

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ARTEFATO ORIENTADO A PRÓTESES
OCULOPALPEBRAIS UTILIZANDO TECNOLOGIAS
DIGITAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós - Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Paulista – UNIP,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção

SALVATORE BINASCO LENGUA

São Paulo

2024

SALVATORE BINASCO LENGUA

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ARTEFATO ORIENTADO A PRÓTESES
OCULOPALPEBRAIS UTILIZANDO TECNOLOGIAS
DIGITAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr Marcelo Tsugio Okano

Área de Conhecimento: Engenharia de Produção

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de Pesquisa: Redes de Empresas e Planejamento de Produção

Projeto de Pesquisa: Transformação Digital e Gestão da Inovação na Produção de Bens e Serviços

SALVATORE BINASCO

São Paulo

2024

Lengua, Salvatore Binasco.

Desenvolvimento e implementação de um artefato orientado a próteses oculopalpebrais utilizando tecnologias digitais / Salvatore Binasco Lengua. – 2024.

55 f. : il. color. + CD-ROM

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2024.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tsugio Okano.

1. Morfologia matemática. 2. Prótese facial. 3. Inteligência artificial. 4. Manufatura aditiva. 5. Indústria 4.0. I. Okano, Marcelo Tsugio (orientador). II. Título.

SALVATORE BINASCO LENGUA

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM
ARTEFATO ORIENTADO A PRÓTESES
OCULOPALPEBRAIS UTILIZANDO TECNOLOGIAS
DIGITAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Aprovada em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto - UNIP

Prof. Dr. Marcelo Okano - UNIP

Prof. Dr. Rodrigo Salazar-Gamarra - UCSUR

Dedico o projeto a quem precisar dele. O motivo fundamental foi resolver um problema para fazer um impacto na vida das pessoas, apoiando a sociedade como a sociedade me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato com todas as pessoas envolvidas durante o todo o processo do mestrado, já que cada um foi indispensável para poder ter concluído essa etapa

Agradeço ao professor Okano pela orientação e apoio durante esse processo tudo, bem como pela dedicação com o projeto. Ao professor Oduvaldo pelo acolhimento no programa. À Marcia, por ter me apoiado de todas as formas sempre que foi necessário.

Agradeço também ao Dr. Salazar, quem foi o elo que iniciou este projeto e os que virão no futuro; e ao Dr. Dib quem a través do Instituto Mais Identidade deu um espaço para que esse projeto pudesse ser desenvolvido.

Agradeço aos meus pais, que me permitiram chegar até aqui e sempre confiaram em mim.

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

RESUMO

O trabalho propõe uma melhoria nas próteses oculopalpebrais aumentando o mimetismo por meio do desenvolvimento de um artefato, apoiado nas ferramentas digitais, que adicione movimentação. Sob a metodologia – *Design Science Research* – DSR, foram identificadas as necessidades e limitações do artefato, dividindo-o em 5 componentes: mecanismo ocular, algoritmo de processamento, sensor e suporte, protocolo de calibração e sistema embarcado. Foi desenvolvido um mecanismo de 37,2cm³ de acordo com a anatomia de um defeito facial de modelo; foi usado um sensor ótico montado em um suporte wearable; as imagens foram processadas usando morfologia matemática, resultando em uma precisão de 95.7% no reconhecimento da posição, 97.8% no piscar e 30ms de *delay*; e um protocolo de otimização foi feito utilizando inteligência artificial e algoritmo de otimização. Finalmente, o mecanismo cumpre com as limitações de tamanho e velocidade; e o processamento consegue captar os movimentos oculares com uma rapidez e precisão aceitáveis para cada pessoa.

Palavras-chave: Morfologia matemática; Prótese facial; Inteligência Artificial; Manufatura Aditiva; Industria 4.0

ABSTRACT

The work proposes an improvement in oculopalpebral prostheses by increasing mimicry through the development of an artifact, supported by digital tools, that adds movement. Under the methodology – Design Science Research – DSR, the needs and limitations of the artifact were identified, dividing it into 5 components: ocular mechanism, processing algorithm, sensor and support, calibration protocol and embedded system. A 37.2cm³ mechanism was developed according to the anatomy of a model facial defect; an optical sensor mounted on a wearable support was used; the images were processed using mathematical morphology, resulting in an accuracy of 95.7% in position recognition, 97.8% in blinking and 30ms delay; and an optimization protocol was made using artificial intelligence and optimization algorithm. Finally, the mechanism complies with size and speed limitations; and the processing can capture eye movements with a speed and accuracy that is acceptable for each person.

Keywords: Mathematical morphology; Facial prosthesis; Artificial intelligence; Additive Manufacturing; Industry 4.0

UTILIDADE

Aumentar a semelhança das próteses faciais com o usuário, gerando um impacto positivo na sua qualidade de vida aumentando a satisfação estética seguindo o ODS 3 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) “saúde e bem-estar”. Da mesma forma, o desenvolvimento tecnológico que levará ao aumento do movimento do globo ocular e das pálpebras, é aderente ao ODS 9 “indústria, inovação e infraestrutura”, aplicando tecnologias digitais modernas e soluções inovadoras.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Paciente com exenteração orbitária.....	17
Figura 2 - Fases na estrutura DSR	25
Figura 3 - Parametros Geométricos Ideais do Olho humano	27
Figura 4 - Fluxograma da proposta	30
Figura 5 - Mecanismo do olho a) sem motores b) com motores	33
Figura 6 - Protótipo de prótese móvel	34
Figura 7 - Câmera IMX219-77.....	35
Figura 8 - Protótipo de suporte dos sensores I	35
Figura 9 - Fluxograma do algoritmo I	36
Figura 10 - Mecanismo do olho otimizado.....	39
Figura 11 - Simulação de encaixe do mecanismo.....	39
Figura 12 - Protótipo de suporte de sensores II.....	40
Figura 13 - Mecanismo eletromagnético do olho.....	41
Figura 14 - Customização dos óculos.....	42
Figura 15 - Fluxograma do algoritmo II.....	43
Figura 16 - Sequência de calibração.....	44
Figura 17 - Figura 17 Arquitetura original da U-net..	44
Figura 18 - Arquitetura reduzida da U-net.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Normalização	37
Equação 2 – Limiarização global.....	37
Equação 3 - Operação morfológica: Dilatação.....	37
Equação 4 - Operação morfológica: Erosão.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD - *Computer-Aided Design*
CAM - *Computer-Aided Manufacturing*
CNC - *Computer Numerical Control*
CNN – *Convolutional Neural Network*
DLP - *Digital Light Processing*
DMLS - *Direct Metal Laser Sintering*
DSR – *Design Science Research*
EBM - *Electron Beam Melting*
EPB - *Electronic Prototyping Boards*
FDM - *Fused Deposition Modeling*
FPS – *Frames Per Second*
GAN - *Generative Adversarial Network*
GPU – *Graphic Processing Unit*
IA – *Inteligencia Artificial*
LSTM - *Long Short-Term Memory*
MJF – *Multi Jet Fusion*
MVP – *Minimum Viable Product*
RNN - *Recursive Neural Network*
SBC – *Single Board Computer*
SLA - *Stereolithography*
SLS - *Selective Laser Sintering*
UV - *Ultravioleta*

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	133
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	133
1.1 Introdução	133
1.2 Justificativa	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO II	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Implicação das próteses faciais.....	17
2.2 Panorama dos pacientes	18
2.3 Tecnologias Digitais Envolvidas	19
2.3.1 <i>Software</i> CAD/CAM.....	20
2.3.2 Manufatura Aditiva	20
2.3.3 Morfologia Matemática.....	21
2.3.4 Inteligência Artificial	22
2.3.5 Sistemas Embarcados	22
2.4 Trabalhos relacionados.....	23
CAPÍTULO III	25
3. METODOLOGIA	25
3.1 Explicação do problema	25
3.2 Definição dos requerimentos	26
3.3 <i>Design</i> e desenvolvimento	28
3.3.1 Primeira iteração	28
3.3.2 Segunda iteração	30
3.3.3 Terceira iteração	30
3.4 Demonstração do artefato	31
3.5 Avaliação do artefato.....	32
CAPÍTULO IV.....	33
4. RESULTADOS	33
4.1 Iteração 1.....	33

4.2 Iteração 2.....	38
4.3 Iteração 3.....	40
CAPÍTULO V.....	48
5 Conclusões e Discussão	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

CAPÍTULO I

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Para aquelas pessoas que, seja por algum traumatismo, malformação congênita ou parte de tratamento por câncer; tenham um defeito facial, são indicadas as próteses faciais. Especificamente, as próteses óculo-palpebrais são um tipo especializado delas focada na área ocular que inclui o olho, pálpebras, cavidade ocular e tecidos circundantes; como único tratamento de reabilitação de uma excenteração. Essa prática não é recente, aliás, ela tem sido aplicada ao longo dos séculos para restaurar a aparência (de Caxias *et al.*, 2019).

Na atualidade, as próteses conseguem restaurar a anatomia normal de pessoas que sofreram alguma perda por meio de uma peça feita sob medida para cada pessoa. Essas próteses têm o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos pacientes e a satisfação com a estética, por esse motivo sua semelhança com o rosto do paciente é fundamental (Wondergem *et al.*, 2016).

Ao longo do tempo, tanto o processo de elaboração das próteses, quanto os materiais envolvidos foram gradualmente evoluindo; simplificando e intensificando assim a fabricação, conseguindo oferecer resultados cada vez melhores (Bulbulian 1965; Barranco & Hernández-Muñoz, 2023; Li *et al.*, 2023). Porém, já que elas são dispositivos estáticos, atualmente as próteses estão essencialmente limitadas em emular a face do paciente numa gesticulação neutra com isso os resultados que elas poderiam oferecer, embora padrão ouro, apresentam uma disruptiva oportunidades de aprimorar o patamar de reabilitação. Nesse sentido, a adição de movimento torna-se uma das necessidades para dar o próximo passo na produção de próteses óculo-palpebrais (Destruhaut *et al.*, 2021).

Entretanto, o estudo busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: Como desenvolver uma prótese óculo-palpebral móvel, utilizando as tecnologias digitais com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas com defeitos faciais?

1.2 Justificativa

A justificativa deste projeto de pesquisa se baseia em melhorar a satisfação e qualidade de vida das pessoas que, por conta de traumas ou câncer, apresentem defeitos faciais. Perder parte dos traços faciais não afeta a vida das pessoas apenas devido às funções que perdem, mas também devido à drástica mudança na aparência que isso provoca. Aquela mudança afeta não só como o mundo percebe a essa pessoa, mas como a pessoa se percebe a se mesma, afetando assim também a própria identidade (Jankielewicz, 2003; Salazar-Gamarra *et al.* 2019; De Oliveira *et al.*, 2018).

Como resultado dessa situação, o paciente tende a apresentar problemas psicológicos como baixa autoestima, depressão, sentimento de rejeição, etc.; e muitas vezes eles são providos de acompanhamento psicológico (Te *et al.*, 2015). Embora se busque diretamente aumentar a semelhança das próteses faciais com os usuários delas, o objetivo principal é indiretamente a través da satisfação estética melhorar a qualidade de vida. (Chang *et al.*, 2005, Goiato *et al.*, 2009, Moroi *et al.*, 1999).

São muitas as tecnologias digitais utilizadas pela indústria 4.0 e cada vez mais as áreas em que elas conseguem gerar impacto. O campo das próteses não é exceção, com avanços significativos, por exemplo, nos materiais utilizados e fluxos de trabalho mais digitais (Salazar-Gamarra *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2023). No entanto, é ainda uma área com muito potencial para inovação e desenvolvimento baseado na aplicação de conceitos tecnológicos. Além disso, a perspectiva de agregar movimento é um campo pouco estudado na literatura, considerado então como uma lacuna de pesquisa.

Os principais eixos que o projeto visa abordar estão alinhados com dois Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: "saúde e bem-estar" e "indústria, inovação e infraestrutura". Por meio da aplicação de tecnologias digitais e soluções inovadoras,

busca-se melhorar a qualidade de vida e bem-estar das pessoas, permitindo que vivam plenamente. Ao mesmo tempo, aproveita-se o problema para desenvolver novas ferramentas tecnológicas na área da saúde

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de prótese orbito facial móvel utilizando tecnologias digitais no processo de manufatura e funcionamento

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Desenvolver um mecanismo eletrônico de movimento ocular.
- b) Desenvolver um suporte '*wearable*', para a montagem do sensor de aquisição de sinais.
- c) Desenvolver um algoritmo de identificação de movimentos oculares.
- d) Desenvolver um artefato eletrônico que integre os componentes da proposta e garanta autonomia e correto funcionamento.

CAPÍTULO II

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 As próteses faciais

As próteses bucomaxilofaciais ou próteses faciais são dispositivos usados para corrigir defeitos faciais, sendo indicadas para pessoas que perderam essas estruturas devido principalmente a câncer ou também por traumatismo e malformações congênitas. Elas são fabricadas sob medida, com a finalidade de restaurar a anatomia funcional das estruturas perdidas e melhorar a aparência normal da anatomia, tentando alcançar a maior semelhança possível entre o rosto do usuário e o dispositivo.

Ao longo do tempo, tanto os processos de fabricação, quanto a qualidade dos resultados foram progredindo. Embora as próteses faciais existam há séculos em diversas civilizações (de Caxias *et al.*, 2019), foi no século XVI que se tem os primeiros registros documentados (Conroy, 1993) descrevendo os processos, métodos de fixação e materiais utilizados para os tipos de próteses que eram feitas. Porém, nos últimos 10 anos, o cenário progrediu notavelmente, devido aos avanços em ciências de matérias, modelos digitais e manufatura aditiva, levando a maior satisfação do paciente e disposição ao uso (Li *et al.*, 2023).

Atualmente, as próteses faciais conseguem atingir praticamente todos os defeitos faciais, como próteses auriculares, nasais, oculares, bucais etc. A pesquisa está focada em um tipo de próteses oculares, mais especificamente as próteses oculopalpebral ou orbital (Joneja *et al.*, 1976). Elas compreendem o globo ocular e áreas adjacentes, incluindo a pálpebra e normalmente são resultado de uma exenteração orbitária, que é um processo de remoção dessas áreas. (Figura 1).

Figura 1 – Paciente com exenteração orbitária



Fonte: Adaptado de Carters News (2008).

Este tipo de prótese, normalmente, limita-se a restaurar a forma anatômica normal; no entanto, isso não significa que eles não tenham funcionalidade. Neste tipo de prótese, a interação em ambientes sociais desempenha uma função muito importante para os usuários. (Yaron; Widdershoven; Slatman, 2017). Esta mudança que as próteses faciais criam em relação à interação com o ambiente social, melhorando a dimensão estética, reflete-se diretamente na satisfação dos pacientes e na melhoria da qualidade de vida deles. (Chang *et al.*, 2005, Goiato *et al.*, 2009, Moroi *et al.*, 1999).

2.2 Panorama dos pacientes

As próteses óculo palpebrais são indicadas principalmente em pessoas que, por tratamento ao câncer deveram passar por uma exenteração. O nome da classificação que recebem os tumores malignos que podem afetar essas regiões é chamado de “câncer de cabeça e pescoço” (Sobin *et al.*, 2004), sendo ele o sexto tipo de câncer mais comum globalmente, com cerca de 700 mil novos casos no mundo anualmente (BVS MS, [s.d.]).

No ano 2020, os novos casos de ocorrência dos cânceres, que fazem parte da classificação “de cabeça e pescoço”, representaram 10,3% do total de casos de câncer registrados no mundo (*World Health Organization, 2020*). Por outro lado, estima-se que no Brasil em 2023 haverá 28.170 novos casos (de Oliveira, 2022).

Focando no tipo de prótese desenvolvida neste estudo, elas são decorrentes principalmente de tumores orbitais. Na última década, no Brasil houve 1859 óbitos por neoplasia maligna de olho e anexos (Barbosa *et al.*, 2022). Nem sempre essa condição tem quadros fatais, mas quando está em estágio muito avançado, muitas vezes o único tratamento possível é a interação orbitária. Nesse sentido, as neoplasias malignas dos anexos oculares são as causas mais comuns, seguidas pelo melanoma maligno das glândulas conjuntivais, das glândulas lacrimais e melanoma uveai. (Zhang *et al.*, 2017; Ben *et al.*, 2005).

Embora o tratamento seja bem-sucedido em termos de saúde, naturalmente existem repercussões negativas em termos físicos e psicológicos. Por um lado, a cavidade resultante do processo permite que o ar, água e outros sólidos acessem facilmente; além disso, atividades rotineiras, como tomar banho não são possíveis sem risco de afogar o paciente. Por outro lado, este tipo de intervenções tem que ir da mão de apanhamento psicológico após a cirurgia, porque esses pacientes são mais propensos a ter depressão e ansiedade (Ye *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2020). Contudo, há evidências do impacto positivo que estas próteses têm na reabilitação protética maxilofacial no que diz respeito à satisfação geral do tratamento e à qualidade de vida do paciente (Dings *et al.*, 2018).

2.3 Tecnologias Digitais Envolvidas

Tal como acontece com a maioria dos processos de produção, o impacto das novas tecnologias está a mudar a forma como os produtos são fabricados. Esta situação desenvolve-se no âmbito da atual Indústria 4.0 (Hallem & Javaid 2019, Tvenge & Martinsen, 2018) que é a integração de tecnologias digitais, na busca de tornar os processos mais eficientes, os produtos mais personalizáveis e

a tomada de decisões mais apoiada em dados (Lasi *et al.*, 2014, Oztemel & Gursev, 2018).

A produção de próteses faciais não é alheia a este processo; os fluxos de trabalho integram ferramentas digitais como impressão 3D, software CAD/CAM (*Computer-Aided Design, Computer-Aided Manufacture*) e digitalização 3D (Li *et al.*, 2023). (Salazar-Gamarra *et al.*, 2016, Salazar-Gamarra *et al.*, 2022). A proposta desta pesquisa está apoiada tanto em alguns pilares que compõem a indústria 4.0 quanto em tecnologias complementares que possibilitam a inovação desejada.

2.3.1 Software CAD/CAM

O software CAD são programas de design utilizados para criar e/ou editar representações digitais de modelos, tanto 2D (bidimensionais) quanto em 3D (tridimensionais), projetados para sua futura fabricação. Por outro lado, o *software* CAM, refere-se a programas utilizados para automatizar processos de fabricação, criando a partir de um modelo 3D instruções específicas para uma ferramenta de fabricação.

Os sistemas CAD/CAM estão compostos de 3 partes principais (Alghazzawi, 2016): unidade de aquisição de dados, eles podem ser obtidos a partir de medições ou escaneamento 3D, que oferece uma estrutura base; software de design, a partir dos dados obtidos ou partindo do zero, a modelagem virtual é feita em um *software* paramétrico, como *solidworks*, com medidas definidas, ou não paramétrico, como Blender, com estrutura mais livre; e dispositivo de fabricação, onde o modelo é materializado por meio de uma máquina CNC (Controle Numérico Computadorizado) ou uma impressora 3D.

Conforme mencionado, as peças podem ser criadas integralmente em um ambiente virtual com base em dimensões conhecidas de acordo as necessidades de design. Para isso, os programas paramétricos são os mais convenientes, já que permitem ter um controle de versões e ajustar os modelos pelas partes que o compõem. Porém, também é possível trabalhar com elementos escaneados e

fazer alterações usando *software* ano paramétrico, alterando a forma dos elementos de forma mais livre.

Esse tipo de software, além de contribuir no design das peças que serão manufaturadas, não está limitado a essa única função. A interação com modelos digitais desempenha um papel na visualização e, conseqüentemente, em uma melhor planificação. Com a imagens médicas é possível melhorar o fluxo de trabalho digital, fornecendo ferramentas à equipe multidisciplinar de clínicos e profissionais para tomar melhores decisões.

2.3.2 Manufatura Aditiva

A impressão 3D ou manufatura aditiva é uma tecnologia caracterizada pela fabricação de peças, a partir de modelos tridimensionais digitais, adicionando material camada por camada. Esse tipo de produção permite a criação de peças complexas em menos tempo e custo em comparação com as técnicas de fabricação tradicionais ideal para etapas de prototipagem (Saches *et al.*, 1993).

Desde a sua origem, diversas técnicas foram desenvolvidas para realizar a fabricação aditiva, cada uma de elas com um características e princípios particulares (Kothari, 2022): SLA (*Stereolithography*), SLS (*Selective Laser Sintering*), FDM (*Fused Deposition Modeling*), DLP (*Digital Light Process*), MJF (*Multi Jet Fusion*), PolyJet, DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*), EBM (*Electrom Beam Melting*), etc.

Pelas características de cada tecnologia, as usadas nesse projeto são: FDM, que consiste na formação do objeto a traves de estruir material fundido, com um custo baixo de fabricação e propriedades mecânicas uteis para a maioria de protótipos; e SLA, onde é usada polimerização para solidificar resinas fotossensíveis a UV, atinge um equilíbrio entre custo de produção e alta precisão na impressão.

Na aplicação específica deste projeto, o principal uso foi focado na prototipagem rápida, para posteriormente tornas os modelos em peças finais com

outros métodos de fabricação e outros materiais. No caso de ter um fim terapêutico, funciona como intermédio protético em peças finais para a reabilitação de indivíduos, culminando com a soma de recursos e habilidades adicionais que correspondem à especialidade da reabilitação bucomaxilofacial (Salazar-Gamarra *et al.*, 2019). De mesma forma, em elementos mecânicos, validam-se as características funcionais e dimensionais para, apoiados em métodos de produção mais sofisticados, alcançar uma etapa final.

2.3.3 Morfologia Matemática

A morfologia matemática é uma técnica usada no processamento de imagens baseada na teoria dos conjuntos, utilizada para a extração de feições de nível médio. Neste contexto, em uma imagem em preto e branco, os grupos de pixels são tomados como objetos, podendo realizar operações baseadas em formas geométricas. (Haralick, 1987, Gonzalez, 2017).

Essa abordagem costuma ser utilizada para imagens em preto e branco, embora também possa ser aplicada a imagens compostas por mais dimensões. Comumente, essas técnicas são apoiadas por outras, como segmentação, realce de imagens ou filtragem em imagens, para obter elementos mais próximos dos desejados. Uma vez que os objetos que compõem a imagem são identificados, é possível realizar uma série de transformações e operações neles, como: identificar objetos, analisando a conectividade dos pixels; reduzir o ruído, eliminando objetos de determinada área; alterar a área de um objeto, realizando operações de interseção ou união com apoio de um elemento estruturante; etc.

Os algoritmos que utilizam esta técnica caracterizam-se pela sua velocidade (Vincent,1991) e são compostos por diversas destas operações realizadas sequencialmente, mantendo ainda elevada eficiência computacional, devido à baixa complexidade de cada uma delas. Eles normalmente são usados em aplicações que exigem baixo tempo de processamento e reconhecimento de recursos básicos. Pelas características da tecnologia, ela é utilizada na medicina para segmentação de tecidos com ressonância magnética, ou na geologia na análise de formações rochosas, ou na visão por computador na detecção de

objetos; porém, quando é necessária uma análise mais complexa e aprofundada, essa técnica não é suficiente e abordagens mais robustas devem ser utilizadas.

2.3.4 Inteligência Artificial

Os algoritmos de inteligência artificial (IA) são ferramentas capazes de realizar problemas com a vantagem de ser uma solução robusta, escalável e com a capacidade de generalização. Com a chegada do *DeepLearning a performance* da inteligência artificial aumentou muito e com isso as aplicações em diferentes áreas. Essa melhoria se deve às novas arquiteturas dos modelos de IA, como: CNN (*Convolutional Neural Network*), LSTM (*Long Short-Term Memory*), RNN (*Recurrent Neural Network*), etc. Adicionam camadas de processamento entre a entrada e saída, aumentando a complexidade e a inteligência do sistema (Alom *et al.*, 2019)

O excepcional desempenho dessas ferramentas se deve principalmente ao processo de aprendizado de máquina (*Machine Learning*), que dota os sistemas de inteligência. Essa capacidade permite que os algoritmos de IA, com base em uma arquitetura de propósito geral, se torne experta na resolução de uma tarefa particular, melhorando os resultados ao longo do tempo.

No processamento de imagens destacam-se as CNNs, GANs, Transformers, entre outras; as primeiras são as mais comumente utilizadas. Elas funcionam por meio de convoluções, de forma semelhante aos métodos clássicos de processamento, com a diferença fundamental da complexidade e do foco em uma tarefa específica. As principais aplicações delas são: classificação de imagens, atribuindo uma classe a cada imagem com base nos padrões visuais; segmentação de imagens, classificando cada pixel em uma categoria específica; aumento de resolução, gerando maior qualidade em uma imagem.

2.3.5 Sistemas Embarcados

São sistemas operacionais de propósito específico, que existem dentro de qualquer dispositivo e executam um número limitado de programas adaptados a cada aplicação (Tanenbaum, 2009). Dessa forma, os sistemas que iniciam em

ambientes de desenvolvimento são otimizados, eliminando componentes desnecessários para a aplicação específica para a qual foram projetados.

Como estes tipos de sistemas são projetados para serem produtos, um número maior de recursos deve ser levado em consideração do que em um ambiente de desenvolvimento. A velocidade de execução do processador, os periféricos que farão parte do sistema, seu consumo e eficiências, são alguns dos pontos que devem ser levados em consideração.

Esses aspectos estão ligados principalmente ao tipo de placa que será utilizada. Elas se dividem principalmente em dois tipos: EPB (*Electronic Prototyping Boards*), que oferecem um meio eficiente de montagem e interconexão de componentes eletrônicos, permitindo a validação prática e a iteração de projetos a baixo custo antes da produção em grande escala, como o caso do Arduino ou ESP32. (Lasance, 2008); y las SBC (*Single Boards Computers*), que possuem maior potência que os anteriores, com diversas interfaces e capacidade de comunicação, (Olesen *et al.*, 2017, Sruthy, 2017), como o *Raspberry Pi* ou a *Jetson Nano*, que possui uma GPU.

2.4 Trabalhos relacionados

A ideia de incluir elementos funcionais em próteses oculopalpebrais não é um tema recente; a documentação de pesquisa existe há 4 décadas (Alexandridis, 1984). Neste primeiro artigo foi proposto dar movimento à pálpebra, sincronizando-a com a sua contraparte ainda funcional, através de fotossensores. Após o estabelecimento de um primeiro protótipo funcional, como prova de conceito, são estabelecidas claras limitações na fabricação e customização.

O artigo de Vieira et al (2019) segue uma linha muito semelhante, com claras vantagens sobre o anterior no que diz respeito aos elementos que o compõem, graças ao avanço tecnológico ocorrido entre estas duas publicações. Ao contrário do anterior, foi utilizado um motor para oferecer movimento, o que faz parte da limitação pelo ruído que gera e pelo espaço que ocupa.

O terceiro artigo de Tao *et al.*, (2021), ao contrário dos anteriores, está focado no movimento da pupila e não da pálpebra. Além disso, é utilizado um maior número de recursos, incluindo: uma câmera, para rastrear movimentos; um processador, para executar um algoritmo de inteligência artificial; e uma tela, para simular o movimento do olho.

Diversas tecnologias estão envolvidas todos os dias na fabricação de próteses faciais, e incluir a capacidade de movimentação é entendido como um dos próximos passos que devem ser dados (Li *et al.*, 2023). No entanto, perceba-se que naturalmente não é um interesse recente; Devido à natureza das próteses para emular a anatomia do paciente.

CAPÍTULO III

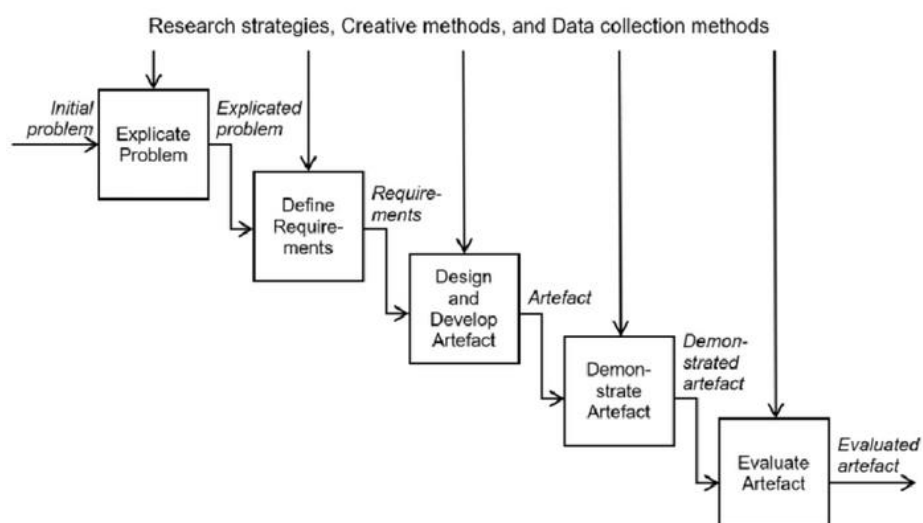
3. METODOLOGIA

Em relação com a pesquisa bibliográfica, foi feita uma revisão de literatura por meio de bases de dados acadêmicas como a *Scopus*, *Web of Science* e *Pubmed*, em livros sobre Saúde, Algoritmos de Processamento de Imagens e Sistemas embarcados. Como pesquisa documental foram realizadas pesquisas em fontes de informações secundárias obtidas pelo Instituto Mais Identidade

A metodologia de pesquisa estabelecida para o desenvolvimento da proposta foi o modelo de *Design Science Research* (Hevner, 2007). Deve-se mencionar que não há necessidade da aprovação de um comitê de ética para a realização e avaliação deste projeto já que, embora o produto esteja direcionado a seres humanos, os testes serão feitos, *in vitro* e a avaliação por profissionais da saúde.

O estudo foi realizado com uma metodologia inspirada no *framework da Design Science Research-DSR* descrito por Johannesson e Perjons (2014), por meio das etapas apresentadas na Figura 2.

Figura 2 . Fases na estrutura DSR



Fonte: Adaptado de Johannesson e Perjons (2014, p. 77).

Devido à pouca literatura sobre propostas semelhantes, considerou-se pertinente utilizar esta abordagem. Dessa forma, busca resolver os problemas por meio de um artefato de acordo com a relevância, requisitos e critérios estabelecidos, gerando novos conhecimentos no processo.

3.1 Explicação do problema

O problema deste estudo surge a partir da utilização de próteses faciais, produto de intervenções cirúrgicas para o tratamento do câncer de cabeça e pescoço. Essas próteses visam assemelhar-se ao máximo à parte perdida da face, oferecendo uma solução estética para essa situação. Esta primeira etapa, sobre a explicação do problema, é mais detalhada na seção 1 do primeiro capítulo. No entanto, O problema é que atualmente não existem próteses no mercado capazes de emular os movimentos oculares e piscar das pálpebras. Desta forma, busca-se desenvolver um dispositivo capaz de replicar os movimentos do olho e da pálpebra saudável.

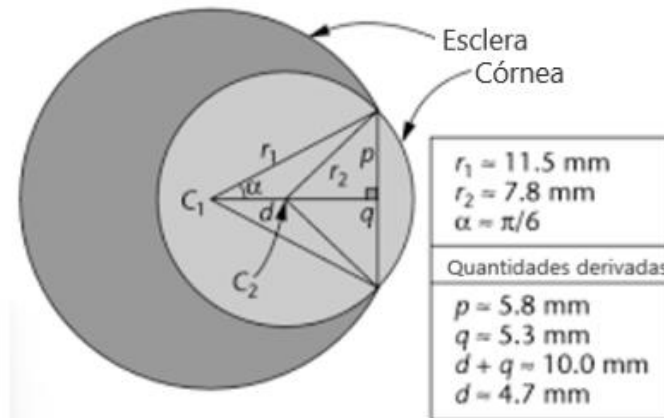
3.2 Definição dos requerimentos

O primeiro requisito que dá origem à solução é um elemento que incorpore movimento às próteses convencionais. Para esse elemento, foi proposto um componente mecânico com a capacidade de emular os movimentos oculopalpebrales, de acordo com as características anatómicas da região.

Esses movimentos estão definidos pelas características fisiológicas próprias do olho: por um lado, o globo ocular pode girar até 60° nas laterais, e 30° e 20° para cima e para embaixo respectivamente, com uma velocidade de 400° por segundo (Pateromichelakis *et al.*, 2014); por outro lado, a pálpebra pisca aproximadamente cada 5 segundos por entre 300ms e 400ms (Cardona *et al.*, 2011).

O globo ocular não é uma esfera perfeita, mas uma anatomia complexa composta por a esclera, íris, pupila, etc. Porém, existem parâmetros típicos que modelam a forma do olho humano (Forrester *et al.*, 2001), apresentadas na figura 3; descrito por duas esferas: uma maior, representando a esclera e outra menor representando a córnea.

Figura 3. Parâmetros Geométricos Ideais do Olho humano



Fonte: Adaptado de Forrester *et al.*, 2001

Além disso, já que o uso está previsto em próteses orbito faciais, deve ter um tamanho reduzido para poder se encaixar nas cavidades existentes. Segundo as informações brindadas pelo Instituto Mais Identidade, pode-se considerar uma referência de 5cm x 5cm x 5cm.

O segundo requerimento é identificar os movimentos descritos anteriormente, tomando em consideração o tempo em que eles devem ser detectados e a precisão na detecção. Nesse sentido, o tempo de processamento tem um máximo de aproximadamente 150 ms, baseado no tempo do piscar das pessoas e no Teorema da amostragem de *Nyquist–Shannon*; porém, quanto menor seja o tempo em que for executado, mais natural será o movimento final. Da mesma forma, o grau de erro no rastreamento ocular, assim como na identificação do piscar, dever ser mínima para aumentar efetivamente o mimetismo.

Em sequência do item anterior, o terceiro requisito é um sensor que decte os movimentos do olho saudável, acompanhado de um suporte que permita, tanto ocultar ele, quanto permitir o correto funcionamento. Essencialmente o aparelho deve ser discreto, pois busca dar um aspecto natural ao ser utilizado.

O quarto requisito, será uma etapa de calibração; esta etapa visa otimizar o sistema para cada usuário. Devido aos requerimentos do algoritmo é natural que a robustez na identificação seja sacrificada, com o fim de ter uma alta eficiência

computacional. Então, já que cada pessoa possui características levemente diferentes umas das outras, pode afetar negativamente a identificação.

Finalmente, o quinto requisito, para que o artefato atinja um estágio de MVP (*Minimum Viable Product*), ele deve ser uma solução embarcada. Ou seja, cada parte do sistema deve funcionar em conjunto e montada em uma placa que permita realizar as funções expostas anteriormente.

De acordo com o descrito, a proposta foi dividida em 5 componentes principais, que foram objeto de desenvolvimento e avaliação neste trabalho. Os componentes são:

- Mecanismo ocular
- Algoritmo de processamento
- Sensor e suporte
- Protocolo de calibração
- Sistema embarcado

O design e os resultados serão focados no desenvolvimento desses itens, que compõem integralmente o sistema. Em cada iteração, de acordo com os resultados da anterior, serão feitas alterações em um ou mais itens.

3.3 Design e desenvolvimento

3.3.1 Primeira iteração

Para o elemento que incorpore movimento na prótese, foi proposto um mecanismo eletromecânico. Ele foi composto por um modelo que emule a anatomia do olho; dois sub-microservomotores que se encarregam dos movimentos propriamente ditos (movimento angular e piscar) e o controle desses movimentos; e um transmissor de movimento.

Em relação ao modelo, foi projetado em um *software* CAD paramétrico para cumprir com as dimensões exigidas e ter um controle das futuras versões.

Para que o sensor adquira os sinais oculares, embora existam diferentes alternativas que possam captar impulsos elétricos, como eletromiografia ou eletro-

oculograma, essas alternativas requerem contato com a pele e seria muito visível; por esse motivo optou-se pela utilização de câmeras. A câmera deve ter pelo menos um *framerate* de 7fps para que a atualização de fotogramas seja mais rápida que o tempo mínimo requerido.

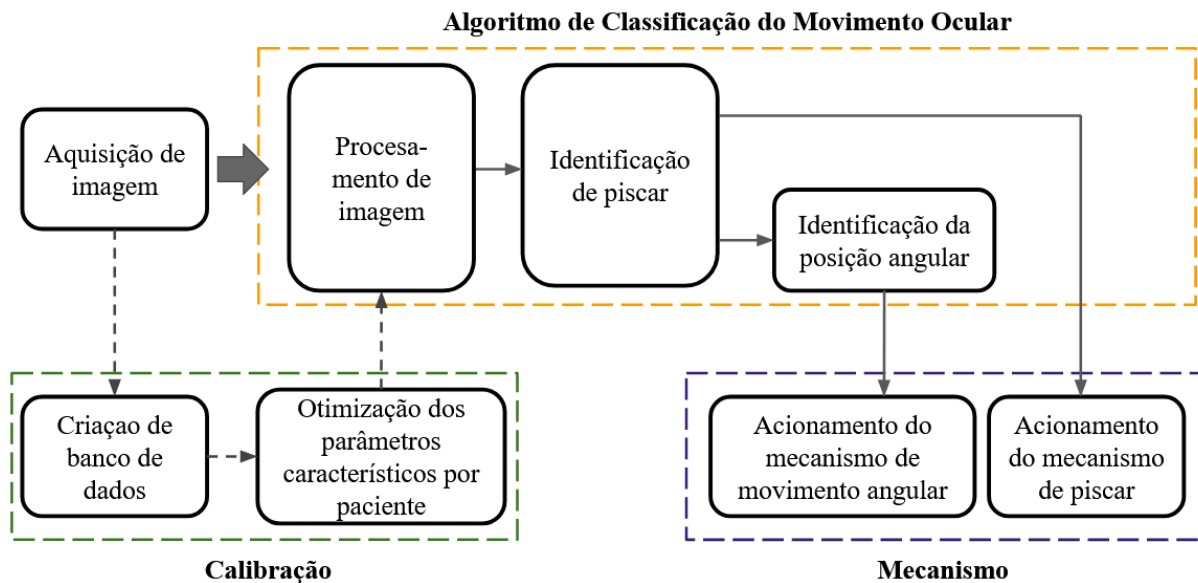
Em relação à estrutura de suporte, que fixe o foco da câmera permanentemente no olho do usuário, foi aproveitado que no processo tradicional de reabilitação com próteses faciais são entregues óculos, onde as câmeras foram acopladas.

Já que os sinais adquiridos do olho foram fotogramas, o algoritmo foi baseado em processamento de imagens utilizando morfologia matemática, por ser uma alternativa de baixo custo computacional. Porém, a boa eficiência computacional vem a partir de um processamento não tão robusto como outras opções; por esse motivo, uma calibração manual foi proposta para melhorar o desempenho em cada pessoa.

A solução foi integrada em uma placa de desenvolvimento para conseguir interconectar todas as partes do sistema. A placa de desenvolvimento escolhida foi uma SBG para oferecer tanto a conexão dos periféricos, quanto a capacidade de processamento necessária.

Já com os componentes propostos, pode-se desenhar um fluxograma, mostrado na Figura 4, que recopila os componentes da proposta e os une em um único processo. A operação será iniciada com uma primeira aquisição de imagens para criar um banco de dados de cada paciente que ajudará para o processo de calibração, por uma única vez. O funcionamento regular do sistema, começa adquirindo a imagem do olho por meio da câmera e processado no algoritmo de classificação do movimento. Finalmente enviando um sinal ao mecanismo, dependendo de o movimento identificação for piscar ou movimento angular. Enquanto o mecanismo estiver fazendo o movimento, um próximo fotograma já é adquirido e processado pelo algoritmo; esse processo se executa continuamente durante o funcionamento do sistema.

Figura 4. Fluxograma da proposta



3.3.2 Segunda iteração

Os atuadores do mecanismo foram otimizados para usar de forma mais eficiente o espaço disponível. Já que os servomotores são essencialmente motores com um *chip* encarregado do controle e um sistema de engrenagens, ele pode ser adaptado com uma estrutura mais específica em relação a aplicação específica.

Também com foco na adaptação, a estrutura dos óculos, já com as medidas definidas, foi reduzida. Dessa forma busca-se manter solo os componentes necessários para o funcionamento. Além disso, já que cada pessoa tem estruturas anatômicas levemente diferentes, foi adicionado um elemento de ajuste no ângulo de foco da câmera.

3.3.3 Terceira iteração

O princípio de funcionamento do mecanismo foi mudado de uma base eletromecânica por uma eletromagnética. Com o fim de diminuir o barulho e vibração criadas pelas engrenagens e motores, decidiu-se utilizar eletroímãs e ímãs permanentes para executar o movimento.

Os óculos que funcionam de suporte para os sensores, também foram customizados para uma adaptação ideal do foco no olho. Aproveitando o fluxo de trabalho digital realizado pelo Instituto Mais Identidade, a face dos pacientes está digitalizada o que permite uma adaptação mais precisa da estrutura.

Enfatizando a adaptação também foi proposto um processo de calibração automática, utilizando um algoritmo baseado em inteligência artificial para estabelecer um padrão ideal de identificação e um algoritmo de otimização no processamento de imagens usando morfologia matemática. O algoritmo usado anteriormente também foi otimizado, reduzindo as dimensões da imagem adquirida, tanto para melhorar a velocidade do processamento, quanto para permitir a futura adaptação do sistema com um sensor óptico de dimensões menores.

3.4 Demonstração do artefato

Para cada parte do sistema, foram realizados testes que permitiram ter uma visão clara do funcionamento correto em cada uma das funções específicas.

No caso do mecanismo, foram testadas as dimensões no eixo X, Y e Z; assim como também foi calculado o volume total de acordo com a estrutura. Da mesma forma foi medida a velocidade angular que o mecanismo alcançou.

No caso dos suportes dos sensores, foi verificado que consiga focar integralmente o olho, tanto os cantos laterais, quanto as pálpebras; levando em consideração que ele deve ocupar o espaço máximo na janela.

No caso do algoritmo de processamento, foram testadas a velocidade de execução do processo total e a precisão na classificação do piscar e movimentos angulares, com a precisão na posição deles.

Finalmente, no caso da calibração, foi testado tanto a precisão do algoritmo de inteligência artificial para gerar as imagens padrão, quanto a capacidade do algoritmo de otimização do processamento utilizando morfologia matemática para chegar a uma solução ótima.

3.5 Avaliação do artefato

Por outro lado, a avaliação final da proposta será feita por especialistas da área de informática e de reabilitação bucomaxilofacial da odontologia, portanto não será testada diretamente em paciente.

Para obter a validação e feedback necessários, foi elaborado um questionário que busca avaliar as diferentes dimensões relevantes do projeto. O questionário foi entregue a um dos responsáveis pela produção de próteses, especialista em reabilitação bucomaxilofacial, no Instituto Mais Identidade. Em relação ao protocolo de resolução do questionário, primeiro os resultados da pesquisa foram integralmente apresentados e depois as perguntas foram formuladas. Foi solicitado responder em uma escala de cumprimento de 1 a 5, onde 1 indica que os requisitos não foram atendidos e 5 indica que os requisitos foram completamente atendidos; além disso, foi solicitado justificar a resposta em cada item. O questionário foi o seguinte:

1. A solução atingiu o objetivo em termos de tamanho do mecanismo?
2. A solução atingiu o objetivo em termos de movimento?
3. A solução atingiu o objetivo com a velocidade (latência) de funcionamento?
4. A solução atingiu o objetivo em termos de portabilidade?
5. A solução atingiu o objetivo em termos de autonomia?
6. Você acha viável adaptar a solução em um espaço protético?
7. Na sua opinião, qual a relevância deste projeto?

Nesse sentido, a pergunta 1 e 2 correspondem ao item mecanismo; a pergunta 3 corresponde ao item algoritmo; a pergunta 4 e 5 correspondem ao item sistema embarcado; finalmente, as perguntas 6 e 7 correspondem à solução integral.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

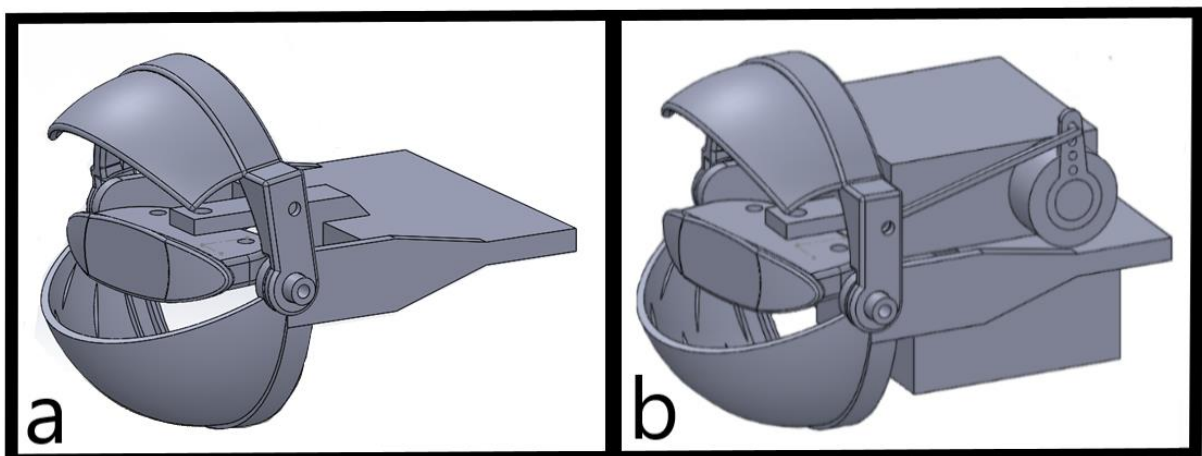
4.1 Iteração 1

4.1.1 Mecanismo ocular

A modelagem do protótipo 3D foi feita a partir de um modelo de código aberto (Teyssier et al, 2021) que reproduz a forma e todos os movimentos da reigão ocular. Em esse modelo foram feitas simplificações para manter apenas o movimento do globo ocular e o piscar. Para modelar as peças foi usado o *software CAD solidworks* (*Solidworks Premium 2020 SP0.0*) para ter controle das versões futuras.

O mecanismo possui principalmente 3 elementos: a pálpebra inferior, que serve como ponto de apoio para os servomotores; a pálpebra superior ou arco palpebral, parte móvel encarregada do piscar e a peça que emular o globo ocular, parte móvel encarregada do movimento angular. Todas as peças foram feitas levando em consideração o acoplamento com os elementos protéticos. O resultado da modelagem é apresentado na Figura 5.

Figura 5. Mecanismo do olho a) sem motores b) com motores



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

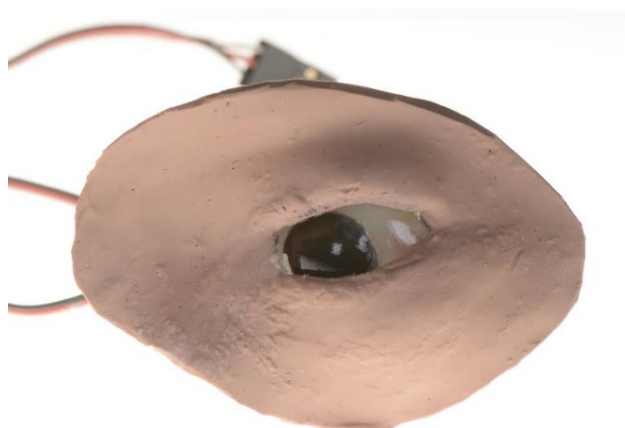
As dimensões finais do mecanismo são 4cm de profundidade, 4cm de altura e 3,5 de largura. Para a fabricação, seguindo uma metodologia de prototipagem rápida,

optou-se pela utilização da tecnologia SLA para impressão 3D pela resolução necessária.

Os movimentos são executados por sub-micro servomotores (Feetech FS0403), representados na Figura 4b, com as seguintes características: 20.0mm de profundidade, 8.3mm de altura e 19.3 mm de largura; peso de 6 gramas, torque de 0.7 kg-cm e velocidade angular de 615°/s. No acoplamento, a velocidade angular da peça ocular foi de 645°/s.

Após a impressão do modelo, foram fixadas todas as peças, a fim de simular a aparência final. Os servos motores foram colados na parte de cima e o outro em baixo; o silicone de grau médico, que simula a pele, foi colado na pálpebra superior e inferior; e a prótese ocular foi colada no elemento que faz o movimento angular. Todas as uniões foram feitas por meio de cola à base de ciano acrilato e o resultado desse processo é mostrado na Figura 6.

Figura 6 Protótipo de prótese móvel



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.1.2 Sensor e suporte

Para o sensor óptico foi usada a modulo de câmera IMX219, com um *framerate* de 90fps a uma resolução de 640x480. A placa da câmera tem dimensões de 25x24x6 mm permitindo o uso na etapa do protótipo. A câmera é apresentada na Figura 7.

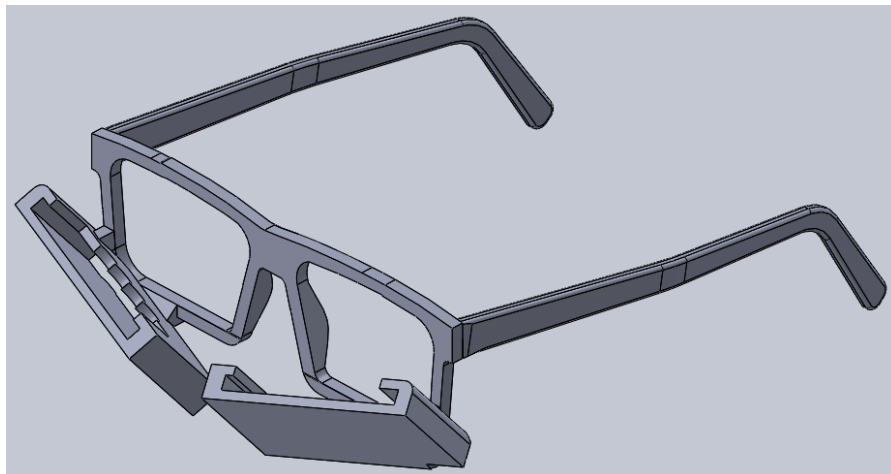
Figura 7 Câmera IMX219-77



Fonte: Adaptado de *WaveShare*, 2024

Para o suporte, onde será acoplada a câmera, foi feito um modelo de óculos, apresentado na Figura 8, utilizando o *software Solidworks* para fazer um seguimento nas versões futuras. No modelo, além da estrutura regular dos óculos, foram colocados 2 suportes para montar a câmera, um de cada lado. Esse suporte tem 4 *slots* para regular a área que a câmera vai focar.

Figura 8 Protótipo de suporte dos sensores I

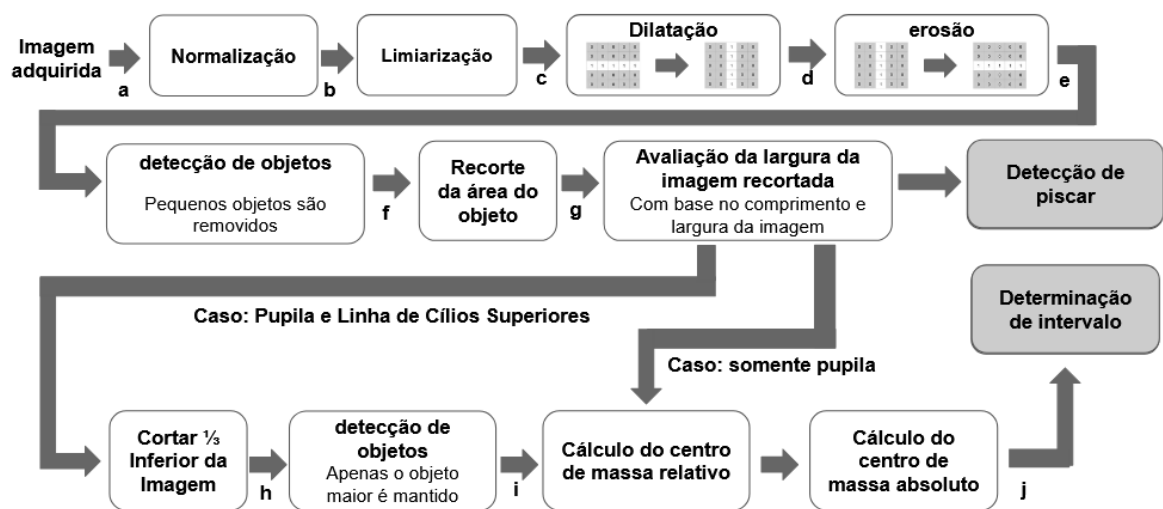


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.1.3 Algoritmo de processamento

O algoritmo de processamento de imagens foi feito com uma primeira fase de condicionamento para passar a uma segunda fase de morfologia matemática, onde são executadas operações morfológicas na imagem. O fluxo do algoritmo é apresentado na figura 9.

Figura 9 Fluxograma do algoritmo I.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O processamento começa adquirindo a imagem do sensor em formato de escala de cinzas e normalizando ela, ou seja, ajustando os valores ao intervalo completo de 0 a 255, para diminuir a variação de iluminação nos diferentes fotogramas.

Depois, foi feita uma limiarização no intervalo de 2 valores, deixando uma imagem binária na que foram aplicadas as operações morfológicas. Utilizando dois elementos estruturantes de 5x5, um deles focado na vertical e o outro na horizontal, foram feitas dilatações sucessivas, para unir os pontos e um objeto só, e depois uma erosão, para retornar ao tamanho original e apagando parte dos ruído ou objetos não desejados.

Após, realizadas as operações, o objeto maior é mantido e dependendo das dimensões, ele é classificado como um piscar se olho estiver fechado; se não, ele é levado na seguinte fase do processamento.

Dependendo da altura de imagem, ela cortada para manter a terceira parte inferior; ou passar diretamente para a última fase. Com a imagem final, é calculado um centro de massa relativo ao objeto e ajustado para obter a posição na imagem do centro de massa, e com isso finalmente obter a posição.

$$N_{x,y} = \frac{O_{x,y} - O_{min}}{O_{max} - O_{min}} * (N_{max} - N_{min}) + N_{min} \quad (1)$$

O: imagem original

N: imagem normalizada

$$I_{x,y} = \begin{cases} I > T_1; & I = 0 \\ T_1 \geq I \geq T_2; & I = 255 \\ I > T_2; & I = 0 \end{cases} \quad (2)$$

I: intensidade

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (3)$$

A: Imagem

B: elemento estruturante

z: pixel na imagem

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \cap A^c \neq 0\} \quad (4)$$

A: Objeto

B: elemento estruturante

z: pixel na imagem

Embora, o algoritmo consiga identificar a posição exata da pupila, para manter a estabilidade da posição do mecanismo, foram estabelecidos 5 intervalos de movimento: direita, levemente a direita, centro, levemente a esquerda e esquerda. O

processo de calibração foi feito manualmente, ajustando os valores de cada fase do algoritmo para melhorar o desempenho em cada pessoa. Com o algoritmo finalizado forma feitos os testes de precisão e tempo.

Utilizando o algoritmo em diferentes pessoas e diferentes condições de iluminação foi obtida uma precisão do 96.55% na classificação no piscar e 94.87% na posição da pupila, com uma velocidade de 16.4 segundos para identificar o piscar e 24.6 em calcular a posição, dando assim um total de 41ms na execução integral do algoritmo.

4.1.4 Sistema embarcado

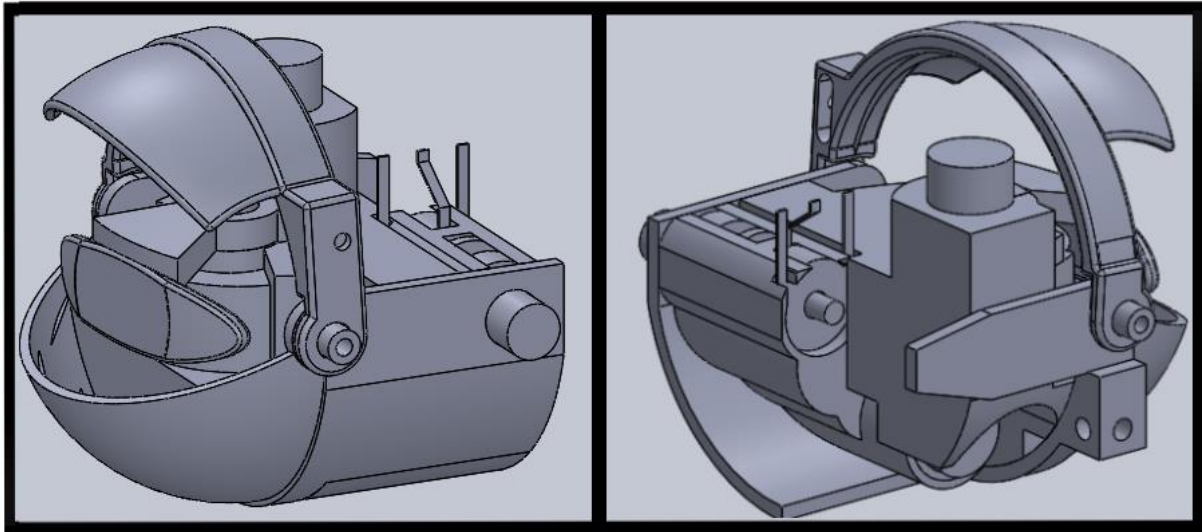
Para unificar os componentes do projeto, foi utilizada a placa de desenvolvimento *Jetson Nano* que oferece os protocolos necessários para a comunicação de todos os componentes e uma alta capacidade de processamento por uma GPU 128-core *NVIDIA Maxwell™ GPU* integrada. Energizando a placa de desenvolvimento, se conseguiu uma autonomia de 135 minutos; a medição foi feita sem considerar os motores, já que o tempo de uso não e fixo. O resultado integral do proceso de produção do projeto na primeira iteração foi publicado como um artigo científico (Binasco *et al.*, 2024)

4.2 Iteração 2

4.2.1 Mecanismo ocular

O elemento de atuação do mecanismo são os sub-micro servomotres, visto na Figura 5b. Eles são compostos por um motor DC, um *chip* que tem o sistema de controle, e um potenciômetro para obter a sinal interpretada como posição. Esses 3 componentes foram reorganizados para essa aplicação específica, com o fim de otimizar o espaço. O mecanismo otimizado deu como resultado dimensões de 3cm x 3cm x 3.5 cm, reduzindo em 45,75% o volume inicial. O resultado da modelagem e apresentada na Figura 10.

Figura 10 Mecanismo do olho otimizado



Fonte. Elaborado pelo autor (2023)

Além disso, foi feita uma simulação para fazer uma primeira avaliação do tamanho do mecanismo em relação ao modelo de defeito facial. A comparação é apresentada na Figura 11. Assim, a nova estruturação pode ser feita a partir do modelo digital, garantindo que a disposição das peças seja ótima.

Figura 11 Simulação de encaixe do mecanismo

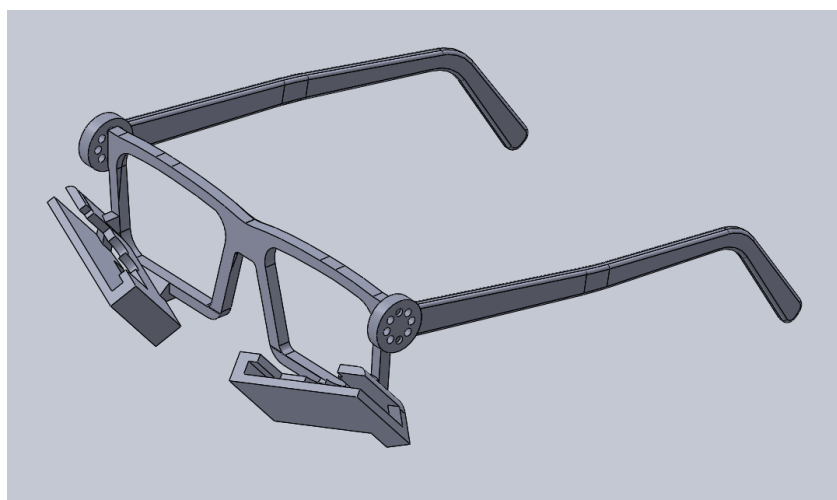


Fonte: Acervo Instituto Mais Identidade (2024)

4.2.2 Sensor e suporte

No modelo dos óculos foi adicionado um elemento de rotação entre as hastes e o elemento frontal para facilitar o ajuste do campo de visão da câmera, esse elemento permite rotar em 30° a parte frontal onde estão localizados os suportes. Os óculos são apresentados na Figura 12.

Figura 12 Protótipo de suporte de sensores II



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

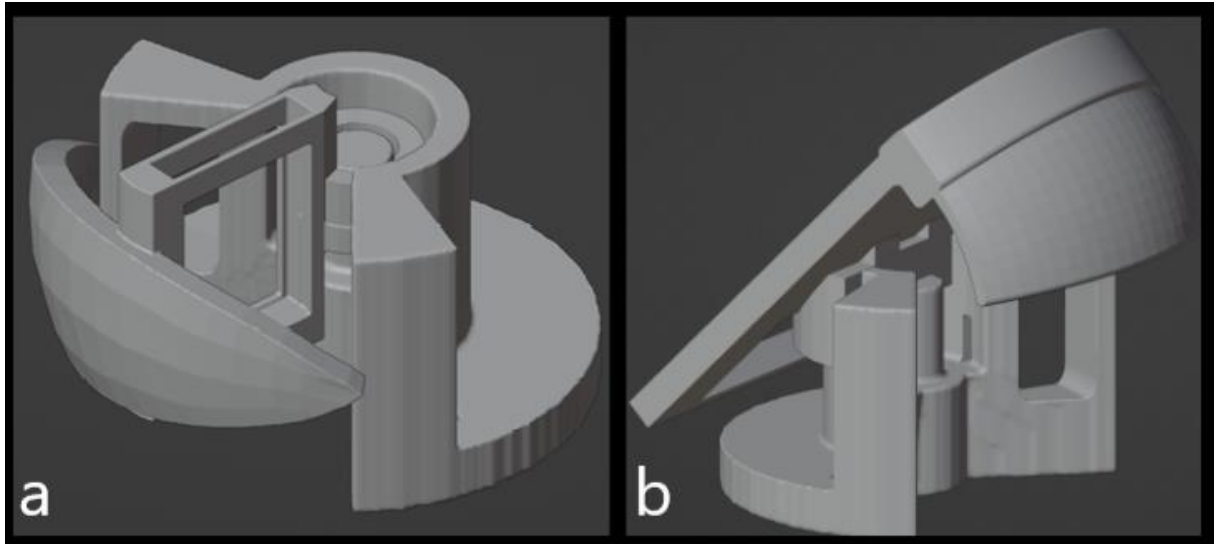
4.3 Iteração 3

4.3.1 Mecanismo ocular

Na terceira versão, deixaram-se de usar os servomotores, mudando o princípio do movimento ao eletromagnetismo. Para isso, foram feitos 3 eletroímãs, com fio de cobre esmaltado AWG35, eles são bobinas sem núcleo, com 600 espiras distribuídas ao longo do raio de 4 mm e profundidade de 9 mm. O mecanismo se apresenta na Figura 13. O movimento foi reduzido para 3 opções: direita, centro e esquerda. A decisão está fundamentada em que devido aos componentes e a natureza do eletromagnetismo o controle exato da posição seria muito complexo; e que no processo de reabilitação do Instituto Mais Identidade, os pacientes são ensinados a focar o movimento na cabeça e não nos olhos, tornando assim as posições mais externas praticamente não utilizadas.

A modelagem do mecanismo foi feita no *software* de modelagem 3d *Blender* (*Blender* 3.6.4), acompanhar o processo de *design* das peças com o modelo digital do defeito do paciente e criar uma solução mais customizada.

Figura 13 Mecanismo eletromagnético do olho



Fonte. Elaborado pelo autor (2024)

O mecanismo proposto permite movimentar a peça 40° para cada lado. A amplitude do movimento foi reduzida para fazer uma média dos movimentos anteriores e para evitar o decaimento do campo eletromagnético. Com o movimento eletromagnético conseguiu-se uma velocidade angular de $460^\circ/\text{s}$. Na Figura 13a, se apresentam as partes que realizam o movimento angular do olho, enquanto na Figura 13b a parte que cumpre a função de pálpebra. As duas partes moveis tem espaços onde serão colocados os ímãs permanentes, afastados um do outro para evitar a interação magnética; e ao lado, serão colocados os eletroímãs, para maximizar a interação magnética. Especificamente na parte encarregada de realizar o piscar, o movimento de fechar a pálpebra será feito com a interação eletromagnética; porém, o movimento de abrir a pálpebra de novo, será realizado por tração do silicone de grau médico, de forma similar como a apresentada na Figura 6.

4.3.2 Sensor e suporte

Na fabricação dos óculos, embora foi conseguida uma capacidade de adaptação, não era uma solução a medida e ainda apresentava erros na área de foco da câmera. Então, aproveitando o fluxo digital já usado pelo Instituto Mais Identidade, foi usado um modelo digital da face da pessoa, para projetar com precisão a área de foco da câmera, apresentado na Figura 14. Sabendo que a câmera tem um FOV de 77° na diagonal e uma proporção de tela de 1:33, pode-se saber a área física que a câmera focaria e ajustar a posição dos suportes em relação a essa informação.

Figura 14 Customização dos óculos



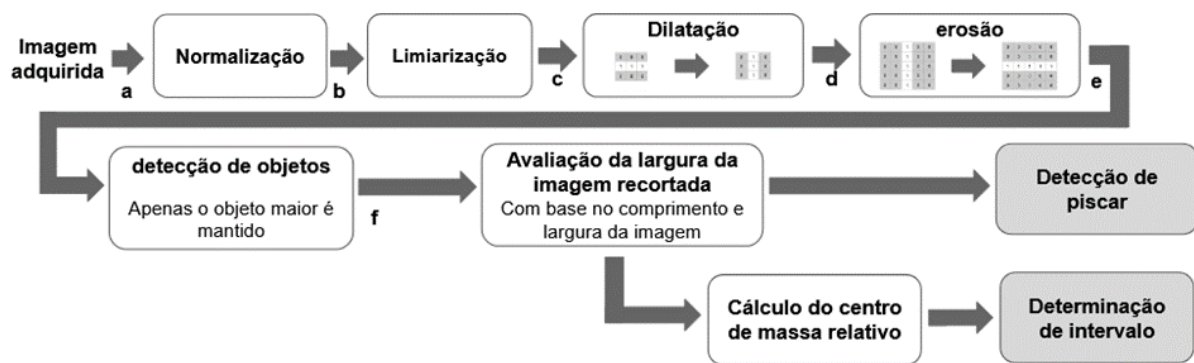
Fonte. Elaborado pelo autor (2024)

4.3.3 Algoritmo de processamento

O algoritmo proposto anteriormente foi modificado de acordo com o resto das modificações feitas no projeto. Já que a precisão necessária é menor, por conta das

posições possíveis no mecanismo, a resolução usada nas imagens processadas foi reduzida, ficando uma imagem de 64x64 pixels. Desta forma, foi melhorada a eficiência computacional, permitindo um processamento ainda mais rápido e deixando as imagens em um formato mais adaptável para uma futura miniaturização dos sensores óticos. Além, da redução das dimensões da imagem, o algoritmo também foi simplificado, mantendo só as partes essenciais. O fluxograma é apresentado na Figura 15. A redução na robustez é compensada com um processo de calibração mais exaustivo.

Figura 15 Fluxograma do algoritmo II



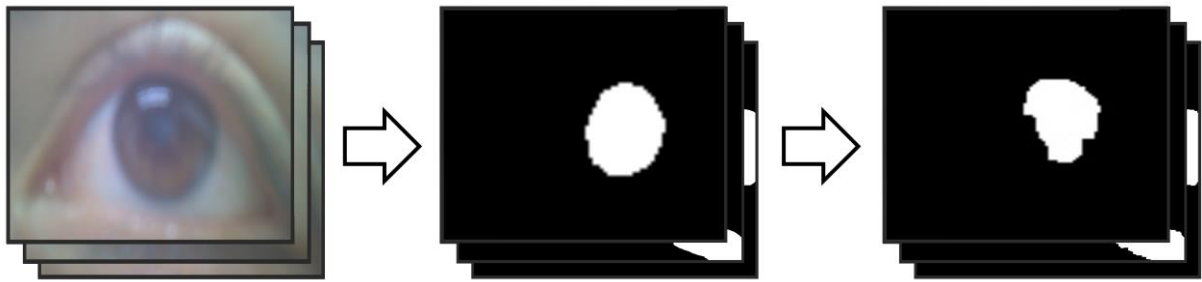
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O desempenho do algoritmo não teve uma variação significativa como proposto anteriormente. Os resultados dos testes, fazendo a mudança com respeito as 3 posições, foi conseguido uma precisão de 97.8% na classificação do piscar e de 95.7% na identificação da posição, com um tempo de execução total de de 30ms.

4.3.4 Protocolo de calibração

A calibração foi substituída por um processo automático para não envolver intervenção humana e obter uma solução ótima ao ajuste das variáveis. A sequencia começa gerando um banco de imagens de cada pessoa, com a pessoas usando os óculos e salvando os frames, enquanto a pessoa estiver seguindo olhando gradualmente para todas direções: depois o banco de dados e processado em um algoritmo baseado em inteligência artificial que possa gerar imagens segmentadas de cada paciente com alta precisão: finalmente, com as imagens de referência criadas, o algoritmo clássico de morfologia matemática é otimizado por meio do algoritmo de *Hill Climbing* de otimização. A sequência se apresenta na Figura 16.

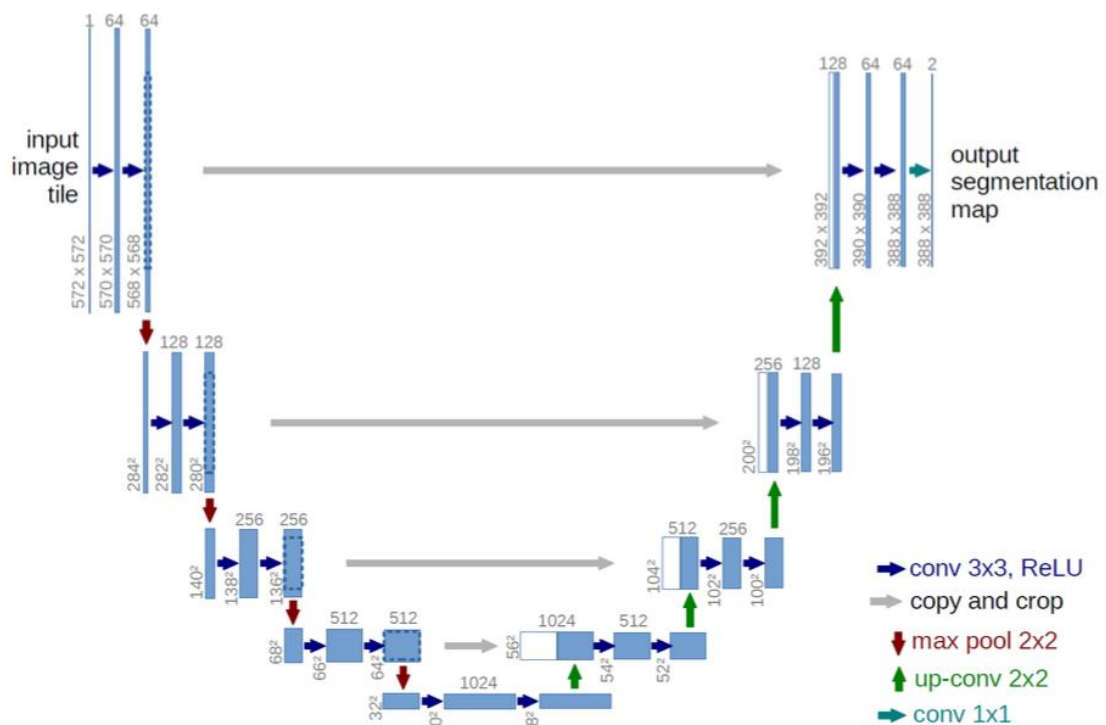
Figura 16 Sequência de calibração



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

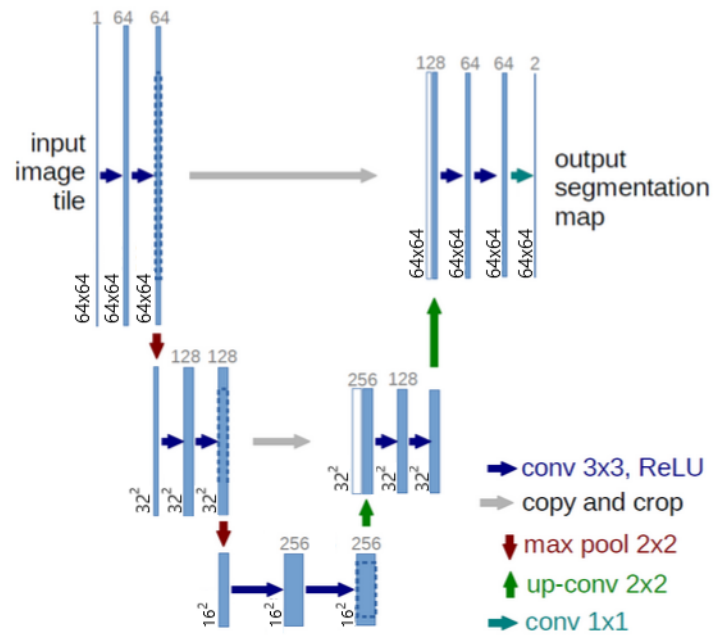
O algoritmo de segmentação de imagens foi desenvolvido usando a arquitetura modificada da U-net, uma rede neural convolucional (RONNEBERGER; FISCHER; BROX, 2015). Já que originalmente a U-net foi criada para imagens de 512x512 e para esta fase do projeto foram usadas imagens de 64x64, a profundidade a rede foi diminuída na metade, porque em cada camada as dimensões de cada imagem são reduzidas, e isso iria trazer um erro dando muita relevância em detalhes pouco relevantes ou difusos. A estrutura da rede e apresentada na Figura 17 e 18.

Figura 17 Arquitetura original da U-net



Fonte: Adaptado de Ronneberger, 2015

Figura 18 Arquitetura reduzida da U-net



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para o processo de treinamento foram utilizadas 1313 imagens de pessoas com diferentes traços físicos, que divididas em um 80% para treinamento propriamente dito e 20% para testar. Cada uma delas foi segmentada manualmente para este processo. Os hiper parâmetros utilizados foram o otimizador *Adam*, com um *ratio* de aprendizado de 0.0001 e a métrica de perda de entropia cruzada binária. Finalmente, foi utilizado o *data augmentation* para compensar o tamanho do banco de imagens, já que o *batch size* foi de 2, se utilizaram 525 passos por época em 5 épocas, para não criar imagens repetidas.

A acurácia após o processo de treinamento foi de 98.05% e um valor de perda de 0.0501. Com as imagens não utilizadas no processo de treinamento foi testado utilizando a métrica IoU (*Interseccion over Union*) com as imagens segmentadas manualmente, dando como resultado uma acuracia de 80.7%

Com o banco de imagens segmentadas geradas com o mesmo formato do algoritmo de morfologia matemática, elas são utilizadas para o novo treinamento. Já que esta fase da calibração é para cada pessoa, neste caso particular, não tem o problema de preconceito por treinar demais, já que o banco de dados inclui praticamente todas as opções possíveis.

Os parâmetros modificáveis do algoritmo são: o canal de cores que será usado, o limite inferior e superior da limiarização: e as iterações da dilatação e erosão. Em um primeiro momento são colocados valores já definidos que permitem ao algoritmo estar em uma região funcional de soluções. Depois, todo o banco de dados original processado pelo algoritmo e comparando imagem por imagem com banco de dados gerado da fase anterior, que teoricamente é o ideal, usando a métrica do IoU. Quando todo o banco de dados for comparado e se tenha uma métrica de acurácia, o algoritmo faz a mesma comparação utilizando valores diferentes com uma variação de um passo em cada direção. Ou seja, o primeiro parâmetro muda positiva e negativamente e o resto fica igual, gerando duas possibilidades; esse processo é feito com cada variável e baseado na acurácia a melhor solução é substituída. Esse processo é feito até o algoritmo chegar a uma solução ideal. O valor do IoU na otimização foi de 59.4%

4.4 Avaliação da do artefato.

Baseado no questionário anteriormente formulado, se obtiveram as seguintes respostas.

- 1) A solução atingiu o objetivo em termos de tamanho do mecanismo?
5. Com base nas cavidades de um paciente real, o dispositivo foi projetado respeitando os limites anatômicos e o objetivo de reduzir o tamanho e adaptar o mecanismo à cavidade do paciente foi alcançado
- 2) A solução atingiu o objetivo em termos de movimento?
5. Sim, para um projeto sem precedentes, qualquer movimento gera uma projeção favorável.
- 3) A solução atingiu o objetivo com a velocidade (latência) de funcionamento?
4. O padrão desejado foi mantido.
- 4) A solução atingiu o objetivo com a portabilidade?
4. Sim, porque o computador utilizado possui dimensões portáteis para o paciente.
- 5) A solução atingiu o objetivo com o tempo de autonomia?
4. Sim, é suficiente para que o paciente possa se expor em uma atividade. Qualquer aumento de tempo será favorável. De qualquer forma, não há um padrão mínimo de tempo.

6) Você acha viável adaptar a solução em um espaço protético?

4. Sim, para aqueles pacientes que tenham sequelas similares às do paciente modelo, sim. E existe um desafio futuro para aqueles pacientes de cavidades menores, as fases laboratoriais têm sido bem-sucedidas.

7) Na sua opinião, qual a relevância deste projeto?

Do mais alto nível, inovação de um nível disruptivo como linha de pesquisa para a solução, não só protética, mas sim da qualidade de vida dos pacientes oncológicos. Mas a pesquisa deve ser desenvolvida ao longo do tempo, com equipes internacionais para atingir os objetivos de levar a solução à clínica.

CAPÍTULO V

5 Considerações finais

Como foi apresentado na revisão bibliográfica, foram várias as tentativas feitas no passado para resolver o problema de falta de mobilidade em próteses faciais; porém, elas cumpriam parcialmente com os requerimentos identificados no projeto. Elas eram focadas principalmente no piscar, mas como foi descoberto no processo experimental, o uso de motores inviabiliza a proposta. Outro problema identificado em propostas anteriores, foi a falta de realismo pela tecnologia utilizada, mas este projeto foi desenvolvido da mão de expertos na fabricação de próteses faciais, ajudando e avaliando esses pontos.

O projeto resolveu integralmente o problema, dando uma solução para cada objetivo específico identificado na dissertação. O mecanismo permite, incorporar os movimentos aos elementos tradicionais nas próteses faciais, não perdendo a realidade que as caracteriza e retornando a estrutura anatômica dinâmica. A velocidade de movimento do mecanismo ocular é semelhante à velocidade dos movimentos reais típicos de uma pessoa. O sensor permite uma identificação integral da região ocular, permitindo identificar os movimentos feitos; porém, não todos são reproduzíveis no mecanismo proposto. O suporte, foi completamente customizado, com apoio do fluxo digital já existente de fabricação de próteses faciais, permitindo também fazer qualquer customização necessária ao ter a face do paciente digitalizado. O algoritmo tem uma precisão e velocidade aceitáveis, permitindo uma operação em tempo real pelo baixo tempo de execução. Ele é otimizado com um sistema baseado em inteligência artificial sem necessidade da intervenção humana, melhorando o desempenho da solução computacional. Finalmente com todos os objetivos operativos, o sistema tem a capacidade de funcionar em conjunto como uma solução final.

Apesar de ter cumprido com os objetivos da pesquisa, novas considerações surgiram ao longo do projeto. Embora o mecanismo resolveu os problemas de vibração e barulho, o movimento dele perde precisão pela complexidade da modelagem matemática do campo eletromagnético; um sistema de controle e uma otimização na disposição dos elementos é um ponto relevante. A câmera utilizada tem capacidades técnicas muito boas, mas em uma solução final ela deveria ser de um

tamanho menor; aliás, por esse motivo, o algoritmo foi dimensionalmente reduzido, facilitando a futura integração de outro sensor ótico. A autonomia do sistema foi testada em componentes independentes, mas como o produto ainda não foi utilizado em uma situação real, são assuntos a levar em consideração para o andamento do projeto. Finalmente, o artefato foi validado em base aos dados do defeito de um paciente, mas todas as cavidades não têm essa anatomia, e muito menos esse volume. Porém o sistema não seja aplicável em todos os casos, existem nos quais o **projeta** terá um impacto enorme.

Porém, futuras pesquisas são necessárias para aperfeiçoar o sistema. No item do mecanismo, é necessário levar a versão de prototipagem rápida para uma versão final. Nesse sentido, deve ser escolhido um material não ferromagnético com propriedades mecânicas como baixo coeficiente de atrito e a partir daí, projetar o processo de fabricação. Além disso, é necessária uma otimização do mecanismo eletromagnético, não só em termos de estrutura ou posição dos componentes, mas também de um sistema de controle mais robusto. No item do algoritmo, é conveniente fazer uma melhoria constante na inteligência artificial que cria a referência, aumentando gradualmente o banco de dados usado para o treinamento. No item do sensor e suporte, é necessário, por um lado, utilizar um sensor óptico de dimensões menores, já que o sistema está preparado para isso; e por outro lado, adaptar o suporte do sensor em relação a essa mudança, além de levar a versão atual com foco na prototipagem rápida, a uma versão final. Finalmente, como última fase, no item do sistema embarcado, as partes devem ser integradas e reduzir a placa de desenvolvimento para que seja um sistema embarcado só com funções dedicadas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRIDIS, E. Facial prosthesis with synchronously movable artificial upper eyelid. **Orbit**, v. 3, n. 1, p. 55-58, 1984.

ALGHAZZAWI, Tariq F. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. **Journal of prosthodontic research**, v. 60, n. 2, p. 72-84, 2016.

ALOM, Md Zahangir et al. A state-of-the-art survey on deep learning theory and architectures. **electronics**, v. 8, n. 3, p. 292, 2019.

BARBOSA, José de Paula et al. Analysis of the mortality by eye cancer from 2010 to 2019 in Brazil. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, v. 81, p. e0066, 2022.

BARRANCO, Teresa; ÓSCAR HERNÁNDEZ-MUÑOZ. Evolución de procesos técnicos en la creación escultórica de ojos hiperrealistas: desde las técnicas tradicionales hasta la creación digital. **tercio creciente**, v. 23, n. 23, p. 47-69, 2023.

BEN, G. J. et al. Orbital exenteration: One size does not fit all. **American Journal of Ophthalmology**, v. 139, n. 1, p. 11-17, 1 jan. 2005.

BINASCO, S. et al. Tecnologias de fabricação aplicadas a um protótipo de prótese óculo-palpebral móvel. **Anais ... Encontro Nacional de Engenharia de Produção/Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 27 out. 2023.

BULBULIAN, Arthur H. Maxillofacial prosthetics: Evolution and practical application in patient rehabilitation. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 15, n. 3, p. 554-569, 1965.

BVS MS. 27/7 - Dia Mundial De Conscientização E Combate Ao Câncer De Cabeça E Pescoço | Biblioteca Virtual Em Saúde MS. Disponível em: <<https://bvsmms.saude.gov.br/27-7-dia-mundial-de-conscientizacao-e-combate-ao-cancer-de-cabeca-e-pescoco/>>.

CARDONA, Genís et al. Blink rate, blink amplitude, and tear film integrity during dynamic visual display terminal tasks. **Current eye research**, v. 36, n. 3, p. 190-197, 2011.

CHANG, Ting-Ling et al. Treatment satisfaction with facial prostheses. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 94, n. 3, p. 275-280, 2005.

DE CAXIAS, Fernanda Pereira et al. Classification, history, and future prospects of maxillofacial prosthesis. **International journal of dentistry**, v. 2019, n. 1, p. 8657619, 2019.

DE OLIVEIRA, Fernando Moreno et al. Quality of life assessment of patients utilizing orbital implant-supported prostheses. **Clinical implant dentistry and related research**, v. 20, n. 4, p. 438-443, 2018.

DESTRUHAUT, Florent et al. Evolution of facial prosthetics: Conceptual history and biotechnological perspectives. **International Journal of Maxillofacial Prosthetics**, v. 4, n. 1, p. 2-8, 2021. Disponível em: <<https://ij-mp.com/ojs/index.php/ijmp/article/view/28/27>>.

DE OLIVEIRA SANTOS, Marcella et al. Estimativa de incidência de câncer no Brasil, 2023-2025. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 69, n. 1, 2023.

DINGS, Jeroen PJ et al. Maxillofacial prosthetic rehabilitation: A survey on the quality of life. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 120, n. 5, p. 780-786, 2018.

FORRESTER, John V. et al. **The eye: basic sciences in practice**. Elsevier Health Sciences, 2015.

GOIATO, Marcelo Coelho et al. Patient satisfaction with maxillofacial prosthesis. Literature review. **Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery**, v. 62, n. 2, p. 175-180, 2009.

GONZALEZ, A. Morfologia: Imagenes Binarias by Alex Gonzalez - Issuu. Disponível em: <https://issuu.com/alexgonzalez482/docs/ag_1_procesamiento_de_imagenes>.

HALEEM, Abid; JAVAID, Mohd. Additive manufacturing applications in industry 4.0: a review. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 4, n. 04, p. 1930001, 2019.

HARALICK, Robert M.; STERNBERG, Stanley R.; ZHUANG, Xinhua. Image analysis using mathematical morphology. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, n. 4, p. 532-550, 1987.

HEAD and NECK CANCER—Patient Version. (s. f.). National Cancer Institute. <https://www.cancer.gov/types/head-and-neck>

HEVNER, Alan R. A three cycle view of design science research. **Scandinavian journal of information systems**, v. 19, n. 2, p. 4, 2007.

JANKIELEWICZ, Isabel. Próteses **Buco-maxilo-facial**. Quintessence, 2003.

JOHANNESSON, Paul; PERJONS, Erik. **An introduction to design science**. Cham: Springer, 2014.

KOTHARI, A. What Are the Different Types of 3D Printing? Disponível em: <<https://www.futurelearn.com/info/courses/getting-started-with-digital-manufacturing/0/steps/184102>>.

LASANCE, Clemens JM. Ten years of boundary-condition-independent compact thermal modeling of electronic parts: A review. **Heat Transfer Engineering**, v. 29, n. 2, p. 149-168, 2008.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, p. 239-242, 2014.

LI, Xin et al. Current situation and development of facial prosthesis. **Chinese Journal of Plastic and Reconstructive Surgery**, 2023.

MOROI, H. H.; OKIMOTO, K.; TERADA, Y. The effect of an oral prosthesis on the quality of life for head and neck cancer patients. **Journal of oral rehabilitation**, v. 26, n. 4, p. 265-273, 1999.

PATEROMICHELAKIS, Nikolaos et al. Head-eyes system and gaze analysis of the humanoid robot **Romeo**. 1 set. 2014.

JONEJA, O. P. et al. Orbital prostheses. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 36, n. 3, p. 306-311, 1976.

OLESEN, Daniel; JAKOBSEN, Jakob; KNUDSEN, Per. Low-cost GNSS sampler based on the BeagleBone Black SBC. In: **2016 8th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC)**. IEEE, 2016. p. 1-7.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of intelligent manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

RONNEBERGER, Olaf; FISCHER, Philipp; BROX, Thomas. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: **Medical image computing and computer-assisted**

intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18. Springer International Publishing, 2015. p. 234-241.

SRUTHY, S.; GEORGE, Sudhish N. WiFi enabled home security surveillance system using Raspberry Pi and IoT module. In: **2017 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)**. IEEE, 2017. p. 1-6.

SACHS, Emanuel et al. Three-dimensional printing: the physics and implications of additive manufacturing. **CIRP annals**, v. 42, n. 1, p. 257-260, 1993.

SALAZAR-GAMARRA, Rodrigo et al. Introdução à metodologia “Mais Identidade”: Próteses faciais 3D com a utilização de tecnologias acessíveis para pacientes sobreviventes de câncer no rosto. **Comun. Cient Técn Odontol**, v. 2, p. 251-272, 2019.

SALAZAR-GAMARRA, Rodrigo; OLIVEIRA, J. A. P.; DIB, L. L. A estética em reabilitação bucomaxilofacial. **Revista APCD de Estética**, v. 3, n. 1, p. 42-52, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/297735002_Aesthetics_in_Maxillofacial_Prosthetics

SALAZAR-GAMARRA, Rodrigo et al. Color translation from monoscopic photogrammetry+ ID Methodology into a Polyjet final 3D printed facial prosthesis. **F1000Research**, v. 11, 2022.

SALAZAR-GAMARRA, Rodrigo et al. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. **Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery**, v. 45, n. 1, p. 33, 2016.

SOBIN, L. H.; CH WITTEKIND; BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE ATENÇÃO À SAÚDE. INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. TNM: classificação de tumores malignos. Rio De Janeiro: Inca, 2004.

TANENBAUM, A. S. Sistemas operativos modernos. México: **Pearson Educacion De Mexico**, 2009.

TAO, Jeremiah P. et al. A Digital microscreen for the enhanced appearance of ocular prosthetic motility (an American ophthalmological society thesis). **American journal of ophthalmology**, v. 228, p. 35-46, 2021.

TEYSSIER, Marc et al. Eyecam: Revealing relations between humans and sensing devices through an anthropomorphic webcam. In: **Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. 2021. p. 1-13.

TVENGE, Nina; MARTINSEN, Kristian. Integration of digital learning in industry 4.0. **Procedia manufacturing**, v. 23, p. 261-266, 2018.

VIEIRA, Livia Morelli et al. Proposition of integrated electrical mechanism and facial prosthesis for eyelid motion on prosthetic oculopalpebral rehabilitation. **Biosci. j.(Online)**, p. 659-665, 2019.

VINCENT, Luc; SOILLE, Pierre. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. **IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence**, v. 13, n. 06, p. 583-598, 1991.

WANG, Kai Jie; LI, Sha Sha; WANG, Hai Yan. Psychological symptoms in anophthalmic patients wearing ocular prosthesis and related factors. **Medicine**, v. 99, n. 29, p. e21338, 2020.

WONDERGEM, Marloes et al. Patients' satisfaction with facial prostheses. **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 54, n. 4, p. 394-399, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global Cancer Observatory: Cancer Today. Disponível em: <https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-table?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&group_cancer=1&include_nmsc=0&include_nmsc_other=1>.

YARON, Gili; WIDDERSHOVEN, Guy; SLATMAN, Jenny. Recovering a "Disfigured" Face: Cosmesis in the Everyday Use of Facial Prostheses. **Techne: Research in Philosophy & Technology**, v. 21, n. 1, 2017.

YE, Juan et al. Vision-related quality of life and appearance concerns are associated with anxiety and depression after eye enucleation: a cross-sectional study. **PLoS One**, v. 10, n. 8, p. e0136460, 2015.

ZHANG, Ze et al. Multicentred international review of orbital exenteration and reconstruction in oculoplastic and orbit practice. **British Journal of Ophthalmology**, v. 102, n. 5, p. 654-658, 2018