CAROLLYNE ANDRADE COSTA

O uso de inteligência artificial na confecção de próteses nasais

São Paulo

2019

CAROLLYNE ANDRADE COSTA

O uso de inteligência artificial na confecção de próteses nasais

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas para obter o título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Reabilitação em Odontologia

Orientadora: Profa. Dra. Neide Pena Coto

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Costa, Carollyne Andrade.

O uso de inteligência artificial na confecção de próteses nasais / Carollyne Andrade Costa; orientador Neide Pena Coto -- São Paulo, 2019.

83 p. : fig. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas. Área de Concentração: Reabilitação em Odontologia – Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida

1. Prótese nasal. 2. Inteligência artificial. 3. Algoritmos. I. Coto, Neide Pena. II. Título.

Costa CA. O uso de inteligência artificial na confecção de próteses nasais. Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências em Odontológicas.

Aprovado em: 20/03/2020.

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). Reinaldo Brito e Dias

Instituição: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Prof(a). Dr(a). Larissa Driemeier

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

Prof(a). Dr(a). Rafael Traldi Moura

Instituição: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovada

À minha avó Vanilda, personificação do amor de Deus em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Reinaldo Brito e Dias pela oportunidade.

Agradeço à professora Neide, mais do que orientadora, uma verdadeira companheira nesta jornada de mestrado. Obrigada por tantas vezes me auxiliar profissionalmente e pessoalmente, além de ser peça chave em todos os aspectos da minha pós-graduação.

Agradeço aos professores Larissa, Cabral e Rafael e aos alunos da POLI-USP pela dedicação e parceria neste trabalho.

Agradeço aos voluntários que auxiliaram compondo o banco de dados com fotos.

Agradeço à professora Cleusa pela orientação clínica e parceria.

Agradeço aos demais professores, funcionários e amigos do Departamento de Cirurgia, Prótese e Traumatologia Maxilofaciais da FOUSP por estarem sempre dispostos a ajudar no for precisando, tornando a rotina mais leve.

Agradeço à bibliotecária Glauci, da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pela colaboração na escrita e formatação deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço a Deus por me permitir realizar este sonho.

Agradeço aos meus pais e irmão por todo amor e suporte necessários. Devo tudo a vocês.

Agradeço à minha avó, meu avô e meus familiares pela força e torcida, mesmo de longe.

Agradeço à professora Simone Oliveira, minha eterna professora e amiga, por acreditar e apostar em meu potencial.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio incondicional e por sempre estarem presentes.

*“O saber a gente aprende com os mestres e os livros.
A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes.”*

Cora Coralina

RESUMO

Costa CA. O uso de inteligência artificial na confecção de próteses nasais [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2019. Versão Corrigida.

A prótese nasal é uma modalidade de prótese facial que se propõe a restaurar, artificial ou alopasticamente, as perdas de substâncias do apêndice nasal. O protesista bucomaxilofacial deve possuir habilidades artísticas e técnicas totalmente desenvolvidas para obter um resultado realista. No entanto, sua confecção demanda muito tempo ambulatorial e alto nível de precisão do cirurgião-dentista especialista. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo de inteligência artificial (IA) que auxiliasse na diminuição do tempo de confecção. O algoritmo de IA define a geometria adequada para a prótese, individualizada para cada paciente. Resultados revelaram que, a partir da aplicação do algoritmo, é possível gerar modelos 2D que, posteriormente, podem ser convertidos em 3D, permitindo sua impressão. Desta forma, o presente trabalho possibilita que o uso de IA aprimore o processo de confecção das próteses nasais.

Palavras-chave: Prótese Nasal. Inteligência artificial. Algoritmo.

ABSTRACT

Costa CA. The use of artificial intelligence to produce nasal prosthesis [dissertation]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2019. Versão Corrigida.

Nasal prosthesis is a modality of facial prosthesis which consists in the alloplastic or artificial repair of total or partial loss of the nasal appendix. The Maxillofacial prosthodontist is required to have fully developed artistic and technical skills in order to achieve an aesthetically realistic result. Thus, the production of a nasal prosthesis may take several hours of work. This study has made use of artificial intelligence (AI) as an alternative to facilitate and accelerate its process of making. Through an image database of individuals without nasal loss, the developed AI algorithm establishes an appropriate and individualized geometric model for nasal prostheses, considering the facial particularities of each patient. Results revealed that the collected data and its algorithmic application were capable of generating two-dimensional models, which can then be converted into realistic three-dimensional printable models. In conclusion, this study maintains that the use of AI significantly improves the process of nasal prosthesis production.

Keywords: Nasal prosthesis. Artificial intelligence. Algorithm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Etapas para confecção de prótese nasal	30
Figura 2.2 - Proporções segundo da Vinci, Camper e Goethe	31
Figura 2.3 - Cânone de Vitróvio.....	32
Figura 2.4 - Nomeação de pontos ósseos na região do nariz	33
Figura 2.5 - Reconstrução de imagens com o uso da rede neural parcialmente convolucional.....	35
Figura 2.6 - Arquitetura de uma rede neural convolucional	36
Figura 2.7 - Reconstrução de imagem 3D a partir de uma foto bidimensional	37
Figura 4.1 - Imagem frontal e lateral de voluntário	46
Figura 4.2 - Foto pós tratamento de imagem.....	46
Figura 4.3 - Máscaras utilizadas para omitir a região nasal.....	47
Figura 4.4 - Imagem pós tratamento com máscaras	47
Figura 4.5 - Desenho inicial do projeto da impressora 3D	49
Figura 4.6 - Desenho final do projeto da impressora 3D	49
Figura 4.7 - Visão geral dos subsistemas. Divisão de impressoras 3D nos quatro principais subsistemas	50

Figura 5.1 - Resultado obtido ao fim do treinamento da PConv com o banco CelebA	51
Figura 5.2 - Resultado obtido ao fim do treinamento com máscara irregular da PConv com o banco CelebA.....	52
Figura 5.3 - Resultado obtido ao fim do treinamento com máscara do projeto da PConv com o banco CelebA.....	52
Figura 5.4 - Resultados para 176 épocas de treinamento e rede com 6 camadas convolucionais com fotos do banco CelebA	53
Figura 5.5 - Resultados com as alterações na configuração com fotos do banco CelebA.....	55
Figura 5.6 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal	56
Figura 5.7 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal	57
Figura 5.8 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal	57
Figura 5.9 - Resultado para fotos do banco de teste de voluntários	59
Figura 5.10 - Resultado para fotos.....	60
Figura 5.11 - Modelo gerado por meio de foto reconstruída	61
Figura 5.12 - Modelo gerado por meio de foto original do banco de dados	62
Figura 5.13 - Superfície gerada e suavizada a partir de foto reconstruída	63
Figura 5.14 - Peças da impressora 3D finalizadas e com acabamento jateado	64
Figura 5.15 - Conjunto do eixo x, fixação do motor do eixo y e estrutura do eixo z, respectivamente	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
CNN ou ConvNet	Redes neurais convolucionais
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
RaFD	Radboud Faces Database
YOLO	<i>You Only Live Once</i>
FDM	Fusão e Deposição de Material
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
STL	<i>Stereolithography</i> , ou, em português, estereolitografia
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
AMF	<i>Additive Manufacturing File Format</i>
POLI-USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FOUSP	Faculdade de Odontologia da USP

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	27
2.1	Prótese nasal	27
2.1.1	Etapas de confecção	27
2.2	Pontos e medidas da face.....	30
2.3	Estudo dos cânones	31
2.4	Tipos de cânones	32
2.5	Pontos para reconstrução nasal	33
2.6	Uso de Inteligência Artificial.....	34
2.7	Desafios tecnológicos e a literatura	37
2.8	Impressão 3D	39
3	PROPOSIÇÃO	43
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.1	Inteligência artificial	45
4.2	Impressora 3D.....	48
5	RESULTADOS	51
5.1	Testes iniciais	51
5.2	Aplicação ao problema	56
5.3	Modelo 3D	60
5.4	Impressora 3D.....	63
6	DISCUSSÃO	67
7	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXOS	75

1 INTRODUÇÃO

A Prótese Bucomaxilofacial é a especialidade odontológica responsável por reabilitar perdas intra e extraorais decorrentes de problemas de desenvolvimento, acidentes automobilísticos, motociclísticos, com armas de fogo, armas brancas além de perdas patológicas em decorrência de câncer, presença de fungos, dentre outros (Rezende; Dias, 1997).

Desde os fenícios, cinco séculos antes de Cristo, há relatos de tratamento para fissuras maxilares. Já no Egito antigo, foram encontradas múmias com olhos, narizes e orelhas artificiais, confeccionadas em couro, tela e cera. Os Chineses utilizavam jade, porcelana, madeira e já aparecia o uso de diversas resinas. Os Incas utilizavam o cobre. Em 1500, têm-se próteses confeccionadas também em linho e papel na cor do paciente, além de obturadores palatinos em esponja marinha, preconizados pelo pai da Prótese Bucomaxilofacial, Ambroise Parré (1510-1590). Na Dinamarca, foi confeccionado um nariz em ouro e prata para um astrônomo famoso na época, Tycho Brahe (1546-1601). No Brasil, o Professor Souza Cunha, em 1922, realizou uma hemiressecção mandibular, seguida da colocação de uma prótese imediata mandibular confeccionada em vulcanite (Rezende; Dias, 1997).

Este breve histórico mostra a ânsia de reabilitar o próximo que o homem demonstra no decorrer da história, com a procura de materiais e técnicas que tragam maior conforto e dissimulação para as próteses confeccionadas (Simões et al., 2009).

Esta especialidade odontológica pode ser vista como único método viável para integrar-se socialmente, colaborando diretamente para sua qualidade de vida (Carvalho et al., 2013).

Segundo Carvalho et al. (2013), a reabilitação protética facial, ocular, oculopalpebral, auricular e nasal, atualmente conta com materiais que proporcionam melhor dissimulação da perda, como o silicone e a resina acrílica termicamente ativada. Estes passam por um processo de pigmentação intrínseca e

posteriormente extrínseca no intuito de aproximar a aparência da peça protética ao órgão perdido.

A confecção das próteses faciais envolvem processos manuais com escultura em cera ou modelina e confecção de modelos faciais em gesso, onde o protesista bucomaxilofacial precisa ter senso artístico devido à particularidade dos detalhes anatômicos de cada região a ser reabilitada.

Quando a perda compromete um órgão par, como olhos ou orelhas, a escultura da peça protética segue o padrão do órgão remanescente. Entretanto, quando o órgão é único, como o nariz, não se tem nenhum parâmetro contralateral. Utilizam-se fotos de parentes ou mesmo fotos antigas do próprio paciente, medições faciais utilizando os conhecimentos estéticos dos antigos cânones.

A prótese nasal restauradora é a modalidade de prótese facial que se propõe a restaurar artificial ou aloplasticamente as perdas de substâncias do apêndice nasal. Esta modalidade de prótese restabelece o contorno facial, protege as delicadas estruturas remanescentes, mantém a membrana mucosa que reveste a passagem de ar úmida e livre de irritação, permite o restabelecimento da ressonância nasal e age como benefício psicológico na reabilitação do paciente (Rezende; Dias, 1997).

Os materiais comumente indicados para a confecção da prótese nasal são resina acrílica termicamente ativada e o silicone, ambos devidamente pigmentados, utilizando-se preferencialmente pigmentos minerais, a fim de se aproximar ao tom da pele do paciente dissimulando seu uso (Carvalho et al., 2013).

As dimensões, tipologia e cartografia da escultura ou modelagem deve respeitar o perfil da face do paciente, baseando-se na biotipologia facial e estudo dos cânones (Rezende; Dias, 1997).

No entanto, a confecção inteiramente manual da prótese nasal demanda uma considerável quantidade de consultas, muitas vezes dificultando seu processo de conclusão. Sendo assim, tornou-se necessário estudar outras opções viáveis e possíveis de confecção, que pudessem encurtar os passos, com benefícios para o paciente.

A exemplo dos antigos pesquisadores, a procura por melhores formas de se reabilitar o paciente mutilado continua e, nessa linha, a Inteligência Artificial (IA) ou AI do inglês *Artificial Intelligence* vem suprir dificuldades que são encontradas na confecção das próteses faciais. IA é a área dedicada a buscar métodos ou dispositivos computacionais que possuam ou multipliquem a capacidade racional do ser humano de resolver problemas, pensar ou, de forma ampla, ser inteligente. Um método eficiente de aprendizado de máquinas é por redes neurais. Pode-se, por exemplo, ensinar a rede neural a completar uma imagem, como um nariz, a partir de um banco de dados. Posteriormente, a versão 3D da imagem pode ser impressa.

Assim, a associação da recente evolução tecnológica em Manufatura Aditiva (impressão 3D) com técnicas avançadas de Processamento de Imagens e Computação gráfica se apresenta como um meio promissor para a exploração de novas práticas clínicas, objetivando melhor dissimulação da peça protética, menor custo e tempo (Ravuri et al., 2014).

Unir os conhecimentos das áreas da Engenharia e Odontologia é um caminho promissor para melhora da qualidade de vida do paciente mutilado de face. Este trabalho traz a interação dessas áreas na busca de tornar o processo de confecção de prótese nasal mais precisa, em menos tempo utilizando a IA juntamente com a proposta de uma impressora 3D planejada e construída para que o silicone de grau médico seja utilizado como material de manufatura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A reabilitação facial é um capítulo da Prótese Bucomaxilofacial que se propõe a devolver a estética e, em alguns casos, função de partes perdidas ou mutiladas da face.

Torna-se necessária quando ocorrem grandes perdas de revestimento musculocutâneo da região facial e do esqueleto de suporte. Tem como objetivos básicos restaurar a estética e a função, proteção dos tecidos remanescentes e auxiliar na terapia psicológica (Cardoso et al., 2008). A reabilitação protética facial se dá por meio de próteses oculares, oculopalpebrais, auriculares e nasais (Brophy, 2005).

2.1 Prótese Nasal

A prótese nasal visa reconstruir, artificial ou aloplasticamente, as perdas do apêndice nasal. Os principais objetivos em relação ao paciente é restaurar a sua estética, restaurar a função, proteger os tecidos expostos e cruentos, promover o soerguimento moral e psicológico do mesmo. Pode ser temporária, usada em um período de observação clínica, ou reparadoras, quando a cirurgia plástica é contra indicada ou se já é passado o tempo de observação clínica (Dias et al., 1986).

2.1.1 Etapas de confecção

Para sua confecção (Figura 2.1), o paciente deve estar em posição de decúbito dorsal com tronco e cabeça soerguidos a 30° em relação ao plano horizontal. Se a cavidade não for atapetada, deve-se isolar a cavidade com o auxílio de gaze vaselinada. Preparar uma porção de hidrocolóide irreversível – alginato, como camada de precisão, e com muito cuidado deve ser depositado na região, procurando obter a impressão dos rebordos sãos. Deposita-se uma gaze embebida

em água, como meio de retenção, e em seguida uma camada de gesso comum como camada de reforço. Os limites da moldagem são: região pré tragus na porção latero-lateral, filtro do lábio superior ou estrutura próxima remanescente e, na porção superior da moldagem, parte da região frontal. Após a geleificação do alginato e a cristalização do gesso, retira-se o molde da face do paciente, lava-se em água corrente, procede-se a desinfecção do molde com hipoclorito de sódio a 1% (Dias et al., 1986).

Obtenção do modelo de trabalho: verte-se gesso pedra tipo III sobre o molde com cuidado para evitar a inclusão de bolhas.

Planejamento da prótese: Delimita-se no modelo a área que receberá o corpo da prótese. Deve-se observar a extensão da prótese com bordas se estendendo até sulcos, rugas e linhas de expressão. Pode-se optar por modelar a futura prótese com o auxílio de modelina ou cera odontológica. Neste momento conhecimentos de biotipologia, cartografia e prosopometria da face devem ser utilizadas. Deve-se determinar o material de eleição para a confecção da prótese, resina acrílica termicamente ativada ou silicone de grau médico.

Escultura: Iniciada com a certeza que esta peça passará em ponte sobre a lesão e em contato direto com tecidos circunvizinhos sãos, observar, linhas, rugas e contornos da região nasal para buscar maior dissimulação da peça protética. Sobre a cera e/ou modelina e com o auxílio de instrumentais odontológicos inicia-se a escultura.

Prova no paciente: A modelagem deve ser provada no paciente e devidamente ajustada. Quando estiver a contento, deve-se vaselinar o entorno das bordas da modelagem, posicioná-la e fazer a moldagem de transferência com gesso comum paris, respeitando-se um limite de 2 mm além do término da modelagem. Retira-se o conjunto, e inclui-se em mufla n.6.

Inclusão da modelagem na mufla: Prepara-se uma mufla número 6 devidamente vaselinada. Na mufla coloca-se o modelo em gesso. Preenche-se com gesso comum tipo paris, deixando as bordas da mufla livres e limpas. Isola-se a mufla com isolante de gesso, verte-se gesso tipo pedra III (como uma fina camada de precisão), preenche-se a contra mufla com gesso paris, fecha-se a mufla,

posiciona-se a tampa, e aguarda-se a cristalização do gesso. Após cristalização do gesso, retira-se a modelagem, lava-se o conjunto e observa-se a prótese nasal devidamente fixa no gesso da mufla.

Material de escolha: A eleição do material utilizado na confecção da prótese está diretamente relacionada ao uso da mesma. Por exemplo: pacientes expostos a ação do sol ou moradores em regiões quentes e úmidas, o material eleito será a resina acrílica termicamente ativada, pois apresenta menor distorção quando submetida às intempéries sua utilização. O silicone de grau médico é utilizado em todos os outros casos por apresentar maior capacidade de dissimulação da prótese, ser de aspecto semelhante ao da pele humana e permitir bordas mais finas da peça protética.

Inclusão do material de escolha: Esta etapa deve ser realizada durante uma consulta ambulatorial do paciente. A proporção silicone/ativador orientada pelo fabricante deve ser respeitada. Em uma pequena porção do silicone, agrega-se silicato de magnésio (10% do peso total), e pigmentos minerais, recebe o nome de caracterização intrínseca. A mistura deve ser comparada a coloração natural dos vários sítios do apêndice nasal. Pode-se preencher a mufla por meio de incrementos respeitando-se as características particulares da pigmentação de cada porção do apêndice nasal. Fecha-se a mufla e aguarda-se a vulcanização completa do silicone, que varia conforme o fabricante.

Desmuflagem: Abre-se a mufla e retira-se a peça protética com cuidado. Lava-se em água corrente, recortam-se os excessos e prova-se no paciente.

Caracterização extrínseca: Detalhes de pigmentação e ajustes em óculos podem ser realizados nesta fase, se necessário.

Instala-se a prótese, ajusta-se e orienta-se o paciente os cuidados com a higiene e fixação. Nesta consulta o paciente deve ser orientado também quando ao acompanhamento clínico periódico.

Os parâmetros para a correta proporção na confecção das próteses faciais são obtidos após estudo da amplitude da perda e das características tipológicas do paciente (Rezende; Dias, 1997).

Figura 2.1 - Etapas para confecção de prótese nasal

Fonte: O autor.

2.2 Pontos e medidas da face

As miscigenações étnico-raciais ocorrem em grande proporção, e resultam em diferentes tipos biotipológicos entre os seres humanos. Entretanto, acadêmica e didaticamente, três tipos faciais distintos são rotineiramente definidos na leitura com a finalidade de expressar o equilíbrio (mesofacial), bem como as variações extremas (braquifacial e dolicofacial) da escala biométrica da face (Farkas, 1994).

Os indivíduos mesofaciais possuem dimensões horizontais e verticais correspondentemente proporcionais, enquanto que indivíduos braquifaciais e dolicofaciais possuem características diametralmente opostas entre si. Ou seja, o braquifacial é reconhecido pela altura facial anterior reduzida e uma face mais larga quando comparada com os indivíduos dolicofaciais (Farkas, 1994).

Estas características refletem evidentemente na morfologia das estruturas atômicas faciais. É preciso desvincular o conceito de anormalidade dos padrões dólico e braquifacial. O padrão mesofacial corresponde a face predominante na população e isto está longe de significar que esse padrão é normal enquanto que os outros devem ser considerados “desvio do padrão normativo”. Podemos encontrar oclusão normal e face harmoniosa independentemente do biotipo facial. O caráter de normalidade está vinculado à simetria e harmonia das proporções faciais em cada um dos biotipos (Farkas, 1994).

2.3 Estudo dos cânones

Trata-se da reflexão acerca da representação da face humana, considerando a proporção e os sistemas de construção, de conceptualização e diferenciação anatômica, com objetividade estrutural e construtiva. A proporção e os diferentes cânones a que nos podemos socorrer para a representação de um corpo humano (Leonardo da Vinci, Diderot, Camper, entre outros). Alguns exemplos de proporção e os diferentes cânones para representação de um corpo humano são ilustrados na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Proporções segundo da Vinci, Camper e Goethe

<p>Cânone de proporções, por L. Da Vinci, 1490</p>	<p>Dissertação física sobre as diferenças reais que apresentam as características faciais entre homens de diferentes países e diferentes idades, por Petrus Camper, 1791</p>	<p>Cânone de proporções, por Johann Wolfgang von Goethe, 1787/88</p>
<p>Fonte: Grego ([2016?]) e Winckelmann (2018).</p>		

Na Grécia, as regras de proporção foram compreendidas como a ciência da simetria. Já em Roma, os cânones desenvolveram os sistemas gregos e incluíram regras geométricas de procedência incerta. As inscrições do corpo bem proporcionado no quadrado e no círculo convivem com cânones modulares, que relacionam a altura do homem com quebrados ou múltiplos de diferentes partes do corpo.

O cânone de Vitruvius (Figura 2.3) foi explicado por Durer (1471-1528) e Leonardo da Vinci (1452-1519) nas suas pesquisas sobre a proporção da figura humana.

Figura 2.3 - Cânone de Vitruvius

Fonte: Luca Nascimento et al. (2003).

Um cânone da proporção humana é um sistema de concordância das medidas do corpo humano de modo a convertê-lo num todo harmônico.

2.4 Tipos de cânones

- ♣ Cânones modulares: que põem o total do corpo em relação com uma unidade, unidade essa que, na maioria das vezes, se refere a uma das divisões anatômicas do corpo.
- ♣ Cânones geométricos: que os números irracionais expressam mediante construções esquemáticas.
- ♣ Cânones aritméticos: que, na procura de exatidão, utilizam unidades de medida abstratas.
- ♣ Cânones simbólicos: que suportam as suas divisões em mensagens simbólicas reveladas em textos sagrados.

2.5 Pontos para reconstrução nasal

Alguns pontos anatômicos, que podem ser observados na Figura 2.4, são essenciais para que possamos reconstruir um nariz. Dentre eles, podemos citar o ponto násio, o ápice nasal (ponta do nariz), asas do nariz (direita e esquerda) e columela (Farkas, 1994).

Figura 2.4 - Nomeação de pontos anatômicos na região do nariz

Fonte: Munhoz (2014).

2.6 Uso da Inteligência Artificial

O homem por muito tempo idealizou construir máquinas inteligentes, porém o desconhecimento de sua aplicação fez com que a inteligência artificial apresentasse, no decorrer da história, altos e baixos. Atualmente, a aplicação de algoritmos para resolução de problemas como, por exemplo, detecção e previsão do surgimento do câncer já é vista como uma ferramenta para melhorar a vida do homem moderno.

A inteligência artificial surgiu em 1950 e refere-se a máquinas e softwares que podem realizar tarefas que são características da inteligência humana (Russell; Norvig, 2016; Chollet, 2017).

Atualmente, a IA vem mostrando seu verdadeiro potencial, focando em aplicações e fornecendo tecnologias como aprendizagem profunda e computação cognitiva. O aprendizado de máquina tornou-se um dos tópicos mais importantes dentro de organizações de desenvolvimento que estão procurando maneiras inovadoras de alavancar a colaboração da máquina na resolução de problemas de todos os níveis. Além disso, os modelos de aprendizado da máquina garantem que a solução seja constantemente atualizada. É uma forma de IA que permite que um sistema aprenda a partir de dados e não por meio de programação explícita.

Particularmente, o caso de reconhecimento de imagens não é trivial. Reconhecimento de faces torna-se ainda mais desafiador, dado que os rostos formam uma classe única de objetos. Eles compartilham uma estrutura comum: os recursos faciais são sempre configurados de maneira semelhante (Gong et al., 2000).

Contudo, não é um processo simples. Este aprendizado usa uma variedade de algoritmos que interativamente aprende com os dados e prevê resultados. Como os algoritmos ingerem dados de treinamento, é possível produzir modelos mais precisos com base nesses dados. Tudo isso é conseguido por meio de formação de redes neurais que são formadas por uma entrada, o aprendizado e uma saída.

Agarwal et al. (2010) apresentam um método de reconhecimento de imagens com o uso de eigenfaces e redes neurais. Inicialmente, as faces utilizadas na biblioteca de imagens são normalizadas, suas eigenfaces são geradas e a face média é obtida. Depois, treina-se a rede neural, com resultados positivos (a imagem de entrada está no banco de dados) e negativos (a imagem de entrada não está no banco de dados).

Em seu artigo Liu et al. (2018) apresenta um método para preencher buracos em imagens, como mostra a figura 2.5, por meio do uso de Redes Neurais Parcialmente Convolucionais e sem a necessidade de pós processamento do resultado.

Figura 2.5 - Reconstrução de imagens com o uso da rede neural parcialmente convolucional

Fonte: Liu et al. (2018).

Apesar das Redes Neurais convencionais permitirem a análise de imagens, o processo é altamente dispendioso do ponto de vista computacional. Por exemplo, uma rede neural convencional tentando processar uma imagem pequena (64x64 pixels x3 canais de cores) resulta em 12288 entradas. Esse valor é razoável, mas uma imagem com mais definição – digamos 1000x1000 pixels x3 canais de cores – o número de entradas seria 3 milhões e o número de parâmetros, para um primeiro layes de 1000, seria de 3 bilhões (ver Figura 2.6). O processo é altamente custoso

computacionalmente, além do número de dados necessários para treinar todos esses parâmetros seria impressionantemente alto.

As Redes Neurais Convolucionais são utilizadas em diversos campos, indo de processamento de imagens a reconhecimento de voz e sons (Albawi et al., 2017).

Figura 2.6 – Arquitetura de uma rede neural convolucional

Fonte: Ravindra (2017).

A aplicabilidade geral das Redes Neurais é uma das suas grandes vantagens, porém, muitas vezes, pode tornar o problema inviável quando se trata de imagens. Entretanto, se a rede foi projetada para manipular especificamente imagens, alguma generalização pode ser sacrificada para uma solução muito mais viável. O fato de que, em uma determinada imagem, dois pixels que estão mais próximos uns dos outros são mais propensos a estarem relacionados do que os dois pixels que estão separados permite a eliminação de conexões menos significativas. Dessa forma, tem-se as Redes Neurais Convolucionais, ou CNN ou ConvNet, que basicamente tornam o processamento de imagens computacionalmente gerenciável através da filtragem das conexões por proximidade. As redes neurais convolucionais têm sido amplamente usadas para reconhecimento de face (Li et al., 2018; Yin et al., 2018; Zhao et al., 2018), incluindo patentes, como a proposta por Yu et al. (2018).

O trabalho pioneiro de Vetter e Blanz (1998) iniciou a estimação de formas 3D para uma face a partir de imagens 2D. Outros trabalhos como o de Dou et al. (2017), Jackson et al. (2017) e Richardson et al. (2016) também realizam reconstruções a partir de imagens 2D. Apesar das duas décadas passadas desde o assunto ser abordado pela primeira vez, o problema teve muito menos atenção que aquele relacionado ao reconhecimento de faces em imagens. Tran et al. (2018) disponibilizam o software, em Python, para reconstrução de faces. O programa inicialmente estima um formato de face 3D inicial e sem detalhes, que atua como uma base e, em seguida, utilizam um conceito antigo de computação gráfica do mapeamento de relevo, que envolve a separação da forma global dos detalhes locais (Figura 2.7).

Figura 2.7 – Reconstrução de imagem 3D a partir de uma foto bidimensional

Fonte: Tran et al. (2018).

2.7 Desafios tecnológicos e a literatura

Big Data

Sabe-se que ao invés de programar rotinas de software com instruções específicas para realizar uma determinada tarefa, o aprendizado de máquina é uma forma de treinar um algoritmo para que ele possa aprender. Apesar de não ser uma ideia tão nova, a sua recente popularidade se deve ao crescente volume e variedade de dados disponíveis.

Em 2010, Eric Schmidt, Google CEO, estimou que a cada dois dias a humanidade produziria então 5 exabytes de dados, o que seria equivalente ao que foi produzido desde os primórdios da civilização até 2003. Apesar de críticos afirmarem que ninguém sabe ao certo quanto de informação tem sido produzida ou quão veloz tem sido o aumento nessa produção, certamente está sendo processada muita informação e velocidades cada vez mais altas.

Portanto, o processamento computacional mais barato e poderoso e a quantidade de dados disponíveis permitem que o treinamento da máquina seja uma tarefa viável computacionalmente.

Atualmente, as bases de dados mais famosas são:

- **Labeled Faces in the Wild**¹ é um banco de dados de fotografias de rosto projetado para estudar o problema do reconhecimento facial. O conjunto de dados contém mais de 13.000 imagens de rostos coletados da web, dentre as quais 1680 das pessoas têm duas ou mais fotos distintas no conjunto de dados. Cada rosto foi rotulado com o nome da pessoa na foto. Última atualização data de maio de 2017.
- **Bosphorus Database**² destina-se àqueles que pesquisam tarefas de processamento de rosto humano 3D e 2D. Estes incluem reconhecimento de expressão, detecção de unidade de ação facial, estimativa de intensidade de unidade de ação facial, reconhecimento de face sob condições adversas, modelagem de face deformável e reconstrução de face 3D. O banco de dados contém 105 assuntos, com 4666 imagens de seus rostos.
- **ImageNet**³ é um conjunto de dados de mais de 15 milhões de imagens de alta resolução rotuladas, pertencentes a aproximadamente 22.000 categorias. As imagens foram coletadas da web e rotuladas usando a ferramenta da Amazon de colaboração coletiva (do inglês, *crowd-sourcing*) chamada Mechanical Turk.

¹ <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/>

² <http://bosphorus.ee.boun.edu.tr/default.aspx>

³ <http://www.image-net.org/>

Trabalhos como de Langner et al. (2010) podem servir de inspiração para criação de uma base de dados particularizada ao problema proposto aqui. Os autores criaram a **Radboud Faces Database**⁴ (RaFD), um conjunto de imagens de 67 modelos que exibem 8 expressões emocionais.

Além disso, de grande importância para este trabalho, existem redes neurais pré-treinadas, tais como:

- **VGG-19**⁵ é uma rede neural convolucional que é treinada em mais de um milhão de imagens do banco de dados ImageNet. Essa rede pode ser utilizada no MatLab.
- **YOLO (You Only Live Once)**⁶ é um sistema de detecção de objetos direcionado para processamento em tempo real.
- **Xception (extreme inception)**, sua arquitetura já está alimentando os aplicativos de visão móvel do Google por meio do MobileNet.

Sendo assim, pode-se propor que a IA seja utilizada para o planejamento e a proposta das dimensões do apêndice nasal tendo como ponto de partida as fotos do paciente acometido da perda nasal.

2.8 Impressão 3D

A prototipagem rápida e a manufatura aditiva estão cada vez mais em alta na indústria, agilizando e facilitando diversos processos. As atuais impressoras 3D trabalham com o princípio Fusão e Deposição de Material (FDM), porém para o silicone temos um material que é viscoso em temperatura ambiente e endurece e

⁴ <http://www.socsci.ru.nl:8180/RaFD2/RaFD?p=main>

⁵ <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/vgg19.html;jsessionid=69ae0b3f5694ec45c0936d5f7f3c>

⁶ <https://arxiv.org/pdf/1506.02640.pdf>

polimeriza com o tempo. Esse processo pode ser acelerado, quando submetido a temperaturas mais altas. A impressão em silicone de grau médico, portanto, é cara.

A melhor impressora 3D atualmente é a Original Prusa i3 MK3. Ela possui detecção de colisão, backup para falhas na energia, base fixada por imãs e 9 pontos de auto calibração. Isso faz com que ela seja muito confiável e precisa, além de prática. Há duas empresas que realizam a impressão 3D em silicone: ACEO, através da cura de um tipo especial de silicone fotossensível e a PICSIMA, que imprime em uma cuba contendo o catalisador que inicia a cura do silicone.

O método de impressão da PICSIMA foi patenteado (Fripp; Frewer, 2015). Há também os registros de Coward et al. (2015) e Kenney e Zhu (2016) que tratam de impressão de silicone fotocurável e de impressão de próteses em silicone com propriedades mecânicas alteráveis.

Outro ponto a se destacar é sobre formatos de arquivo mais comuns e universais para impressão 3D – STL e VRML. STL (de *stereolithography*, ou, em português, estereolitografia) é uma renderização 3D que contém apenas uma única cor. VRML (“vermal”, que significa *Virtual Reality Modeling Language*) é um tipo de arquivo digital 3D mais novo. De modo simplificado, VMRL é o STL com informações de cores.

O formato AMF (AMF, *Additive Manufacturing File Format*) é mais adequado para as impressoras 3D atuais. Desenvolvido pela *American Society for Testing and Materials* em conjunto com Cornell University, o AMF aborda o que falta no formato STL com uma estrutura de arquivos mais avançada incluindo objeto, material, textura, etc. Além disso, o arquivo AMF pode ser comprimido em, aproximadamente, metade do tamanho de um arquivo STL comparável.

O arquivo que contém a geometria da peça deve ser inserido no programa da impressora e esta, através do algoritmo de *slicer*, irá calcular o caminho da ferramenta de extrusão e salvá-lo em um linguagem de Código G, ou GCode. Esta é uma linguagem de programação, criada a partir da necessidade de maquinários industriais que faziam uso de sistemas CNC. Como a impressora 3D tem como base a tecnologia CNC, a mesma linguagem é utilizada. O arquivo contém instruções detalhadas para seguir uma impressora 3D para cada fatia, como o ponto inicial de

cada camada e a trajetória que o bocal ou o cabeçote de impressão seguirá ao posicionar o material. Um novo desafio, além dos já supra citados, é utilizar um *slicer* não plano, ou seja, com uma camada final em 3 dimensões e não com a posição vertical fixa, permitindo um melhor acabamento da protese e, conseqüentemente, menos tempo necessário para o acabamento final executado pelo dentista.

3 PROPOSIÇÃO

Viabilizar o uso de recursos de inteligência artificial para aperfeiçoar a confecção de próteses nasais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em duas etapas: Inteligência Artificial e Impressão 3D.

4.1 Inteligência Artificial

A primeira etapa do trabalho consistiu na criação de um banco de dados criado com fotos de 400 voluntários, obtidas com câmera de celular. Cada voluntário foi submetido a três tomadas fotográficas (frontal, lateral esquerda e lateral direita) após assinatura dos termos aprovados pelo Comitê de Ética da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, sendo aprovado sob o número CAAE 96596718.0.0000.0075 (Anexo A). Os termos aplicados aos voluntários encontram-se nos anexos B e C.

Para tal, foi utilizado um cartão (formato de cartão de crédito convencional) para referência de medidas. Alguns requisitos básicos foram considerados para realizar as fotografias: utilização de touca descartável, orelha exposta, não possuir barba (a fim de facilitar a identificação facial pelo algoritmo). As fotos não possuíam um padrão de câmera ou resolução justamente por ter-se o objetivo da não padronização e facilidade de reprodução do método aplicado (Figura 4.1).

Figura 4.1 - Imagem frontal e lateral de voluntário

Fonte: O autor.

Após a inserção no banco de dados, as fotos passaram por um tratamento de imagem que consistiu na colocação todas na mesma resolução, recortadas do mesmo tamanho e alinhadas, otimizando algumas condições para facilitar o reconhecimento de suas entradas no algoritmo (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Foto pós tratamento de imagem

Fonte: O autor.

Além disso, as fotos também passaram por um banco de máscaras. Entende-se como máscaras o que será retirado para que seja preenchido pelo algoritmo com o resultado final. Ou seja, os narizes dos voluntários foram retirados das fotos e substituídos por uma forma geométrica para que, depois de serem passadas pela IA, fosse conseguido o resultado esperado semelhante à entrada (Figura 4.3 e 4.4).

Figura 4.3 - Máscaras utilizadas para omitir a região nasal

Fonte: O autor.

Figura 4.4 - Imagem pós tratamento com máscaras

Fonte: O autor.

Mesmo com o banco de dados criado pela equipe, também optou-se por utilizar um banco de dados disponível online chamado CelebA, onde não houve necessidade de tratamento de imagem devido ao fato de todas estarem tratadas e dimensionadas da mesma forma. O objetivo da utilização deste banco foi testar o treinamento da rede neural, aumentando o número de entradas no algoritmo, a fim de melhorar os resultados finais obtidos.

4.2 Impressão 3D

A segunda parte tratou-se da construção da impressora 3D capaz fabricar a prótese nasal em silicone de grau médico a partir do arquivo gerado pelo programa de IA. As atuais impressoras 3D trabalham com o princípio FDM (Fusão e Deposição de Material). Para o silicone surgem três novos desafios: I) fazer a adição dos dois componentes através de um misturador, sem incorporar bolhas de ar; II) alcançar um fluxo contínuo do silicone, sendo este um material viscoso e; III) controle de temperatura nas diversas etapas do silicone, estando em temperatura baixa no misturador, impedindo o início do processo de cura, e alta no bico extrusor e mesa, acelerando a polimerização e endurecimento.

No Brasil, não existe uma impressora que consiga realizar este trabalho de impressão de silicone de forma acessível e específica. Sendo assim, foi desenvolvido um projeto de uma impressora que consiga, a partir do envio de uma imagem 3D com um formato compatível, imprimir em silicone a prótese nasal gerada pelo algoritmo de IA. Nas figuras 4.5 e 4.6, pode-se observar um modelo do desenho inicial e final da impressora 3D.

Figura 4.5 - Desenho inicial do projeto da impressora 3D

Fonte: O autor.

Figura 4.6 - Desenho final do projeto da impressora 3D

Fonte: O autor.

O projeto da Impressora 3D foi dividido da seguinte forma, como mostra a figura 4.7, para melhor entendimento.

Figura 4.7 - Visão geral dos subsistemas. Divisão de impressoras 3D nos quatro principais subsistemas

Fonte: O autor.

5 RESULTADOS

Para melhor compreensão das etapas deste trabalho, esta seção foi dividida em: testes iniciais, aplicação ao problema, modelo 3D e impressora 3D.

5.1 Testes iniciais

Para solucionar o problema, muitas arquiteturas foram utilizadas. A primeira (Figura 5.1) testada foi a proposta por (Liu et al., 2018) e adaptada para o Keras por (Gruber, 2019). Tinha-se a expectativa de que os resultados fossem atingidos de maneira mais rápida por se tratar de uma rede pré-treinada com o banco de dados ImageNet. Além disso, o proposto por (Liu et al., 2018) em seu trabalho é recompor qualquer buraco irregular em imagens, ou seja, a rede provavelmente saberia reconstruir as omissões da máscara.

Após realizar o treinamento com o banco de dados CelebA-HQ, por ter imagens de alta qualidade, alinhadas e recortadas, percebeu-se que os resultados eram aceitáveis quando as imagens tinha máscaras semelhantes às utilizadas no treino, como mostra a figura 5.1. No entanto, ao testar o algoritmo com entradas que omitissem apenas o nariz e com uma máscara semelhante à utilizada, os resultados não eram da mesma qualidade como mostra a figura 5.2.

Figura 5.1 - Resultado obtido ao fim do treinamento da PConv com o banco CelebA

Fonte: Gruber (2019).

Figura 5.2 - Resultado obtido ao fim do treinamento com máscara irregular da PConv com o banco CelebA

Fonte: O autor.

Realizou-se novamente o treinamento da rede pré-treinada no banco ImageNet com o CelebA-HQ, mas desta vez utilizando já no treinamento a máscara do trabalho mostrada na figura 5.3. No entanto, mesmo com essa adaptação, os resultados (Figura 5.4) ainda não foram os esperados, ainda que fossem melhores do que os obtidos anteriormente.

Figura 5.3 - Resultado obtido ao fim do treinamento com máscara do projeto da PConv com o banco CelebA

Fonte: O autor.

Figura 5.4 - Resultados para 176 épocas de treinamento e rede com 6 camadas convolucionais com fotos do banco CelebA

Fonte: O autor.

Como os resultados ainda não foram satisfatórios optou-se por alterar as configurações da rede utilizada, acrescentando novas informações. O objetivo dessa alteração é que os filtros ocupem um maior espaço da máscara e consigam transmitir informações da região externa. A alteração dessas configurações causou também um aumento no número de parâmetros do modelo, tornando o processamento mais lento.

Observa-se na figura 5.5 melhores resultados comparados ao anterior e este novo modelo começou a se aproximar da resolução do problema.

Figura 5.5 - Resultados com as alterações na configuração com fotos do banco CelebA

Fonte: O autor.

5.2 Aplicação ao problema

Entretanto, restaurar fotos de celebridades não eram o objetivo proposto. Era preciso realizar o treinamento com foto de pacientes que realmente possuíam o problema inicial: a perda nasal. A partir de pesquisas na literatura, foram encontrados casos clínicos de pacientes com este tipo de perda. Com a foto desses casos inserida no algoritmo, o resultado foi satisfatório a princípio como mostra as figuras 5.6 e 5.7.

Figura 5.6 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal

Fonte: Foto original - Clínica De Groot Oliveira (2019).

Figura 5.7 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal

Fonte: Foto original - Barron (2019).

Figura 5.8 - Resultado para foto de paciente com lesão nasal

Fonte: Foto original - Scott et al. (2016).

As figuras 5.6, 5.7 e 5.8 mostram que o algoritmo sabe reconhecer a idade, o que foi uma surpresa devido ao fato de haver poucas entradas de fotos de voluntários na terceira idade. Todavia, mostrou-se mais sensível ao tamanho da lesão (se atinge e/ou deforma outras regiões do rosto externas à máscara) e o ao posicionamento da máscara sobre a foto original.

O algoritmo foi testado com fotos de pacientes lesionados e com o banco de dados criado com as tomadas fotográficas (Figura 5.9). Percebe-se que os resultados não são tão bons quanto os alcançados pelas fotos de pacientes lesionados. Como justificativa, pode-se considerar que as fotos encontradas por outras fontes podem ter uma melhor resolução com equipamentos e edições mais avançados.

Como teste final, imagens de pessoas foram retiradas da internet com o requisito de que a qualidade da foto fosse semelhante ao do banco de dados utilizado no treinamento. Além disso, realizou-se o alinhamento da foto manualmente, assim como foi feito durante o teste com as fotos dos voluntários. Os resultados obtidos são apresentados na figura 5.10. Os resultados foram análogos aos anteriores, apresentando levemente a previsão de um nariz.

Figura 5.9 - Resultado para fotos do banco de teste de voluntários

Fonte: O autor.

Figura 5.10 - Resultado para fotos

Fonte: O autor.

É possível notar que o algoritmo tem melhores previsões quando o rosto está um pouco lateralizado, como se pode observar de acordo com os resultados. A justificativa é o treinamento com banco de celebridades que, geralmente, estão posando para fotos. Além disso, também são preferíveis fotos com a boca fechada ou que pelo menos esta não esteja na região de cobertura da máscara.

5.3 Modelo 3D

A fim de reconstruir uma imagem e confeccionar a prótese é necessário gerar a superfície do nariz a partir de uma foto. Neste trabalho, limitou-se ao teste das fotos reconstruídas em uma demonstração online oferecida por (Jackson et al., 2017), com o intuito de mostrar que mesmo com a ausência de fotos totalmente nítidas é possível gerar o arquivo tridimensional. Utilizando as fotos de pacientes reconstruídas anteriormente, foi possível gerar os arquivos de extensão OBJ apresentados na figura 5.11.

Figura 5.11 - Modelo gerado por meio de foto reconstruída

Fonte: Elaborada pelos autores com auxílio de demonstração online de (Jackson et al., 2017).

Nota-se que as superfícies geradas ainda são muito semelhantes entre si, pois os narizes reconstruídos não estão nítidos o suficiente em comparação ao restante da foto. No entanto, testes mostram que a partir de fotos com reconstrução melhores, será possível obter superfícies mais detalhadas, como na figura 5.12.

Figura 5.12 - Modelo gerado por meio de foto original do banco de dados

Fonte: Elaborada pelos autores com auxílio de demonstração online de (Jackson et al., 2017) .

A partir de tais arquivos, é possível criar um arquivo .stl, que serve de entrada para impressoras 3D que finalizaram a confecção da prótese. O treinamento com resoluções menores de foto (128x128 pixels) influenciou na qualidade do arquivo gerado nesta etapa. Para suavizar os degraus apresentados na superfície, foi necessário um pós-processamento a partir do software 3D Builder, disponível gratuitamente na internet. O resultado após a suavização das curvas é apresentado na figura 5.13.

Figura 5.13 - Superfície gerada e suavizada a partir de foto reconstruída

Fonte: Elaborada pelo autor com auxílio de demonstração online de (Jackson et al., 2017).

5.4 Impressora 3D

Com o arquivo gerado pelo algoritmo, a proposta é enviar para a impressora 3D, a fim de chegarmos ao resultado final da prótese impressa em silicone.

Para confecção de tal impressora, foram feitas compras de materiais pela POLI-USP e pela FOU SP, além do envio de projeto para o Edital de Apoio a Projetos que Façam Uso de Sistemas Digitais Inteligentes. Este foi aprovado (e-mail de aprovação encontra-se no anexo D) pela portaria PRP 668/2018, processo número 18.1.1195.23.8. Além disso, este projeto também teve divulgação na mídia (<https://jornal.usp.br/podcast/momento-tecnologia-16-algoritmos-ajudam-no-desenvolvimento-de-proteses-nasais/>).

A compra dos materiais e peças necessários foi realizada. Entretanto, encontrou-se certa dificuldade durante este processo devido ao tempo levado para sua conclusão. Como foi feito pelo sistema Mercúrio, levou-se um tempo maior que o esperado, dificultando sua chegada para montagem da impressora.

Atualmente, a impressora encontra-se em fase final de montagem com as peças já finalizadas e com acabamento jateado, como mostram as figuras 5.14 e 5.15. Já foram feitos testes iniciais com o silicone, mostrando-se compatível com os materiais de deposição. Todos os sistemas já foram testados individualmente e estão funcionando. Posteriormente, serão feitos os testes finais para impressão em silicone e provável aplicação deste material em um paciente lesionado.

Figura 5.14 - Peças da impressora 3D finalizadas e com acabamento jateado

Fonte: O autor.

Figura 5.15 - Conjunto do eixo x, fixação do motor do eixo y e estrutura do eixo z, respectivamente

Fonte: O autor.

6 DISCUSSÃO

A falta do apêndice nasal é, comumente, sequela de remoção cirúrgica devido a lesões neoplásicas. A reabilitação protética muitas vezes é a mais indicada quando recursos cirúrgicos plásticos são contra indicados. É reestabelecida estética e devolve o paciente mutilado à sociedade. Segundo Becker et al (2016), a reabilitação protética afeta a qualidade de vida dos pacientes de forma positiva, especialmente nos domínios humor, atividade e aparência.

Quintas et al. (2013) descreveram 10 casos cirúrgicos de reabilitação nasal, em que afirma que a reconstrução nasal por meio de outros tecidos ainda é considerado um desafio ao cirurgião plástico. Entretanto, também afirmam que possuem resultado estético e funcional satisfatório.

Já com relação à reabilitação protética, Patrocínio e Azevedo (2013) reafirmam a importância social e funcional da reabilitação protética, porém destacam que houve dificuldades já vivenciadas por outros autores durante a escultura e que necessitaram de fotos anteriores da paciente como guia para um resultado semelhante à perda da paciente.

Tanto a reabilitação cirúrgica, quanto a protética possuem suas limitações. A cirurgia demanda tempo de consulta, planejamento, remanejamento de tecidos para preenchimento da perda nasal, cirúrgico, pós-operatório e acompanhamentos posteriores. Além disso, a reabilitação cirúrgica pode tornar-se inviável a pacientes que realizaram radioterapia ou quimioterapia. A reabilitação protética demanda tempo de consulta, planejamento, laboratorial e confecção, aumentando a dificuldade de todo este processo a pacientes que tenham mobilidade reduzida ou moram longe.

A IA pode colaborar para que seja criado um novo método a fim de diminuir esse tempo. Liu et al. (2018) apresenta um modelo para preencher espaços em imagens por meio do uso de redes neurais parcialmente convolucionais. Por meio de fotos do paciente, esta metodologia pode ser utilizada para preencher o espaço no qual o paciente mutilado possui perda com um nariz adequado a sua estrutura física remanescente. Para isso, precisa-se de tempo para programação. Este

trabalho exigiu um tempo de treinamento da rede como também dos programadores envolvidos. Apresentou limitações quanto a etnia, gênero e idade voluntários fotografados que foram, em sua grande maioria, composta de mulheres, brancos e jovens (20 a 30 anos), enviesando as características dos narizes e naturalmente a obtenção de um resultado semelhante.

De acordo com Bankman (2008), o sucesso da aplicação de um algoritmo de processamento de imagem é fundamentalmente associado a qualidade da imagem na qual é aplicado. Sendo assim, o fato de não possuir um padrão de resolução de imagem, justamente por tratar-se de um sistema acessível a qualquer pessoa, pode ter interferido diretamente no resultado final.

Em sua composição para 3D o resultado foi satisfatório, devendo ser submetido a ajustes na intenção de apresentar resultado final de impressão com textura semelhante a pele humana.

Segundo Moretto (2016), a impressão 3D e técnicas computacionais nas áreas da saúde estão sendo altamente estudadas nos últimos anos e deve ser um processo inerente a inovação na área, reduzindo custos e principalmente oferecendo um melhor tratamento ao paciente.

O objetivo deste trabalho foi testar a possibilidade de unir avanços tecnológicos como inteligência artificial para posterior impressão 3D com extrusão em silicone médico em prol de pacientes mutilados de face, mais especificamente de nariz. Os esforços de áreas afins, como engenharia e odontologia, e a união de seus pesquisadores mostrou que o homem continua procurando recursos para ajudar seu semelhante. Este trabalho uniu duas equipes distintas na engenharia e na odontologia e, como resultado, foram apresentados dois trabalhos de conclusão de curso na engenharia, além da obtenção de verba para seu desenvolvimento por meio de Edital oferecido pela Pró Reitoria de Pesquisa desta Universidade. Ajustes e aprimoramentos deverão ser realizados, mas todo o esforço da equipe envolvida mostrou a viabilidade desses recursos tecnológicos em prol da reabilitação protética facial.

7 CONCLUSÃO

A utilização de recursos de inteligência artificial para aperfeiçoar a confecção de próteses nasais mostrou-se viável.

REFERÊNCIAS⁷

Agarwal M, Jain N, Kumar M, Agrawal H. Face Recognition using eigen faces and artificial neural network. *Int J Comp Theory Eng*. 2010 Aug;2(4):624-9. doi: 10.7763/IJCTE.2010.V2.213.

Albawi S, Mohammed TA, Al-Zawi S. Understanding of a convolutional neural network. *Int Conf Eng Technol*. 2017 Aug;1-6. doi: 10.1109/icengtechnol.2017.8308186.

Bankman I. Handbook of medical image processing and analysis. 2a. ed. Burlington, MA, EUA: Academic Press, 2008.

Barron RR. Quality prosthetic services from Custom Prosthetic Designs, Inc. (2019) [citado 3 Nov. 2019]. Disponível em: <https://www.prosthesis.com>.

Becker C, Becker AM, Pfeiffer J. Health-related quality of life in patients with nasal prosthesis. *J Craniomaxillofacial Surg*. 2016 Jan;44(1):75-9. doi:10.1016/j.jcms.2015.10.028.

Brophy JE. Research on the self-fulfilling prophecy and teacher expectation. *Oral Biol*. 2005 Mar;27:27-8.

Cardoso MD, Souza EH, Cardoso AJ, Lobo JS, Cardoso SO. Importância da reabilitação protética nasal. *Rev Cir Traumatol Buco-Maxilo-Fac*. 2006 jan/mar;6(1):43-6.

Carvalho JCM, Dias RB, André M, Mattos BSC, Crivello Junior O. Reabilitação protética craniomaxilofacial. São Paulo: Editora Santos; 2013. (Fundamentos de Odontologia).

Chollet F. Deep Learning with Python. Shelter Island: Manning; 2017.

Clínica De Groot Oliveira. Nasais. (2019) [citado 3 nov. 2019]. Disponível em: <https://www.anaplastologia.com.br/nasais>.

⁷ De acordo com estilo Vancouver.

Coward T, Jindal S, Waters M, Smay J, inventors. 3D printing of facial prostheses. Patente no. WO 2015/107333 AI. Jul. 2015.

Dias RB, Rezende JRV, Oliveira J. Prótese buco maxilo facial. Conceitos básicos e práticas de laboratório. São Paulo: Sarvier; 1986.

Dou P, Shah SK, Kakadiaris IA. End-to-end 3D face reconstruction with deep neural networks. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR); 2017 July 21-26; Honolulu, Hawaii, USA. Washington, D. C.: IEEE; 2017. p. 1503-12. doi: 10.1109/CVPR.2017.164.

Farkas LG. Anthropometry of the head and face. New York: Library of Congress; 1994.

Fripp T, Frewer N, inventors. Method and apparatus for additive manufacturing. Patente no. WO 2015/059502 AI. Apr. 2015.

Gong S, McKenna SJ, Psarrou A. Dynamic vision from images to face recognition. London: Imperial College Pr.; 2000. (Image processing).

Grego M. Leonardo da Vinci: o homem Vetruviano. [2016?] [citado 12 nov. 2019]. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/3361778/>.

Gruber M. Partial Convolutions for Image Inpainting using Keras, 2019. [citado 10 set. 2019]. Disponível em: <https://github.com/MathiasGruber/PConv-Keras>

Jackson AS, Bulat A, Argyriou V, Tzimiropoulos G. Large pose 3D face reconstruction from a single image via direct volumetric CNN regression. 2017 Mar;1-9. doi: 10.1109/ICCV.2017.117.

Kenney JA, Zhu B, inventors. 3D printing method utilizing a photocurable silicone composition. Patente no. WO 2016/044547 AI. Mar. 2016.

Langner O, Dotsch R, Bijlstra G, Wigoboldus HJ, Hawk ST, van Knippenberg Ad. Presentation and validation of the Radboud Faces Database. 2010 Dec;24(8):1377-88. doi: 10.1080/02699930903485076.

Li Y, Wang G, Nie L, Wang Q, Tan W. Distance metric optimization driven convolutional neural network for age invariant face recognition. *Pattern Recognition*. 2018 Mar;75:51-62. doi: 10.1016/j.patcog.2017.10.015.

Liu G, Fitsum RA, Shih KJ, Wang T-C, Tao A, Catanzaro B. Image inpainting for irregular holes using. *Computer Vision Foundation*. In: Ferrari V, Hebert M, Sminchisescu C, Weiss Y, editors. *Computer Vision – ECCV 2018*. Switzerland: Springer, Cham; 2018. (Lecture notes in computer science, vol. 11215). doi: 10.1007/978-3-030-01252-6_6.

Luca Nascimento MA, Jorge de Brito I, Silva Dehoul M. A arte de Leonardo da Vinci subsidiando a ciência e o ideal do cuidado de enfermagem. *Rev Bras Enferm*. [Internet]. 2003;56(5):563-5 [citado 23 nov. 2019]. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=267019640019>.

Moretto E. Elaboração de próteses auriculares individualizadas por meio de manufatura apoiada por computador [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica; 2016.

Munhoz W. Estética do rosto feminino: o poder da assimetria. 2014 [citado 3 dez. 2019]. Disponível em: https://orofacial.com.br/orofacial_60/.

Patrocínio MC, Azevedo RB. Características da prótese nasal: relato de caso clínico. *ClipeOdonto*. 2013;5(1):35-41.

Quintas RCS, Araujo GP, Medeiros Junior JHGM, Quintas LFLM, Kitamura MAP, Cavalcanti ELF, et al. Reconstrução nasal complexa: opções cirúrgicas numa série de casos. *Rev Bras Cir Plást*. 2013 jun;28(2):218-22.

Ravindra S. Como as Redes Neurais Convolucionais realizam o reconhecimento de imagem. 2017 [citado 3 dez. 2019]. Disponível em: <https://www.infoq.com/br/articles/redes-neurais-convolucionais>.

Ravuri R, Bheemalingeshwarrao, Tella S, Thota K. Auricular prosthesis-a case report. *J Clin Diagn Res*. 2014 Jan;8(1):294-6. doi: 10.7860/JCDR/2014/7943.3986.

Rezende JRV, Dias RB. Fundamentos da prótese buco maxilo facial. São Paulo: Sarvier; 1997. Vol. 1.

Richardson E, Sela M, Kimmel R. 3D Face Reconstruction by Learning from Synthetic Data. 2016 [citado 03 dez. 2019]. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1609.04387.pdf>

Russell SJ, Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia: Pearson Education; 2016.

Scott N, Kittur MA, Evans PL, Dovgalski L, Hodder SC. The use of zygomatic implants for the retention of nasal prosthesis following rhinectomy: the Morriston experience. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Aug;45(8):1044-8. doi: 10.1016/j.ijom.2016.01.020..

Simões FG, Reis RC, Dias RD. A especialidade de prótese bucomaxilofacial e sua atuação na odontologia. *RSBO*. 2009 set;6(3):327-31.

Tran AT, Hassner T, Masi I, Paz E, Nirkin Y, Medioni G. Extreme 3D face reconstruction: seeing through occlusions. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*; 2018 June; Salt Lake City, UT. Washington, D. C.: IEEE; 2018. p. 3935-44. doi: 10.1109/CVPR.2018.00414.

Vetter T, Blanz V. Estimating coloured 3d face models from single images: an example based approach. In: Burkhardt H, Neumann B, editors. *Computer Vision - ECCV'98*. Berlin, Heidelberg: Springer; 1998. p. 499-513. (Lecture Notes in Computer Science, vol 1407). doi: 10.1007/BFb0054761.

Winckelmann JJ. Modern antique. 2018 [citado 23 nov. 2019]. Disponível em: <http://literaturaartistica.blogspot.com/2018/01/johann-joachim-winckelmann16.html>

Yin X, Liu X. Multi-Task Convolutional Neural Network for Pose-Invariant Face Recognition. *IEEE Trans Image Process*. 2018 Feb;27(2):964-975. doi: 10.1109/TIP.2017.276583.

Yu X, Sohn K, Chandraker M, Peng X, inventors. Siamese reconstruction convolutional neural network for pose-invariant face recognition. United States Patent Application Publication, Pub. no.: US 2018 / 0129869 A1. 2018.

Zhao Y, Zhen Z, Liu X, Song Y, Liu J. The neural network for face recognition: Insights from an fMRI study on developmental prosopagnosia. *Neuroimage*. 2018 Apr 1;169:151-161. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.12.023.

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO AUXILIAR NA CONFEÇÃO DE PRÓTESES NASAIS

Pesquisador: Neide Pena Coto

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 96596718.0.0000.0075

Instituição Proponente: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.943.881

Apresentação do Projeto:

O presente projeto consistirá na tomada fotográfica de imagens faciais (de frente e perfil) de participantes sem mutilação facial, que serão selecionados e convidados em ambientes públicos aleatórios. Nessas imagens, serão feitas medidas específicas do nariz, que serão inseridas em um software para posterior confecção próteses nasais em impressoras 3D.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo deste trabalho é, através de imagens de narizes, criar recursos na utilização da inteligência artificial (software), para confecção de próteses nasais em tecnologia de impressão 3D.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos previstos são mínimos e inerentes a tomadas fotográficas faciais dos pacientes. No TCLE, menciona-se que as imagens serão utilizadas para as medições e depois descartadas, não se criando um banco de dados a ser usado posteriormente. Também não haverá possibilidade de identificação desses participantes. O TCLE esclarece sobre riscos mínimos e benefícios indiretos decorrentes da pesquisa.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa está delineada dentro dos preceitos éticos e todas as pendências identificadas na 1ª versão foram sanadas na presente versão do protocolo.

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 05.508-900
 UF: SP Município: SAO PAULO
 Telefone: (11)3091-7960 Fax: (11)3091-7814 E-mail: cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.043.881

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE foi apresentado e esclarece todos os pontos necessários para a compreensão do participante da pesquisa, antes que o mesmo possa consentir em participar da mesma. Como os participantes serão convidados em locais aleatórios e públicos, não há apresentação de uma carta de anuência de um centro específico a ser apresentada.

Recomendações:

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP-FOUSP relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final, utilizando-se da opção "Enviar Notificação" (descrita no Manual "Submeter Notificação", disponível na Central de Suporte - canto superior direito do site www.saude.gov.br/plataformabrasil).

Qualquer alteração no projeto original deve ser apresentada "emenda" a este CEP, de forma objetiva e com justificativas para nova apreciação.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Protocolo delineado dentro dos preceitos éticos e sem pendências a saber.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1202460.pdf	24/09/2018 13:26:00		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcleia.docx	24/09/2018 13:25:46	Neide Pena Coto	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetocep.docx	24/09/2018 13:25:33	Neide Pena Coto	Aceito
Folha de Rosto	rosto.pdf	23/08/2018 15:26:24	Neide Pena Coto	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária CEP: 05.508-900
UF: SP Município: SAO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 Fax: (11)3091-7814 E-mail: cepfo@usp.br

Continuação do Parecer: 2.943.881

SAO PAULO, 05 de Outubro de 2018

Assinado por:
Maria Gabriela Haye Biazevic
(Coordenador(a))

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária CEP: 05.508-900
UF: SP Município: SAO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 Fax: (11)3091-7814 E-mail: cepfo@usp.br

ANEXO B – Declaração de conformidade e autorização para divulgação de imagem

Declaração de conformidade e autorização para divulgação de Imagem

Por este instrumento de AUTORIZAÇÃO, dou consentimento à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por intermédio de seus professores e alunos envolvidos no projeto intitulado “**uso de inteligência artificial como auxiliar na confecção de próteses nasais**”, a realizar as fotos previamente autorizada no Termo Livre e Consentido, juntado a este documento.

Concordo com a divulgação publica destas fotos com fins acadêmicos para estudo de imagens exclusivamente e para eventual uso dessas imagens para fins de pesquisa científica e de divulgação em jornais e/ou revistas científicas do Brasil e do exterior.

São Paulo ____de____ de ____.

_____,RG _____CPF: _____
voluntário

Escola Politécnica da USP

ANEXO C – Termo de consentimento livre e esclarecido aplicado aos voluntários

FACULDADE DE ODONTOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado(a) a participar de forma voluntária da Pesquisa intitulada “**uso de inteligência artificial como auxiliar na confecção de próteses nasais**” da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo – Departamento de Cirurgia, Prótese e Traumatologia Maxilofaciais que tem como responsáveis o(s) pesquisador(es) Profa. Dra. Neide Pena Coto e Carolyne Costa, aluna de mestrado desta Instituição, que poderão ser contatados pelos telefones (11) 30917887 e (11)994315529(24 horas).

Esta pesquisa tem por objetivo o uso de recursos de computação para aperfeiçoar a confecção de próteses nasais, para tanto será necessário fazer uma fotografia do seu rosto, para fazer medidas do seu nariz. A imagem de seu nariz fará parte de um banco de narizes que serão utilizados como base para a confecção de próteses nasais em paciente que sofreram perda do nariz. Esta pesquisa oferece risco mínimo a você, pois consistirá na tomada fotográfica da face, frente e perfil, pode dar um desconforto por estar sendo fotografado. Suas fotos serão usadas apenas pelos pesquisadores para medidas da proporção de sua face e seu nariz, não será criado um banco de dados. Suas fotos serão descartadas logo após a medição de sua foto da face de frente e de lado. Não serão expostas em nenhum momento da pesquisa ou após. Não haverá benefício direto a você, mas esta ação trará grande benefício ao paciente mutilado de face..

É assegurado ao participante da pesquisa:

- Não haverá Ressarcimento de gastos, assistência ou indenização por problemas decorrentes da pesquisa, pois a pesquisa consiste em fotografar seu nariz no local em que você estiver no momento, sem necessidade de qualquer outra abordagem.
- O participante da pesquisa terá acesso aos resultados das fotografias realizadas durante o estudo e seus dados serão confidenciais cabendo ao(s) pesquisador (es) responsável (eis) o sigilo absoluto das informações,
- O participante da pesquisa tem plena liberdade de se recusar a participar do estudo e esta decisão não acarretará penalização por parte do(s) pesquisador (es),
- No caso de interrupção do estudo, o participante da pesquisa não terá penalização.
- Em caso de dúvidas sobre a ética da pesquisa contatar o **Comitê de Ética em Pesquisa** (Serres Humanos) da **Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo** - Av. Prof. Lineu Prestes, 2227 - - 05508-000 – São Paulo - - SP - Fone: (11) 3091.7960 – E-mail:cepfo@usp.br - Horário de Funcionamento: segunda a sexta-feira das 8 às 17h (exceto feriados e recesso universitário). O Comitê é um colegiado interdisciplinar e independente, de relevância pública, de caráter consultivo, deliberativo e educativo, criado para defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. (Resolução CNS nº 466 de 2012).

Sua assinatura indica que você decidiu participar da pesquisa como voluntário e que leu e entendeu todas as informações acima explicadas.

Este documento foi elaborado em duas vias de igual teor sendo uma do pesquisador responsável e a outra do participante da pesquisa

Nome do participante da pesquisa: _____

Assinatura: _____ Data: ____/____/____

Nome do Pesquisador Responsável: _____

Assinatura: _____ Data: ____/____/____

ANEXO D – E-mail de aprovação do projeto enviado para o Edital de Apoio a Projetos que façam uso de Sistemas Digitais Inteligentes

De: Pró-Reitoria de Pesquisa <prp@usp.br>

Date: ter., 23 de abr. de 2019 às 13:31

Subject: Edital de Apoio a Projetos que Façam Uso de Sistemas Digitais Inteligentes – Portaria PRP nº 668/2018

To: Neide Pena Coto <npcoto@usp.br>

Prezada Profa. Neide Pena Coto,

Conforme informado via processo (18.1.1195.23.8), o projeto intitulado **IA no desenvolvimento da geometria de próteses nasais** foi contemplado com o valor de R\$ **19.970,00** conforme orçamento apresentado na proposta. Conforme regras do Edital, deverá ser apresentado em **30.04.2020** o sistema digital inteligente, um relatório acadêmico e um relatório de prestação de contas.

Atenciosamente,

Pró Reitoria de Pesquisa
Universidade de São Paulo
Rua da Reitoria, 374 - 3º andar
Cidade Universitária São Paulo - SP
Tel.: 11 - 3091-1813