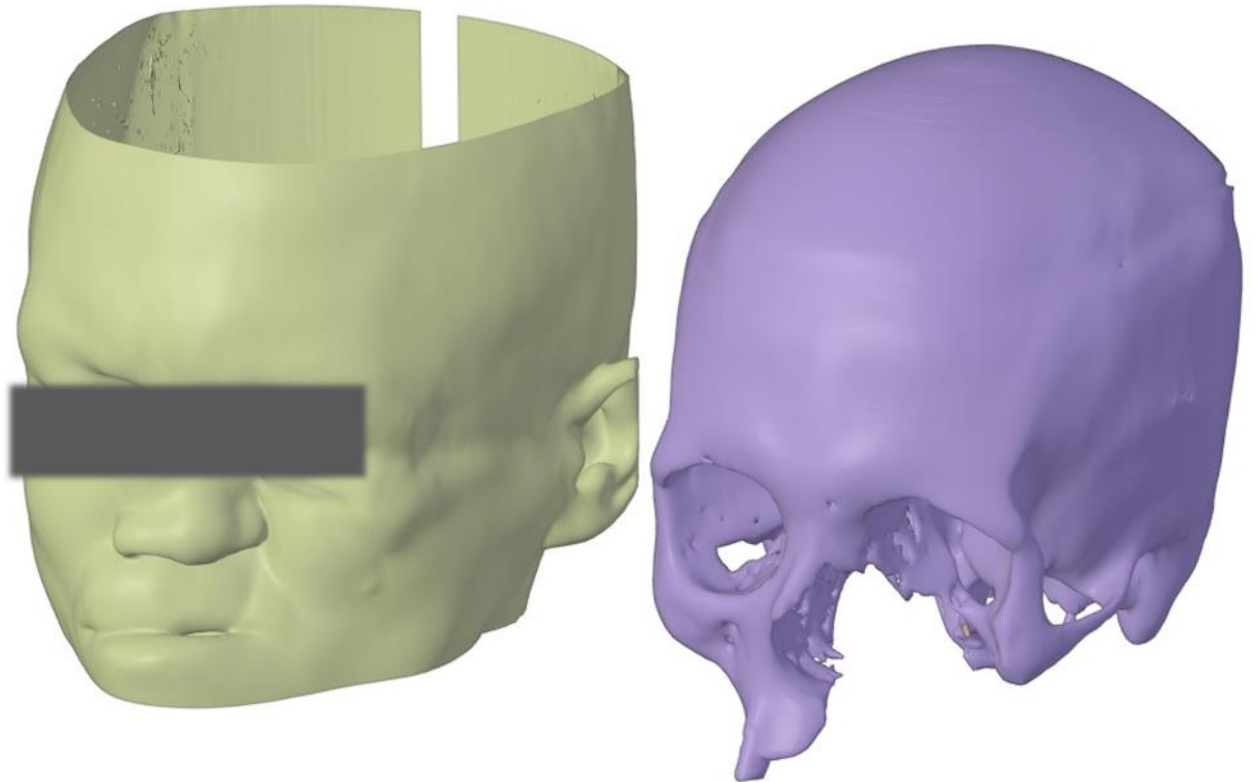
Com base nesse estudo, percebe-se que as osteotomias do plano virtual precisam ser mais fiéis ao que é realizado na prática. Em muitos casos, os cirurgiões não necessitam de guias para realizá-las, porém, como influenciam no ponto de rotação/movimentação dos corpos mandibulares, devem estar bem próximas do executado. Os gabaritos, por sua vez, precisam de uma aplicação completa para se ter *feedback* dos cirurgiões, entretanto, foi possível verificar previamente que, a partir da impressão dos gabaritos e testes de encaixe nos moldes de gesso, que as reentrâncias para encaixes dos dentes precisam ser mais profundas para proporcionar uma estabilização adequada.

4.4 POTENCIAIS APLICAÇÕES FUTURAS

4.4.1 Reconstrução Facial

Reconstruções de grandes volumes da face, normalmente causados por acidentes ou patologias, exigem muitas vezes o uso de material autógeno, ou seja, tecidos ósseos do próprio paciente, normalmente da calota craniana ou fíbula. Nesse caso estudado no HCPA, foi utilizado parte da calota craniana como base para a criação de partes do osso zigomático e maxilar (Figura 115).

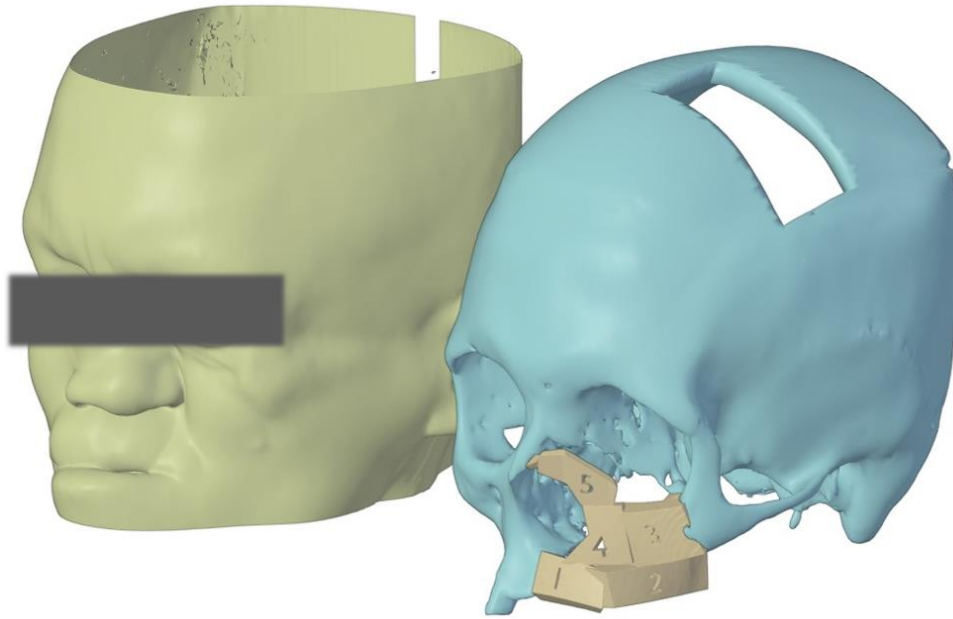
Figura 115. Fratura óssea – zigoma e maxila



Fonte: Autor.

A Figura 116 exibe o local indicado para a coleta do tecido doador (calota craniana) que, posteriormente, é preenchida com uma placa de titânio.

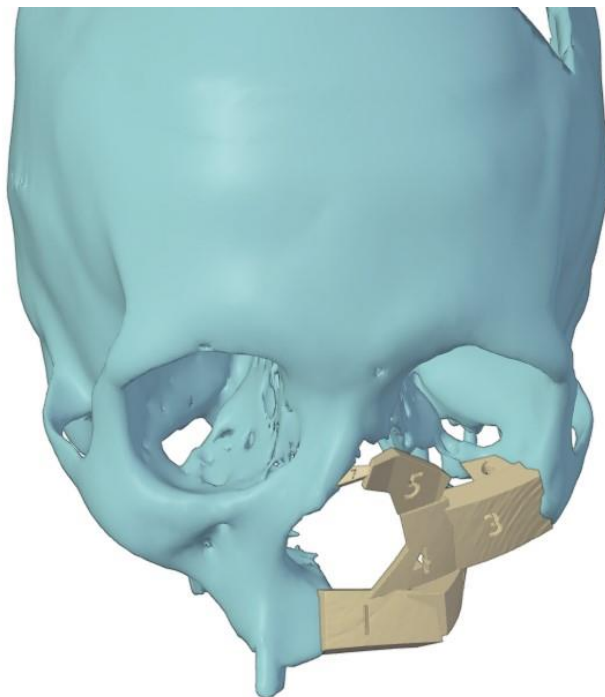
Figura 116. Local do tecido doador e organização da reconstrução



Fonte: Autor.

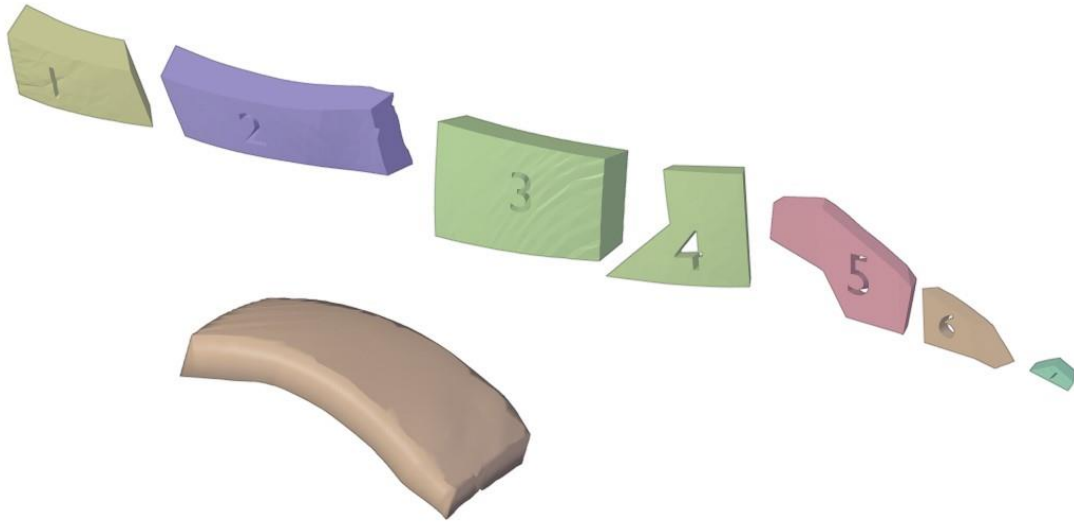
A partir do segmento seccionado da coleta, foram indicados pelos cirurgiões aproximadamente em quantas partes o tecido doador poderia ser dividido, bem como, partes da maxila que deveriam ser mais resistentes, tanto para ligação e estabilização com o crânio, como para possibilitar implantes dentários no futuro.

Figura 117. Posicionamento do tecido doador



Fonte: Autor.

Figura 118. Isolamento de cada perfil do tecido doador



Fonte: Autor.

Figura 119. Impressão do crânio do paciente



Fonte: Autor.

4.4.2 Craniossinostose

Esse caso acompanha um paciente que necessita de cirurgia para avanço frontofacial em monobloco, com distração osteogênica para tratamento dessa deformidade facial.

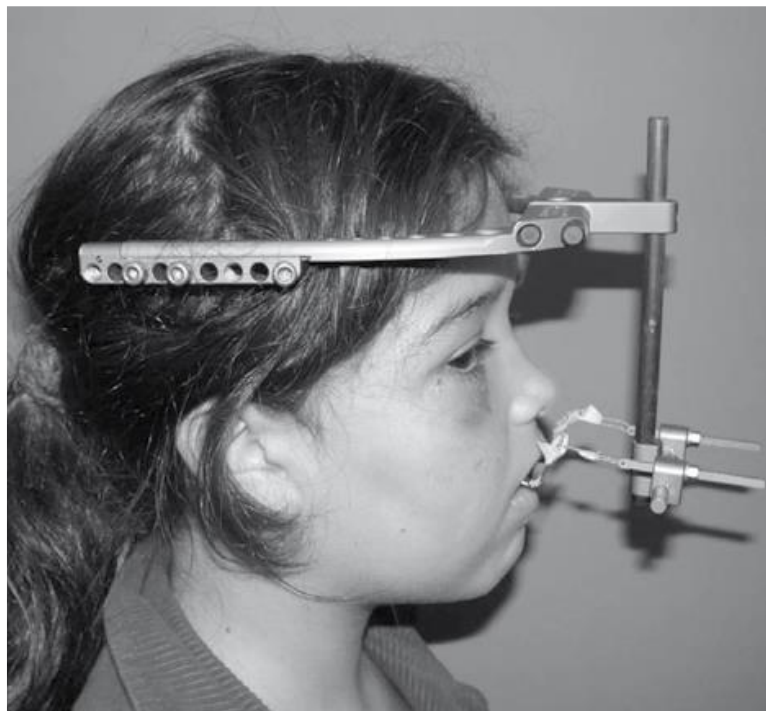
Figura 120. Exemplos do objetivo da cirurgia



Fonte: Raposo-do-Amaral *et al.* (2008).

Há vários métodos para a distração da face para essa deformidade. O HCPA utiliza o sistema de distração externa rígida, similar ao do Distrator RED II SYSTEM. A sigla RED vem de Rigid External Distraction, ou Distração Externa Rígida. O Sistema de Distração Externa Rígida fornece meios para se obter resultados previsíveis e consistentes na distração maxilar e média da face. Este sistema foi projetado para fornecer ao cirurgião a capacidade de fornecer forças de distração rígidas controladas sem a necessidade de hardware interno.

Figura 121. Exemplo de distrator externo rígido



Fonte: Alonso *et al.* (2009).

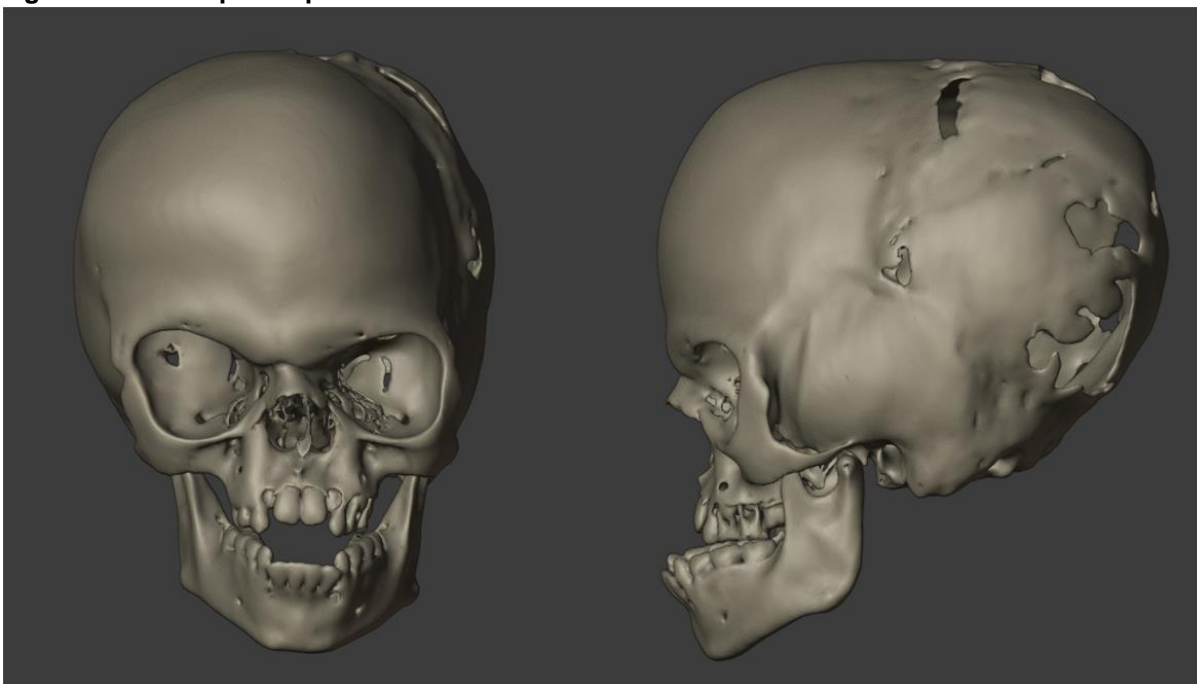
Figura 122. Posicionamento do distrator RED



Fonte: KLS MARTIN (2022).

Na Figura 123 pode-se ver a tomografia de um paciente craniossinostose, juntamente com a impressão 3D do crânio Figura 124.

Figura 123. Exemplo de paciente



Fonte: Autor.

Figura 124. Impressão 3D do crânio



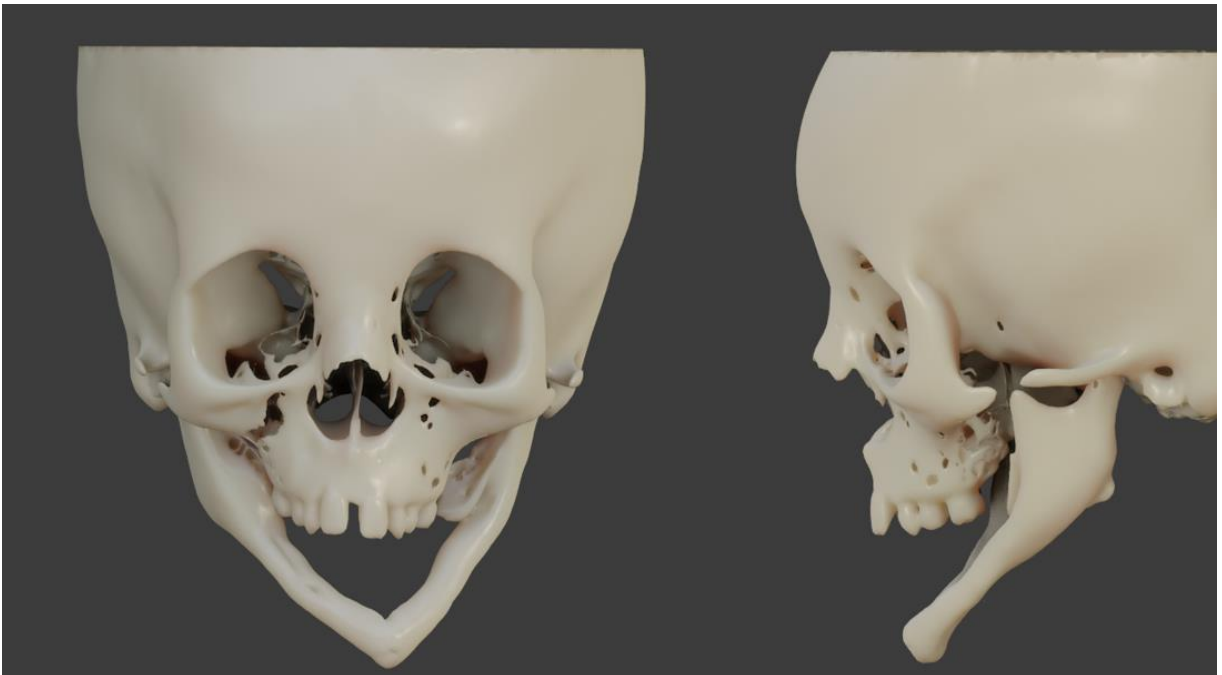
Fonte: Autor.

Utilizando uma abordagem similar às cirurgias de Pierre Robin e ortognáticas, possivelmente poderá se estipular quantos milímetros cada parafuso precisará ser movido até se chegar no resultado desejado.

4.4.3 Distração De Sínfise Mandibular

A Figura 125 mostra o caso de um paciente com defeito mandibular, que precisa de uma cirurgia de distração lateral da mandíbula.

Figura 125. Paciente com defeito mandibular



Fonte: Autor.

Além da proposta inicial de apenas impressão dos modelos do crânio e mandíbula para planejamento/preparação cirúrgica, foi estudada a possibilidade de se utilizar *splints* para orientar o posicionamento do distrator, utilizando para isso, os dentes da arcada superior. Estes *splints* não foram utilizados na cirurgia, podendo ser evoluídos para utilizações futuras.

Figura 126. Estudo da mandíbula com *splint* de posicionamento final



Fonte: Autor.

A Figura 127 mostra a impressão do crânio (em rosa), oriundo da TC, para planejamento e simulações cirúrgicas. As impressões em cinza ilustram a simetria ideal da mandíbula do paciente (textura lisa) com a mandíbula atual do paciente (partes com texturas rugosas).

Esse contraste busca facilitar a visualização do grau de assimetria, sendo útil, principalmente, para cirurgiões iniciantes nesse tipo de procedimento. As diferentes texturas oportunizam um contraste claro dos segmentos do modelo 3D, ao mesmo tempo que continua podendo ser impressa em uma impressora FDM comum.

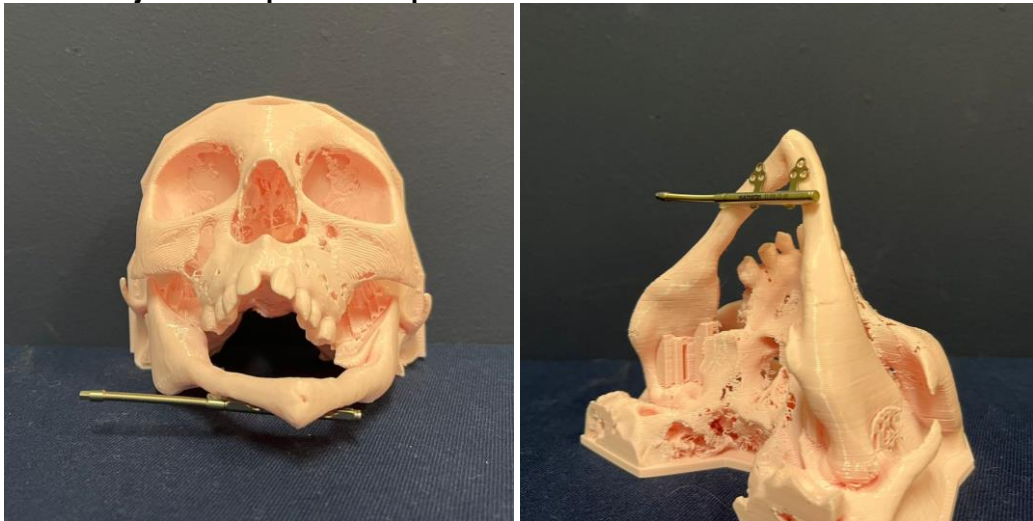
Figura 127. Impressão do crânio e mandíbula com simetria ideal



Fonte: Autor.

Na Figura 128 pode-se ver a aplicação do distrator real sobre a impressão 3D. Com esse modelo, os cirurgiões podem testar previamente o posicionamento do distrator e otimizar a relação entre ângulo de distração e pontos de fixação, minimizando a chance de fratura óssea durante sua fixação.

Figura 128. Planejamento a partir da impressão 3D e distrator físico



Fonte: Autor.

Esse método híbrido entre VSP com planejamento tradicional tem uma vantagem adicional, que é a rapidez do processo, uma vez que após a TC, imediatamente pode-se iniciar o processo de segmentação e impressão das áreas de interesse.

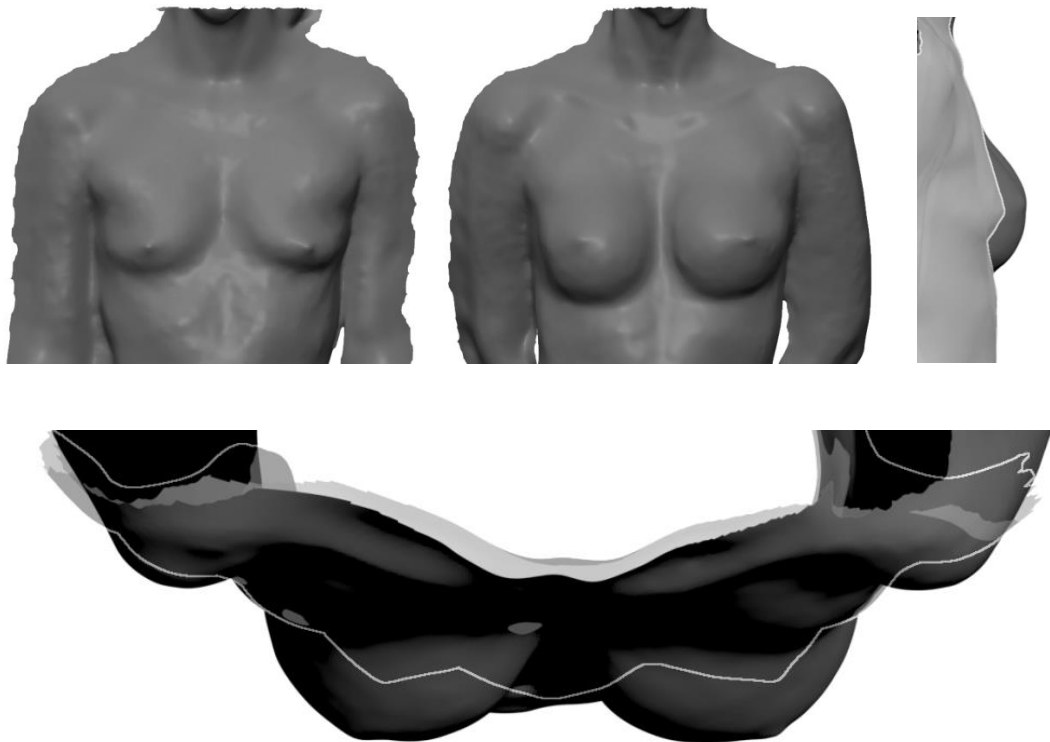
4.4.4 Mamoplastia de Aumento

Os casos de mamoplastia de aumento abordados aqui fazem parte do projeto de pesquisa do Dr. João Maximiliano Pedron Martins, ligado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cirúrgicas da UFRGS e ao HCPA, orientando do Prof. Dr. Marcus Vinicius Martins Collares.

Conforme o especialista, as cirurgias de aumento de mamas com implantes de silicone podem apresentar resultados estéticos que não correspondem às expectativas. Baseado na análise do cirurgião, espera-se que o planejamento virtual possa auxiliar na melhoria da técnica, que pode indicar, por exemplo, volumes precisos para correção de assimetrias e a análise pré e pós-operatória, possibilitando a conferência precisa dos resultados.

Nessa primeira etapa, foram escaneadas três pacientes para análise dos resultados, verificando-se volumetria e assimetria, bem como outros ângulos importantes para os resultados estéticos esperados (Figura 129).

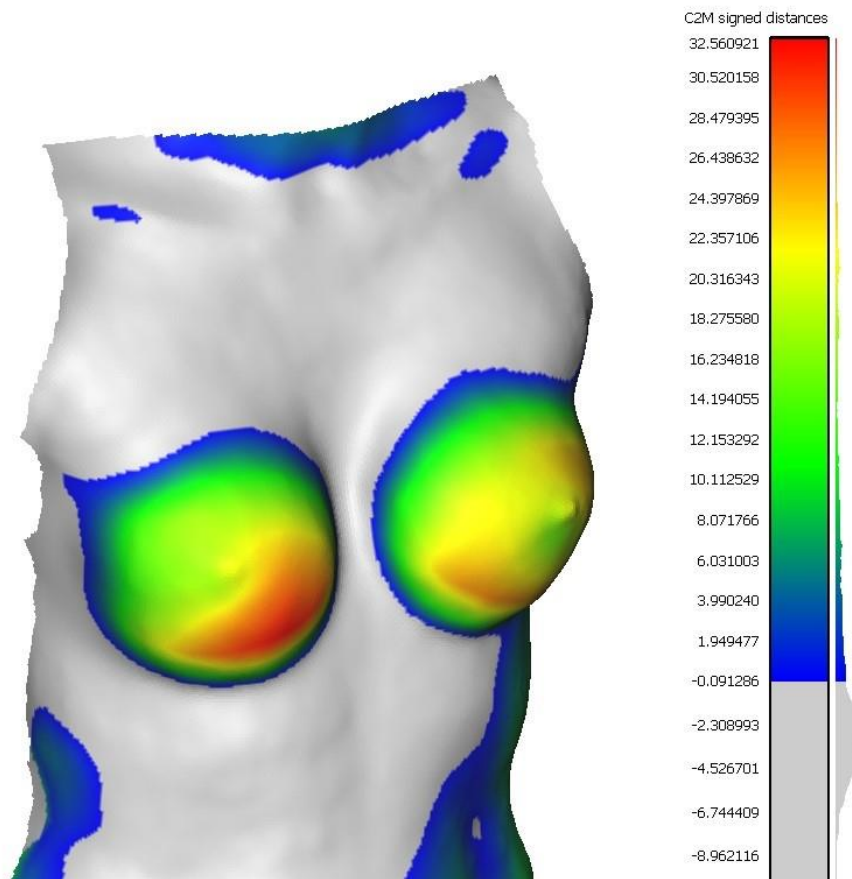
Figura 129. Exemplo de pré e pós-operatório de mamoplastia



Fonte: Autor.

Na Figura 130 pode-se ver o comparativo dimensional do resultado da cirurgia, em relação ao pré-operatório, da paciente mostrada previamente. Observa-se, pelo gráfico, os pontos de maior aumento dimensional em vermelho, até os pontos com menor deformação, em azul. Essa análise, feita no software Cloud Compare (gratuito), é útil para se verificar desde os pontos em que houve maior alteração no volume, até mudanças dos tecidos adjacentes.

Figura 130. Análise de modificação dimensional



Fonte: Autor.

As análises de simetria e volumétrica (Figura 131 e Figura 132) podem mostrar quantitativamente em milímetros (mm) e mililitros (ml), respectivamente, os resultados da cirurgia. Nesse exemplo pôde-se observar a precisão do procedimento, visto que reproduzindo as marcações pré-operatórias, verificou-se que as linhas L e R possuem as mesmas dimensões, bem como o alinhamento horizontal, em que a linha H encontra-se a 90° da linha sagital.

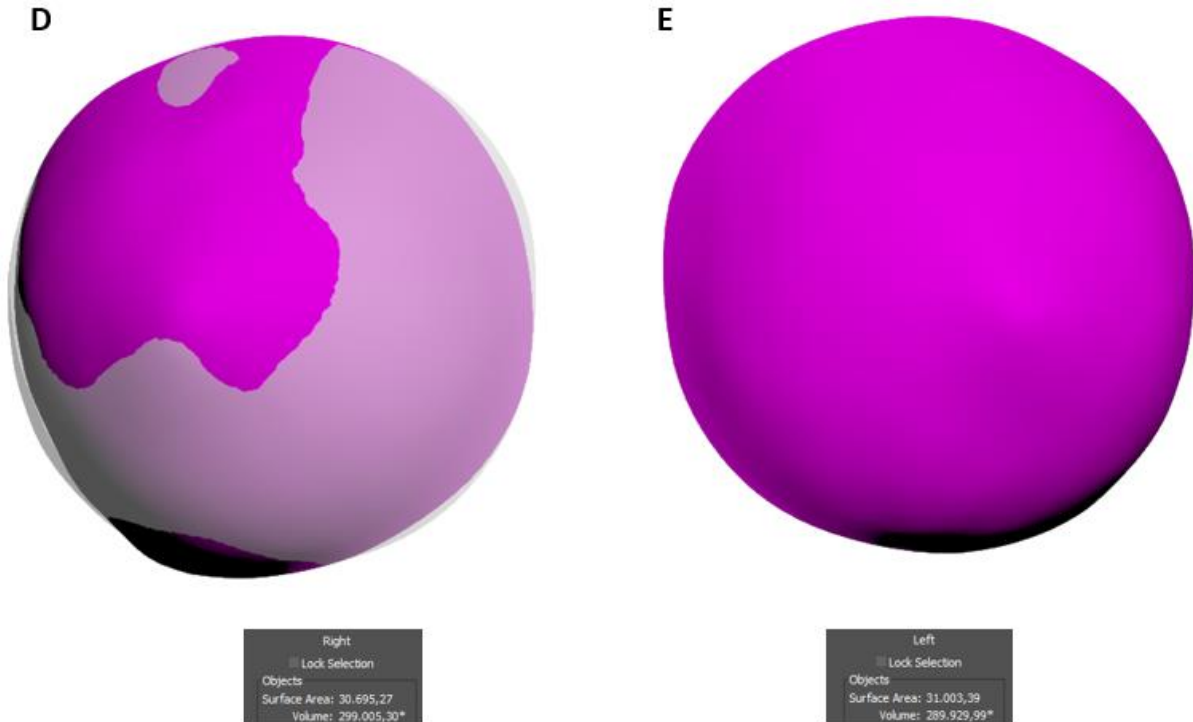
Figura 131. Análise de simetria e volumetria pós-cirúrgica



Fonte: Autor.

Na Figura 132, a mama esquerda foi sobreposta à direita (D) para se verificar a simetria. Observa-se uma sobreposição próxima, e a mama direita resultou em 299,0 e a esquerda em 289,9 ml, mostrando uma volumetria de acordo com o plano pré-operatório.

Figura 132. Análise volumétrica e de simetria



Fonte: Autor.

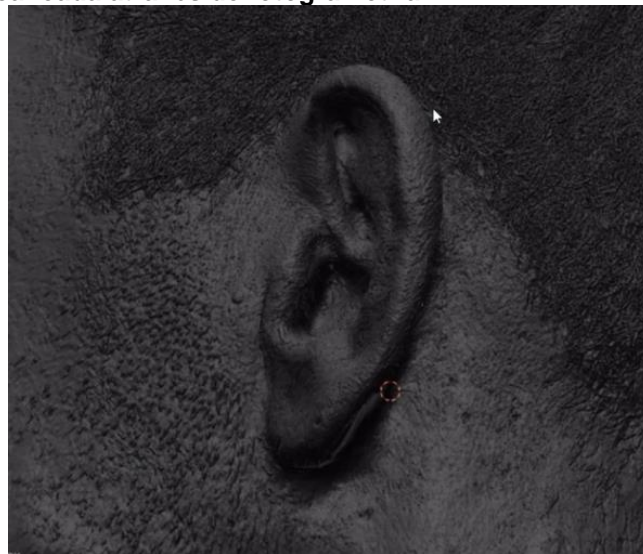
4.5 MÉTODO DE ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAL

Percebeu-se, no decorrer da pesquisa, a necessidade de aprofundamento de estudo sobre um scanner tridimensional e/ou método de escaneamento específico para o planejamento cirúrgico virtual, devido aos seguintes fatores:

- Redução de custos de digitalização para reconstrução auricular, além da acessibilidade a um scanner com a precisão necessária;
- Possibilitar o uso de escaneamento para acompanhamento pós-cirúrgico de cirurgias de Pierre Robin, em virtude da necessidade de imobilidade do paciente, algo difícil em relação a bebês;
- Aumentar a precisão do escaneamento de casos de mamoplastias, em que pequenos movimentos das pacientes podem influenciar no resultado do modelo 3D.

Durante a pesquisa foi comprovado que é possível ter resultados tão precisos quanto um scanner de luz branca com o uso de fotogrametria, utilizando-se softwares *open source*, mesmo para partes do corpo com geometria mais complexas, como as orelhas (Figura 133).

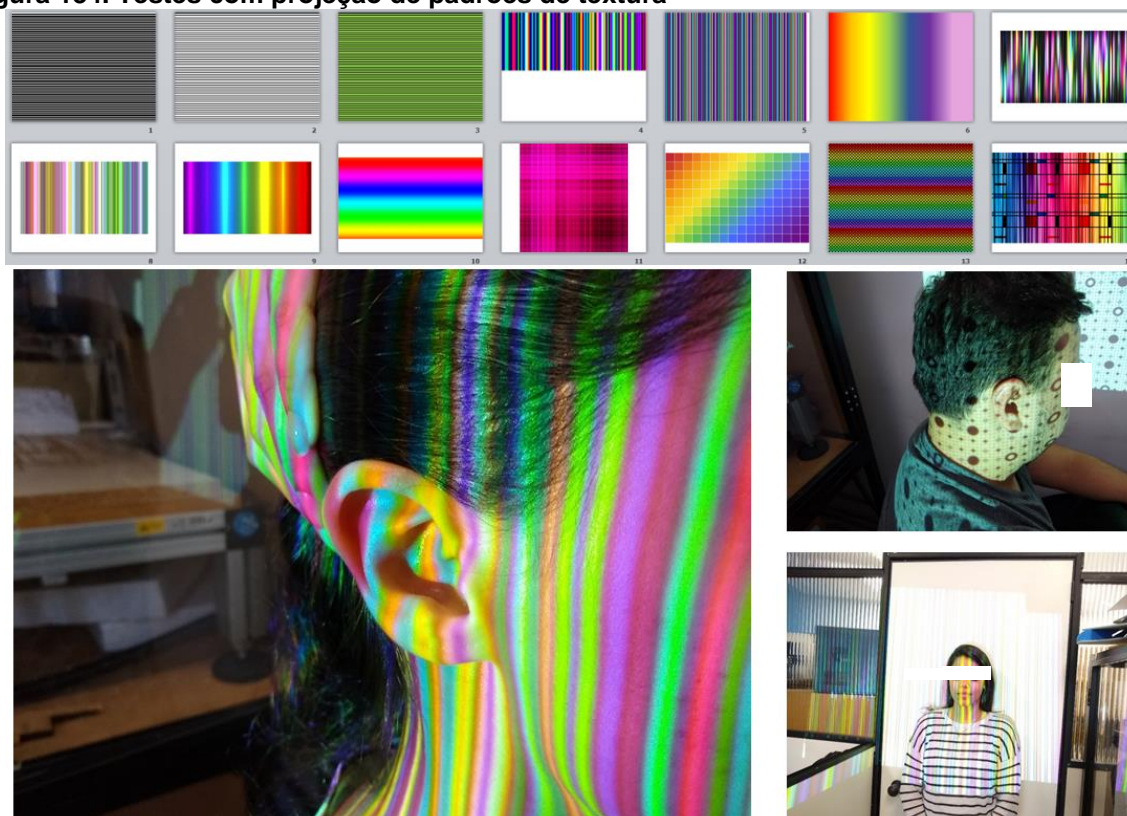
Figura 133. Orelha escaneada através de fotogrametria



Fonte: Moraes; Miamoto (2015).

A partir de artigos que sugerem o uso de projeção de texturas no objeto a ser escaneado, para facilitar a leitura posterior dos softwares de processamento, realizaram-se testes com diversos padrões, conforme SALVI, PAGÂ e BATLLE (2015), em diferentes condições de iluminação. Essa estratégia se mostrou interessante, desde que as diversas fotos sejam tiradas exatamente ao mesmo tempo, visto que, mesmo as menores movimentações do paciente geram grandes distorções no modelo 3D.

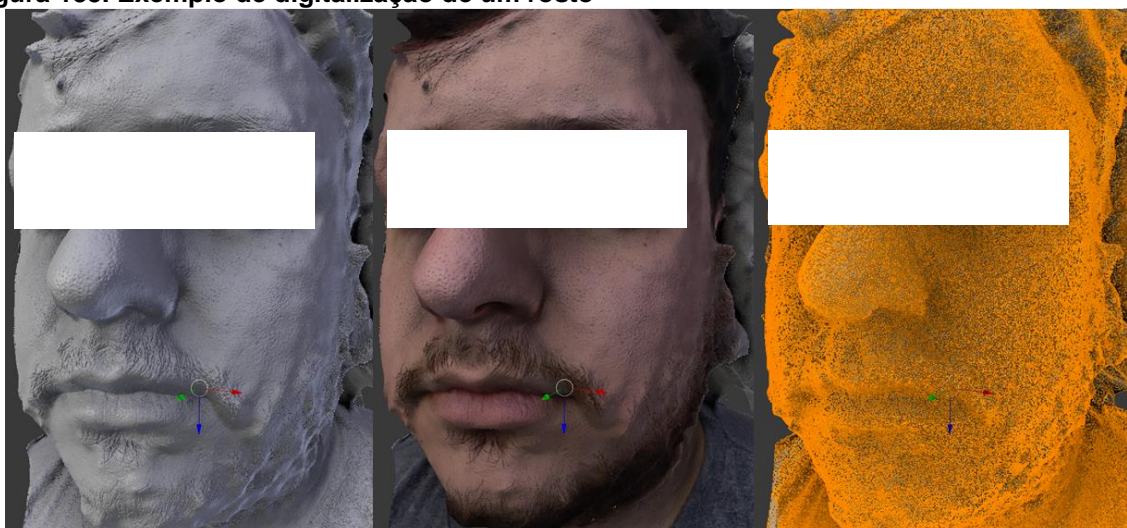
Figura 134. Testes com projeção de padrões de textura



Fonte: Autor.

Devido à limitação de se obter diversas fotos ao mesmo tempo, testou-se o escaneamento apenas utilizando uma câmera de celular, devido à sua ampla disponibilidade e acessibilidade, o que resultou em malhas 3D fiéis ao modelo real. Na Figura 135 pode-se ver um exemplo, realizado com o processamento de 57 imagens de 6 megapixels: modelo sólido, com textura e a malha em *wireframe*.

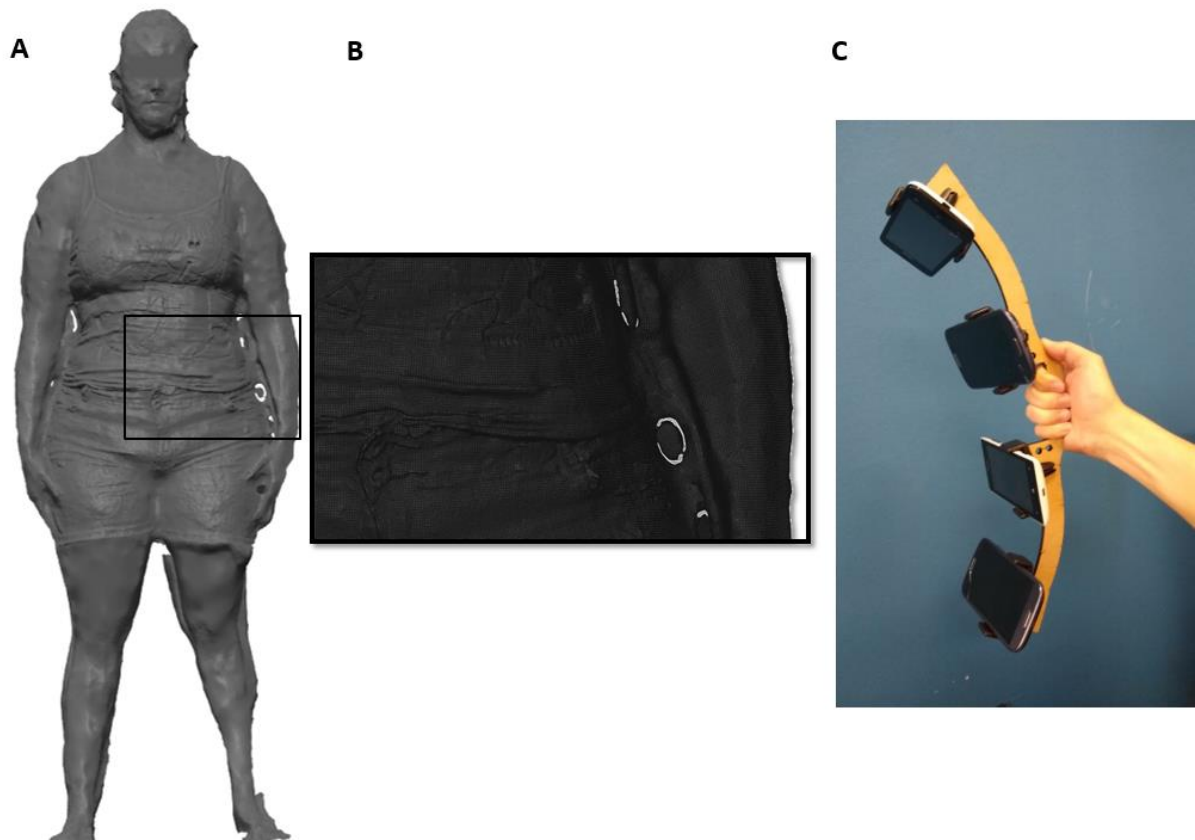
Figura 135. Exemplo de digitalização de um rosto



Fonte: Autor.

Para corpo inteiro, utilizou-se uma estratégia similar ao escaneamento do rosto, utilizando 111 fotos de câmeras de celular, o que resultou no modelo da Figura 136A, que possui boa precisão geométrica (B), porém, a pessoa deve ficar um tempo considerável imóvel. Isso pode ser melhorado com o acréscimo de mais câmeras funcionando paralelamente. Nesse exemplo foram utilizados 4 celulares (C), fazendo com que o paciente tenha que ficar em torno de 3 minutos estático.

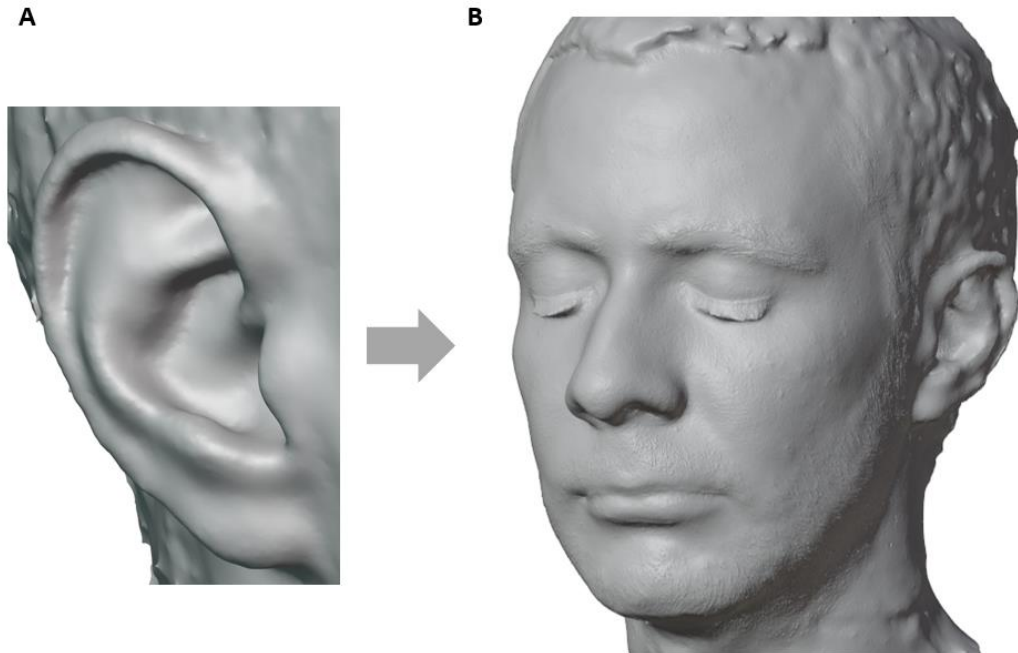
Figura 136. Corpo inteiro escaneado através de fotogrametria



Fonte: Autor.

Para as reconstruções auriculares, é possível utilizar apenas a fotogrametria para o escaneamento, como mostrado na Figura 137A, em que pode-se ver os contornos auriculares bem definidos, sendo escaneamento feito a partir de um celular Samsung S9. A resolução do rosto (B) também se mostra adequada para o projeto do gabarito para alinhamento da orelha.

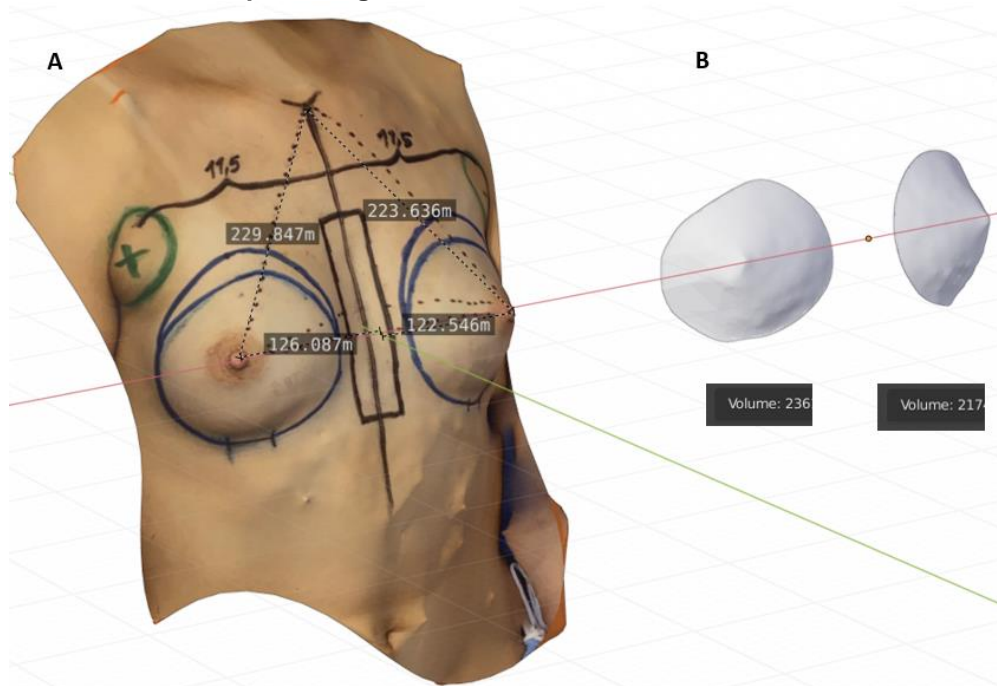
Figura 137. Fotogrametria para reconstruções auriculares



Fonte: Autor.

Para os casos de VSP de mamoplastia, apenas 3 fotos já são suficientes para as medições lineares e aferição prévia dos volumes dos seios (Figura 138). Indica-se fotos adicionais para se ter uma área escaneada maior, abrangendo a parte frontal do tronco da paciente, para ser possível um alinhamento da malha 3D pela linha sagital do corpo, facilitando a análise de simetria linear.

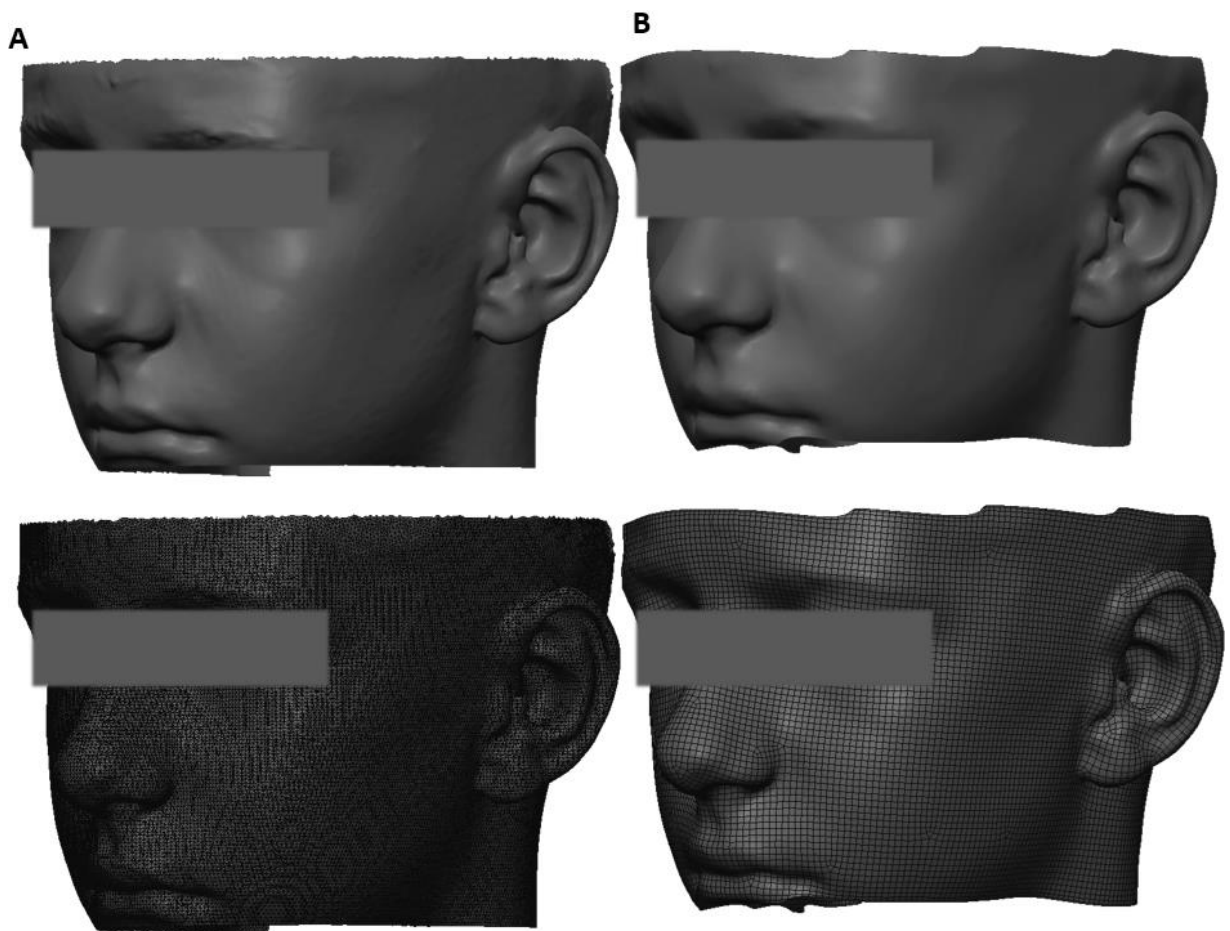
Figura 138. Escaneamento pré-cirúrgico



Fonte: Autor.

Para facilitar o trabalho com o modelo 3D, foram pesquisados métodos para simplificação da malha, sem com isso prejudicar sua precisão. Os resultados obtidos com o software Instant Meshes se mostraram as melhores opções, resultando em modelos com aproximadamente quatro vezes menos vértices e pontos. No exemplo de corpo inteiro, da Figura 136, o arquivo 3D diminuiu de 546 mb para 37 mb, o que possibilita sua manipulação em computadores mais simples, não especificamente projetados para trabalhar com softwares 3D. Na Figura 139A (malha original) pode-se ver que a simplificação das malhas não causaram perda de precisão na sua geometria (B).

Figura 139. Simplificação dos modelos



Fonte: Autor.

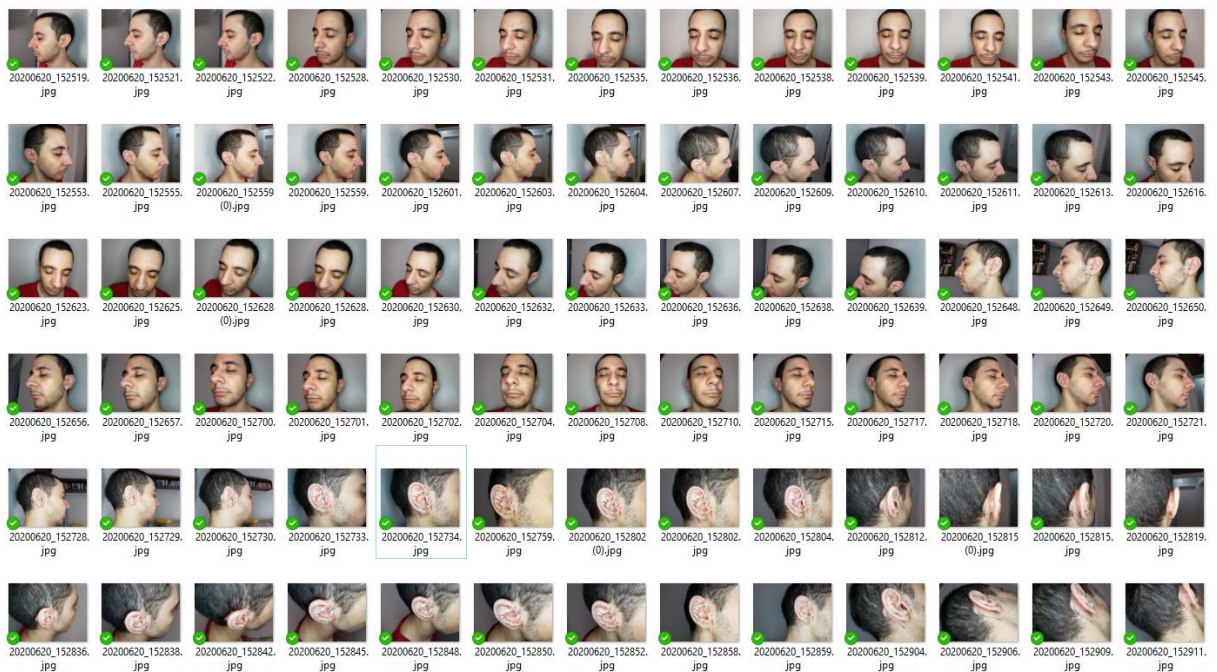
Pode-se ver que os resultados dos escaneamentos por fotogrametria podem atender diversas categorias de cirurgias plásticas. No capítulo a seguir são mostrados detalhes do escaneamento voltado especificamente à reconstrução auricular.

4.5.1 Método de Escaneamento Reconstrução Auricular

Os escaneamentos através de fotogrametria se sucederam em 4 pacientes, sendo os resultados do escaneamento compatíveis com o scanner de luz branca, previamente utilizado nas outras cirurgias. Na Figura 140 pode-se ver a sequência de fotos para cirurgias de reconstrução auricular. Observa-se, como citado anteriormente, que deve-se buscar o local melhor iluminado do ambiente, com menos sombras. Como é necessário escanear o rosto inteiro, para o posicionamento simétrico da nova orelha e o projeto da máscara de posicionamento, fotos de toda a face devem ser feitas, com foco, ainda, em todos os contornos auriculares, inclusive da parte traseira.

As fotos são tiradas em intervalos aproximados de 10 a 15° entre elas e, usualmente, quanto mais fotos, melhores os resultados. Nesse exemplo foram tiradas aproximadamente 90 fotos em menos de 2 minutos. Nesse tempo, o paciente deve permanecer relativamente estático, sem grandes movimentações ou mudanças significativas de expressão facial, o que é um limitante desse método e deve ser observado durante o processo. Caso seja observado uma movimentação do paciente, deve-se refazer as fotos.

Figura 140. Sequência de fotos para VSP de reconstrução auricular



Fonte: Autor.

Para facilitar o escaneamento, as fotos devem ter a melhor resolução possível e, adicionalmente, podem ser marcados pontos e linhas na orelha, como vistos na Figura 141. Essas marcações podem ser feitas com marcadores solúveis, como canetas de maquiagem, assim, logo após o escaneamento o paciente pode retirar as marcações com um papel toalha ou água.

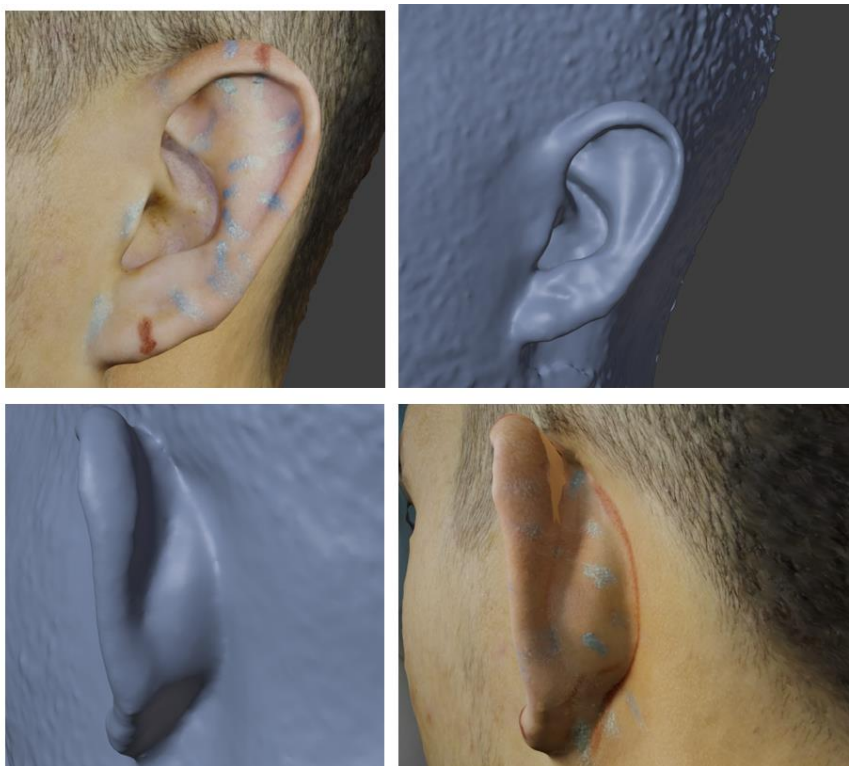
Figura 141. Resolução das fotos e marcação de pontos



Fonte: Autor.

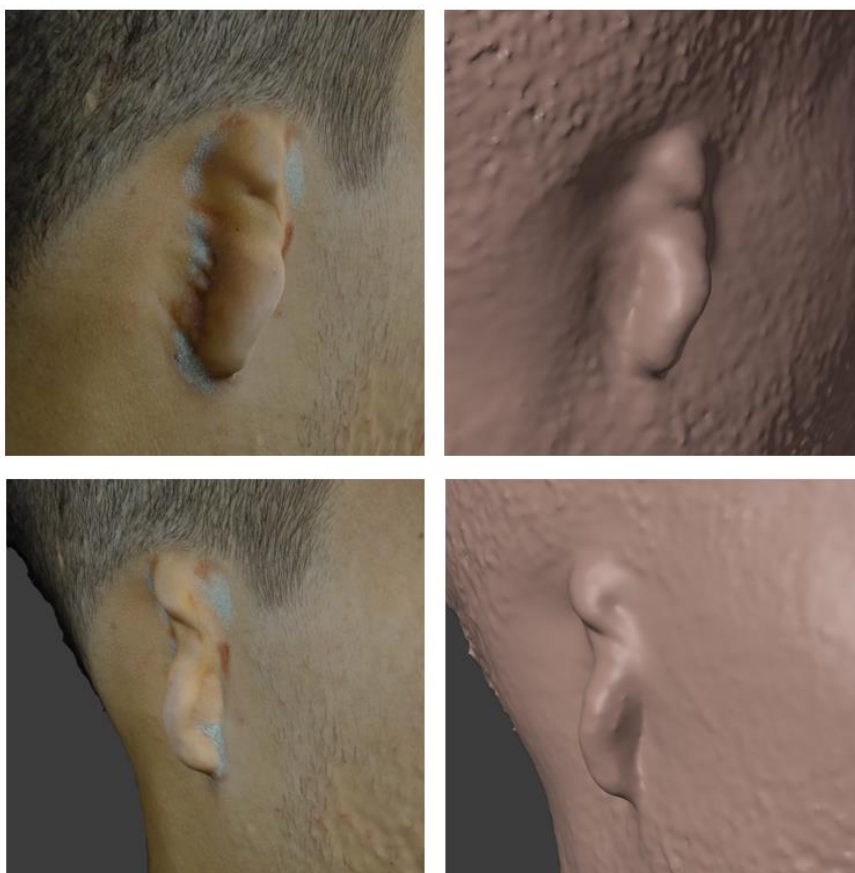
Nas Figura 142 e Figura 143 é mostrada a resolução em um caso real de paciente de reconstrução auricular. Observa-se que após a digitalização da face, pode-se permitir ao paciente se movimentar e, então, tirar fotos especificamente das regiões auriculares, uma vez que essas fotos em detalhes buscarão referências de outras fotos do rosto para fazer o alinhamento. Assim, o tempo que o paciente tem que ficar imóvel em cada sessão de escaneamento (face, orelha direita e orelha esquerda) cai para menos de um minuto, aumentando as chances de sucesso do escaneamento.

Figura 142. Modelo 3D texturizado e liso da orelha saudável



Fonte: Autor.

Figura 143. Modelo 3D da microtia



Fonte: Autor.

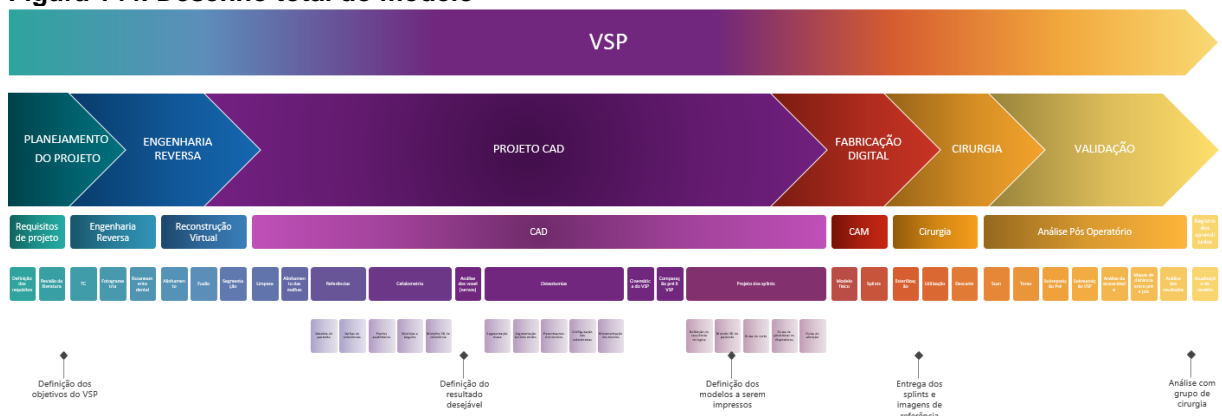
Ao final desse processo, as cerca de 90 fotos são processadas em cerca de 10 minutos, exibindo os resultados vistos nas figuras anteriores. Alinhamentos e ajustes menores na malha consomem cerca de 30 minutos.

5 MODELO DE VSP

Após as instanciações, validação e evolução do modelo VSP, mostrados no capítulo anterior, nesse capítulo ele é descrito, levando em consideração o conhecimento adquirido através da revisão da literatura, a imersão nos procedimentos abordados, bem como *feedback* da equipe cirúrgica. Como mostrado no capítulo 2, se optou pela representação linear do Modelo VSP, assim como outras pesquisas na área, bem como do modelo de referência de Rozenfeld *et al.* (2006), que é muito utilizado na área do design e engenharia, relacionado ao desenvolvimento de produtos.

Essa estratégia busca facilitar a leitura tanto de profissionais especializados em desenvolvimento de produtos em 3D, bem como médicos. Na Figura 144 pode-se ver a ilustração do modelo, para-se ter noção do seu tamanho geral. Essa imagem é apenas referencial, não sendo objetivada para a leitura das fases, que serão ilustradas em tamanho adequado para visualização e explanadas nos subcapítulos a seguir.

Figura 144. Desenho total do modelo

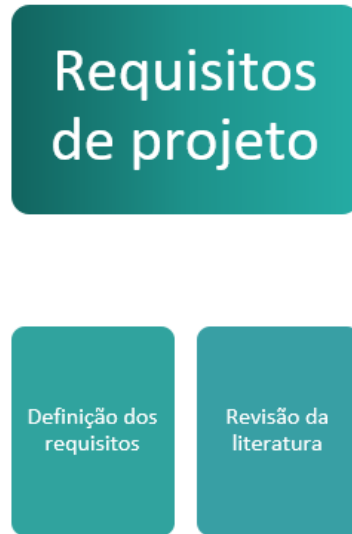


Fonte: Autor.

5.1 PLANEJAMENTO DE PROJETO

Nesta etapa a equipe cirúrgica define o tratamento e, em consequência, os objetivos da cirurgia. No que tange o VSP, essa fase define dimensões e ângulos básicos a serem trabalhados, bem como, de forma preliminar, osteotomias, distratores e *splints* a serem considerados no projeto.

Após essa definição, se faz uma revisão básica da literatura, pesquisando o uso do VSP em procedimentos similares. Assim, se compara a técnica atual, com planejamento tradicional em 2D, com o uso do VSP em outras instituições, podendo-se fazer pontes entre o que é esperado no planejamento específico, com a aplicação das tecnologias 3D em outros lugares do mundo.

Figura 145. Planejamento de projeto

Fonte: Autor.

5.2 ENGENHARIA REVERSA

A etapa de engenharia reversa compreende a captura de dados do paciente. Dependendo do procedimento, o médico pode solicitar tomografia computadorizada, escaneamento facial através de fotogrametria, bem como digitalização das arcadas dentárias.

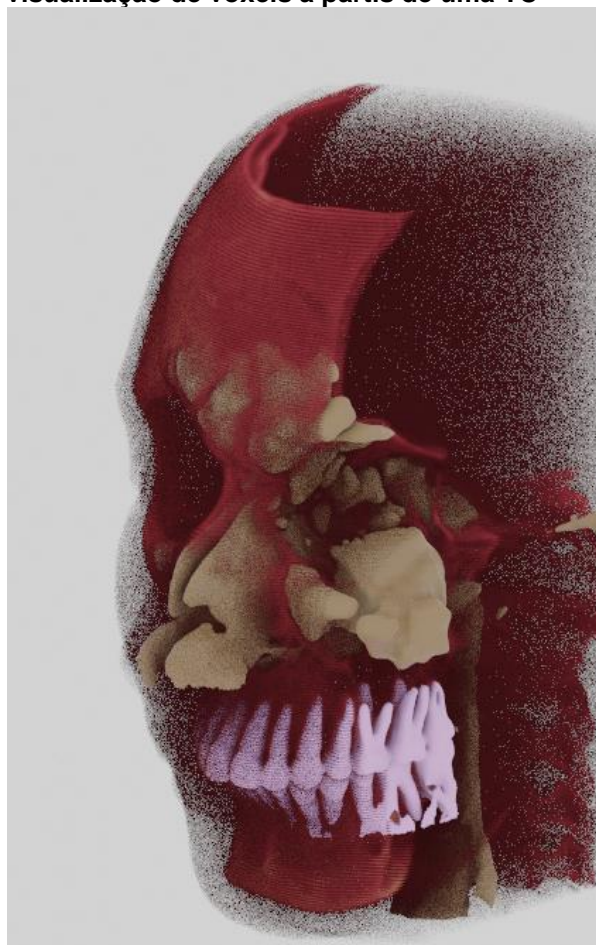
O escaneamento das arcadas pode ser feito através de scanners intraorais, bem como através de fotogrametria dos moldes de gesso. Ambos possibilitam resultados excelentes, sendo o escaneamento intraoral, entretanto, mais rápido. Por outro lado, alguns convênios médicos, como o SUS, normalmente não contemplam essa tecnologia, sendo, nesse caso, perfeitamente viável a digitalização dos moldes de gesso. Para essa etapa, deve ser considerado o tempo adicional que estes demoram até estarem disponíveis ao profissional que irá fazer o VSP.

A partir de todos os dados digitalizados do paciente, é feito o alinhamento das diversas malhas e sua fusão para posterior segmentação. Nos casos de cirurgias craniomaxilofaciais, a segmentação normalmente se subdivide em tecidos moles, ósseos e dentais. Adicionalmente, dependendo da necessidade cirúrgica, pode-se também extrair da TC alguns vasos sanguíneos especificados, sendo esse processo, entretanto, relativamente manual.

Figura 146. Engenharia reversa

Fonte: Autor.

A TC ainda possibilita o estudo dos voxels, que é uma nuvem de pontos que possibilita a visualização de tecidos como globo ocular, nervos entre outros com densidades muito similares ao da pele, que, por padrão, é importada da tomografia.

Figura 147. Exemplo de visualização de voxels a partir de uma TC

Fonte: Autor.

5.3 PROJETO CAD

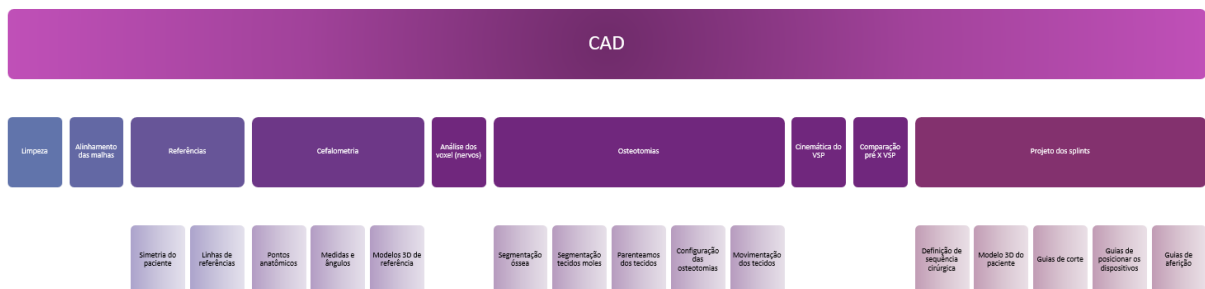
Após a etapa de aquisição de dados do paciente, é feita uma limpeza, simplificação ou detalhamento das malhas tridimensionais, de acordo com as necessidades. Pode-se, por exemplo, utilizar uma resolução elevada na área principal de interesse da cirurgia e outra mais grosseira em áreas adjacentes, no intuito de o tamanho de arquivo não ficar muito elevado, ocasionando lentidão no software CAD.

Esse fator é de elevada importância, visto que todos os métodos de digitalização aqui abordados (fotogrametria, tomografia e escaneamento intraoral por luz branca) possuem elevada resolução e precisão. Em virtude dessas características, que possibilitam tolerâncias menores que 0,1mm, facilmente um crânio oriundo de uma TC, associado à uma fotogrametria de face e escaneamento de arcadas, pode superar os 3 Gigabytes, exigindo um computador específico, de alta potência e elevado custo.

Com esse balanceamento entre resolução das malhas, pode-se trabalhar com arquivos menores que 100mb, sem a perda relevante de informações, mantendo as tolerâncias próximas a 0.3mm, que são, ainda, bem superiores aos métodos de planejamento tradicional.

A Figura 148 mostra, de forma ilustrativa, o número de etapas e subdivisões da fase de projeto CAD. No decorrer do capítulo são detalhadas as subetapas, sendo mostradas de forma legível cada etapa vista nessa figura.

Figura 148. Vista geral da etapa projeto CAD

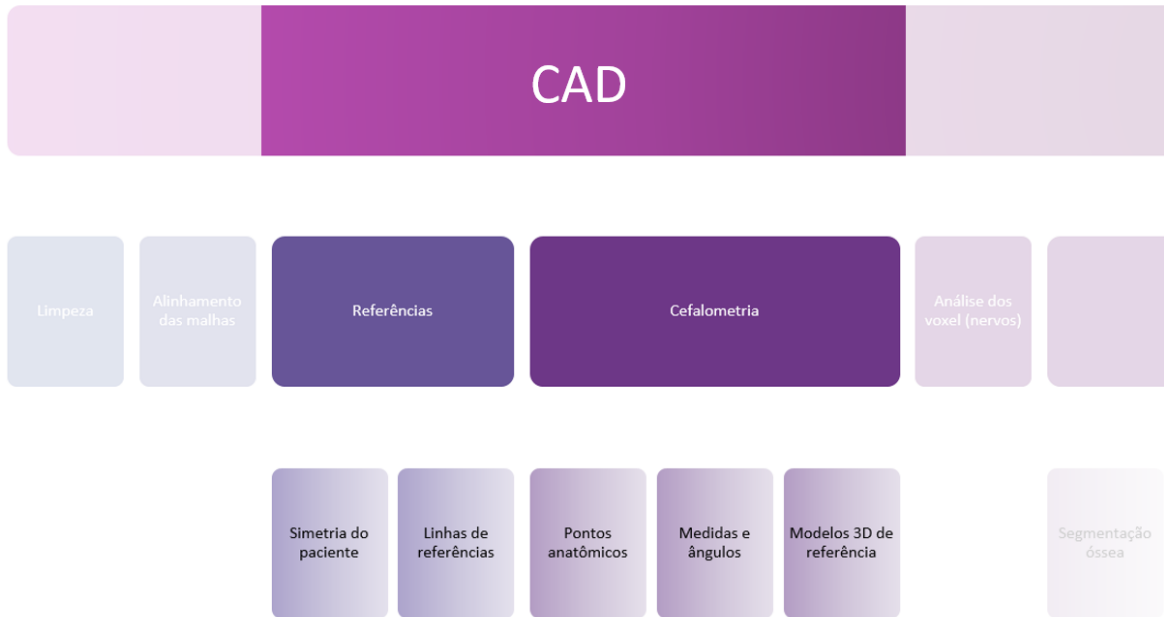


Fonte: Autor.

Em seguida são traçadas linhas de referências básicas, orientando o perfeito alinhamento do paciente, nos eixos Z, Y e Z. Essa etapa, apesar de terem pontos anatômicos e literatura ampla a orientando, sempre exige intervenção manual. Isso porque, todo ser humano apresenta assimetrias em seus tecidos, tanto ósseos quanto moles, e deve-se considerar ainda que pacientes que necessitam de intervenção cirúrgica no rosto, normalmente possuem assimetrias mais elevadas que a média da população.

Nesse contexto, é considerada a simetria específica do paciente, priorizando o melhor resultado final, pois raramente é possível utilizar apenas pontos específicos da face ou o simples espelhamento de determinado lado. Além de linhas de referência geométricas, modelos 3D com dimensões oriundas da literatura são utilizados para se chegar ao melhor alinhamento do crânio.

Figura 149. Etapa inicial da etapa CAD



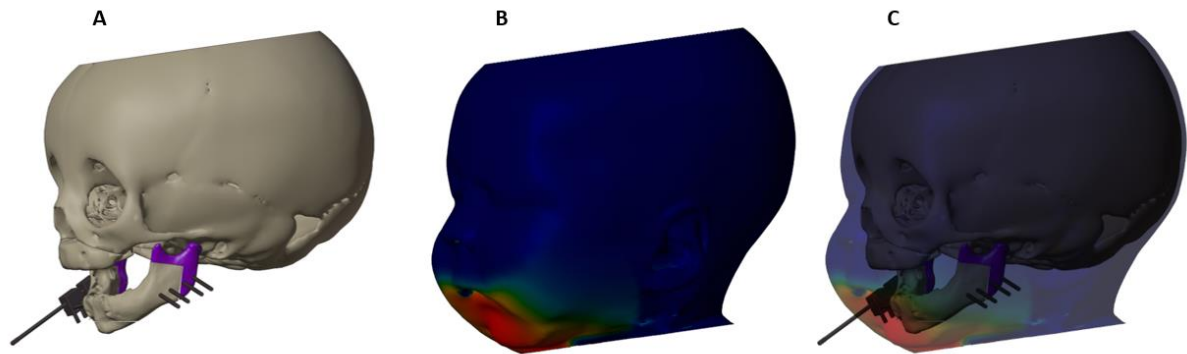
Fonte: Autor.

Quando necessária a visualização dos voxels para assegurar a proteção de um nervo, por exemplo, é solicitada pela equipe cirúrgica. Esses pontos, após isolados, são trazidos para o modelo 3D para posterior definição de osteotomias, movimentações, etc.

Após, as osteotomias são planejadas, sendo os tecidos ósseos segmentados no software CAD e, posteriormente, atrelados às partes equivalentes dos demais tecidos do VSP, como os dentais e moles.

Os centros dessas áreas são atrelados, possuindo densidades que vão sendo minimizadas a medida que a influência de movimentação do osso vai diminuindo. O Blender faz uma aproximação dos graus de influência e interferência das movimentações por padrão, sendo possível, através da experiência da equipe médica, fazer ajustes e maximizar a precisão dessa etapa.

Figura 150. Exemplo de graus de influência dos segmentos ósseos nos tecidos moles

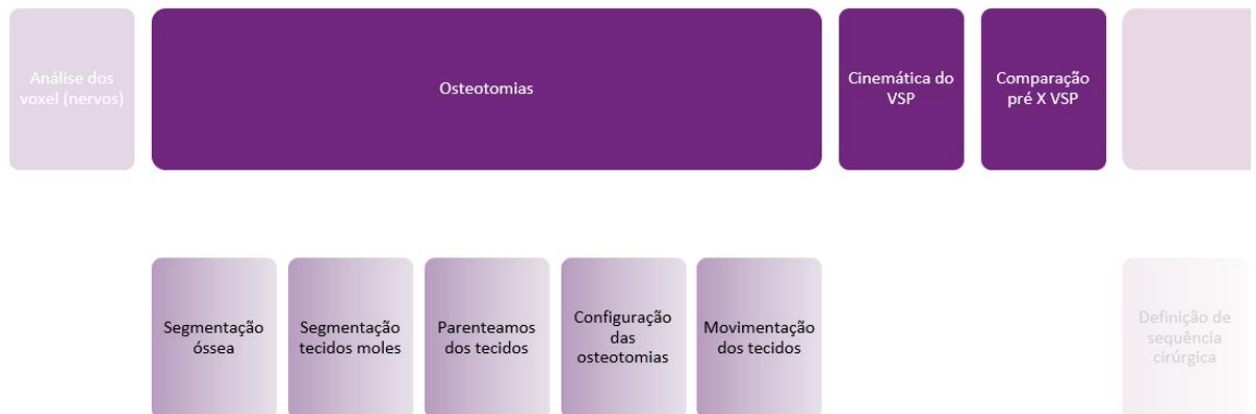


Fonte: Autor.

Depois dessas etapas, finalmente pode-se realizar a movimentação dos ossos de acordo com cálculos cefalométricos executados pelo cirurgião, analisando as dimensões teóricas ideais com as características do paciente.

A comparação da fotogrametria original com o resultado esperado, bem como a análise da oclusão dental e fixação óssea podem ser usados para se fazer um ajuste fino das movimentações dos segmentos.

Figura 151. Etapa intermediária de CAD



Fonte: Autor.

Para o projeto dos gabaritos (*splints*), um fator importante é se saber a sequência cirúrgica. Numa cirurgia ortognática, por exemplo, algumas equipes preferem primeiro trabalhar na maxila, já outras optam por começar pela mandíbula. Dessa forma, os gabaritos se tornam totalmente distintos.

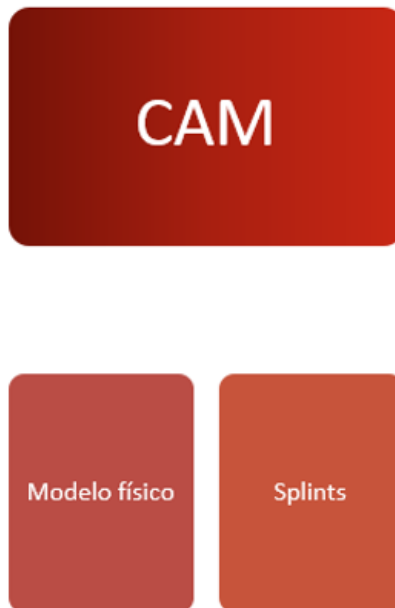
Figura 152. Etapa de projeto dos *splints*



Fonte: Autor.

5.4 FABRICAÇÃO DIGITAL

Com a definição de o que a equipe cirúrgica necessita para o procedimento, pode-se imprimir em 3D guias de corte, posicionamento e aferição. Outro item, que embora simples, é muito útil, é o próprio crânio 3D do paciente, que serve para a aferição de splints, análise e conferência do planejamento tradicional, entre outros. A partir desse modelo físico, também se possibilita a modelagem manual de placas de osteotomia, que podem ser feitas antes do procedimento cirúrgico, contornando-as sobre a impressão 3D. Também é possível a própria simulação cirúrgica prévia, como testes de osteotomias no modelo 3D impresso, o que pode ter um valor ainda maior para estudantes ou cirurgiões que não trabalham no dia a dia com determinado procedimento.

Figura 153. Fabricação digital

Fonte: Autor.

5.5 CIRURGIA

A etapa de cirurgia, no que tange o VSP, se inicia pela esterilização dos *splints* e modelos 3D impressos. Eles são organizados juntamente com os outros instrumentos tradicionalmente utilizados na cirurgia. Após seu uso, os *splints* são descartados juntamente com todos os itens utilizados na cirurgia que não podem ser reesterilizados.

Os protocolos cirúrgicos seguem sem interferência, sendo os mesmos do planejamento tradicional, não sendo alterados suas etapas ou procedimentos.

Figura 154. Cirurgia

Fonte: Autor.

5.6 VALIDAÇÃO

A etapa de validação do modelo de referência de VSP pode se iniciar por uma nova digitalização do paciente depois do período que os tecidos estão totalmente recuperados, sem inchaços ou outros resquícios do processo cirúrgico. Dependendo do procedimento, pode ser solicitado pela equipe médica uma TC, para se verificar outras demandas médicas, como também o posicionamento e fusão óssea.

Com essa nova reconstrução virtual do paciente é possível sobrepor as malhas tridimensionais com o pré-operatório. Assim, pode-se fazer análises de acuracidade em relação ao VSP, o que pode contribuir para pequenas alterações no processo cirúrgico para que os próximos VSPs sejam mais precisos.

Figura 155. Validação



Fonte: Autor.

Em alguns casos, como no qual o paciente está usando um distrator ósseo, essa análise pós-operatória pode servir para auxiliar o tratamento, como mostrando assimetrias e possibilitando intervenção nos resultados durante o período de distração.

Por fim, uma análise geral do processo é realizada, verificando-se pontos que podem ser melhorados, e dessa forma, atualizando e evoluindo o modelo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta parte da tese reflete sobre a pesquisa realizada e suas contribuições, identifica limitações no estudo, discute a novidade e os resultados da tese em comparação com o estado atual da arte, além de descrever a importância prática e teórica das contribuições. Também sugere áreas para futuras pesquisas (JOHANESSON; PERJONS, 2007).

Essa pesquisa remonta ao ano de 2012, momento em que o autor entra no mestrado deste programa de pós-graduação (PGDESIGN) da UFRGS. Ao mesmo tempo, ocorre o início da popularização das tecnologias de impressão 3D e profissionais do programa de pós-graduação de Medicina dessa mesma instituição, entenderam ser possível a utilização dessa tecnologia para aprimorar determinados tipos de cirurgia, visando, através da inovação tecnológica, melhores resultados nas intervenções. Assim, iniciou-se o trabalho colaborativo entre esses dois PPGs, começando o estudo nos procedimentos de reconstrução auricular.

Durante o mestrado foram feitas três cirurgias de reconstrução auricular, que mostraram potencialidades do planejamento cirúrgico virtual, trazendo ganhos de tempo cirúrgico e mais dados para auxiliar o cirurgião durante o procedimento. Em pouco tempo, o método foi estabelecido como procedimento padrão para os casos de reconstruções auriculares no HCPA, trazendo interesse para a continuação do trabalho de mestrado. Nesse mesmo período, pesquisas do departamento de medicina estudavam meios para que esse processo pudesse ser feito, através da produção de células autógenas *in vitro*, modeladas em 3D, porém, essa tecnologia ainda não está pronta para a aplicação. Com isso, buscou-se outras formas de colaboração, sendo melhorias no método de reconstrução auricular e sua extrapolação para outros procedimentos, itens escolhidos para o desenvolvimento dessa pesquisa, em conjunto entre os PPGs.

A tese apresenta a metodologia VSP, que é uma abordagem e um conjunto de métodos e diretrizes de apoio a serem usados como uma estrutura para a sua aplicação em planejamentos na cirurgia plástica craniomaxilofacial. Com isso, pretende ser um manual básico para professores, estudantes, cirurgiões e pesquisadores relacionados à área de design virtual e medicina, especialmente nos tópicos de engenharia reversa, projeto CAD e manufatura aditiva. O objetivo central é ajudar pesquisadores e grupos de pesquisa a planejar, implementar e comunicar suas abordagens de VSP, utilizando, especificamente, softwares livres e *hardwares* de baixo custo, em conjunto com dados que já fazem parte do planejamento tradicional.

Em relação ao escaneamento tridimensional, as tecnologias atuais permitem a obtenção de modelos 3D da face do paciente com precisão decimal. Assim, mesmo com um smartphone intermediário, se conseguiu digitalizar os pacientes tanto de cirurgia ortognática,

quanto de reconstrução auricular. Nesse último caso, apenas a digitalização 3D é utilizada para o VSP, já nos casos de cirurgia ortognática, a malha escaneada deve ser utilizada em conjunto com os dados da TC e dos dentes do paciente, seja através do escaneamento dos moldes de gesso, ou pela digitalização intraoral. Essa necessidade de unir malhas vindos de diferentes fontes foi um desafio interessante para a pesquisa: por mais que a precisão dos escaneamentos com smartphone fosse um objetivo do trabalho e já houvesse base científica para identificar a precisão da digitalização por fotogrametrias (comparação com scanners de luz branca), ter DICOMs advindo de tomógrafos utilizados no dia a dia do HCPA, para confirmar a precisão do método, foi gratificante e assegurou a transição entre métodos de escaneamento.

Sobre o tópico de projeto CAD, no Blender, o tempo para execução dessa etapa e, em consequência, seu custo, ainda são elevados, embora tendam a diminuir com a repetição e aprimoramento das técnicas projetuais. Durante a tese, essa etapa foi feita exclusivamente no software Blender, devido às suas potencialidades e disponibilidade: trata-se de um software livre e *open source*, sendo assim um item que não demanda custo. O amplo uso do Blender, em inúmeras indústrias que utilizam imagens 3D, desde a indústria do cinema à automobilística, por exemplo, faz com que exista uma grande base de dados de conhecimento, existindo cursos grátis e pagos em diversas plataformas virtuais, tanto de ensino como de vídeos, como o Youtube. Ainda assim, trata-se de um software específico e, para sua utilização no VSP, exige uma curva de aprendizagem relativamente longa, o que é um impeditivo para a realidade atual de cirurgiões, que tradicionalmente possuem uma carga de trabalho já elevada, e a inclusão de mais um elemento temporal dentro do contexto cirúrgico, não é viável no contexto atual do HCPA.

Nesse contexto, especialistas em softwares CAD 3D, principalmente vindos da área do design e da engenharia, podem ser incluídos no processo de implantação do VSP em hospitais. A evolução de softwares CAD específicos para a área médica, com o tempo, irá inserir o VSP no dia a dia de cirurgiões, porém, estes possuem um custo elevado. Plugins para o software Blender, grátis ou com um custo baixo, como o Ortogonblender e o Blenderfordental, são iniciativas que buscam preencher a lacuna entre softwares específicos para o planejamento cirúrgico virtual à facilidade de uso, sem uma grande curva de aprendizagem. Entretanto, no período de realização dessa tese, a inserção de um especialista em 3D pode ser muito útil para transferir as necessidades apontadas pelo cirurgião para o VSP.

Em relação à manufatura, o tempo de impressão de modelos e gabaritos é elevado, entretanto, esse fator não interfere no custo, pois trata-se de um tempo em que o equipamento (impressora 3D) pode trabalhar sem a necessidade de um profissional acompanhando-a. Utiliza-se exclusivamente o material PLA, devido à sua facilidade de

esterilização, baixo custo e ausência de problemas de interação quando em contato com o paciente.

A metodologia proposta permite a fabricação de *splints* com um custo baixo de materiais e equipamentos, com precisão adequada às necessidades da equipe cirúrgica. Utiliza-se ferramentas já utilizadas nos planejamentos tradicionais, como tomografia computadorizada e moldes dentários de gesso. Os elementos de engenharia reversa e projeto 3D, que são itens adicionais ao planejamento tradicional, não dependem de custos adicionais à equipe cirúrgica, visto que se utiliza um smartphone para o escaneamento tridimensional, bem como um software CAD livre e grátis (Blender), que pode ser utilizado mesmo em computadores com especificações técnicas medianas, já utilizados em hospitais para visualização de imagens médicas (DICOMs).

Após a aplicação nos diversos casos mostrados no HCPA, pode-se considerar como único hardware adicional para o início da implantação do VSP em outros hospitais é uma impressora FDM 3D, que se mostra necessária na maioria dos casos para a manufatura de modelos e/ou *splints*. Entretanto, ainda assim, o Blender é uma alternativa a outros softwares de visualização de DICOMs, que pode ser útil em alguns casos em que se requer exclusivamente a visualização de detalhes da TC em diferentes ângulos, bem como medições e comparações de simetria ou com dados de referência, sejam estéticos ou funcionais.

Conforme Dresch, Lacerda e Antunes Jr (2015), a avaliação de um artefato para o design pode ser realizada através da instanciação, que é a aplicação de artefatos anteriormente elaborados (metodologias, modelos, métodos, etc) em um ambiente real de uso. Um método pode conter modelos ou parte de modelos. Nesse sentido, essa tese utilizou a evolução do modelo de reconstrução auricular, elaborada na dissertação de mestrado do autor, em dois níveis de instanciações:

- Nos casos de reconstrução auricular, Sequência Pierre Robin e Cirurgia Ortognática.
- Em outros procedimentos cirúrgicos, vistos no capítulo 4.4 (Potenciais Aplicações Futuras), que se aproximam da generalização, visto que o método não é definitivo ou estático.

O método, a partir do modelo de reconstrução auricular, foi adaptado e evoluído em diversas instanciações desse mesmo assunto. No caso dessa pesquisa, as instanciações em Pierre Robin e cirurgia ortognática, bem como as abordagens preliminares de reconstrução facial, craniossinostose e mamoplastia, podem ser definidas como generalizações do método.

O modelo original foi reinstanciado em 27 cirurgias de reconstrução auricular e, portanto, plenamente validado. Pequenas evoluções aconteceram no nível de métodos de

fabricação, eliminando a necessidade de uma máquina de corte laser, utilizando-se, assim, apenas uma impressora 3D para a fabricação de todos os *splints* de auxílio à cirurgia.

A evolução mais relevante do modelo de reconstrução auricular, entretanto, foi a transição da necessidade do escaneamento do paciente por scanners de luz branca, tradicionalmente de alto custo de aquisição: US\$ 19.800,00 (“3D Object Scanner Artec EVA”, 2022). Nesse novo método, para a digitalização tanto da face quanto da orelha, é utilizado apenas um smartphone. Essa mudança possibilita a aplicação do método em diversos hospitais, que não tem acesso a esse equipamento. Além disso, houve a mudança do software de VSP, que inicialmente era o Autodesk 3DS Max, um software comercial, que custa US\$ 1785,00 por ano (“3ds Max Subscription Prices”, 2022), para um software livre, grátis e *open source*, o Blender.

Adicionalmente, a evolução desse modelo foi reinstanciado para cirurgias de Sequência Pierre Robin. Em conjunto com pesquisas já em andamento no HCPA, resultaram na aplicação em 5 cirurgias de PRS. Além disso, duas aplicações na área de cirurgia ortognática foram feitas, sendo aplicadas em paralelo aos planejamentos tradicionais, já em uso pelo HCPA.

A utilização dos moldes nos diferentes tipos de cirurgias possibilitou a comparação de alguns pontos com os planejamentos cirúrgicos tradicionais do HCPA, bem como a possibilidade de confirmar muitas situações apontadas nos capítulos de revisão da literatura. Um exemplo disso, é que uma vez se tendo o modelo 3D do paciente, algumas dúvidas e definições são feitas através da cooperação remota entre designer e equipe cirúrgica (PASCAL *et al.*, 2018). Não só a fabricação de gabaritos se mostrou útil, como a própria impressão do crânio do paciente pode ser relevante para a verificação prévia de geometria óssea e posição de distratores (HUA; AZIZ; SHUM, 2019).

A confirmação da efetividade da sobreposição de digitalizações vindas de diferentes fontes (ZHAO; PATEL; COHEN, 2012), como tomografia computadorizada, fotogrametria e escaneamento intraoral, oferece oportunidades para estudos futuros. Algumas oportunidades de estudo, vistas a seguir, se apresentaram no decorrer da tese, observadas pelo autor e pela equipe cirúrgica envolvida nesse projeto.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das experiências nos diferentes casos estudados, esse trabalho interdisciplinar entre os departamentos de pós-graduação em Medicina e Design da UFRGS também resultou em hipóteses que podem ser trabalhadas e aprofundadas no futuro, utilizando como base o modelo desenvolvido nessa tese:

- Reinstanciação em outros procedimentos craniomaxilofaciais.
- Avaliação volumétrica das vias aéreas de recém-nascidos, possíveis portadores de PRS, para auxiliar a definição do tipo de tratamento, bem como definição dos vetores de movimentação, em caso de necessidade de distração osteogênica.
- Aplicação de um scanner para acompanhamento pós-cirúrgico de distrações faciais (já em desenvolvimento em uma pesquisa de mestrado do Laboratório ViD-UFRGS).
- Generalização do modelo, em cirurgias de tronco, visto que os métodos de escaneamento, bem como as possibilidades apresentadas pelo software Blender, parecem atender a outros procedimentos além da face, como analisados, de forma preliminar, no capítulo sobre mamoplastia de aumento.

REFERÊNCIAS

3D Object Scanner Artec EVA. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-eva>>. Acesso em: 30 out. 2022.

3ds Max Subscription Prices. [S.l.], 2022. Disponível em: <autodesk.com/products/3ds-max-design/buy?support=ADVANCED&plc=3DSMAX&term=1-YEAR&quantity=1>. Acesso em: 31 out. 2022.

ADOLPHS, N. *et al.* Significance of distraction osteogenesis of the craniomaxillofacial skeleton - A clinical review after 10 years of experience with the technique. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, 2014. v. 42, n. 6, p. 966–975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2014.01.018>>.

ALONSO, N. *et al.* Tratamento cirúrgico das craniofacioestenoses sindrômicas: avanço facial com distrator externo. **Rev Bras Cir Cranio-maxilofac**, 2009. v. 12, n. 4, p. 163–8.

ARDILA, C. C. *et al.* Study for development of a patient-specific 3D printed craniofacial medical device: Design based on 3D virtual biomodels/ CAD/ RP. **Procedia CIRP**, 2018. v. 70, p. 235–240. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.335>>.

AYOUB, A. F. *et al.* Towards building a photo-realistic virtual human face for craniomaxillofacial diagnosis and treatment planning. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2007. v. 36, n. 5, p. 423–428.

BELL, R Bryan. Computer Planning and Intraoperative Navigation in Cranio-Maxillofacial Surgery. **Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of NA**, 2010. v. 22, n. 1, p. 135–156. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.coms.2009.10.010>>.

BERNIER, M. O. *et al.* Potential cancer risk associated with CT scans: Review of epidemiological studies and ongoing studies. **Progress in Nuclear Energy**, 2015. v. 84, p. 116–119.

BLESSING, L. T. M.; CHAKRABARTI, A. **DRM, a Design Research Methodology**. London: Springer, 2009. V. 1.

BOMFIM, G. **Metodologia para Desenvolvimento de Projetos.pdf**. João Pessoa: Universitária, 1995.

BRENT, B. MICROTIA REPAIR WITH AUTOGENOUS RIB CARTILAGE GRAFTS Harvesting the Rib Cartilage. 1994. v. 1, n. 2, p. 69–76.

_____. Microtia repair with rib cartilage grafts: a review of personal experience with 1000 cases. **Clinics in plastic surgery**, abr. 2002. v. 29, n. 2, p. 257–71, vii. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12120682>>.

BÜRDEK, B. E. **História, Teoria e Prática do Design de Produtos**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

CABIN, J. A. *et al.* Microtia reconstruction: Autologous rib and alloplast techniques. **Facial Plastic Surgery Clinics of North America**, 2014. v. 22, n. 4, p. 623–638. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsc.2014.07.004>>.

CARVALHO, J. Da C. *et al.* Reconstrução total de orelha no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Goiás. **Rev. bras. cir. plást**, 2010. v. 25, n. 2, p. 244–250.

CEVIDANES, L. H. C. *et al.* Three-dimensional surgical simulation. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 2010. v. 138, n. 3, p. 361–371. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.08.026>>.

CHANDRASEGARAN, S. K. *et al.* The evolution , challenges , and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-Aided Design**, 2013. v. 45, p. 204–228.

CHIN, S. J. *et al.* Accuracy of virtual surgical planning of orthognathic surgery with aid of CAD/CAM fabricated surgical splint—A novel 3D analyzing algorithm. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, 2017. v. 45, n. 12, p. 1962–1970. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2017.07.016>>.

CINGI, C.; OGHAN, F. Tea c h i n g 3 D Sculpting to Facial Pl astic Surgeons. **Facial Plastic Surgery Clinics of NA**, 2011. v. 19, n. 4, p. 603–614. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fsc.2011.07.004>>.

CIOCCA, L. *et al.* CAD-CAM construction of an auricular template for craniofacial implant positioning: a novel approach to diagnosis. **European journal of radiology**, ago. 2009. v. 71, n. 2, p. 253–6. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18562144>>. Acesso em: 6 jul. 2013.

COLLARES, M. V. M. *et al.* Neonatal Mandibular Distraction Osteogenesis Reduces Cleft Palate Width and Lengthens Soft Palate, Influencing Palatoplasty in Patients With Pierre Robin Sequence. **Journal of Craniofacial Surgery**, jul. 2016. v. 27, n. 5, p. 1267–1272. Disponível em: <<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00001665-201607000-00035>>.

COSTA, P. H. O. *et al.* Aesthetic evaluation and therapeutic procedures related to main facial profiles. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (RBCP) – Brazilian Journal of Plastic Sugery**, 2015. v. 30, n. 2, p. 219–227.

CÔTÉ, A. *et al.* Pierre Robin sequence: Review of diagnostic and treatment challenges. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, 2015. v. 79, n. 4, p. 451–464.

DING, Z. *et al.* A digital construction framework integrating building information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. **Automation in Construction**, 2019. v. 102, n. December 2018, p. 45–58. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.012>>.

DOSCHER, M. E. *et al.* Neonatal mandibular distraction osteogenesis: Converting virtual surgical planning into an operative reality. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, 2014. v. 78, n. 2, p. 381–384. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2013.11.029>>.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research**. Cham: Springer, 2015.

DUARTE, Daniele Walter. **Sequência de Pierre Robin: um estudo morfológico da mandíbula, suas implicações na gênese e gravidade da doença; e no manejo cirúrgico**. [S.l.]: Universidade Feral do Rio Grande do Sul, 2020.

FARRELL, B. B.; FRANCO, P. B.; TUCKER, M. R. Virtual surgical planning in orthognathic surgery. **Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America**, 2014. v. 26, n. 4, p. 459–473. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.coms.2014.08.011>>.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

Free Software Foundation — working together for free software. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.fsf.org/>>. Acesso em: 4 mar. 2020.

GANDEKAR, N. H.; CHNG, C. K.; YEOW, V. K. L. Orthodontic-orthognathic interventions in orthognathic surgical cases: »paper surgery» and »model surgery» concepts in surgical orthodontics. **Contemporary Clinical Dentistry**, 2016. v. 7, n. 3, p. 386–390.

GARETTI, M.; ROSA, P.; TERZI, S. Life Cycle Simulation for the design of Product – Service Systems. **Computers in Industry**, 2012. v. 63, p. 361–369.

GATENO, J.; XIA, J. J.; TEICHGRAEBER, J. F. Effect of facial asymmetry on 2-dimensional and 3-dimensional cephalometric measurements. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2011. v. 69, n. 3, p. 655–662. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2010.10.046>>.

GENG, J. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial. **Advances in Optics and Photonics**, 2011. v. 3, n. 2, p. 128.

GRAY, R. *et al.* Use of three-dimensional, CAD/CAM-assisted, virtual surgical simulation and planning in the pediatric craniofacial population. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, 2017. v. 97, p. 163–169. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2017.04.004>>.

GUNSON, M. J.; ARNETT, G. W. Orthognathic virtual treatment planning for functional esthetic results. **Seminars in Orthodontics**, 2019. v. 25, n. 3, p. 230–247. Disponível em: <<https://doi.org/10.1053/j.sodo.2019.08.008>>.

HOARAU, R. *et al.* The use of 3D planning in facial surgery: Preliminary observations. **Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale**, 2014. v. 115, n. 6, p. 353–360. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.revsto.2014.07.006>>.

HOWES, B. H. L. *et al.* Magnetic Resonance Imaging Versus 3-Dimensional Laser Scanning for Breast Volume Assessment after Breast Reconstruction. **Annals of Plastic Surgery**, 2017. v. 78, n. 4, p. 455–459.

HUA, J.; AZIZ, S.; SHUM, J. W. Virtual Surgical Planning in Oral and Maxillofacial Surgery. **Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America**, 2019. v. 31, n. 4, p. 519–530. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.07.011>>.

JOHANESSON, P.; PERJONS, E. **Design science**. Cham: Springer, 2007. V. 65.

KLS MARTIN. RED II System. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.dentalcompare.com/4581-External-Distractio-Osteogenesis-Products/37594-RED-II-System/>>.

KOBAN, K. C. *et al.* Chances and limitations of a low-cost mobile 3D scanner for breast imaging in comparison to an established 3D photogrammetric system. **Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery**, 2018. v. 71, n. 10, p. 1417–1423. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.05.017>>.

LANDAETA-QUINONES, C. G.; HERNANDEZ, N.; ZARROUG, N. K. Computer-Assisted Surgery: Applications in Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery. **Dental Clinics of North America**, 2018. v. 62, n. 3, p. 403–420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.009>>.

LANE, C.; HARRELL, W. Completing the 3-dimensional picture. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, 2008. v. 133, n. 4, p. 612–620.

LEE, J. C.; BRADLEY, J. P. Surgical considerations in Pierre Robin sequence. **Clinics in Plastic Surgery**, 2014. v. 41, n. 2, p. 211–217.

MAO, Z.; ZHANG, N.; CUI, Y. Three-dimensional printing of surgical guides for mandibular distraction osteogenesis in infancy. **Medicine**, 2019. v. 98, n. 10, p. e14754.

MARLIÈRE, D.; DEMÉTRIO, M.; SCHMITT, A. Accuracy between virtual surgical planning and actual outcomes in orthognathic surgery by iterative closest point algorithm and color maps : A retrospective cohort study. 2019. v. 24, n. 2.

MARQUES, I. L. Sequência de Pierre Robin: diagnóstico e abordagens terapêuticas. **Curso de Anomalias Congênitas Labiopalatinas**, 2011. v. 44. Disponível em: <<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/46665>>.

MORAES, C. A. Da C. **OrtogOnBlender - Documentação Oficial**. 1. ed. Sinop, MT: [s.n.], 2019.

_____; MIAMOTO, P. **Reconstrução Facial 3D Digital**. 1. ed. Sin: Expressão Gráfica, 2015.

MOREIRA, B. R.; BERNARDES, M. M. E S.; ALMENDRA, R. A. **Gestão do Design na Prática: Framework para implementação em empresas**. Porto Alegre: Marca Visual, 2016.

MUNARI, B. **Das Coisas Nascem Coisas**. 1. ed. São Paulo: Fontes, Martins, 1998.

NILSSON, J. *et al.* Virtual bite registration using intraoral digital scanning, CT and CBCT: In vitro evaluation of a new method and its implication for orthognathic surgery. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, 2016. v. 44, n. 9, p. 1194–1200. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2016.06.013>>.

PASCAL, E. *et al.* Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery. **Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery**, 2018. v. 119, n. 3, p. 245–248. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.02.001>>.

PEREIRA, P. Z. **O pensamento criativo no processo projetual: proposta de um framework proposta de um framework proposta de um framework proposta de um framework para auxiliar a criatividade em grupos de designpara auxiliar a criatividade em grupos de design**. [S.l.]: [s.n.], 2016.

PESCE, M. *et al.* A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects. **Procedia CIRP**, 2015. v. 28, p. 88–93. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.015>>.

Pierre Robin: uma (con)sequência de vida. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://medium.com/@con.sequencia/pierre-robin-uma-con-sequencia-de-vida-3c69a2a1ec9>>.

PINHEIRO, R. C. **DESIGN VIRTUAL NA RECONSTRUÇÃO AURICULAR COM MATERIAL AUTÓGENO**. [S.l.]: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2015. ISBN 9781479978007.

QIN, Z. *et al.* One-Stage treatment for maxillofacial asymmetry with orthognathic and contouring surgery using virtual surgical planning and 3D-printed surgical templates. **Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery**, 2019. v. 72, n. 1, p. 97–106. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.08.015>>.

RAPOSO-DO-AMARAL, C. E. *et al.* Avanço fronto facial em monobloco com distração

osteogênica para tratamento das craniofaciossinostoses: comparação entre 2 distratores. 2008. v. 11, n. 19, p. 105–110.

RESNICK, C. M. Precise osteotomies for mandibular distraction in infants with Robin sequence using virtual surgical planning. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2018. v. 47, n. 1, p. 35–43. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2017.07.020>>.

ROMANO, F. V. **Modelo de Referência para o Gerenciamento do Processo de Projeto Integrado de Edificações**. [S.l.]: UFSC, 2003.

ROMANO, L. N. Modelo de referencia para el proceso de desarrollo de máquinas agrícolas. 2003a. p. 321.

_____. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. [S.l.]: UFSC, 2003b.

ROSS, M. Smartphones for frugal 3D scanning. **Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery**, 2018. v. 71, n. 9, p. 1362–1380.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produto: uma referência para a melhoria do processo**. 1º ed. São Paulo: Saraiva, 2006a.

_____. *et al.* Projeto Informacional. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**, 2006b. n. Capítulo 6, p. 541.

SAKAE, E. K. **Estudo das complicações na reconstrução de orelha**. [S.l.]: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2007.

SALVI, J.; PAGÂ, J.; BATLLE, J. Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems. **Pattern Recognition**, 2004. v. 37, n. 04, p. 827–849.

SCHERER, F. **Sistematização e Proposição de Metodologia de Projeto para Sinalização**. [S.l.]: UFRGS, 2017.

SCOTT, A. R.; TIBESAR, R. J.; SIDMAN, J. D. Pierre Robin Sequence. Evaluation, Management, Indications for Surgery, and Pitfalls. **Otolaryngologic Clinics of North America**, 2012. v. 45, n. 3, p. 695–710. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.otc.2012.03.007>>.

SHARKH, H. A.; MAKHOUL, N. In-House Surgeon-lead Virtual Surgical Planning for Maxillofacial Reconstruction. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.11.013>>.

SILVA, F. P. Da. **Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SPORLEDER, M. **A Comparison of Methodologies for 3D Scanning of Objects**. Indianapolis: [s.n.], 2016.

STOKBRO, K. *et al.* Virtual planning in orthognathic surgery. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2014. v. 43, n. 8, p. 957–965. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2014.03.011>>.

SWENNEN, G. R. J.; MOLLEMANS, W.; SCHUTYSER, F. Three-Dimensional Treatment Planning of Orthognathic Surgery in the Era of Virtual Imaging. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2009a. v. 67, n. 10, p. 2080–2092. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2009.06.007>>.

_____; _____. Three-Dimensional Treatment Planning of Orthognathic Surgery in the Era of Virtual Imaging. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2009b. v. 67, n. 10, p. 2080–2092.

TEIXEIRA, F. G. *et al.* Virtual design: Concepts. **SAE Technical Papers**, 2008. n. October.

TEPPER, O. M. *et al.* Virtual 3-dimensional modeling as a valuable adjunct to aesthetic and reconstructive breast surgery. 2006. v. 192, p. 548–551.

TZOU, C.-H. J.; FREY, M. Evolution of 3D surface imaging systems in facial plastic surgery. **Facial plastic surgery clinics of North America**, nov. 2011. v. 19, n. 4, p. 591–602, vii. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22004854>>. Acesso em: 2 jun. 2013.

WEISS, A. A 3D scanner for the hand. **TU Delft**, 2017. n. April. Disponível em: <<http://resolver.tudelft.nl/uuid:212a5727-d316-4a16-a634-8954a83acff5>>.

XIA, J. *et al.* Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D virtual osteotomy. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2000. v. 29, n. 1, p. 11–17.

XIA, J. J. *et al.* Accuracy of the Computer-Aided Surgical Simulation (CASS) System in the Treatment of Patients With Complex Craniomaxillofacial Deformity: A Pilot Study. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2007. v. 65, n. 2, p. 248–254.

ZHAO, L.; PATEL, P. K.; COHEN, M. Application of virtual surgical planning with computer assisted design and manufacturing technology to cranio-maxillofacial surgery. **Archives of Plastic Surgery**, 2012. v. 39, n. 4, p. 309–316.

ZHAO, Y. *et al.* Clinical evaluation of three total ear reconstruction methods. **Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS**, dez. 2009. v. 62, n. 12, p. 1550–4. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18848514>>. Acesso em: 6 jul. 2013.

ZINSER, M. J. *et al.* A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and “classic” intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 2013. v. 71, n. 12, p. 2151.e1-2151.e21.