UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

Caio Teruo Fuzita Rabelo da Silva
Enzo Bonachela Sorio
João Vitor Mazzali dos Santos
Lucas Vinicius Cardoso da Silva
Luis Fernando Morato da Conceição

ÓCULOS INTELIGENTE: UMA INOVAÇÃO PARA A DEFICIÊNCIA VISUAL E ACESSIBILIDADE

Sorocaba/SP
2025

Caio Teruo Fuzita Rabelo da Silva
Enzo Bonachela Sorio
João Vitor Mazzali dos Santos
Lucas Vinicius Cardoso da Silva
Luis Fernando Morato da Conceição

ÓCULOS INTELIGENTE: UMA INOVAÇÃO PARA A DEFICIÊNCIA VISUAL E ACESSIBILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia da Computação, da Universidade de Sorocaba.

Orientador: Dr. Denicezar Angelo Baldo

Sorocaba/SP
2025

Caio Teruo Fuzita Rabelo da Silva
Enzo Bonachela Sorio
João Vitor Mazzali dos Santos
Lucas Vinicius Cardoso da Silva
Luis Fernando Morato da Conceição

ÓCULOS INTELIGENTE: UMA INOVAÇÃO PARA A DEFICIÊNCIA VISUAL E ACESSIBILIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia da Computação, da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 11 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Denicezar Angelo Baldo
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Rodolfo Galati Machado
Universidade de Sorocaba

Prof. Me. Raphael Hungaro Moretti
Universidade de Sorocaba

Dedicamos este trabalho àqueles que,
com suas atitudes, palavras e
ensinamentos, transformaram nosso
caminho acadêmico e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os professores que, com dedicação e coração, participaram da nossa formação acadêmica. A orientação, paciência e sabedoria de cada docente foram fundamentais para que, juntos, transformássemos desafios em oportunidades de crescimento e aprendizado.

Aos mestres que compartilharam seus conhecimentos e estimularam nossa criatividade e pensamento crítico, nosso reconhecimento especial. Também agradecemos aos colegas, familiares e amigos que nos ofereceram suporte, inspiração e motivação durante toda essa jornada. Este trabalho em grupo reflete não só nossa união e esforço, mas também o apreço e o respeito que temos por todos aqueles que fizeram parte desta trajetória.

“Technology is nothing. What’s important is that you have faith in people, that they’re basically good and smart —— and if you give them tools, they’ll do wonderful things with them.”

(Steve Jobs)

RESUMO

A deficiência visual representa um desafio significativo à inclusão social, exigindo soluções acessíveis que promovam a autonomia e a melhoria da qualidade de vida dessas pessoas. Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de dispositivo assistivo vestível e de baixo custo, voltado a auxiliar indivíduos com deficiência visual. A metodologia adotada baseou-se em uma abordagem aplicada e exploratória, com ênfase no design centrado no usuário, visando atender às reais necessidades do público-alvo. A estrutura física dos óculos foi projetada em software de código aberto (Blender) e fabricada por meio de impressão 3D com filamento PLA, o que permitiu iterações rápidas e econômicas durante o processo de desenvolvimento. O aplicativo responsável pela integração e uso do dispositivo buscou equilibrar inovação tecnológica e viabilidade econômica. O projeto integra algoritmos de aprendizado de máquina com foco em acessibilidade, utilizando o modelo GPT-4.1-NANO da OpenAI para viabilizar funcionalidades essenciais ao dispositivo. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do protótipo, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, evidenciando seu potencial para aplicação prática. Além disso, o estudo ressaltou o papel estratégico da inteligência artificial e das tecnologias de prototipagem rápida como ferramentas promissoras na democratização do acesso a recursos assistivos, contribuindo diretamente para a inclusão digital e social de pessoas com deficiência visual.

Palavras-chave: deficiência visual; tecnologias assistivas; dispositivos vestíveis; aprendizado de máquina; acessibilidade.

ABSTRACT

Visual impairment poses a significant challenge to social inclusion, requiring accessible solutions that promote autonomy and improve the quality of life for those affected. In this context, this work proposes the development of a low-cost, wearable assistive device prototype designed to support individuals with visual impairments. The adopted methodology was based on an applied and exploratory approach, with an emphasis on user-centered design, aiming to meet the real needs of the target audience. The physical structure of the glasses was designed using open-source software (Blender) and manufactured through 3D printing with PLA filament, which enabled rapid and cost-effective iterations throughout the development process. The application responsible for the integration and operation of the device sought to balance technological innovation with economic feasibility. The project integrates machine learning algorithms with a focus on accessibility, using OpenAI's GPT-4.1-NANO model to enable essential functionalities of the device. The results demonstrated the feasibility of the prototype from both technical and economic perspectives, highlighting its potential for practical application. Furthermore, the study emphasized the strategic role of artificial intelligence and rapid prototyping technologies as promising tools in democratizing access to assistive resources, directly contributing to the digital and social inclusion of people with visual impairments.

Keywords: visual impairment; assistive technologies; wearable devices; machine learning; accessibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Razão de pessoas com deficiência visual em relação a população global. 19
Figura 2. Ilustração sobre acuidade visual. 21
Figura 3. Funcionamento geral de um dispositivo assistivo para deficientes visuais. 23
Figura 4. Áreas Relacionadas com a Inteligência Artificial 28
Figura 5. Zoom em uma imagem digital (a) mostrando grupo de pixels com valores de cinza (b) e valores digitais correspondentes (c). 31
Figura 6. Exemplo de uma imagem com baixo contraste (a) e a mesma imagem após uma equalização (c), com seus respectivos histogramas ao lado direito (b, d)..... 33
Figura 7. Exemplo de equalização de imagem escura (esquerda) e aplicação de visão computacional. 34
Figura 8. Exemplo de estrutura para reconhecimento de face. 35
Figura 9. Exemplo genérico de arquitetura monolítica 37
Figura 10. Diferenças entre Monolítico x Microserviços 38
Figura 11. Elementos de uma arquitetura de microserviços 39
Figura 12. Diagrama geral de um sistema embarcado com microcontrolador. 41
Figura 13. Exemplos de placas de microcontroladores. Arduino Uno (esquerda) e Teensy 3.2 (direita)..... 42
Figura 14. Diagrama esquemático de uma impressora 3D por FDM 45
Figura 15. ESP32-CAM-MB. 48
Figura 16. Exemplo de conversor USB-Serial. 49
Figura 17. Bateria de Lítio 14500..... 51
Figura 18. Módulo carregador TP4056 52
Figura 19. Regulador de Tensão (MT3608)..... 52
Figura 20. Impressoras 3D – STHEMDA..... 53
Figura 21. Imagem do Microsoft HoloLens 55
Figura 22. Modelagem Inicial do Óculos 59
Figura 23. Molde para acomodar a placa 60
Figura 24. Imagem do modelo após essas alterações..... 61
Figura 25. Imagens da Modelagem Final 62
Figura 26. Telas do aplicativo..... 63
Figura 27. Modelo no Blender referente a primeira impressão 67
Figura 28. Primeira impressão com falha nas tampas laterais..... 67
Figura 29. Modelo no Blender referente a segunda impressão..... 68
Figura 30. Segunda impressão com falha no filamento 69
Figura 31. Modelo no Blender referente a terceira impressão 70
Figura 32. Terceira tentativa de impressão 70
Figura 33. Modelo no Blender da quarta impressão 72
Figura 34. Quarta tentativa de impressão..... 72
Figura 35. Imagem da última versão pronta para ser imprimida 74
Figura 36. Diferença de tamanho entre os modelos após impressão. 75
Figura 37. Timelapse da impressão do modelo 76
Figura 38. Primeiro modelo 3D da armação suspensa 77
Figura 39. Modelo 3D com novos suportes para a câmera na placa lateral 78
Figura 40. Modelo 3D com parte em destaque da nova armação suspensa e a tampa da câmera na lateral 79
Figura 41. Tela referente as novas configurações adicionadas. 80
Figura 42. Opções de voz disponiveis para seleção e opção de selecionar prompt..... 81
Figura 43. Tela para criar conta no aplicativo 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diferença entre modelos da câmera utilizada. 50
Tabela 2. Comparativo entre dispositivos do mercado 56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ADC	Analog-to-Digital Converter
API	Application Programming Interface
AM	Additive Manufacturing
BaaS	Backend as a Service
CAD	Computer-Aided Design
CPU	Central Processing Unit
CID	Classificação Internacional de Doenças
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPS	Global Positioning System
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IA	Inteligência Artificial
IDE	Integrated Development Environment
I2C	Inter-Integrated Circuit
I/O	Input/Output
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet of Things
K8s	Kubernetes
LED	Light Emitting Diode
OMS	Organização Mundial da Saúde
OCR	Optical Character Recognition
PLA	Polylactic Acid
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol
RAM	Random Access Memory
REST	Representational State Transfer
ROM	Read-Only Memory
RGB	Red, Green, Blue
SD	Secure Digital
SPI	Serial Peripheral Interface
SSID	Service Set Identifier
TA	Tecnologia Assistiva
TI	Tecnologia da Informação

ToF	Time-of-Flight
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18
2.1 Caracterização da deficiência 18
2.2 Deficiência Visual 19
2.3 Tecnologia Assistiva e Ferramentas de Acessibilidade 22
2.4 Inteligência Artificial 26
2.5 Processamento de Imagens e Reconhecimento de Objetos 30
2.6 Interface de Programação de Aplicações (API) 36
2.7 Microcontroladores 39
2.8 Impressão 3D 44
3 OBJETIVO 47
3.1 Objetivo Geral 47
3.2 Objetivos Específicos 47
4 MATERIAIS E MÉTODO 48
4.1 Materiais 48
4.2 Método 54
4.2.1 Concepção e Pré-desenvolvimento do Projeto 54
4.2.2 Modelagem Preliminar 58
4.2.3 Desenvolvimento do Projeto 62
4.2.4 Pós-desenvolvimento e Otimização 76
5 CONCLUSÃO 83
REFERÊNCIAS 85
APÊNDICE A – REPOSITÓRIOS DO PROJETO 90

1 INTRODUÇÃO

A deficiência visual constitui um dos desafios mais significativos enfrentados por milhões de pessoas em todo o mundo. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de dois bilhões de indivíduos apresentam algum grau de comprometimento visual, sendo que uma parcela considerável desses casos poderia ser evitada ou tratada com intervenções adequadas. No entanto, para aqueles cuja limitação visual é irreversível, o acesso a recursos de acessibilidade torna-se essencial para a promoção da autonomia, da inclusão social e da melhoria da qualidade de vida.

Nesse cenário, as tecnologias assistivas têm desempenhado um papel fundamental ao proporcionar suporte técnico que viabiliza a realização de atividades cotidianas por pessoas com deficiência visual. Esses dispositivos visam suprir limitações funcionais, auxiliando na locomoção, identificação de objetos, leitura de ambientes, entre outras tarefas essenciais. Entre os recursos disponíveis, destacam-se as bengalas eletrônicas, os sistemas de leitura tátil e os óculos equipados com sensores e câmeras capazes de converter estímulos visuais em sinais sonoros ou táteis. Apesar desses avanços, observa-se que muitos desses dispositivos ainda apresentam custo elevado, além de barreiras relacionadas à disponibilidade e à adaptação às necessidades específicas dos usuários —— principalmente em contextos socioeconômicos menos favorecidos.

Autores como Galvão Filho e Damasceno (2008) destacam que o desenvolvimento e a disponibilização de tecnologias assistivas representam uma tentativa concreta de mitigar as barreiras impostas pela deficiência, viabilizando a inserção do indivíduo em ambientes de aprendizagem e socialização oriundos da cultura. Rocha e Miranda (2009) ressaltam que, para promover uma verdadeira inclusão, é fundamental que a sociedade se adapte às necessidades das pessoas com deficiência, compartilhando os espaços de forma equitativa e com respeito às diferenças.

Diante dessa realidade, justifica-se a realização deste trabalho pela necessidade de desenvolver soluções tecnológicas mais acessíveis, eficazes em termos de custo-benefício e adaptadas às demandas práticas das pessoas com deficiência visual, sobretudo em ambientes urbanos e residenciais. Nesse sentido, a

criação de dispositivos vestíveis de baixo custo, integrados a algoritmos inteligentes, configura-se como uma alternativa promissora para ampliar a autonomia e favorecer uma interação mais segura com o meio.

A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina no desenvolvimento de soluções assistivas embarcadas em dispositivos de menor complexidade computacional representa um campo emergente e ainda pouco explorado. O uso de tecnologias com perfil simplificado, mas funcional, pode contribuir significativamente para a inclusão social e o bem-estar de pessoas com deficiência visual, ao tornar a tecnologia mais acessível e adaptável ao cotidiano dessas populações.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é descrever o processo de desenvolvimento e elaboração de um protótipo de um dispositivo vestível que, aliado a algoritmos de aprendizado de máquina, contribua para a melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência visual, oferecendo-lhes maior autonomia e capacidade de interação com o ambiente.

A partir da problemática envolvendo a baixa acessibilidade financeira e a complexidade de uso de dispositivos assistivos, formula-se o seguinte problema de pesquisa: Como desenvolver um protótipo de óculos assistivo, aliado a tecnologias de aprendizado de máquina, que seja funcional, ergonomicamente adequado e economicamente viável, de modo a contribuir para a melhoria da autonomia e da qualidade de vida de pessoas com deficiência visual?

Para responder a essa questão, adotou-se uma abordagem metodológica de caráter aplicado e exploratório, com ênfase no design centrado no usuário. O desenvolvimento do protótipo teve início com a modelagem tridimensional do dispositivo no software Blender. A modelagem foi guiada por critérios de funcionalidade, ergonomia e integração eficiente dos componentes eletrônicos, de forma a atender às necessidades específicas do público-alvo.

Em paralelo ao desenvolvimento dos componentes físicos e de sua confecção através da modelagem tridimensional, também fora desenvolvido os algoritmos que tornariam as funções do dispositivo viáveis. Durante tal processo, foram projetadas as principais partes estruturais do óculos —— como as hastes, a ponte, os aros e os compartimentos destinados à bateria e à câmera ——, considerando aspectos como conforto, resistência, ergonomia e funcionalidade.

Após a finalização do modelo digital, procedeu-se à prototipagem física por meio de impressão 3D, utilizando filamento de PLA (ácido polilático). A fabricação aditiva permitiu a realização de ajustes iterativos no design, viabilizando a correção de falhas e o aprimoramento contínuo do projeto. No término, foi realizado a integração da infraestrutura com a parte do processamento e dos algoritmos, unificando tudo em um protótipo funcional.

Por fim, este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, com a contextualização e delimitação do tema, a justificativa, os objetivos da pesquisa, o problema de pesquisa e um resumo da metodologia adotada. O Capítulo 2 corresponde à revisão bibliográfica, na qual são discutidos os principais conceitos relacionados à deficiência visual, tecnologias assistivas, processamento de imagens, microcontroladores e aplicações de inteligência artificial, com ênfase no aprendizado de máquina. O Capítulo 3 apresenta os objetivos geral e específicos da pesquisa. O Capítulo 4 descreve os materiais utilizados e o processo de desenvolvimento do projeto. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do estudo, destacando os principais resultados, limitações identificadas e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar o desenvolvimento do projeto proposto, foi realizada uma revisão bibliográfica que reuniu conceitos, pesquisas e avanços tecnológicos diretamente relacionados ao tema. Essa revisão possibilitou compreender melhor o contexto da deficiência visual e das soluções já existentes, além de evidenciar recursos e inovações que contribuem para a acessibilidade. De tal forma, estabeleceu-se uma base teórica que orientou as escolhas metodológicas e sustentou a proposta apresentada neste trabalho.

2.1 Caracterização da deficiência

A caracterização da deficiência passou por uma evolução significativa, deslocando-se de uma perspectiva puramente médica, na qual era definida como uma limitação do indivíduo decorrente de um problema de saúde, para uma abordagem mais abrangente que considera as barreiras sociais enfrentadas por essas pessoas. A deficiência é entendida, portanto, não apenas como uma limitação nas estruturas físicas ou mentais do indivíduo, mas também como o impacto de fatores socioambientais do contexto em que ele está inserido.

> Pessoas com deficiência são aquelas que têm impedimentos de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, os quais, em interação com diversas barreiras, podem obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdades de condições com as demais pessoas. (Rizzo, [*s. d.*])

Anteriormente, a definição de pessoa com deficiência era estabelecida sob critérios estritamente médicos, considerando-se a deficiência como uma característica intrínseca ao indivíduo. No entanto, atualmente, os impedimentos físicos, mentais, intelectuais e sensoriais são compreendidos como aspectos da diversidade humana, sendo a deficiência vista como o resultado da interação desses impedimentos com as barreiras sociais, o que gera a dificuldade de inserção plena do indivíduo na sociedade. Em outras palavras, o fator médico, representado pelo impedimento, é um dos elementos constitutivos do conceito de deficiência, mas é a interação com as barreiras sociais que resulta na obstrução à participação plena no convívio social.

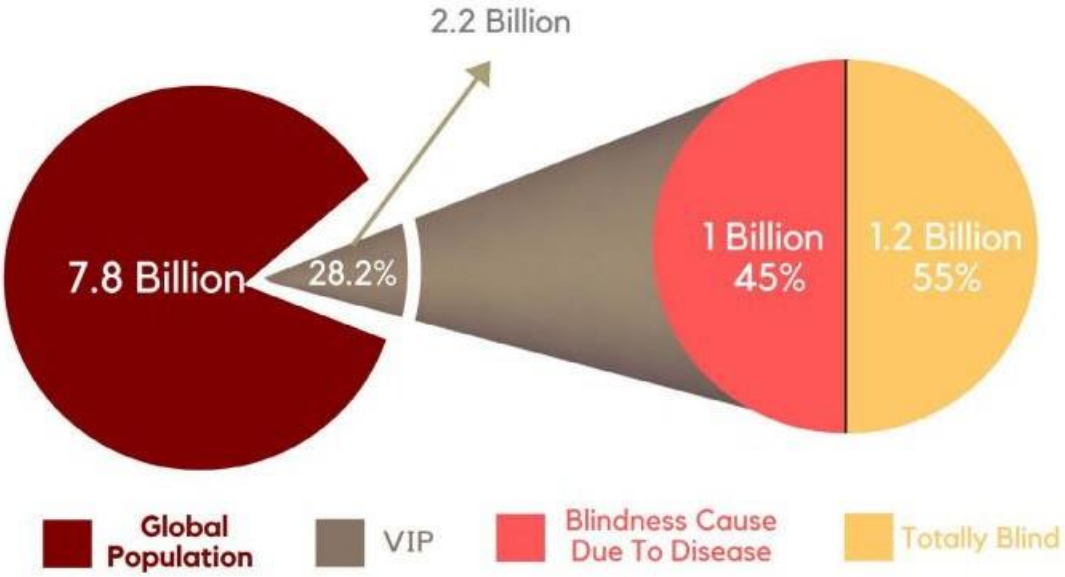
De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde, estimativas indicam que cerca de 12% da população da América Latina e do Caribe vive com pelo menos uma deficiência, o que corresponde a aproximadamente 66 milhões de pessoas. Em nível global, a Organização Mundial da Saúde também relata que cerca de 1,6 bilhão

de pessoas no mundo experimentam alguma deficiência significativa em suas vidas, representando uma parte expressiva da população, equivalente a 1 em cada 6 pessoas, que apresentam características que demandam cuidados adicionais.

2.2 Deficiência Visual

Dentro do contexto global mais amplo, destaca-se um aspecto específico relacionado às deficiências do sentido visual. No Brasil, a deficiência visual é definida como a perda ou redução permanente da capacidade visual em ambos os olhos, cuja condição não pode ser corrigida ou aprimorada por meio do uso de lentes, tratamentos clínicos ou intervenções cirúrgicas. Como afirmam Pascolini e Mariotti (2012, p. 9), "O número estimado de pessoas com deficiência visual no mundo é de 285 milhões, sendo 39 milhões cegas e 246 milhões com baixa visão; 65% das pessoas com deficiência visual e 82% de todos os cegos têm 50 anos ou mais."

Figura 1. Razão de pessoas com deficiência visual em relação a população global.



Fonte: Adaptado de Zafar et al. (2022).

Esses dados refletem também a realidade do Brasil, onde aproximadamente 18 milhões de pessoas com mais de dois anos de idade apresentam algum tipo de deficiência, o que corresponde a cerca de 8,9% da população total. Desses, 3,6% são pessoas com deficiência visual, conforme informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A deficiência visual é geralmente classificada em duas categorias principais: a cegueira, na qual o indivíduo apresenta perda total ou extremamente reduzida da capacidade visual, e a visão subnormal, que se caracteriza

pelo comprometimento da função visual dos olhos, mesmo após tratamento ou correção. Como salientado por Mashiata et al. (2022), o termo “deficiência visual” abrange tanto a perda parcial quanto a total da visão. Globalmente, pelo menos 2,2 bilhões de pessoas têm deficiência visual, seja para visão de perto ou à distância.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a classificação da deficiência visual baseia-se na acuidade no melhor olho, utilizando a melhor correção óptica disponível (WHO, 2019). A acuidade visual é o parâmetro utilizado na avaliação da capacidade funcional do sistema ótico humano, referindo-se à nitidez ou clareza com que uma pessoa percebe detalhes de objetos a uma determinada distância. Essa medida é comumente empregada para diagnosticar e classificar os diferentes níveis de deficiência visual, como a baixa visão e a cegueira, o que possibilita a implementação de intervenções adequadas.

A Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, 10ª Revisão (CID-10), estabelece critérios específicos para categorizar a deficiência visual. As categorias são definidas da seguinte forma:

- **Categoria 0 (Sem deficiência visual ou deficiência leve):** Acuidade visual igual ou superior a 0,3.
- **Categoria 1 (Deficiência visual moderada):** Acuidade visual inferior a 0,3 e igual ou superior a 0,1.
- **Categoria 2 (Deficiência visual grave):** Acuidade visual inferior a 0,1 e igual ou superior a 0,05.
- **Categoria 3 (Cegueira):** Acuidade visual inferior a 0,05 e igual ou superior a 0,02.
- **Categoria 4 (Cegueira severa):** Acuidade visual inferior a 0,02 até a percepção de luz.
- **Categoria 5 (Cegueira total):** Ausência de percepção de luz.

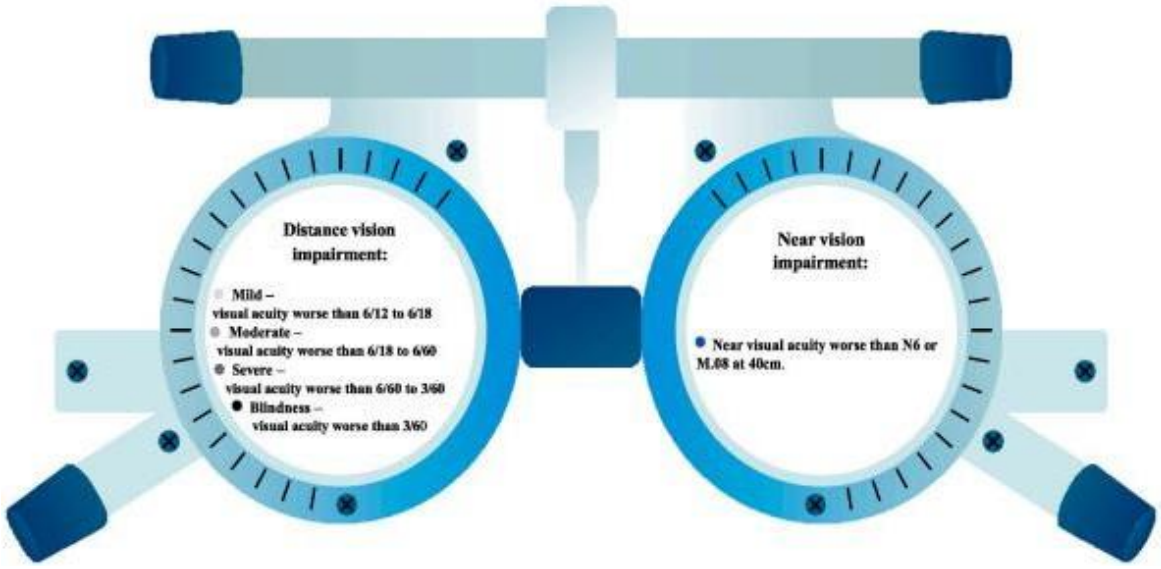
Além da acuidade, a extensão do campo visual é levada em consideração na classificação. Indivíduos com um campo visual menor que 10 graus ao redor do ponto central de fixação, no melhor olho, são classificados na Categoria 3, independentemente da acuidade visual medida.

A 11ª Revisão da CID (CID-11) introduziu modificações nos critérios de classificação da deficiência visual:

- **Categoria 0 (Sem deficiência visual):** Acuidade visual igual ou superior a 0,5.

- **Categoria 1 (Deficiência visual leve):** Acuidade visual inferior a 0,5 e igual ou superior a 0,3.
- **Categoria 2 (Deficiência visual moderada):** Acuidade visual inferior a 0,3 e igual ou superior a 0,1.
- **Categoria 3 (Deficiência visual grave):** Acuidade visual inferior a 0,1 e igual ou superior a 0,05.
- **Categoria 4 (Cegueira):** Acuidade visual inferior a 0,05 e igual ou superior a 0,02.
- **Categoria 5 (Cegueira severa):** Acuidade visual inferior a 0,02 até a percepção de luz.
- **Categoria 6 (Cegueira total):** Ausência de percepção de luz.

Figura 2. Ilustração sobre acuidade visual.



Fonte: Retirado de Mashiata et al (2022, P. 2)

O termo "baixa visão" é utilizado para descrever uma redução significativa e irreversível da capacidade visual que não pode ser corrigida completamente com óculos, lentes de contato, medicação ou cirurgia, mas onde a visão residual ainda permite a realização de algumas tarefas diárias com o uso de recursos assistivos. Na CID-10, a baixa visão corresponde às categorias de deficiência visual moderada (Categoria 1) e grave (Categoria 2). Já na CID-11, engloba as categorias de deficiência visual leve (Categoria 1), moderada (Categoria 2) e grave (Categoria 3).

Por outro lado, a "cegueira" refere-se à perda quase total ou total do sentido visual. De acordo com a CID-10, indivíduos com acuidade inferior a 0,05 no melhor

olho, mesmo com correção, são classificados como cegos (Categorias 3, 4 e 5). Na CID-11, essa classificação abrange as Categorias 4, 5 e 6. Também passou a considerar a deficiência visual para perto, definida por uma acuidade visual inferior a 0,8M na distância de preferência do indivíduo, mesmo com correção óptica adequada.

2.3 Tecnologia Assistiva e Ferramentas de Acessibilidade

Em uma perspectiva ampla, é possível observar como a tecnologia tem evoluído no sentido de facilitar a vida de seus usuários, ampliando suas capacidades por meio das diversas funcionalidades que oferece, tais como novas possibilidades de comunicação, acesso à informação e realização de tarefas anteriormente inviáveis. Historicamente, a tecnologia sempre se constituiu como um motor impulsionador de inovações, com o intuito de expandir as opções disponíveis para aqueles que dela se beneficiam.

O uso de ferramentas tecnológicas para a realização de objetivos específicos, seja no âmbito profissional, acadêmico ou no lazer, tornou-se uma prática essencial e indiscutível no cotidiano contemporâneo. Esses instrumentos frequentemente são concebidos com o propósito de se adequar às necessidades humanas, simplificando e otimizando atividades diárias. Exemplos disso incluem dispositivos como celulares, automóveis, computadores, entre outros, os quais têm se consolidado como componentes essenciais da rotina moderna, ampliando significativamente nossa capacidade de desempenhar diversas funções.

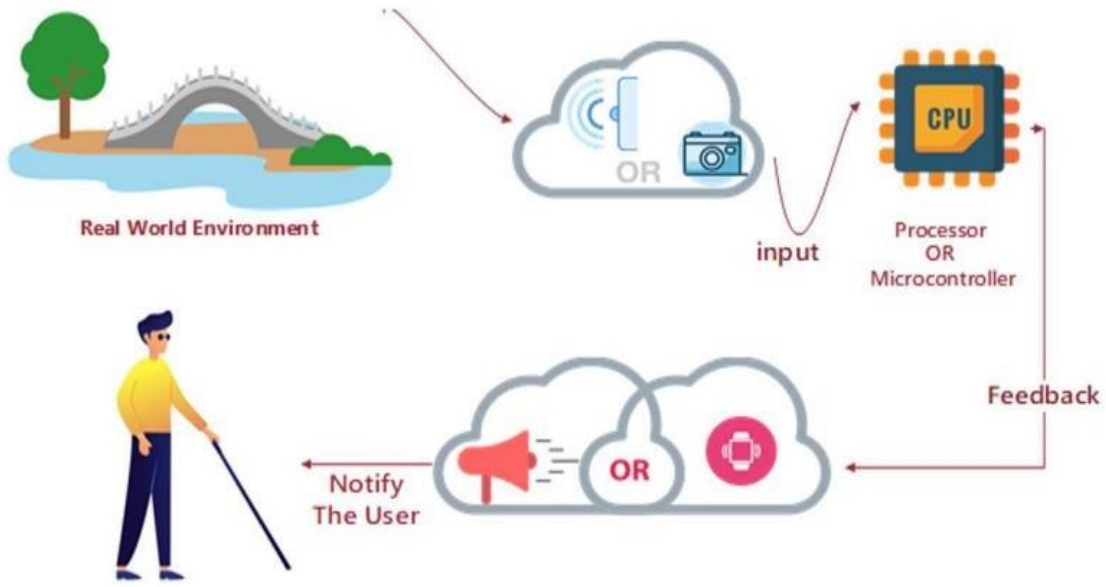
Dentro desse contexto, emerge a fundamentação teórica do conceito de tecnologia assistiva (TA), uma categoria que surgiu recentemente e, em muitos casos, é associada às inovações da tecnologia convencional, podendo, por vezes, ser confundida com estas. A tecnologia assistiva, em sua essência, está intimamente relacionada aos princípios de acessibilidade e inclusão, visando atender às necessidades de indivíduos com algum tipo de deficiência.

> “Podemos então dizer que o objetivo maior da TA é proporcionar à pessoa com deficiência maior independência, qualidade de vida e inclusão social, através da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho.” (Bersch, 2017, p. 2)

Esses dispositivos e soluções tecnológicas são frequentemente essenciais para que pessoas com deficiência possam realizar atividades fundamentais do cotidiano, promovendo uma maior autonomia e qualidade de vida, além de possibilitar uma existência mais independente. Os aparelhos assistivos podem assumir diversas formas e operar de diferentes princípios, especialmente aqueles desenvolvidos para apoiar pessoas com deficiência visual. De maneira geral, esses dispositivos capturam informações sobre o ambiente na forma de um “input”. Como Zafar et al., (2022) descreve: "[...] a entrada fornecida é processada pelo processador/microcontrolador, e a notificação é enviada ao usuário na forma de som, vibração ou ambos os formatos."

Através de sensores, sejam eles baseados em visão ou não, os dispositivos de tecnologia assistiva para deficientes visuais captam dados sobre o ambiente em que estão inseridos. Esses dados são então processados por um microprocessador ou microcontrolador, que gera uma resposta para o usuário. Essa resposta, geralmente na forma de uma notificação, torna o usuário consciente de objetos, obstáculos, pessoas, entre outros elementos presentes ao seu redor

Figura 3. Funcionamento geral de um dispositivo assistivo para deficientes visuais.



Fonte: Retirado de Zafar et al. (2022, p. 2)

A tecnologia assistiva não baseada em visão, em sua maioria, utiliza sensores infravermelhos e ultrassônicos para captar informações do ambiente. Esses dispositivos processam os dados recebidos e retornam um feedback ao usuário por

meio de som ou vibração. Um exemplo é o dispositivo de bengala desenvolvido por Yi e Dong (2015), que emprega múltiplos sensores ultrassônicos para detectar objetos ao redor, fornecendo ao usuário informações sensoriais que auxiliam na orientação, dispensando o uso da visão.

Por outro lado, aquelas baseadas em visão, visando aprimorar a mobilidade e a qualidade de vida desse público. Esses dispositivos utilizam tecnologias como sensores de proximidade, câmeras e algoritmos de visão computacional para detectar obstáculos e fornecer feedback ao usuário. A utilização de sensores Time-of-Flight (ToF) tem se mostrado promissora no desenvolvimento de tecnologias assistivas. Esses sensores medem o tempo que a luz leva para refletir em objetos, permitindo a detecção precisa de obstáculos acima da linha da cintura, complementando a função da bengala tradicional. Pesquisas indicam que dispositivos como óculos equipados com sensores ToF podem melhorar significativamente a mobilidade e a segurança de deficientes visuais (SANTOS, 2022).

Os dispositivos de tecnologia assistiva englobam variadas ferramentas, técnicas e processos desenvolvidos especificamente para suprir as limitações visuais, seja em atividades de locomoção, comunicação ou acesso a conteúdos digitais. Diversos dispositivos que visam tal finalidade estão disponíveis no mercado, variando desde soluções simples até inovações tecnológicas que fazem uso de inteligência artificial.

A bengala longa, um dos dispositivos mais tradicionais, continua sendo essencial para a locomoção de pessoas com deficiência visual. Ela auxilia na detecção de obstáculos e é um meio de orientação espacial. Existem, porém, versões mais modernas desse dispositivo, como as bengalas eletrônicas, que integram sensores e até tecnologia GPS, aumentando a segurança durante os deslocamentos. Além disso, dispositivos vestíveis, como o MagicEye, têm sido desenvolvidos para ampliar a independência de pessoas cegas ou com baixa visão. Esses dispositivos utilizam inteligência artificial para reconhecer objetos e fornecer informações sobre o ambiente ao usuário (Sethuraman et al., 2023).

Além de soluções para mobilidade, existem também uma ampla gama de softwares e aplicativos que facilitam o acesso à informação digital. Entre esses, destacam-se os leitores de tela, que convertem o conteúdo textual em áudio ou braille, permitindo que indivíduos cegos ou com baixa visão naveguem em dispositivos móveis e computadores. Esses softwares, como o VLibras, são fundamentais para garantir que a internet e outras plataformas digitais sejam acessíveis a todos,

independentemente da deficiência visual (Vlibras, 2023). Da mesma forma, amplificadores de tela ajudam na leitura de textos, aumentando o tamanho das fontes e imagens na tela, sendo uma solução eficaz para aqueles que apresentam baixa visão.

A adaptação da leitura a diferentes formatos também é possível por meio de leitores de livros digitais, que utilizam vozes sintetizadas para ler textos em voz alta, proporcionando a acessibilidade a livros e outros materiais. Aplicativos como o Be My Eyes, que usam câmeras de smartphones para identificar objetos e ler textos em voz alta, oferecem suporte no reconhecimento de itens do cotidiano (Retina Campos, 2023). Tais recursos são cruciais para proporcionar maior autonomia e facilidade na interação com o mundo ao redor, especialmente em tarefas cotidianas simples, mas que podem se tornar desafiadoras sem assistência.

Outra tecnologia assistiva relevante são os displays braille eletrônicos, que transformam o texto digital para o sistema acessível aos deficientes visuais, permitindo a leitura e a escrita de maneira mais eficiente para pessoas cegas. As máquinas braille ainda são amplamente usadas no ensino e em ambientes de trabalho, proporcionando acessibilidade tanto na educação quanto em processos produtivos (Vlibras, 2023).

No campo da acessibilidade em espaços públicos, inovações como os códigos Navilens têm sido implementadas para promover a mobilidade de pessoas com baixa visão. Por meio desses códigos, os indivíduos podem utilizar seus dispositivos móveis para obter informações sobre o ambiente, como a localização de paradas de ônibus ou a identificação de estabelecimentos comerciais (Cadena SER, 2024). Tais soluções têm se mostrado eficazes, permitindo que os usuários naveguem com maior confiança e segurança.

Além disso, os sistemas de avisos sonoros em meios de transporte público, como ônibus e trens, representam uma melhoria significativa para a acessibilidade no transporte, informando as paradas e itinerários aos passageiros com deficiência visual, o que aumenta a autonomia desses usuários (A Cidade On, 2024). Essas tecnologias não apenas ampliam a independência, mas também contribuem para a inclusão social, proporcionando igualdade de oportunidades para pessoas com deficiência visual.

As tecnologias assistivas têm um papel central na construção de uma sociedade mais inclusiva e acessível. A constante inovação nesse campo é essencial para

atender às diversas necessidades de pessoas com deficiência visual, promovendo a igualdade de oportunidades e a participação plena no ambiente social e digital. O desenvolvimento de novas ferramentas e dispositivos, como os mencionados, continua sendo um passo importante na busca por um mundo mais acessível, onde a deficiência visual não seja um impedimento para a plena participação na sociedade.

2.4 Inteligência Artificial

A definição acurada de inteligência artificial (IA) é imprecisa, uma vez que é difícil fornecer uma descrição exata do conceito. Uma abordagem mais eficaz seria focar nas funções e nas potencialidades que exibe. A inteligência artificial, comumente abreviada como IA, é quase tão antiga quanto o conceito de computação e muitas vezes sua ideia se sobrepõe à de máquinas computacionais. Grande parte do que se pensa ao ouvir esse termo está envolta em uma compreensão superficial e imprecisa, sem uma definição clara, apesar de ser fundamentada em áreas bem estabelecidas, como a ciência e a engenharia computacionais.

> “Em primeiro lugar, cabe ressaltar que não existe uma definição acadêmica, propriamente dita, do que vem a ser IA. Trata-se certamente de um ramo da ciência/engenharia da computação, e, portanto, visa desenvolver sistemas computacionais que solucionam problemas.” (Sichman, 2021, p. 2)

Para compreender o conceito de inteligência artificial, é útil, primeiramente, retroceder e entender o que constitui um algoritmo. De forma simplificada, um algoritmo pode ser definido como um conjunto de instruções cujo objetivo final é resolver um problema ou gerar um resultado específico. Segundo Gillespie (2018, p. 3), "Os algoritmos não são necessariamente softwares; em seu sentido mais amplo, são procedimentos codificados que, com base em cálculos específicos, transformam dados em resultados desejados."

Um algoritmo emerge da necessidade de fornecer uma solução para um problema, como a realização de cálculos, o processamento de dados ou a organização de informações. Define-se o algoritmo como uma sequência finita de passos a serem seguidos para a execução dessas tarefas, resultando, assim, na resolução do problema em questão.

> “Para entender melhor essa definição, necessita-se esclarecer o que vem a ser um algoritmo, palavra que também é bastante citada na mídia, às vezes de modo não muito preciso. Um algoritmo nada mais é do que uma sequência finita de ações que resolve um certo problema. Uma receita culinária, como a de um risoto, é um algoritmo.” (Sichman, 2021, p. 2)

A resolução de um problema exato está completamente dentro das capacidades de um algoritmo bem estruturado. Por "exato", entende-se que, ao seguir uma sequência de instruções bem definida, chegar-se-á a uma solução satisfatória para aquele problema. Assim como em uma fórmula matemática, quando todos os processos necessários são executados corretamente, o resultado esperado será obtido. “[...]os computadores são fundamentalmente máquinas algorítmicas - projetadas para armazenar e ler dados, aplicar procedimentos matemáticos de forma controlada e oferecer novas informações como resultado” (Gillespie, 2018, p. 3).

A limitação dos algoritmos convencionais reside em sua incapacidade de resolver problemas que não possuem uma solução única ou um método específico de resolução. Tais problemas, frequentemente, são mais bem abordados por seres humanos, como o reconhecimento de padrões em imagens ou a geração de diálogos coesos. Existem diversas maneiras de criar um texto, o que, por sua vez, depende de inúmeras temáticas e abordagens que um autor pode escolher, de modo que não há um "caminho exato" a ser seguido.

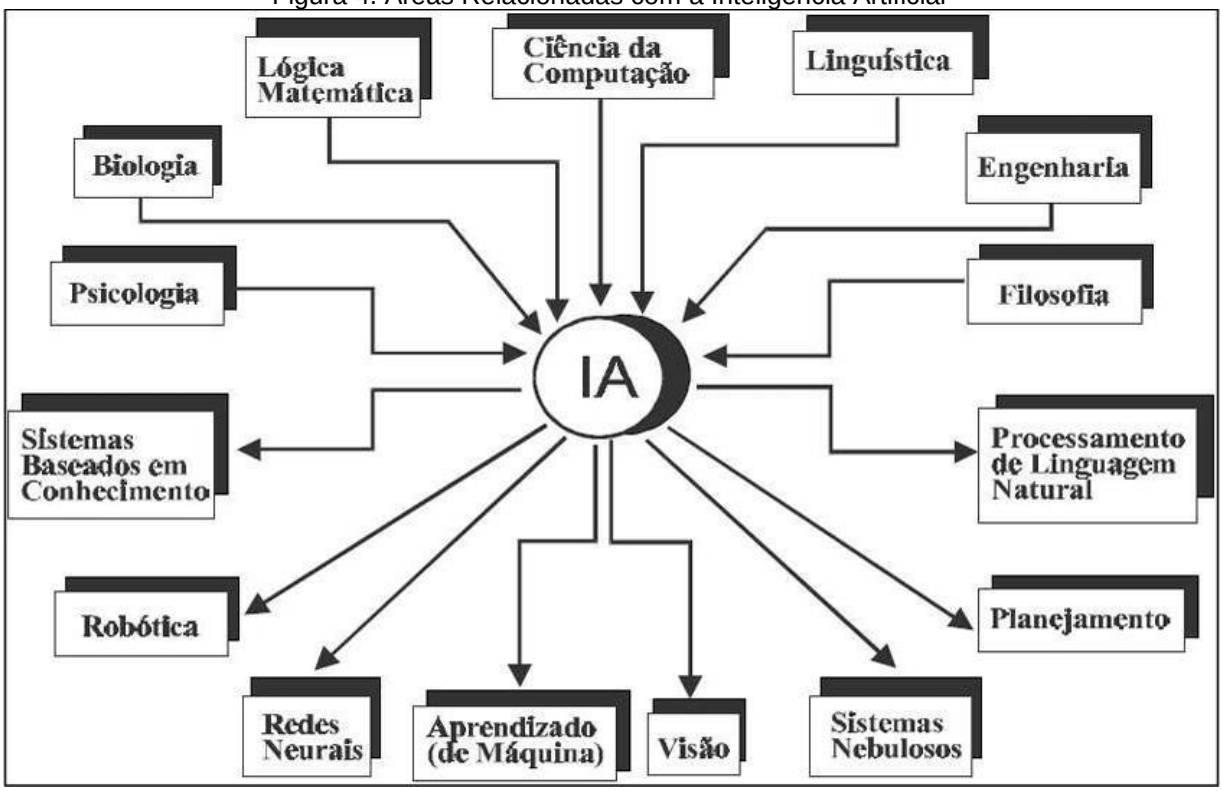
Utilizar um algoritmo convencional para resolver esses tipos de problemas exigiria um imenso poder computacional e um grande espaço de tempo para explorar as múltiplas soluções possíveis. É nesse contexto que a inteligência artificial se torna relevante, reunindo uma série de tecnologias e técnicas que buscam simular a maneira como os seres humanos abordam e resolvem problemas dessa natureza, permitindo a geração de soluções que seriam inviáveis com o poder computacional convencional.

> “Assim, o domínio de IA se caracteriza por ser uma coleção de modelos, técnicas e tecnologias (busca, raciocínio e representação de conhecimento, mecanismos de decisão, percepção, planejamento, processamento de linguagem natural, tratamento de incertezas, aprendizado de máquina) que, isoladamente ou agrupadas, resolvem problemas de tal natureza.” (Sichman, 2021, p. 3)

De forma geral, entende-se por inteligência artificial um conjunto de diversas técnicas de representação de conhecimento e tomada de decisões que, quando combinadas, são capazes de oferecer soluções para problemas que não têm uma

única forma de resolução. Trata-se, portanto, de uma área vasta e multidisciplinar, que integra modelos de linguística, lógica matemática, análise de dados, ciência da computação, entre outros campos teóricos, com o objetivo de desenvolver soluções para problemas complexos.

Figura 4. Áreas Relacionadas com a Inteligência Artificial



Fonte: Retirado de (Monard; Baranauskas, 2000)

Dentro desse grande contexto de inteligência artificial, temos o machine learning (aprendizado de máquina). O aprendizado de máquina constitui uma subárea da inteligência artificial (IA) dedicada ao desenvolvimento de algoritmos que capacitam sistemas a identificar padrões e a tomar decisões com base em dados. Conforme a IBM (2023) explica, trata-se de um ramo da IA e da ciência da computação que se concentra no uso de dados e algoritmos para permitir que a inteligência artificial imite a maneira como os humanos aprendem, melhorando sua precisão ao longo do tempo

Em vez de serem programados explicitamente para tarefas específicas, esses sistemas aprendem e aprimoram seu desempenho por meio da análise de grandes volumes de dados. Como explica Ludermir (2021, p. 4), "As técnicas de aprendizado de máquina são orientadas a dados, isto é, aprendem automaticamente a partir de

grandes volumes de dados. Os algoritmos de aprendizado de máquina geram hipóteses a partir dos dados."

O aprendizado de máquina é geralmente classificado em três categorias principais: Aprendizado Supervisionado, Aprendizado Não Supervisionado e Aprendizado por Reforço.

No Aprendizado Supervisionado os algoritmos são treinados utilizando conjuntos de dados rotulados, ou seja, dados que já possuem respostas conhecidas. O objetivo é que o modelo aprenda a mapear entradas para saídas específicas, permitindo a realização de previsões ou classificações em dados não vistos anteriormente. Como ressalta Ludermir (2021, p. 4) nesse processo será construído um classificador para que novos objetos não rotulados possam ser categorizados corretamente, sendo este o método mais utilizado.

No aprendizado Não Supervisionado acontece o oposto. Aqui os algoritmos trabalham com dados não rotulados, buscando identificar estruturas ou padrões subjacentes neles. Técnicas como agrupamento (clustering) - que consiste no sistema reunir diferentes exemplos em grupos pelas suas similaridades - são comuns nesse contexto, auxiliando na descoberta de padrões implícitos nos dados. A IBM (2023) descreve o aprendizado não supervisionado como o uso de algoritmos para analisar e agrupar conjuntos de dados não rotulados sem a necessidade de intervenção humana.

O Aprendizado por Reforço envolve um agente que recebe feedback na forma de recompensas ou penalidades, ajustando suas ações para maximizar a recompensa cumulativa ao longo do tempo. É um sistema de penalidade e recompensa que guia o algoritmo para um caminho desejado, desincentivando certas ações e incentivando outras a medida que avança. Foi utilizado no AlphaGO da Google, sendo muito comum na área da robótica e jogos.

É fundamental destacar que nem todo algoritmo de aprendizado de máquina é adequado para todos os tipos de problemas. Assim como ocorre com os algoritmos convencionais, é necessário selecionar modelos eficazes para a resolução do problema específico em questão. Não existe um "sistema universal" que seja totalmente autônomo na solução de problemas variados. Conforme ressalta Dignum (2019, p. 18),

> "É importante notar que o termo sistema autônomo é impróprio, pois nenhum sistema é autônomo em todas as situações e para todas as tarefas [...] A autonomia não é uma propriedade intrínseca de um sistema, mas sim o resultado da sua interação com a tarefa, o contexto e o ambiente [...] Não se trata de uma propriedade emergente, mas de algo que deve ser projetado no sistema."

2.5 Processamento de Imagens e Reconhecimento de Objetos

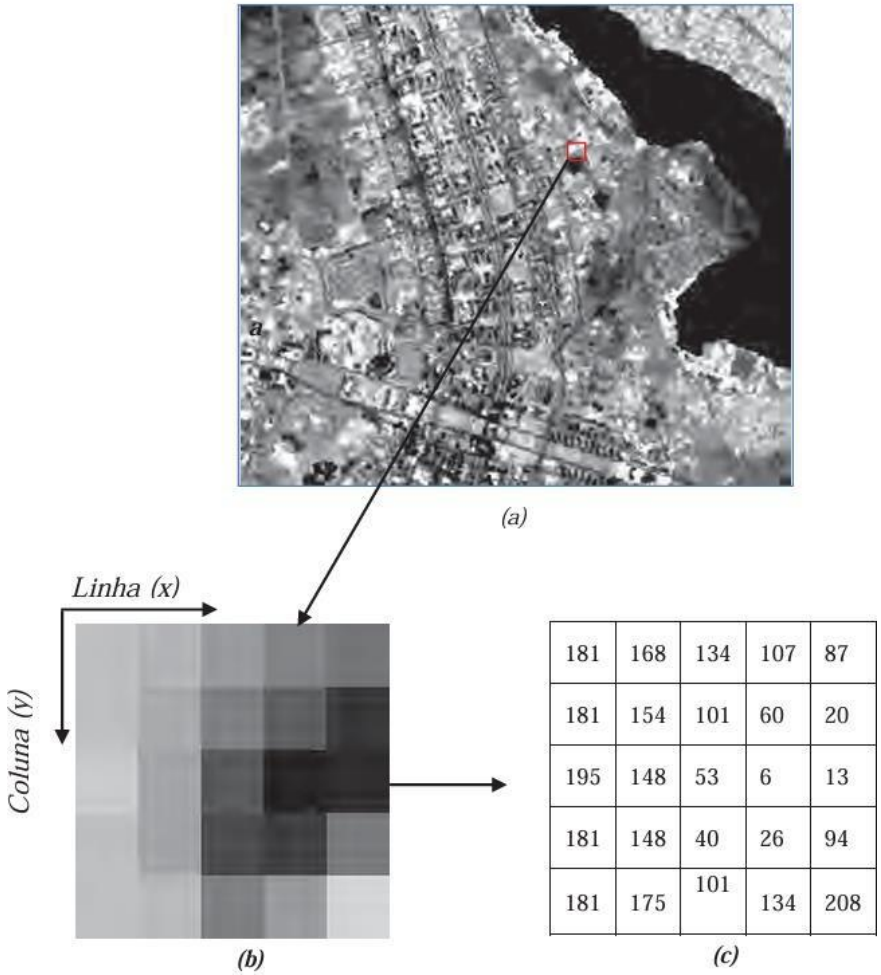
Com o progresso contínuo da inteligência artificial, aliado à crescente disponibilização de dados na internet e ao aprimoramento dos dispositivos de hardware, que alcançam novos patamares de poder computacional a cada dia, surge uma ampla gama de áreas interdisciplinares voltadas ao processamento de dados de diversos tipos. Estas áreas continuam a expandir-se rapidamente, impulsionadas pela sofisticação dos algoritmos utilizados. Inserido nesse contexto, o uso otimizado do poder computacional para o reconhecimento de padrões tem promovido avanços significativos no tratamento de dados visuais.

Diversos estudos evidenciam que o processamento de imagens desempenha um papel crucial em uma ampla variedade de aplicações, incluindo, mas não se limitando a medicina, segurança, e reconhecimento facial, além de outras áreas que demandam análise visual de grandes volumes de dados (Szeliski, 2010; Gonzalez & Woods, 2018).

O processamento de imagens pode ser descrito, de forma simplificada, como uma área da ciência da computação que emprega algoritmos e técnicas especializadas com o objetivo de modificar, analisar ou filtrar imagens digitais. Assim como ocorre com outros tipos de dados, as imagens frequentemente necessitam de tratamento adequado para que informações relevantes possam ser extraídas de forma eficaz e precisa.

Brevemente, pode-se compreender uma imagem digital como uma matriz de valores numéricos, onde cada elemento dessa matriz é um elemento. Existe um número finito de elementos, cada qual possuindo uma localização e um valor específicos, denominados pixels. Sob essa ótica, o processamento de imagens digitais abrange procedimentos nos quais tanto a entrada quanto a saída são imagens, além de incorporar processos que efetuam a extração de atributos de imagens culminando, por vezes, no reconhecimento de objetos singulares através da manipulação ou modificação dos pixels.

Figura 5. Zoom em uma imagem digital (a) mostrando grupo de pixels com valores de cinza (b) e valores digitais correspondentes (c).



Fonte: Retirado de Meneses & Almeida (2012).

Conforme esclarecido por Marengoni e Stringhini (2010), a distinção precisa entre o que constitui o processamento de imagens e a visão computacional nem sempre se apresenta de forma clara. As duas áreas frequentemente se sobrepõem em aplicações práticas, sendo, em muitos casos, ambas necessárias para um tratamento eficiente dos dados visuais. No entanto, pode-se afirmar que o processamento de imagens, comumente, representa a fase inicial na execução de tarefas relacionadas à visão computacional.

Frequentemente, as imagens capturadas por sensores, câmeras e outros dispositivos necessitam de correções antes de serem utilizadas pelos sistemas de visão computacional. É comum que, devido a circunstâncias do ambiente, a imagem contenha ruídos — interferências que podem comprometer a interpretação ou o reconhecimento de objetos na imagem. Esses ruídos são causados por diversos

fatores, como o tipo de sensor utilizado, a iluminação inadequada no momento da captura, condições climáticas desfavoráveis, entre outros.

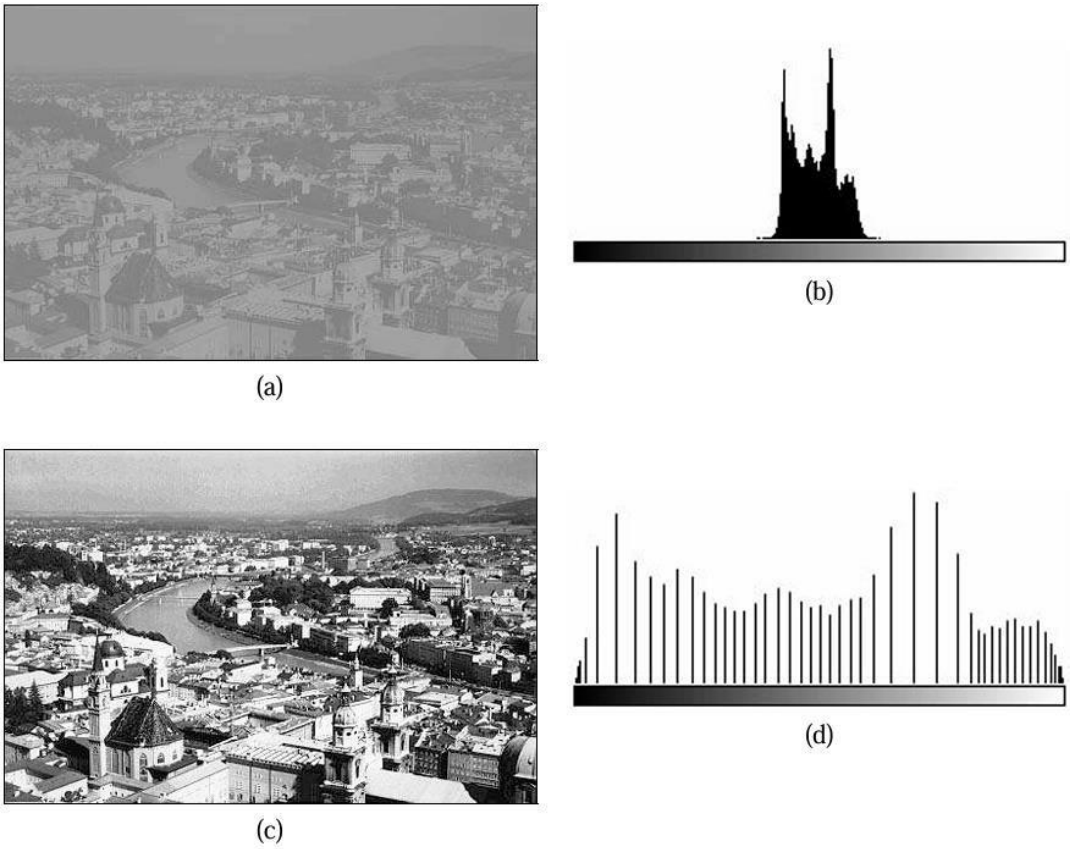
Uma imagem com baixo contraste e predominantemente escura, por exemplo, pode prejudicar os algoritmos de reconhecimento de objetos, levando a erros no processo de extração de informações. Para superar esses obstáculos, são empregadas técnicas desenvolvidas para filtrar e melhorar a visualização geral da imagem, tal qual a equalização de histograma. Este processo é denominado etapa de pré-processamento, em que a imagem é tratada antes de ser submetida à análise da visão computacional.

O histograma pode ser definido como uma representação gráfica que ilustra a distribuição das intensidades dos pixels presentes na imagem. Essa distribuição é expressa por meio de barras que correspondem à frequência de ocorrência de cada valor de intensidade, geralmente variando de 0 (preto) a 255 (branco) em imagens em escala de cinza. Em imagens coloridas, a análise pode ser estendida para os três canais de cor primários: vermelho, verde e azul (RGB), cada um possuindo seu próprio histograma (Gonzalez & Woods, 2018).

A construção do histograma é realizada por meio da contagem do número de pixels que apresentam um valor específico de intensidade, o que possibilita uma análise detalhada das propriedades da imagem, como o contraste, o brilho e a gama de tonalidades presentes. Essa ferramenta gráfica é essencial em diversas técnicas na etapa de pré-processamento, incluindo ajustes de brilho e contraste, equalização de histograma, e até mesmo na realização de segmentações para identificação de objetos ou características de interesse (Jähne, 2005).

Em imagens coloridas, é comum gerar três histogramas separados para cada componente de cor (R, G e B), embora também seja possível construir um histograma único que combine os dados de intensidade de todos os canais. Tais representações são amplamente utilizadas em áreas como visão computacional, diagnóstico médico por imagem e engenharia de imagem, dado que o histograma fornece informações cruciais para a melhoria da qualidade e análise das imagens (Jain, 1989).

Figura 6. Exemplo de uma imagem com baixo contraste (a) e a mesma imagem após uma equalização (c), com seus respectivos histogramas ao lado direito (b, d).



Fonte: Retirado de Marques & Vieira (1999).

Assim, em diversas aplicações, a mídia visual é inicialmente adquirida por um sensor. Posteriormente, ela passa por etapas de pré-processamento com o objetivo de aprimorar sua qualidade geral, o que inclui a remoção de ruídos por meio de filtros espaciais ou de frequência, bem como a correção de iluminação e a equalização de um histograma para a melhora de contraste.

Após essa fase, podem ser aplicadas técnicas de segmentação para identificar regiões de interesse ou objetos específicos. A partir dessas regiões, características dos objetos serão extraídas e, por fim, algoritmos de reconhecimento de padrões ou métodos de aprendizado de máquina (mais diretamente relacionados à visão computacional) podem ser empregados para classificar ou identificar os objetos.

Figura 7. Exemplo de equalização de imagem escura (esquerda) e aplicação de visão computacional.

Fonte: Retirado de Marengoni e Stringhini (2010).

Neste exemplo temos uma imagem digital de um carro capturada em condições de pouca luz, resultando em uma figura escura onde os detalhes, incluindo a placa, são difíceis de distinguir. A equalização do histograma mapeia os valores de intensidade da imagem de um intervalo pequeno para um intervalo maior, distribuindo os pixels ao longo dela de forma a obter uma distribuição mais uniforme de intensidades e, consequentemente, aumentando o contraste. Como descrevem Marengoni e Stringhini (2010):

> ” A ideia desta operação é mapear os valores de intensidade de uma imagem de um intervalo pequeno (pouco contraste) para um intervalo maior (muito contraste) e ainda distribuir os pixels ao longo da imagem de forma a obter uma distribuição uniforme de intensidades (embora na prática isso quase sempre não ocorra).”

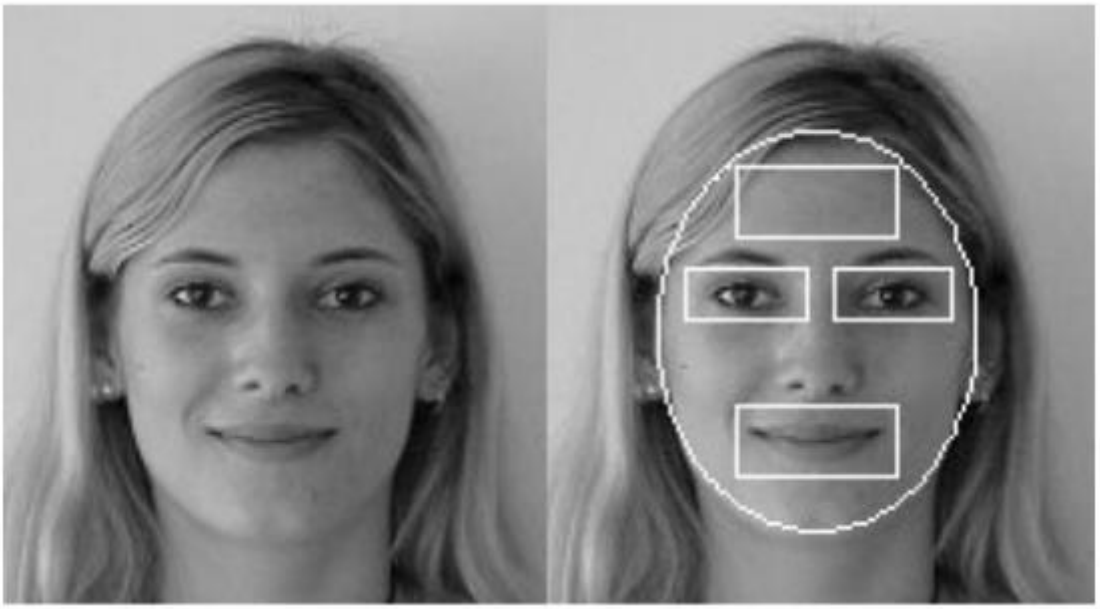
Gonzalez e Woods (2018) propõem uma segmentação do espectro entre processamento de imagens e visão computacional em três níveis distintos: baixo-nível, dedicado a operações primitivas como a redução de ruído e aprimoramento de contraste; nível-médio, englobando segmentação e classificação de objetos; e alto-nível, relacionado às tarefas de cognição inerentes à visão humana.

Baixo-nível: Envolve operações primitivas de processamento de imagens, como redução de ruído e melhoria de contraste. Tanto a entrada quanto a saída são imagens. A equalização de histograma para melhorar a leitura da placa de um veículo em uma imagem escura é um exemplo de processamento de imagem que pode preceder uma tarefa de visão computacional.

Nível-médio: Inclui tarefas como segmentação (particionar a imagem em regiões ou objetos) e classificação (reconhecimento dos objetos na imagem). A entrada geralmente é uma imagem, mas a saída são atributos extraídos, como bordas, contornos e a identidade de objetos. A extração da placa do veículo e a identificação dos caracteres são exemplos de tarefas de nível médio, muitas vezes consideradas no escopo do processamento de imagens.

Alto-nível: Relaciona-se com as tarefas de cognição associadas à visão humana, como a análise de uma cena ou a interpretação do significado da placa do veículo (por exemplo, buscar informações em um banco de dados).

Figura 8. Exemplo de estrutura para reconhecimento de face.



Fonte: Retirado de Marengoni e Stringhini (2010, p. 20).

A visão computacional tem como objetivo emular a visão humana, utilizando imagens como entrada e fornecendo como saída uma interpretação total ou parcial do conteúdo visual. Essa característica aproxima tal abordagem do alto nível de processamento de imagens, um exemplo sendo o reconhecimento facial de uma pessoa, cuja finalidade visa à compreensão de seu conteúdo por meio da identificação de rostos (Marengoni & Stringhini, 2010).

Além disso, o reconhecimento de padrões e objetos é descrito como um processo que pressupõe conhecimento prévio e algum tipo de armazenamento de informações acerca do objeto a ser reconhecido. Tal exigência coloca tarefas como o reconhecimento facial em um patamar superior ao das operações básicas de

processamento de imagem, situando-as no campo da computação visual e da inteligência artificial.

Equalizar o histograma de uma imagem para tornar uma placa veicular legível constitui uma operação de processamento de imagem; por outro lado, aplicar operadores para extrair a placa e identificar os caracteres nela presentes configura uma tarefa de visão computacional. De modo semelhante, a detecção de um rosto seguida de sua identificação extrapola a simples manipulação elementar da imagem

Ambos são passos necessários para a identificação de objetos em uma imagem, onde a fase de pré-processamento torna apto os algoritmos de reconhecimento para realizarem as operações necessárias sobre a mídia visual analisada. Como Meneses e Almeida (2012) afirmam "Reconhecimento de padrões é a ciência de encontrar padrões significativos nos dados da imagem que possam ser extraídos por operadores automatizados."

2.6 Interface de Programação de Aplicações (API)

A definição da arquitetura de software é uma decisão estratégica nas etapas iniciais de desenvolvimento, a qual serve como base para orientar escolhas técnicas que impactam diretamente aspectos essenciais da aplicação. Para Gos e Zabierowski (2020), a arquitetura representa a estrutura fundamental sobre a qual o sistema será construído, influenciando sua organização e evolução ao longo do tempo.

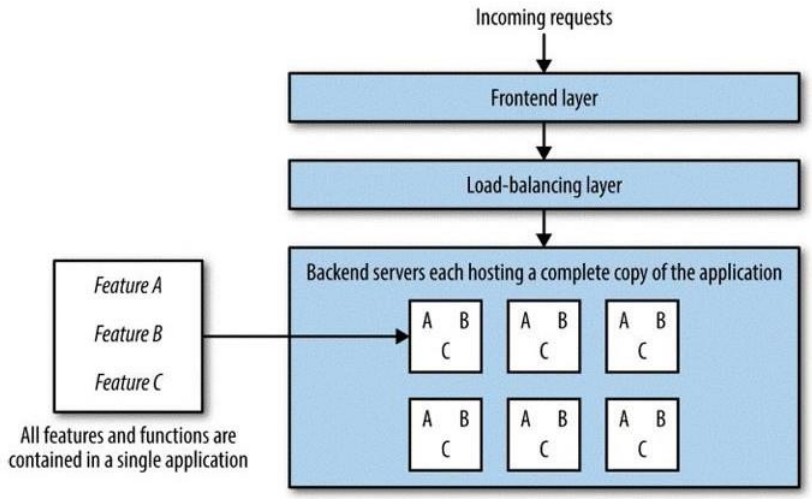
Nesse contexto, entre as diversas possibilidades arquiteturais que podem ser adotadas, duas abordagens se destacam por sua ampla utilização na indústria de software: a arquitetura monolítica e a arquitetura de microsserviços. Cada uma propõe uma forma distinta de estruturar e organizar os componentes de software, refletindo diferentes estratégias de modularização, escalabilidade e manutenção.

Blinowski, Ojdowska e Przybyłek (2022) ressaltam que, embora existam casos de sucesso que apontem ganhos significativos na migração da arquitetura monolítica para a de microsserviços, os benefícios dessa transição não devem ser considerados uma verdade absoluta aplicável a todos os cenários. Ademais, destacam que os desafios envolvidos na migração — ou mesmo na escolha inicial da arquitetura — podem, em determinados contextos, superar os potenciais benefícios.

Embora aplicações baseadas em arquitetura monolítica não sejam necessariamente inadequadas, elas tendem a apresentar limitações ao longo do ciclo

de vida, especialmente em relação à entrega contínua de qualidade. Essas dificuldades estão, em grande parte, associadas ao fato de que o próprio princípio da arquitetura monolítica é, por natureza, contrário a escalabilidade, mostrando-se pouco eficiente em contextos que exigem flexibilidade, modularidade e adaptação a variações de carga (Fowler, 2016).

Figura 9. Exemplo genérico de arquitetura monolítica

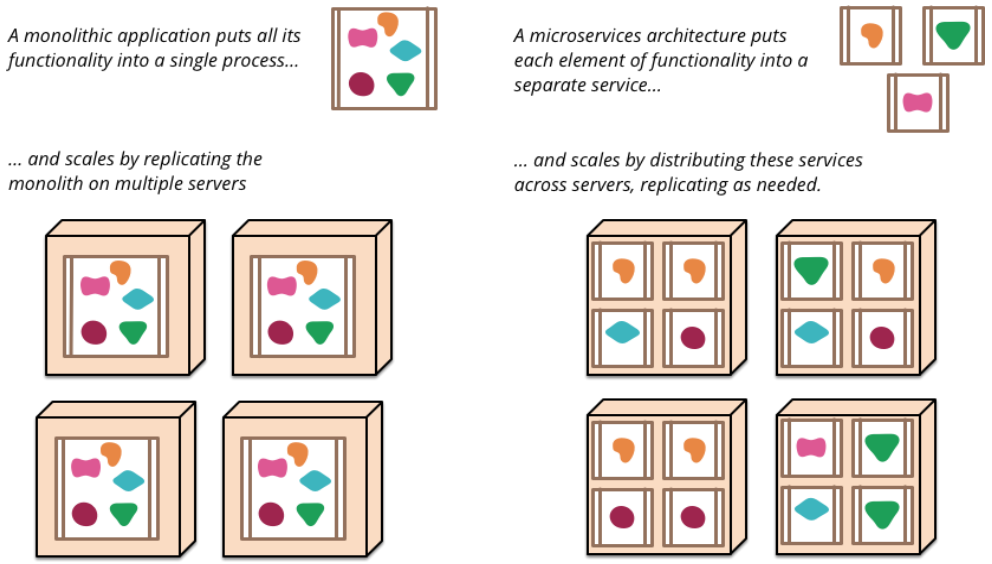


Fonte: Retirado de Production-Ready Microservices p.22

Como destaca Adam Przybyłek (2015), a modularidade é um princípio essencial para o desenvolvimento de sistemas mais compreensíveis e gerenciáveis, sendo alcançada por meio da divisão do sistema em módulos coesos e fracamente acoplados. Esses módulos se caracterizam pela definição de interfaces bem delimitadas e pela ocultação dos detalhes internos, ao passo que mantêm baixo acoplamento e alta coesão entre si.

Embora essa abordagem não esteja vinculada exclusivamente a um único estilo arquitetural, ela encontra aplicação mais concreta e eficaz na arquitetura de microsserviços, que eleva o princípio da modularidade ao nível da distribuição — permitindo que cada serviço funcione como uma unidade autônoma, com responsabilidades bem definidas, maior capacidade de evolução e implantação independente.

Figura 10. Diferenças entre Monolítico x Microserviços



Fonte: Retirado de https://martinfowler.com/articles/microservices.html

Segundo Lewis e Fowler (2014), o estilo arquitetural de microsserviços pode ser compreendido como uma abordagem para a construção de aplicações a partir de um conjunto de pequenos serviços, que comumente se comunicam por meio de mecanismos leves, como APIs REST. Adicionalmente, eles complementam que tais serviços são independentes entre si e desenvolvidos de forma isolada, cada um centrado em uma responsabilidade específica do domínio de negócio.

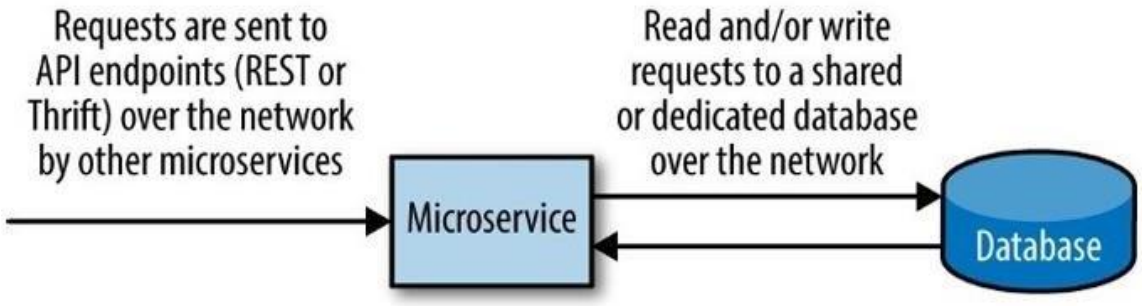
A arquitetura de microsserviços passou a atrair significativa atenção à medida que empresas em rápido crescimento demonstravam sucesso com sua adoção. Paralelamente, o avanço das tecnologias de conteinerização — como Docker e K8s— contribuiu para consolidar ainda mais essa abordagem, especialmente em ambientes baseados em computação em nuvem (Blinowski, Ojdowska e Przybyłek, 2022).

> “Microserviços interagem entre si por meio da rede, utilizando chamadas de procedimento remoto (RPCs) ou mensagens enviadas aos endpoints de API de outros microserviços (ou, como veremos no caso da troca de mensagens, a um intermediador de mensagens que irá direcionar adequadamente a mensagem). A ideia básica é a seguinte: utilizando um protocolo específico, um microserviço enviará determinados dados, em um formato padronizado, pela rede para outro serviço (possivelmente para o endpoint de API de outro microserviço) ou para um intermediador de mensagens, que garantirá o encaminhamento desses dados ao endpoint de API de outro microserviço." (Fowler, 2016, p.33)

De tal maneira, com a computação em nuvem se tornando uma opção primária nas infraestruturas de TI, o uso e desenvolvimento de APIs passou a ser

significativamente acelerado, emergindo pela necessidade constante de novas soluções. Nesse contexto, no qual camadas adicionais de abstração se integram à construção de aplicações finais, o mercado de tecnologia tem direcionado uma parcela significativa de suas soluções à ideia de Backend as a Service (BaaS) —– permitindo que desenvolvedores foquem nas funcionalidades principais de seus projetos enquanto integram demais necessidades por meio da comunicação com outras interfaces de programação de aplicações (Dudjak e Martinović, 2020).

Figura 11. Elementos de uma arquitetura de microserviços



Fonte: Retirado de Production-Ready Microservices p.25

2.7 Microcontroladores

No contexto do modo de vida contemporâneo, a utilização de computadores e dispositivos tecnológicos tornou-se um elemento essencial nas rotinas diárias. Essa presença se estende desde o ambiente de trabalho, no qual, em diversas situações, esses dispositivos são indispensáveis, até os lares residenciais mais simples, que são equipados com aparelhos eletrodomésticos que, embora não se configurem como computadores propriamente ditos, incorporam funções computacionais em um nível reduzido.

Com o advento dos microcontroladores e microprocessadores nas últimas décadas, o uso do poder computacional em dispositivos mais simples experimentou uma expansão significativa, e suas aplicações continuam a crescer de maneira acelerada. Essencialmente, os microcontroladores são computadores miniaturizados que contêm, em um único chip, os componentes necessários para o controle de sistemas de tempo real. Esses dispositivos se destacam, principalmente, pelo baixo

custo e pela facilidade de integração em sistemas diversos, o que favorece sua adoção em uma ampla gama de aplicações tecnológicas.

Microprocessadores e microcontroladores compartilham diversas semelhanças, uma vez que ambos são dispositivos compactos com capacidade de executar lógica computacional, sendo praticamente indispensáveis para grande parte das tecnologias modernas. No entanto, enquanto os microprocessadores são concebidos para atuar como parte de um sistema maior —— isto é, requerem periféricos externos para operar plenamente ——, os microcontroladores integram, em um único chip, todos os componentes essenciais para seu funcionamento autônomo. Como ressalta a IBM:

> “Ao combinar vários componentes em um único sistema, os microcontroladores são adequados para aplicações que exigem processamento de sinal em tempo real, como controle de motores e assistentes e interface com vários tipos de sensores e comunicações.”

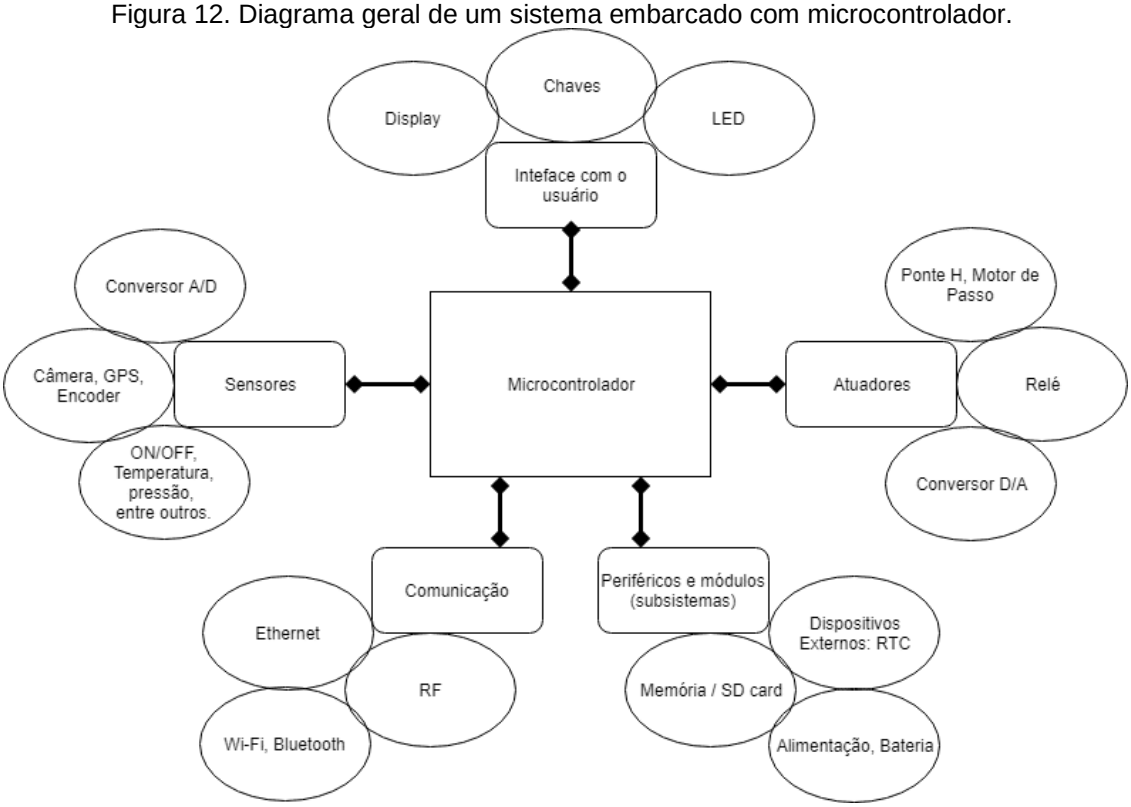
Tais dispositivos são projetados especificamente para realizar tarefas determinadas dentro de sistemas embarcados, dispensando a utilização de sistemas operacionais complexos. Seu desenvolvimento visa atender a aplicações de controle computacional embarcado, desempenhando funções específicas de forma eficiente e autônoma (MAZIDI et al., 2016).

Um microcontrolador contém um núcleo de unidade central de processamento (CPU), responsável pela execução de instruções e pelo controle das operações internas do dispositivo. Além disso, esses componentes apresentam memórias integradas no chip, como a memória de acesso aleatório (RAM), utilizada para armazenamento temporário de dados, e a memória somente de leitura (ROM) ou memória flash, onde são armazenadas as instruções do programa, também conhecidas como firmware. Em alguns modelos, há ainda a presença da memória EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), que possibilita o armazenamento de programas personalizados com retenção de dados mesmo na ausência de energia.

A arquitetura dos microcontroladores também contempla a integração de diversos periféricos no mesmo chip, tais como temporizadores, contadores, conversores analógico-digitais (ADCs), conversores digital-analógicos (DACs) e portas de entrada e saída (I/O). Esses periféricos possibilitam a interação direta com sensores e a atuação sobre dispositivos externos, promovendo a automação e o

controle preciso de processos físicos. Tal composição reduz a necessidade de componentes externos, conferindo ao microcontrolador um custo geralmente baixo, uma vez que várias funcionalidades estão reunidas em um único circuito integrado.

Figura 12. Diagrama geral de um sistema embarcado com microcontrolador.



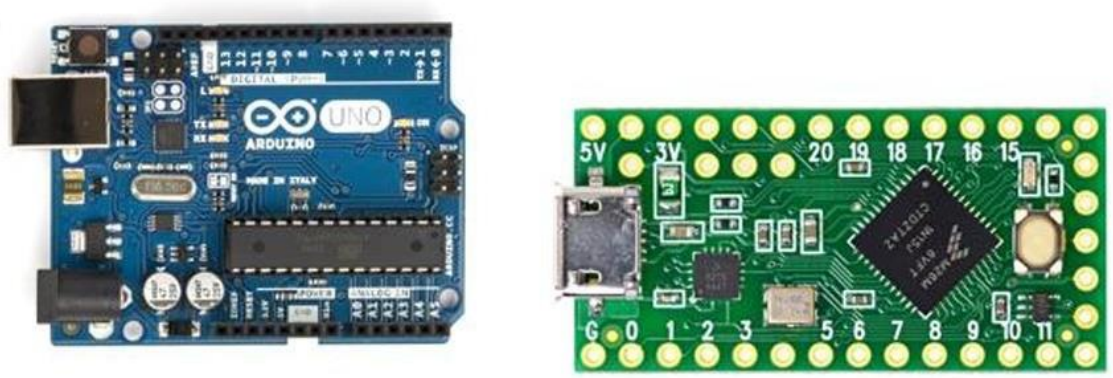
Fonte: Retirado de Introdução aos sistemas embarcados e microcontroladores

Outro aspecto notável é seu baixo consumo de energia, o que os torna particularmente adequados para dispositivos alimentados por baterias. Muitos modelos incluem modos de economia de energia integrados, otimizando ainda mais sua eficiência energética. Em virtude dessas características, são amplamente empregados em diversas áreas, tais como produtos de consumo (máquinas de lavar, copiadoras, televisores, fornos de micro-ondas), automação industrial, sistemas automotivos, dispositivos da Internet das Coisas (IoT), robótica, entre outros (MORIMOTO, 2018).

A flexibilidade desses dispositivos é reforçada por sua capacidade de serem programados, permitindo que executem funções específicas definidas por meio de software (firmware). A programação pode ser realizada em linguagem de montagem (assembly) ou em linguagens de alto nível, como C, dependendo da complexidade da aplicação e do nível de controle desejado.

Microcontroladores estão disponíveis em diferentes arquiteturas, como Von Neumann e Harvard, e variam quanto à largura de seus barramentos, sendo encontrados em versões de 4, 8, 16 e 32 bits, o que possibilita atender a diferentes necessidades de processamento e aplicações. Além disso, muitos modelos incluem interfaces de comunicação, como a Serial Peripheral Interface (SPI), Inter-Integrated Circuit (I2C) e a Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART), permitindo a comunicação eficiente com outros dispositivos e sistemas embarcados (MAZIDI et al., 2016).

Figura 13. Exemplos de placas de microcontroladores. Arduino Uno (esquerda) e Teensy 3.2 (direita).



Fonte: Retirado de LAMBERT (2017).

Dada a ampla variedade de microcontroladores disponíveis no mercado, cada modelo apresenta especificações distintas que podem variar significativamente conforme os requisitos da aplicação a ser desenvolvida. Essas diferenças abrangem desde dimensões físicas — maiores ou mais compactas — até arquiteturas que oferecem diferentes relações entre tamanho e funcionalidades, quantidade variável de pinos de entrada/saída (I/O), entre outros aspectos. Diante desse cenário, torna- se essencial selecionar e modelar o microcontrolador com base nas demandas específicas do projeto em questão.

Apesar de sua versatilidade e diversidade funcional, é fundamental destacar que esses dispositivos são, essencialmente, digitais. Eles processam dados de forma discretizada, não sendo capazes de interpretar diretamente sinais analógicos. Para lidar com informações provenientes do mundo real, que geralmente são contínuas, esses dispositivos fazem uso de conversores analógico-digitais (ADCs) e digital-analógicos (DACs), possibilitando, assim, a interface entre sinais analógicos e o ambiente digital do microcontrolador. (LAMBERT, 2017).

Os microcontroladores, por suas características arquitetônicas integradas, apresentam recursos fixos e limitados no que diz respeito à memória interna e interfaces de entrada/saída. Em geral, esses aparelhos possuem quantidades predefinidas de memória ROM e RAM embarcadas, bem como um número específico de portas de entrada/saída (I/O). Essa configuração contribui para a redução de custos e o aproveitamento do espaço físico nos dispositivos, entretanto, impõe limitações de versatilidade em comparação aos sistemas baseados em microprocessadores de uso geral, nos quais é possível expandir externamente a memória e os canais de I/O.

Do ponto de vista computacional, os microcontroladores são projetados para desempenhar funções lógicas específicas e controlar elementos definidos em sistemas embarcados. Como consequência, apresentam capacidade reduzida para a realização de tarefas computacionais complexas, especialmente quando comparados aos microprocessadores. Seus clocks operam, em geral, na faixa de quilohertz (kHz) a megahertz (MHz), enquanto microprocessadores modernos alcançam frequências de operação na ordem de gigahertz (GHz) (PEREIRA, [s.d]).

Em relação às interfaces de comunicação, os microcontroladores suportam predominantemente protocolos de baixa a média velocidade, como SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit) e UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Em contraste, os microprocessadores são desenvolvidos para lidar com transferências de dados em alta velocidade, suportando interfaces modernas como USB 3.0 e Ethernet Gigabit, o que os torna mais apropriados para aplicações que exigem comunicação intensiva.

Outro aspecto a ser considerado é o suporte limitado a sistemas operacionais. Embora existam sistemas operacionais de tempo real (RTOS) voltados para determinadas arquiteturas de microcontroladores, como a ARM, a maioria desses dispositivos não requer um sistema operacional complexo para seu funcionamento. Contudo, essa limitação pode ser um fator restritivo em aplicações que demandam os recursos e a infraestrutura oferecidos por sistemas operacionais mais robustos.

Por fim, no contexto dos sistemas de controle digital, a utilização de microcontroladores pode gerar erros de quantização. Tais erros decorrem da limitação no comprimento de palavra utilizado para armazenamento e processamento de dados. Além disso, a resolução finita dos conversores analógico-digitais (ADC) e digital-

analógicos (DAC) pode introduzir imprecisões adicionais no sistema, afetando negativamente a qualidade do controle.

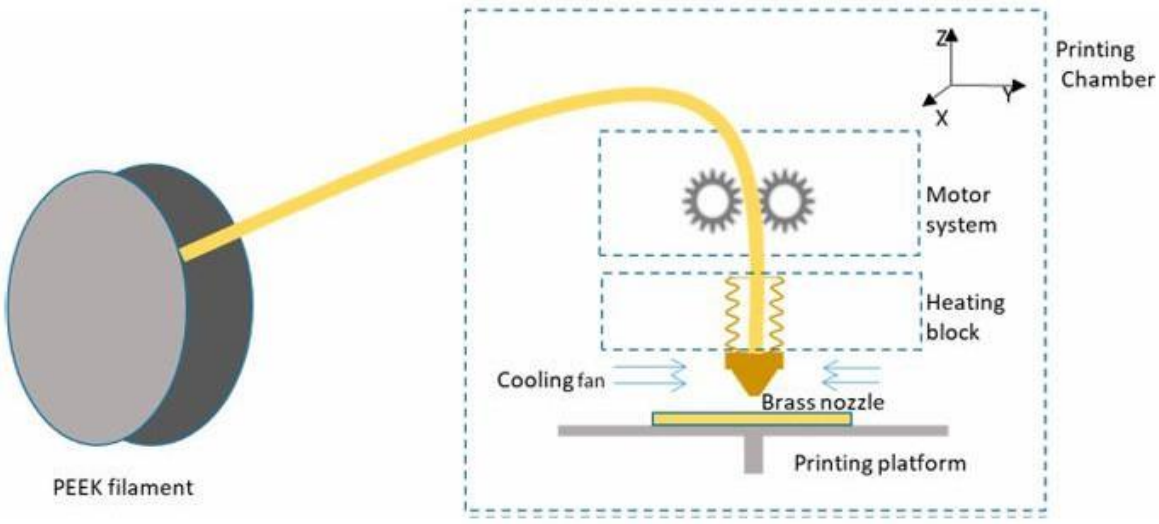
2.8 Impressão 3D

Diversos setores industriais enfrentavam desafios significativos no que se refere à prototipagem, uma etapa crucial no desenvolvimento de novos produtos. O processo de criação e fabricação de produtos envolve várias fases, como modelagem, impressão e validação, que, em sua forma tradicional, geravam um ciclo demorado e burocrático, limitando a agilidade e a inovação nas indústrias. Para solucionar tal necessidade, as impressoras 3D surgiram como um verdadeiro impulsionador da prototipagem, permitindo desenvolvimentos mais rápidos e eficientes [Saggiomo, 2022].

Nesse contexto, como apontado por Mushtaq et al. (2023), circunstâncias como a epidemia do vírus COVID-19 requisitaram uma manufatura acelerada como parte de uma resposta emergencial. A impressão 3D, nesse cenário, foi destacada como uma solução eficiente, funcionando como uma "fábrica portátil". Dentre os campos que se beneficiam dessa tecnologia, é possível destacar setores de saúde e tecnológicos/industriais.

A manufatura aditiva (AM), popularmente conhecida como impressão 3D, baseia-se no conceito de construir um objeto físico por meio da adição sucessiva de camadas. Esse processo, essencial no contexto da prototipagem e da fabricação digital, é viabilizado por softwares de design assistido por computador (CAD), que permitem a criação de modelos tridimensionais. Esses modelos são posteriormente convertidos em seções bidimensionais —— etapa conhecida como *slicing* ——, possibilitando a construção do objeto camada por camada na plataforma de impressão (MUSHTAQ et al., 2023).

Figura 14. Diagrama esquemático de uma impressora 3D por FDM



Fonte: Retirado de Parameters Influencing the Outcome of Additive Manufacturing of Tiny Medical Devices Based on PEEK p.2

Embora um termo amplamente reconhecido, as tecnologias disponíveis ainda eram limitadas, o que dificultava o avanço das impressoras 3D. Em 1988, Scott Crump, da Stratasys Ltd., desenvolveu o processo de Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM). A partir da expiração da patente dessa tecnologia em 2009, houve um impulso significativo para o desenvolvimento de impressoras 3D mais acessíveis, inclusive aquelas baseadas em deposição de resina, o que acelerou ainda mais a disseminação e inovação no campo da impressão 3D (KAWAGISHI et al., 2016).

A tecnologia de Fabricação por Fusão de Filamento (FFF), termo adotado pela comunidade de código aberto como alternativa ao nome comercial FDM, baseia-se na utilização de um filamento termoplástico como matéria-prima. O processo consiste na repetição de um procedimento base, no qual a cabeça de impressão se movimenta nos eixos X e Y, que representam os movimentos laterais, e no eixo Z, correspondente ao movimento vertical (MUSHTAQ et al., 2023).

Como explicado por Mushtaq et al. (2023), esse procedimento envolve, em sua concepção, um motor elétrico responsável pela alimentação do sistema de extrusão, cujo filamento passa por um aquecedor a fim de ser fundido. Posteriormente, a deposição do material liquefeito ocorre sobre a plataforma de impressão por meio do bico extrusor e, como possível notar na Figura 14, um ventilador de resfriamento se faz necessário para garantir a solidificação do material.

Dessa forma, como enfatizado por Zhou et al. (2024), a manufatura aditiva apresenta diversas vertentes de desenvolvimento e múltiplas áreas de aplicação, permitindo inovações ao longo da cadeia produtiva industrial. Além disso, os autores ressaltam que há um contínuo interesse na otimização do processo de impressão propriamente dito, bem como no aprimoramento das propriedades das matérias-primas, por meio de pesquisas constantemente conduzidas.

> "A manufatura aditiva continua a expandir os limites do que é possível na fabricação, impulsionando um futuro em que a produção personalizada sob demanda pode se tornar uma realidade em diversos setores. À medida que a tecnologia amadurece e supera limitações atuais relacionadas à velocidade, custo e propriedades dos materiais, seu papel na próxima revolução industrial torna-se cada vez mais significativo." (ZHOU et al., 2024, p. 3)

3 OBJETIVO

O foco principal é promover maior autonomia e acessibilidade para indivíduos com deficiência visual. Para este fim, busca-se criar uma solução acessível e eficiente que integre tecnologias de detecção e análise do ambiente, proporcionando feedback útil e em tempo real ao usuário.

De maneira mais específica, o projeto visa à integração prática de um hardware capaz de capturar imagens —– no corrente caso, a ESP32-CAM —– com um software intermediário. Este software atuará como meio de comunicação para uma interface de programação de aplicações (API) voltada para o reconhecimento de imagens. Esse é um dos passos fundamentais para alcançar o objetivo final. Ao longo do trabalho, serão explorados, tanto conceitualmente quanto tecnicamente, os fundamentos que viabilizam a aplicação, detalhando os conceitos essenciais que fazem o sistema operar de forma eficiente e integrada.

3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho concentra-se em descrever o processo de desenvolvimento e elaboração de um dispositivo vestível, o qual, aliado a algoritmos de aprendizado de máquina, contribua significativamente para a qualidade de vida de pessoas com deficiência visual, proporcionando-lhes uma interação mais eficiente e autônoma com o ambiente.

3.2 Objetivos Específicos

- Investigar as principais dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência visual em suas atividades diárias.
- Analisar as tecnologias existentes no mercado voltadas para acessibilidade e orientação espacial.
- Desenvolver e implementar um protótipo funcional que utilize uma aplicação externa para a identificação e descrição de objetos presentes no ambiente.

4 MATERIAIS E MÉTODO

A fim de alcançar os objetivos propostos, foram definidos os materiais utilizados no protótipo e os métodos que orientaram sua construção. Essas escolhas tiveram como referência a viabilidade técnica, o custo-benefício e a adoção de uma abordagem iterativa para desenvolvimento e validação.

4.1 Materiais

A aplicabilidade de um sistema de detecção de ambientes em dispositivos vestíveis e móveis é, inicialmente, viabilizada por meio de um hardware específico para a aplicação. O modelo ESP32-CAM, utilizado no desenvolvimento do óculos, é composto por uma placa que integra o chip ESP32 e uma câmera, permitindo a captura de imagens e vídeos.

É relevante destacar que a família de chips ESP32 se distingue por oferecer suporte à conectividade Wi-Fi e Bluetooth, funcionalidade que habilita fácil integração do dispositivo com uma aplicação mobile. Além do mais, o suporte integrado a câmeras e sensores se torna um aspecto essencial para a implementação, de forma geral, de sistemas de detecção em dispositivos móveis e vestíveis.

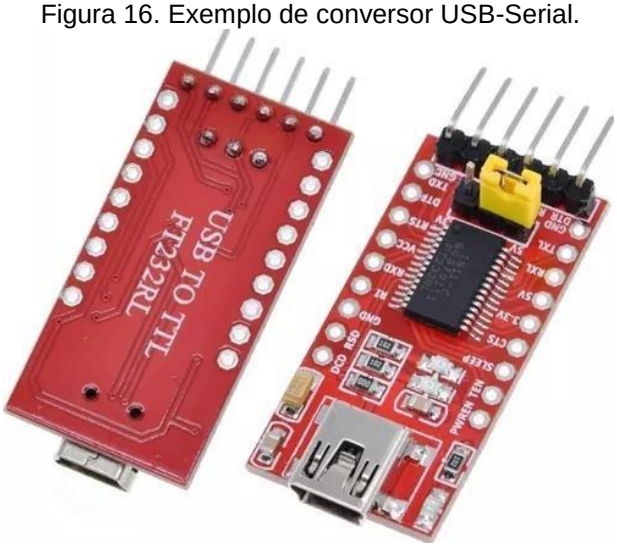
Ademais, o modelo também oferece recursos para o armazenamento de dados em dispositivos de memória externa, especificamente cartões SD, e para a captura de registros em ambientes com baixa incidência de luz, utilizando o LED localizado na parte inferior da placa.

Figura 15. ESP32-CAM-MB.

Fonte: Retirado de https://m.media-amazon.com/images/I/71tPi8Dn1hL.jpg

O modelo específico utilizado no desenvolvimento do projeto apresenta o módulo acoplado a uma placa base adaptadora, a qual disponibiliza uma interface micro USB. Tal configuração dispensa a necessidade de um conversor USB-Serial externo para o upload do firmware ao microcontrolador.

Figura 16. Exemplo de conversor USB-Serial.



Fonte: Retirado de https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_834116-MLA81058207995_112024-O.webp

A câmera utilizada no projeto é o modelo OV2640, que permite uma resolução de até 1600x1200 pixels e captura de imagens coloridas. Ressalta-se que a placa utilizada é compatível com diferentes modelos de câmeras, o que possibilita adaptações conforme os requisitos específicos de cada aplicação e necessidade.

Tabela 1. Diferença entre modelos da câmera utilizada.

Modelo	Resolução Máxima	Tipo de cor	Formato de Saída	Tamanho da lente
OV2640	1600 x 1200	Colorida	YUV (422/420), YCbCr422, RGB565/555, Dados comprimidos 8 bits, Dados RAW RGB 8/10 bits	1/4"
OV3660	2048 x 1536	Colorida	Dados RAW RGB, RGB565/555/444, CCIR656, YCbCr422, Compressão	1/5"
OV5640	2592 x 1944	Colorida	RAW RGB, RGB565/555/444, CCIR656, YUV422/420, YCbCr422, Compressão	1/4"
OV7670	640 x 480	Colorida	RAW Bayer RGB, Bayer RGB Processado, YUV/YCbCr422, GRB422, RGB565/555	1/6"
OV7725	640 x 480	Colorida	Raw RGB GRB 422 RGB565/555/444 YCbCr 422	1/4"
NT99141	1280 x 720	Colorida	YCbCr 422, RGB565/555/444, RAW, CCIR656, Compressão JPEG	1/4"
GC032A	640 x 480	Colorida	YUV/YCbCr422 RAW Bayer RGB565	1/10"
GC0308	640 x 480	Colorida	YUV/YCbCr422 RAW Bayer, RGB565, Escala de Cinza	1/6.5"
GC2145	1600 x 1200	Colorida	YUV/YCbCr422 RAW Bayer RGB565	1/5"
BF3005	640 x 480	Colorida	YUV/YCbCr422 RAW Bayer RGB565	1/4"
BF20A6	640 x 480	Colorida	YUV/YCbCr422, RAW Bayer, Apenas Y	1/10"
SC101IOT	1280 x 720	Colorida	YUV/YCbCr422, RAW RGB	1/4.2"
SC030IOT	640 x 480	Colorida	YUV/YCbCr422, RAW Bayer	1/6.5"

SC031GS	640 x 480	Monocromática	RAW	MONO, Escala de Cinza	1/6"

Fonte: Adaptado de https://github.com/espressif/esp32-camera

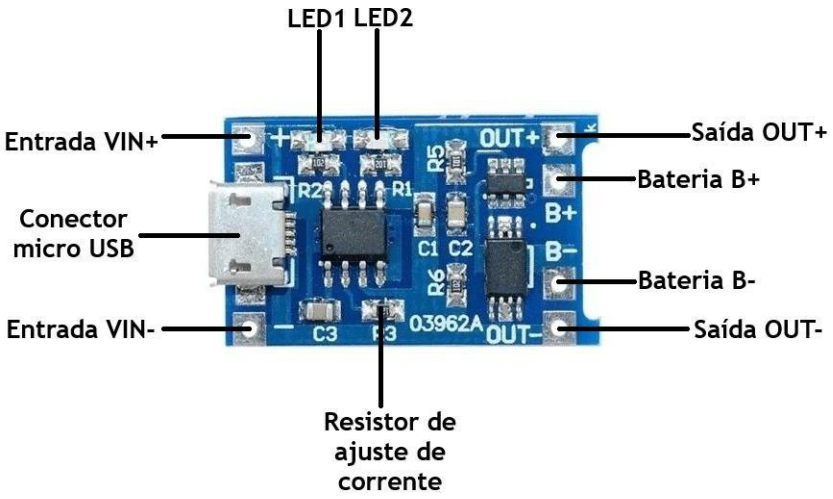
Para viabilizar o funcionamento do módulo ESP32-CAM de forma autônoma e sem fio, optou-se pela utilização de uma bateria de íon de lítio recarregável do tipo 14500. Este modelo apresenta formato cilíndrico semelhante ao de uma pilha AA (aproximadamente 14×50 mm), fornecendo uma tensão nominal de 3,7 V e capacidade em torno de 800 mAh. Cada unidade possui massa aproximada de 20 g, sendo adequada para aplicações portáteis que exigem compacidade e leveza.

Figura 17. Bateria de Lítio 14500

Fonte: Retirado de https://www.roboticaeducacional.art.br/bateria-37v-icr-14500-de-litio-recarregavel-14mm-x-50mm

Para realizar o carregamento da bateria 14500 de forma eficiente e segura, foi utilizado um módulo carregador baseado no circuito integrado TP4056. Esse módulo possui um controlador de corrente e tensão integrado, capaz de fornecer uma corrente de carga padrão de até 1 A, com tensão de corte em 4,2 V, adequada para células de íon de lítio. Além disso, conta com mecanismos de proteção contra sobrecarga e curto-circuito, garantindo maior durabilidade e segurança da bateria. Optou-se pela versão com entrada USB do tipo C, a fim de proporcionar maior acessibilidade e compatibilidade com carregadores modernos. Devido à sua estrutura simples e eficiente, o módulo também pode funcionar como interface para alimentação direta via carregadores portáteis, ampliando a versatilidade do projeto.

Figura 18. Módulo carregador TP4056



Fonte: Retirado de https://www.makerhero.com/blog/saiba-como-funciona-o-modulo-tp4056/

Para garantir uma alimentação compatível com a tensão nominal de 5V exigida pelo módulo, foi empregado um conversor boost (regulador de tensão do tipo step-up), capaz de elevar a tensão real da bateria de lítio 3,7V até um nível adequado ao funcionamento do dispositivo, dentro da faixa suportada pelo regulador interno do módulo.

Figura 19. Regulador de Tensão (MT3608)

Fonte: Retirado de Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up - 2,5V a 28V

A estrutura física do modelo vestível foi desenvolvida por meio de modelagem tridimensional utilizando o software Blender, que permitiu a criação de um design personalizado e adequado à integração dos componentes eletrônicos. A fabricação foi realizada no STHEMDA LAB da Universidade de Sorocaba (UNISO), utilizando uma impressora 3D da marca Creality, com filamento PLA como material de produção.

Figura 20. Impressoras 3D – STHEMDA

Fonte: Retirado de https://sthemda.uniso.br/

Para o desenvolvimento do software, foi adotado o framework React Native, uma biblioteca JavaScript de código aberto mantida pelo Facebook. Essa tecnologia permite a criação de aplicações móveis nativas para os principais sistemas operacionais utilizados em smartphones, como Android e iOS, a partir de uma única base de código, promovendo maior eficiência e uniformidade no processo de desenvolvimento.

Com o intuito de otimizar a inicialização, testes e execução da aplicação, empregou-se o Expo, um conjunto de ferramentas e serviços que facilita o desenvolvimento com React Native. O Expo permite a realização de testes em tempo real, tanto em dispositivos físicos quanto em emuladores, além de oferecer suporte integrado a diversos recursos nativos dos dispositivos móveis.

Embora não seja estritamente necessário, o uso de ferramentas voltadas à prototipação e ao design de interfaces demonstrou-se útil para a concepção visual do aplicativo. Nesse contexto, foi utilizada a plataforma Figma com o objetivo de modelar a estrutura visual e funcional da aplicação, buscando assegurar uma interação intuitiva com o usuário final, sem comprometer a presença de funcionalidades essenciais ao pleno funcionamento do sistema.

Outro aspecto fundamental para a aplicabilidade do sistema refere-se à comunicação entre a aplicação desenvolvida e uma API responsável por analisar e retornar o output para a aplicação. Para essa implementação, foi utilizado o modelo GPT-4.1-NANO da Open AI, escolhida pelo baixo custo e por oferecer funcionalidades

essenciais ao funcionamento do presente trabalho. Entre essas funcionalidades, destacam-se:

- Reconhecimento de objetos
- Análise de conteúdo em imagens
- Extração de texto de imagens (OCR)

4.2 Método

Após a seleção dos materiais, o desenvolvimento do trabalho foi conduzido de forma prática e iterativa. A metodologia adotada contemplou etapas bem definidas, como levantamento de requisitos, modelagem, implementação e testes. Cada fase foi organizada de maneira a assegurar a funcionalidade e a viabilidade da solução proposta.

4.2.1 Concepção e Pré-desenvolvimento do Projeto

A etapa inicial consistiu na concepção e no planejamento de um dispositivo assistivo em formato de óculos, desenvolvido para pessoas com deficiência visual. A proposta envolveu a aplicação de técnicas de visão computacional por meio da integração de uma placa de processamento embarcada com uma câmera, visando à detecção de objetos no ambiente ao redor do usuário e a utilização de dispositivo de áudio para a comunicação entre utilizador e aparelho.

Inicialmente, foi considerada a implementação de um sistema baseado em inteligência artificial, utilizando modelos como YOLO (You Only Look Once) e ResNet (Residual Networks). Contudo, essa abordagem foi descartada em função das limitações impostas pelo tempo disponível para o desenvolvimento e pela elevada demanda computacional associada ao treinamento e à execução desses modelos.

O conceito do dispositivo desenvolvido teve como ponto de partida a análise de tecnologias já consolidadas no mercado, a exemplo do Apple Vision Pro e do Microsoft HoloLens. Embora esses produtos sejam voltados à realidade aumentada e ao entretenimento imersivo, sua arquitetura e integração entre hardware e software serviram como referência inicial para a primeira idealização do projeto.

Diferentemente dos dispositivos mencionados, que possuem alto custo e foco comercial, a presente proposta priorizou a aplicação na área da tecnologia assistiva, com maior ênfase na acessibilidade econômica e na funcionalidade voltada ao auxilio e à percepção espacial de pessoas com deficiência visual.

A inspiração tecnológica também se refletiu na etapa de desenvolvimento visual do protótipo. Visando obter uma representação preliminar da integração entre os elementos físicos do óculos, a placa de hardware e os componentes responsáveis pelo funcionamento do sistema assistivo, o modelo tridimensional foi realizado através do software de modelagem 3D Blender. Essa abordagem permitiu visualizar a disposição dos componentes e validar, ainda na fase conceitual, aspectos relacionados à ergonomia, à viabilidade de montagem e à usabilidade do dispositivo.

Figura 21. Imagem do Microsoft HoloLens

Fonte: Retirado de Microsoft HoloLens retro review: What made it great, and what a new HoloLens needs to succeed | PCWorld.

Ao fundamentar a proposta sob uma perspectiva de acessibilidade atrelada à viabilidade, almejou-se o desenvolvimento de um protótipo funcional que atendesse simultaneamente a esses fins. Com a concepção do dispositivo já delineada e seus principais objetivos definidos, foi realizada uma pesquisa nessa área de mercado, com o intuito de identificar instrumentos e ferramentas existentes voltados à mesma finalidade.

A pesquisa das opções disponíveis teve como objetivo reunir referências, obter inspirações técnicas e realizar comparações entre soluções comerciais previamente disponíveis, com especial atenção às suas funcionalidades, limitações, propriedades técnicas e usabilidade. A análise dessas soluções possibilitou a identificação de lacunas e oportunidades de melhoria, as quais serviram de base para as decisões técnicas aplicadas no desenvolvimento do presente projeto.

Tabela 2. Comparativo entre dispositivos do mercado

Dispositivo	Custo (Aproximado)	Requer Internet	Reconhecimento de objetos	Reconhecimento Facial	Leitura de Texto
OrCam MyEye	R$ 20.900,00	Não	Sim	Sim	Sim
Aira Smart Glasses	R$ 350 a R$ 16.000,00 (Depende do plano)	Sim	Sim	Sim	Sim
IrisVision	R$ 15.000,00	Sim	Não	Não	Sim
NuEyes e2+	R$ 11.000,00	Não	Não	Não	Sim
eSight 4	R$ 33.000,00	Sim	Sim	Não	Sim
Meta Ray-Ban	R$ 1.500,00	Sim	Não	Não	Não

Fonte: Tabela elaborada pelos autores. Informações consultadas em Fantastic New Tech for People With Low Vision or Blindness - Lighthouse Guild, IrisVision FAQs: Everything You Need to Know | Irisvision,

É possível observar que, embora o mercado atual disponha de uma variedade relativamente ampla de dispositivos assistivos voltados à melhoria da qualidade de vida de pessoas com deficiência visual, a parte majoritária desses equipamentos apresenta valores significativamente elevados. Esse alto custo representa uma barreira de acesso, muitas vezes ultrapassando o poder aquisitivo da população

média, mesmo em países com maior renda per capita, como os Estados Unidos. Ao transpor esse contexto para a realidade brasileira, os custos podem facilmente ser multiplicados por cinco, tornando-se inacessíveis para grande parte da população.

O valor elevado observado decorre da complexidade técnica envolvida na implementação de tecnologias de visão computacional e inteligência artificial em sistemas vestíveis, os quais exigem hardware miniaturizado e software sofisticado para garantir uma experiência de uso eficiente e confortável ao usuário final. Isso justifica o fato de que desenvolver projetos desse tipo frequentemente exige um investimento significativo, o que, por sua vez, resulta em um preço mais elevado para o produto.

Nesse contexto, uma solução plausível que se revelou uma alternativa vantajosa seria o uso de uma API. A utilização de uma API externa possibilitou o projeto integrar tecnologias complexas de inteligência artificial, como descrição automática de imagens, sem a necessidade de desenvolver essas funcionalidades internamente, o que demandaria uma equipe especializada e um alto investimento em tempo e recursos.

A Interface de Programação de Aplicações da OpenAI foi selecionada como a melhor solução para atender às necessidades do projeto, visto que, embora possua robustas funcionalidades, como a geração de descrições precisas e contextuais a partir de imagens, oferece uma fácil integração. De tal modo, o dispositivo desenvolvido passou a incorporar funcionalidades de inteligência artificial mais avançadas, ao passo em que reduzia os custos de operação, tornando-se consideravelmente mais acessível do que se fosse necessário desenvolver um modelo próprio de visão computacional e processamento de linguagem natural. O custo estimado, de acordo com a documentação, era de aproximadamente US$ 0,20 para cada 100 imagens enviadas.

Com a idealização bem elaborada e, estabelecida a orientação principal pela busca por viabilidade econômica —— com ênfase na criação de um protótipo funcional que preservasse seu caráter assistivo essencial —— foi compromissado demonstrar, por meio da implementação prática, que é possível desenvolver soluções tecnológicas voltadas à promoção da autonomia e da inclusão social de pessoas com deficiência visual, mesmo em contextos de restrição orçamentária.

Considerando esse objetivo, procedeu-se à análise de dispositivos assistivos já disponíveis no mercado, a fim de identificar elementos que pudessem servir como

referência na formulação do presente projeto. Paralelamente, realizaram-se pesquisas para a seleção de tecnologias compatíveis com os requisitos definidos, priorizando-se aquelas que oferecessem uma relação equilibrada entre custo e funcionalidade.

Durante a fase de concepção, foram estabelecidos critérios norteadores, entre os quais se destacam: a aplicabilidade do dispositivo no cotidiano de pessoas com deficiência visual; a capacidade de proporcionar maior autonomia na interação com o ambiente; e a garantia de acessibilidade econômica, assegurando que o produto não se torne inviável para a maior parte da população-alvo.

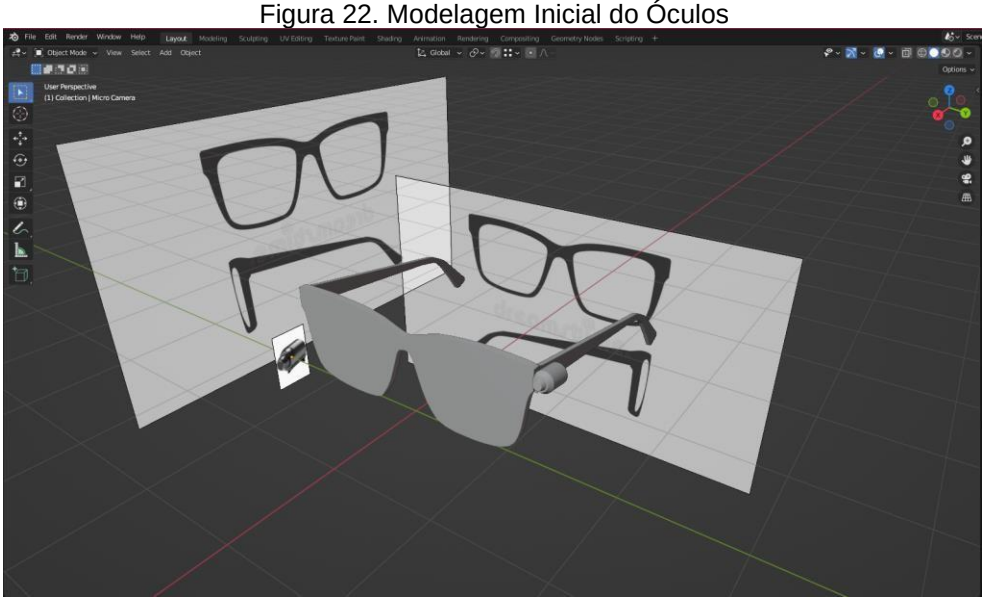
4.2.2 Modelagem Preliminar

Com a definição do tema, a delimitação do escopo e a consolidação do conceito geral do dispositivo, uma das primeiras etapas práticas do desenvolvimento consistiu na elaboração de uma modelagem tridimensional preliminar. Essa etapa teve como objetivo oferecer uma representação visual do protótipo, permitindo antecipar decisões relacionadas à disposição dos componentes físicos e à viabilidade de sua integração estrutural.

Para essa atividade, optou-se pela utilização do software Blender, uma ferramenta gratuita e de código aberto amplamente utilizada para modelagem 3D. A escolha pelo Blender deveu-se à sua acessibilidade, recursos avançados de visualização e à compatibilidade com diferentes formatos de exportação, aspectos que poderiam se mostrar vantajosos nas fases subsequentes do projeto.

A modelagem priorizou a ergonomia do usuário, levando em consideração o conforto durante o uso prolongado do dispositivo. Paralelamente, foram analisadas as melhores formas de posicionar a placa ESP32-CAM, com o intuito de garantir que o módulo ficasse discretamente acoplado à estrutura do óculos, sem comprometer a estética, o conforto ou a funcionalidade. Um dos principais fatores avaliados foi o campo de visão da câmera, que precisava ser posicionado de forma estratégica para garantir uma captação eficaz das imagens do ambiente, essencial para o correto funcionamento dos recursos assistivos integrados ao sistema.

Figura 22. Modelagem Inicial do Óculos



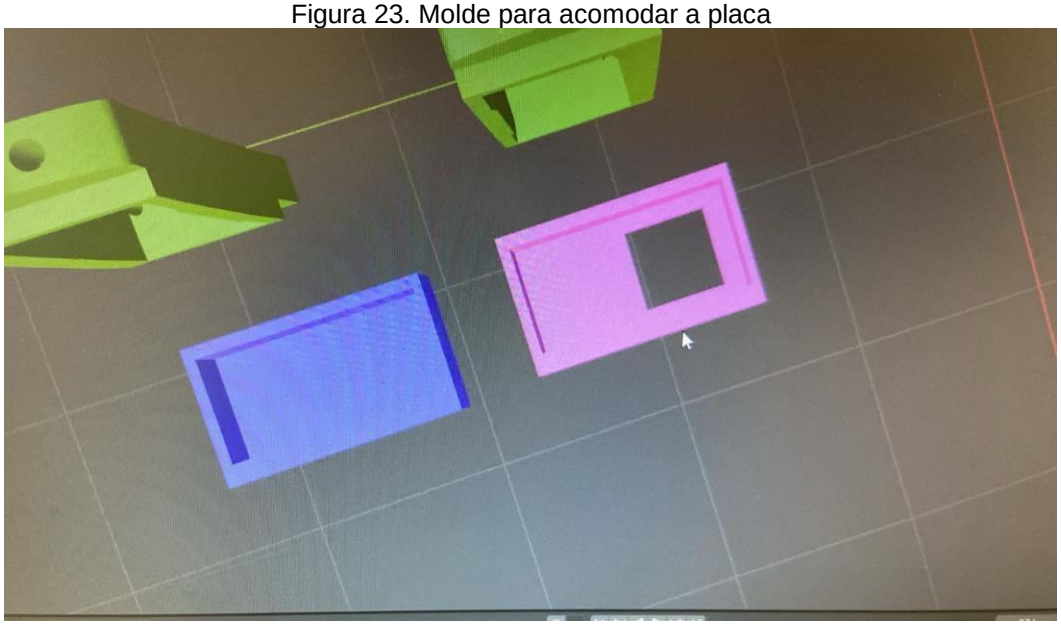
Fonte: Retirado dos próprios autores.

O modelo inicial consistiu em uma estrutura genérica, desenvolvida com o propósito de servir como base para futuras modificações, de modo a atender, progressivamente, aos requisitos específicos do projeto. Nesta fase preliminar, a principal preocupação foi o ajuste das dimensões e da forma básica, visando conferir ao protótipo a aparência e a estrutura típicas de um par de óculos.

A partir de referências visuais, foi realizada a escultura digital da estrutura, com sucessivos ajustes nas proporções, de forma a garantir a fidelidade ao modelo base e estabelecer um padrão geométrico adequado para os próximos estágios do desenvolvimento.

Uma vez determinado o componente compatível aos requisitos do projeto, a etapa subsequente consistiu em analisar as possibilidades de integração física da placa ao protótipo. Para isso, foi desenvolvido um molde específico capaz de acomodar a ESP32-CAM, com o objetivo de avaliar o espaço necessário para sua inserção e compreender sua proporção em relação à estrutura geral do dispositivo. Essa análise espacial foi fundamental para orientar decisões futuras quanto ao posicionamento ideal da placa no design final dos óculos assistivos.

Figura 23. Molde para acomodar a placa



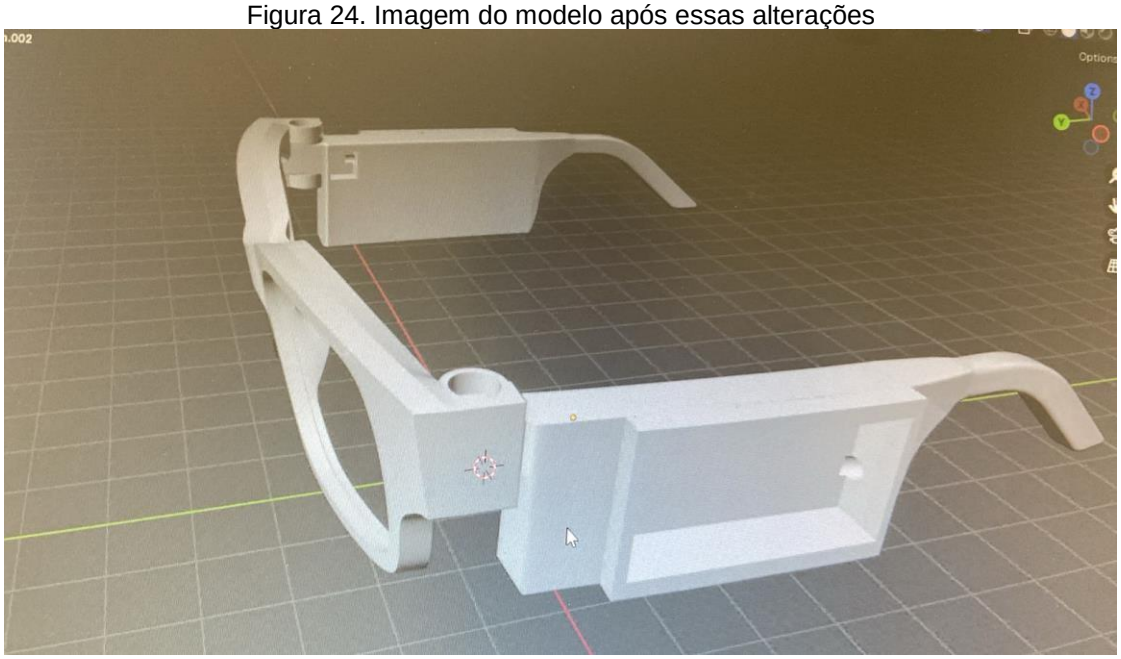
Fonte: Retirado dos próprios autores.

Com o molde definido e sua relação dimensional com o conjunto do dispositivo devidamente estabelecida, a etapa posterior consistiu na determinação precisa do posicionamento da placa ESP32-CAM no protótipo. Esta fase exigiu considerações mais refinadas, uma vez que envolvia aspectos ergonômicos, o conforto do usuário e a viabilidade prática do funcionamento do sistema.

Uma das soluções adotadas foi a alocação do hardware na região das hastes dos óculos — especificamente nas suas extremidades laterais. Para viabilizar essa integração, foi necessário ampliar as dimensões das hastes, de forma a acomodar adequadamente a placa eletrônica. Embora essa modificação tenha resultado em um aumento no volume geral do dispositivo, não foram observados impactos significativos na usabilidade ou no conforto do usuário, sendo a principal consequência uma alteração estética discreta.

Diante da ausência de prejuízos à usabilidade do protótipo, considerou-se essa solução como a mais adequada, tanto em termos funcionais quanto práticos. A adoção do modelo demonstrou-se eficaz ao minimizar possíveis complicações durante as etapas subsequentes de montagem física do dispositivo, o que consolidou essa abordagem como a mais viável para a integração definitiva do hardware ao modelo.

Figura 24. Imagem do modelo após essas alterações



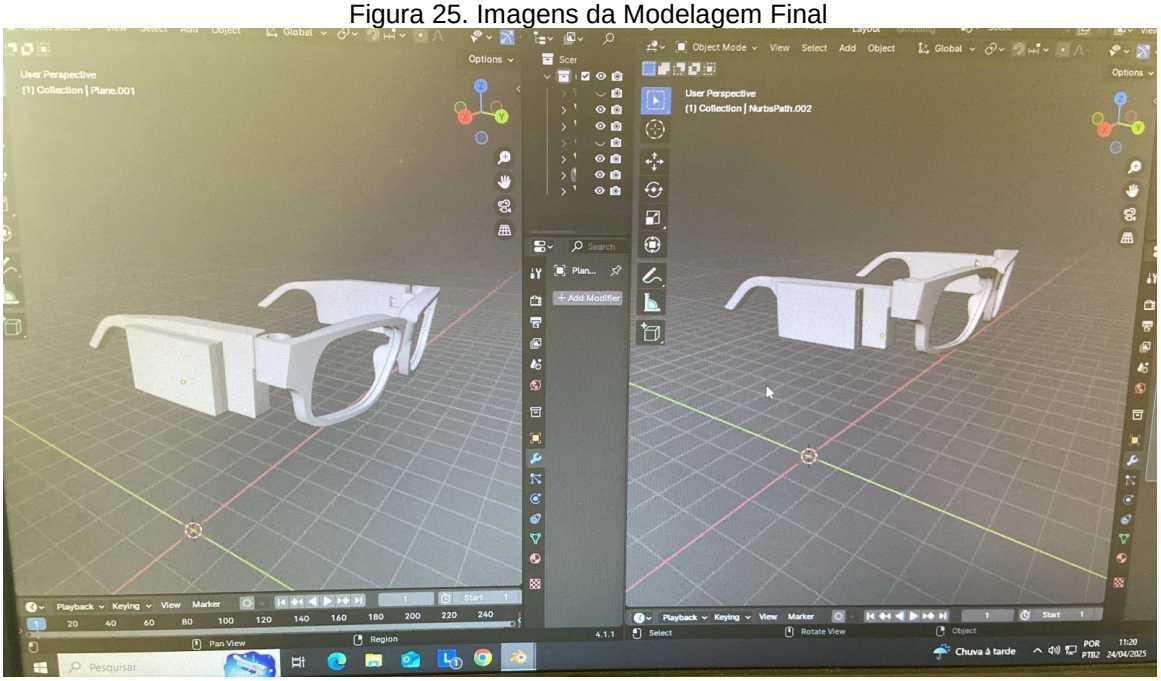
Fonte: Retirado dos próprios autores.

Dando continuidade ao desenvolvimento do protótipo, o passo subsequente consistiu na criação de um molde estrutural destinado à cobertura da região onde o hardware seria alocado, especificamente na haste do óculos. A intenção desta etapa foi assegurar que os componentes eletrônicos — incluindo a placa ESP32 CAM e a bateria — não permanecessem expostos, o que poderia comprometer tanto a integridade física do sistema quanto sua durabilidade. Além disso, a implementação de uma cobertura contribui significativamente para a melhoria da estética do dispositivo, proporcionando um aspecto mais acabado e discreto, essencial para o uso cotidiano por parte do usuário.

Para isso, foram modelados dois retângulos tridimensionais, cujas dimensões foram cuidadosamente definidas com base nas medidas exatas da região da haste onde o hardware será fixado. Esses retângulos foram posicionados acima do compartimento principal, de modo a criar uma estrutura de cobertura que envolvesse o sistema eletrônico sem interferir em seu funcionamento.

A escolha por uma geometria simples e funcional reflete a intenção de manter o projeto acessível, tanto em termos de fabricação quanto de replicabilidade, além de permitir a personalização futura de acordo com preferências ou necessidades específicas.

Figura 25. Imagens da Modelagem Final



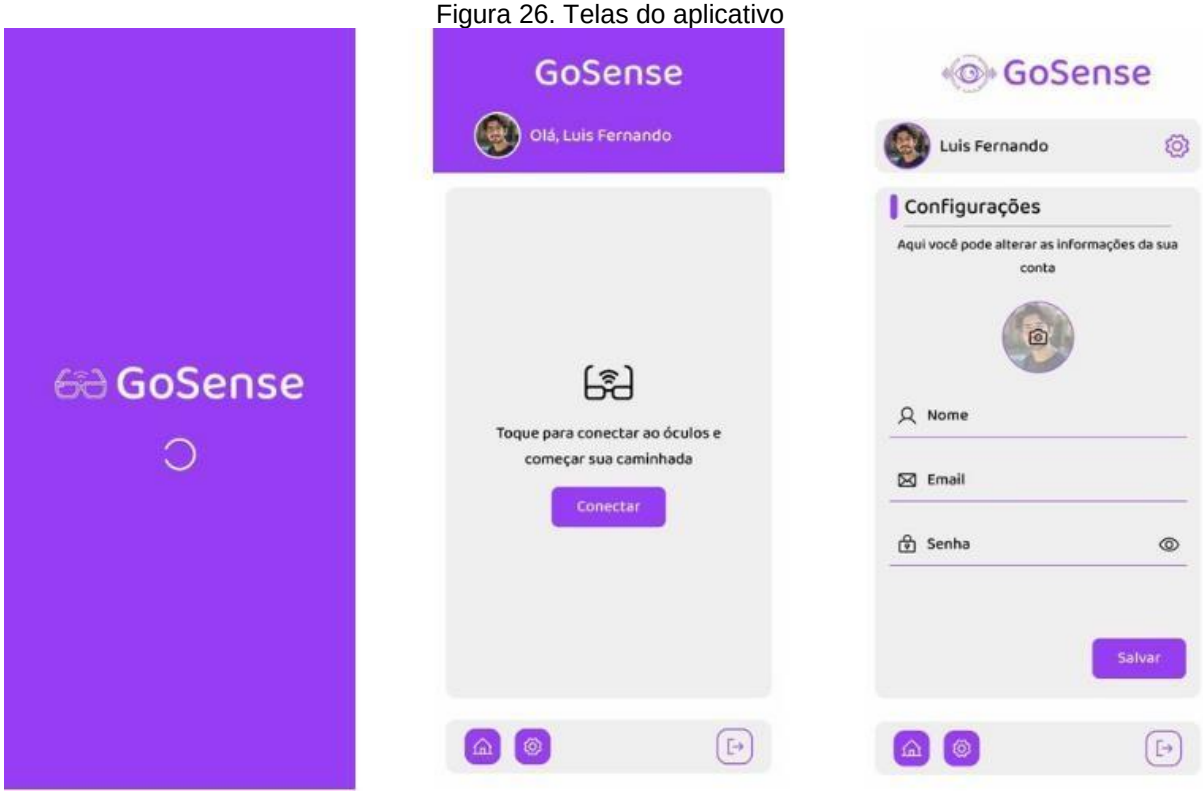
Fonte: Retirado dos próprios autores.

4.2.3 Desenvolvimento do Projeto

Considerando a modelagem preliminar do protótipo e uma compreensão mais precisa da configuração da estrutura física do dispositivo, o desenvolvimento prosseguiu com a idealização e o início do projeto de software, elemento essencial para viabilizar a funcionalidade integrada do sistema assistivo. O aplicativo foi projetado para atuar como a interface central entre o usuário e o sistema embarcado, estabelecendo uma ponte entre o ESP32 CAM e os recursos de inteligência artificial disponíveis via API da OpenAI.

Previamente à fase do desenvolvimento do software, o layout e a concepção das telas do aplicativo foram elaborados por meio da ferramenta Figma, amplamente utilizada para o design de interfaces digitais. A utilização do Figma permitiu a criação de uma prototipagem visual interativa, facilitando a definição da hierarquia dos elementos, do fluxo de navegação, da disposição dos componentes visuais e da experiência de navegação que o usuário final teria ao interagir com o aplicativo.

Figura 26. Telas do aplicativo



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Através do Figma, foi possível esboçar com clareza as principais telas do sistema, como a tela inicial, a tela para realização de login, as notificações de descrição do ambiente e as configurações gerais. A criação desses layouts levou em consideração diretrizes de acessibilidade, garantindo que o aplicativo pudesse ser utilizado com facilidade por pessoas com deficiência visual.

Além disso, o seu uso facilitou a comunicação entre as etapas de design e desenvolvimento, permitindo uma visualização clara do fluxo de navegação e a identificação precoce de ajustes necessários, antes mesmo da implementação do código. Isso contribuiu diretamente para a eficiência do desenvolvimento, reduzindo retrabalho e otimizando o tempo de produção.

Com o foco direcionado à elaboração do aplicativo, sua arquitetura foi estruturada com base no framework React Native, proporcionando uma abordagem multiplataforma eficiente, ideal para o desenvolvimento de aplicações móveis com desempenho nativo. No que se refere às bibliotecas utilizadas, o projeto contemplou ferramentas específicas para diferentes finalidades:

- Expo: ferramenta que simplifica o desenvolvimento em React Native, agilizando a prototipação e a construção do aplicativo.

- NativeWind, tailwind-variants e tailwind-merge: utilizadas em conjunto para viabilizar uma abordagem utilitária na estilização da interface.
- Zod: empregada para validação de dados de forma segura e declarativa.
- Picovoice Porcupine: utilizada para detecção de palavras-chave por voz.

Objetivando agregar boas práticas de desenvolvimento e garantir a manutenibilidade do sistema, a estrutura do projeto foi organizada de forma modular, com a separação clara de responsabilidades e funcionalidades. O diretório src concentra os principais elementos da aplicação, subdivididos em pastas específicas, incluindo:

- assets: destinada ao armazenamento de arquivos estáticos, como imagens, ícones e fontes;
- components: reúne os componentes reutilizáveis da interface do usuário, promovendo reaproveitamento e padronização visual;
- routes: responsável pelo gerenciamento da navegação entre as telas da aplicação;
- screens: contém as telas principais que compõem a estrutura funcional do aplicativo.

Em seguida, com a base do aplicativo já estruturada e integrada, foram implementadas descrições acessíveis nos elementos essenciais da interface, com o objetivo de possibilitar o uso eficaz por leitores de tela, promovendo, assim, maior acessibilidade. Essa funcionalidade foi incorporada de forma simples, por meio da adição do atributo accessibilityLabel, um recurso específico do framework React Native, aos componentes desejados.

A comunicação entre o software e o hardware exigiu, previamente à interação funcional, o preparo do módulo ESP32-CAM para torná-lo apto a processar requisições HTTP e transmitir imagens capturadas pela câmera integrada. Para isso, utilizou-se a Arduino IDE e a linguagem C++, onde foi desenvolvido um firmware que realiza a inicialização da câmera, a conexão automática à rede Wi-Fi e a criação de um servidor HTTP embarcado. A biblioteca WiFiManager foi empregada para facilitar a configuração da rede, permitindo que o módulo crie um portal de acesso caso não consiga se conectar automaticamente. Além disso, com o uso da biblioteca ESPmDNS, tornou-se possível acessar o módulo por um nome amigável (http://esp32cam.local), dispensando a necessidade de conhecer o endereço IP.

Uma vez conectado à rede e com a câmera inicializada corretamente, o servidor HTTP entra em funcionamento e passa a disponibilizar, via navegador, a imagem capturada pelo dispositivo em tempo real. A cada requisição, uma nova imagem JPEG é gerada e enviada como resposta, o que permite que o aplicativo móvel consuma esse dado de forma contínua. Esse processo viabiliza a integração com uma inteligência artificial embarcada no aplicativo, que recebe a imagem e realiza análises como reconhecimento de padrões, objetos ou ambientes.

Antes da integração do aplicativo com a interface de programação de aplicações responsável pela descrição das imagens, realizaram-se testes para avaliar o comportamento das rotas e verificar a consistência das respostas retornadas. Embora a inicialização do servidor disponibilize determinados endpoints com diferentes finalidades, para os objetivos do projeto apenas a rota responsável pela captura de imagens — acessível por meio do caminho /capture — mostrou-se necessária.

Com a finalização dos testes de captura de imagem utilizando o módulo, deu-se início à implementação da funcionalidade na aplicação móvel, permitindo o envio da imagem como argumento para a API da OpenAI. Durante os testes do protótipo, a integração entre o aplicativo e o módulo ocorreu de forma simplificada, uma vez que ambos os dispositivos, o smartphone executando a aplicação e o módulo presente nos óculos, operavam na mesma rede local. Essa proximidade física dispensou configurações adicionais de rede e permitiu a comunicação direta entre os componentes do sistema.

Tendo em vista a descrição de imagens, retornada em uma linguagem natural pela API da OpenAI, como funcionalidade-chave do sistema, o projeto visou implementar um recurso capaz de converter essa resposta em um retorno audível ao usuário do dispositivo vestível. Com o objetivo de tornar essa descrição mais acessível ao público-alvo, foi desenvolvida uma funcionalidade que transforma o conteúdo textual da resposta da requisição em fala, utilizando a tecnologia de síntese de voz (text-to-speech).

Além disso, foi implementada uma funcionalidade de wake-word, utilizando a biblioteca Picovoice Porcupine. Essa funcionalidade permite que o sistema seja ativado por um comando de voz específico, proporcionando maior comodidade e acessibilidade ao usuário. A biblioteca Picovoice Porcupine foi escolhida devido à sua

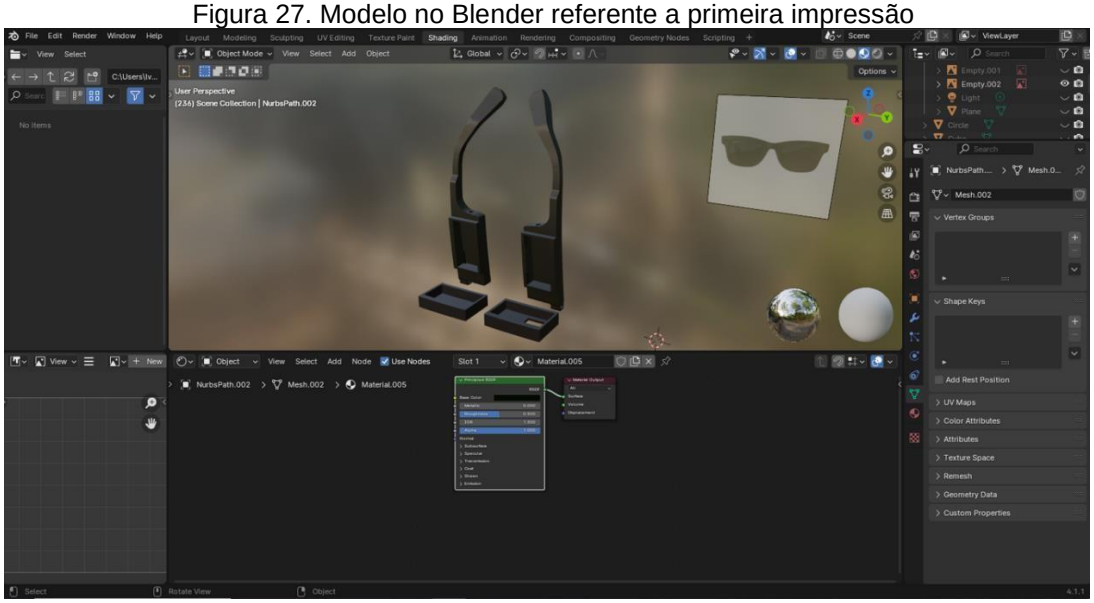
alta precisão e baixo consumo de recursos, sendo ideal para dispositivos com limitações de hardware, como o ESP32.

Como etapa final do desenvolvimento do aplicativo, foi incorporada uma nova biblioteca com o objetivo de tornar o sistema mais dinâmico, permitindo a geração de comandos personalizados. Por meio da biblioteca React-Native-Voice, o aplicativo passou a interpretar comandos de voz do usuário, substituindo a utilização de um prompt estático por entradas personalizadas. Dessa forma, tornou-se possível enviar à API da OpenAI não apenas a imagem capturada pelo módulo, mas também uma solicitação contextualizada de acordo com a necessidade específica do usuário naquele momento.

Após a finalização das etapas de elaboração do software e da modelagem digital do protótipo, procedeu-se à construção da infraestrutura física do dispositivo por meio de fabricação aditiva, utilizando uma impressora 3D, o que permitiu a materialização do projeto e a viabilização de testes em ambiente real.

A impressão 3D permitiu transformar o modelo digital em uma estrutura física, possibilitando uma avaliação concreta do encaixe dos componentes, da ergonomia do dispositivo e da resistência do material utilizado. A primeira versão impressa teve como foco principal a região das hastes do óculos, a qual teria o intuito de alojar a placa ESP32 CAM e a bateria. Contudo, conforme observado na imagem apresentada abaixo (Figura 28), o resultado da primeira impressão apresentou falhas, especialmente nas tampas laterais, que foram geradas de forma incorreta, contendo apenas as bordas, o que comprometeu sua funcionalidade como cobertura protetora.

Figura 27. Modelo no Blender referente a primeira impressão



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Figura 28. Primeira impressão com falha nas tampas laterais

Fonte: Retirado dos próprios autores.

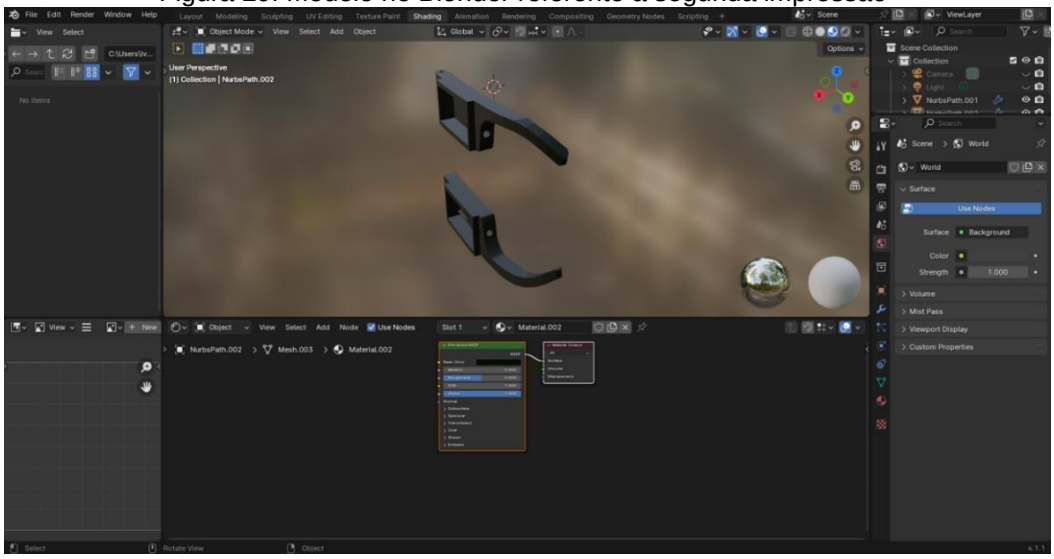
Foram realizados testes de encaixe entre os componentes, com o objetivo de verificar a compatibilidade dimensional entre o suporte impresso e o hardware que seria acoplado. No entanto, apresentou fragilidade estrutural nos pontos de encaixe, resultando na quebra desses elementos logo na primeira tentativa de acoplamento.

Esses resultados revelaram a necessidade de ajustes tanto no modelo tridimensional quanto na escolha dos parâmetros de impressão, como densidade de preenchimento e orientação das camadas. Essa versão foi gerada com 11 centímetros

de comprimento, que foi considerado um tamanho pequeno que deveria ser aumentado em versões futuras.

Essa fase foi essencial para o aprimoramento do projeto, visto que permitiu identificar limitações práticas do design inicial e serviu de base para iterações posteriores que buscassem maior durabilidade, funcionalidade e conforto no uso prolongado do dispositivo.

Figura 29. Modelo no Blender referente a segunda impressão



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Figura 30. Segunda impressão com falha no filamento

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Na sequência do processo iterativo de prototipagem, foi realizada a segunda impressão 3D (Figura 30), a partir dos aprendizados obtidos na versão inicial. Nesta nova tentativa, o modelo passou por ajustes estruturais e dimensionais, com o objetivo de corrigir as falhas observadas anteriormente e aprimorar a adequação do design às necessidades físicas do projeto.

Entre as principais modificações, destaca-se a remoção do sistema de travas laterais, presente na primeira versão, que se mostrou inadequado diante da fragilidade apresentada. No lugar das travas, optou-se por um formato liso e contínuo nas hastes de suporte, o que proporcionou uma superfície mais uniforme, facilitando tanto a impressão quanto a manipulação posterior do objeto. Além disso, foi realizado um ajuste no tamanho do modelo, sendo esta segunda versão impressa com 15 cm de comprimento, ligeiramente maior do que a versão anterior, de modo a acomodar melhor a placa e a bateria, e proporcionar um encaixe mais seguro.

Apesar das melhorias implementadas, a segunda impressão também apresentou uma falha técnica durante o processo de fabricação: a impressora pulou uma linha de filamento, comprometendo a coesão entre as camadas do objeto. Esse erro resultou em uma estrutura frágil e quebradiça, o que inviabilizou o uso funcional

do modelo como suporte para os componentes eletrônicos. A falha, provavelmente relacionada a uma interrupção na alimentação de filamento ou instabilidade momentânea da extrusora, reforçou a necessidade de acompanhamento contínuo durante o processo de impressão e da realização de testes de resistência nas peças obtidas.

Figura 31. Modelo no Blender referente a terceira impressão

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Figura 32. Terceira tentativa de impressão

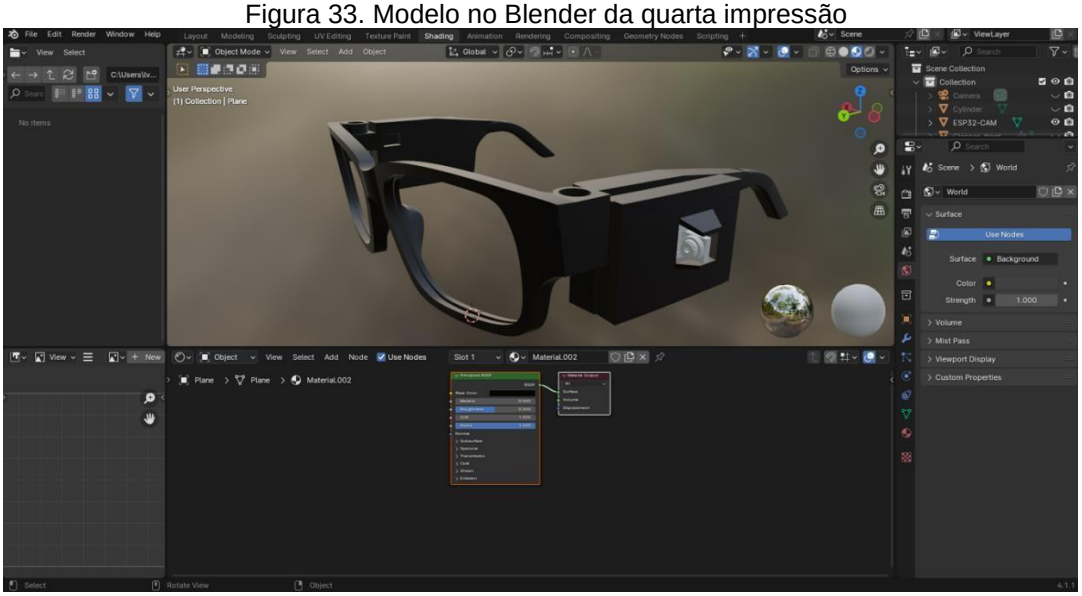
Fonte: Retirado dos próprios autores.

Na terceira etapa do processo de prototipagem, representada pela segunda imagem (Figura 32), o projeto atingiu um grau mais avançado de concretização, com quase todos os componentes físicos já impressos, restando apenas a tampa do compartimento destinado à bateria. Diferentemente das versões anteriores, que contemplaram apenas partes isoladas da estrutura, esta impressão englobou a maior parte da montagem final, aproximando-se significativamente do modelo funcional almejado.

Nesta versão, foi realizada a impressão completa das hastes laterais, que receberam modificações estruturais para melhor acomodação dos componentes eletrônicos. Todavia, verificou-se um erro no dimensionamento, pois as hastes foram impressas com 16 cm de comprimento, enquanto o padrão médio de armações de óculos gira em torno de 14 cm. Essa discrepância resultou em um encaixe desproporcional ao rosto, comprometendo tanto a ergonomia quanto a estabilidade do dispositivo quando em uso.

O aro frontal do óculos, juntamente com a ponte nasal, também foi impresso nesta fase. A estrutura recebeu detalhes adicionais destinados à passagem de fios entre a bateria e o Arduino, buscando uma integração interna mais limpa e protegida dos cabos. Contudo, devido à limitação técnica da impressora utilizada, esses detalhes finos não foram reproduzidos com precisão suficiente, resultando em falhas na impressão e inviabilizando a funcionalidade pretendida. Além disso, o aro frontal apresentou novamente problemas de escala, sendo impresso com 18,2 cm de comprimento, significativamente maior que a média de 14 cm, o que comprometeu a usabilidade do protótipo final.

Figura 33. Modelo no Blender da quarta impressão



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Figura 34. Quarta tentativa de impressão

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Na penúltima tentativa (Figura 34) o modelo tridimensional do dispositivo foi impresso em sua totalidade, contemplando todos os elementos projetados. Uma das tampas foi projetada com superfície lisa, servindo como compartimento para alocação da bateria, assegurando sua proteção e facilitando o acesso para eventuais manutenções ou substituições. A outra tampa, por sua vez, foi desenvolvida com um

ressalto em forma de quadrado, projetado especificamente para abrigar a câmera do módulo ESP32. Esse componente foi posicionado de modo a garantir a proteção da lente e, simultaneamente, proporcionar um campo de visão amplo e desobstruído, fundamental para o pleno funcionamento do sistema.

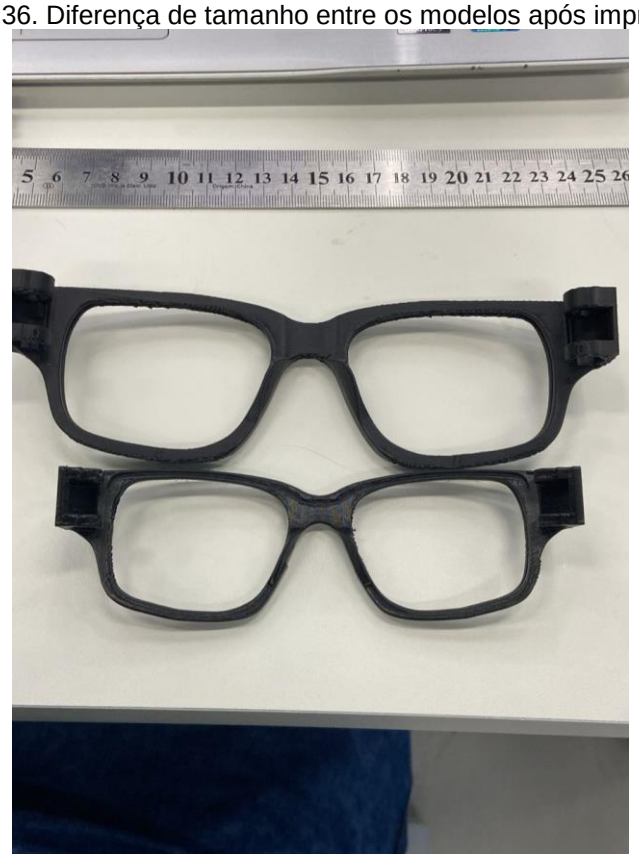
As hastes apresentaram comprimento de 14,5 cm, valor que se mantém dentro da média comumente utilizada em armações de óculos comerciais, o que contribui para a ergonomia e o conforto do usuário. A porção frontal do modelo, composta pela ponte e pelos aros, manteve o tamanho de 18,2 cm. No entanto, este valor ainda se mostra superior à média usualmente empregada em armações convencionais.

Importante destacar que, nesta iteração do modelo, optou-se por remover o canal destinado à passagem dos fios. Tal decisão foi motivada por recorrentes falhas no processo de impressão 3D associadas a essa parte específica do projeto. A remoção visou assegurar a integridade estrutural do modelo impresso, permitindo a obtenção de uma peça funcional e livre de imperfeições que comprometessem sua aplicação prática.

Figura 35. Imagem da última versão pronta para ser imprimida

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Figura 36. Diferença de tamanho entre os modelos após impressão.



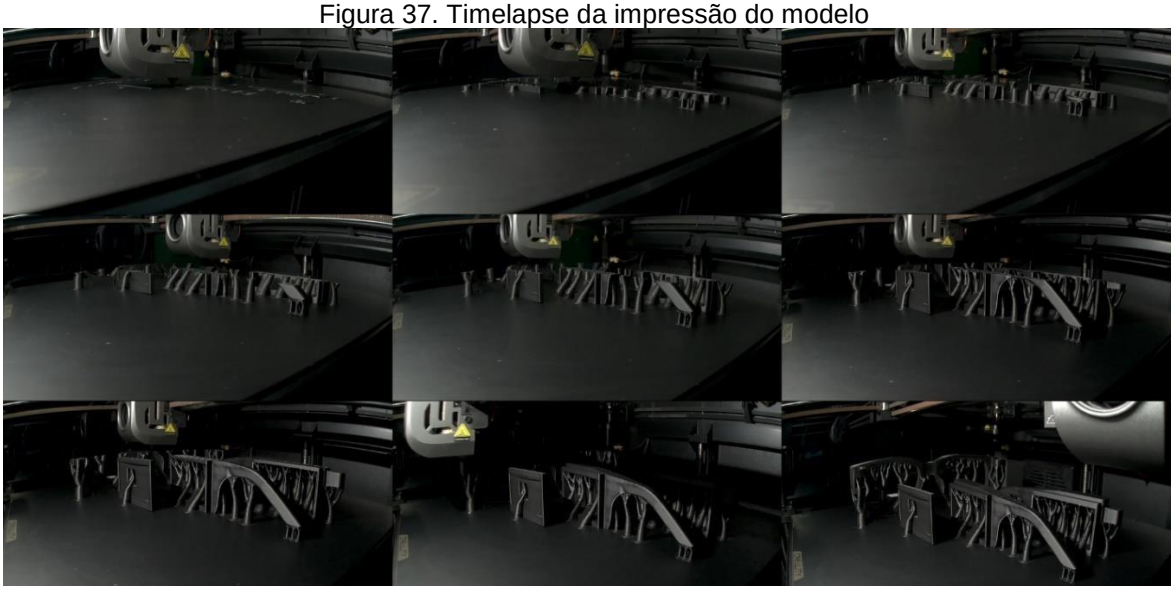
Fonte: Retirado dos próprios autores.

Considerando que a impressão anterior obteve resultados satisfatórios em grande parte —— com exceção do tamanho excessivo da estrutura frontal ——, a etapa subsequente teve como principal objetivo a correção dessa dimensão. Dessa forma, procedeu-se à última impressão do modelo, utilizando-se os mesmos parâmetros previamente estabelecidos, com exceção do ajuste no tamanho dos aros.

Especificamente, foi realizada uma redução de 4 centímetros no comprimento da parte frontal (composta pela ponte e pelos aros), passando de 18 cm para 14 cm, valor mais condizente com as dimensões médias de armações convencionais. Tal modificação visou proporcionar uma melhor adaptação ao rosto do usuário e aumentar a estabilidade durante o uso do dispositivo.

As hastes, por sua vez, foram mantidas com 14,5 cm de comprimento, uma medida que se encontra dentro da média praticada na indústria óptica, assegurando, assim, conforto e ergonomia adequados.

Figura 37. Timelapse da impressão do modelo



Fonte: Retirado dos próprios autores.

4.2.4 Pós-desenvolvimento e Otimização

Durante a etapa final do processo de desenvolvimento, o foco deixou de se limitar à materialização do protótipo para concentrar-se em sua viabilidade enquanto produto destinado ao usuário final. Nesse sentido, tornou-se necessária uma reavaliação do dispositivo, buscando identificar pontos de melhoria e oportunidades de otimização, tanto no aspecto físico quanto na lógica de funcionamento. Uma dessas melhorias refere-se à reorganização do layout físico do projeto. Inicialmente, previa-se a modelagem completa de um par de óculos, incluindo toda a armação e as hastes. Contudo, essa abordagem resultava em um protótipo mais complexo, menos flexível e com menor capacidade de adaptação ergonômica aos diferentes perfis de usuários.

Como alternativa, adotou-se o modelo de uma armação frontal suspensa — composta apenas pela região destinada às lentes — tornando o dispositivo apto a utilizar de hastes independentes e modularizadas. O que reduz a complexidade estrutural removendo a necessidade de imprimir toda a estrutura do óculos e garante a possibilidade de ajustes a anatomia e o conforto de cada usuário.

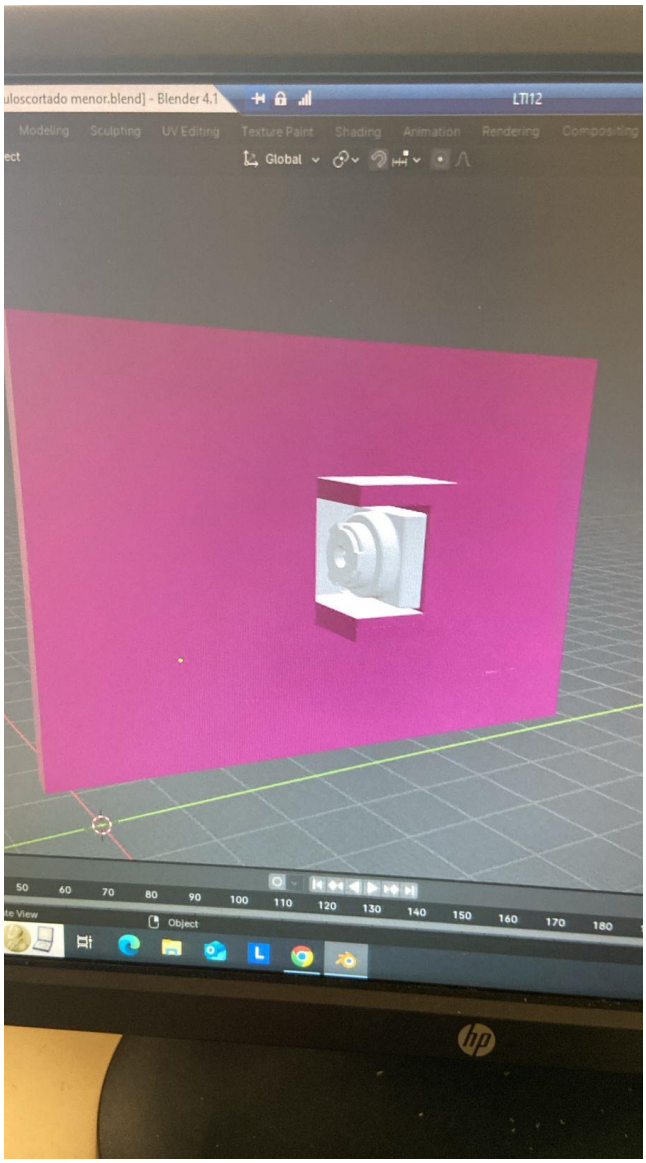
Figura 38. Primeiro modelo 3D da armação suspensa

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Nota-se que tal melhoria também resultou em um design mais leve, de montagem simplificada ao otimizar o formato da parte mais importante do dispositivo, ao mesmo tempo em que torna viável a possibilidade de substituições na parte das hastes, além de ajustes estruturais sem a necessidade de reimprimir todo o conjunto novamente. A adoção de uma armação suspensa contribui para um aumento significativo da modularidade do sistema, permitindo que cada componente seja tratado de forma independente durante as etapas de teste, manutenção e aperfeiçoamento. Favorecendo a adaptação do dispositivo a diferentes perfis de consumidores, uma vez que as hastes podem ser alteradas ou ajustadas conforme necessidades específicas, sem interferir no núcleo funcional do protótipo.

Outra vantagem relevante é a economia de tempo e de material durante a prototipagem, já que pode-se alterar apenas a estrutura frontal em caso de ajustes de design. Isso reduz o custo de produção e agiliza o ciclo iterativo de desenvolvimento. A armação suspensa também amplia a compatibilidade do dispositivo, possibilitando que ele seja acoplado a diferentes suportes, hastes comerciais ou sistemas alternativos de fixação, aumentando sua acessibilidade e personalização.

Figura 39. Modelo 3D com novos suportes para a câmera na placa lateral

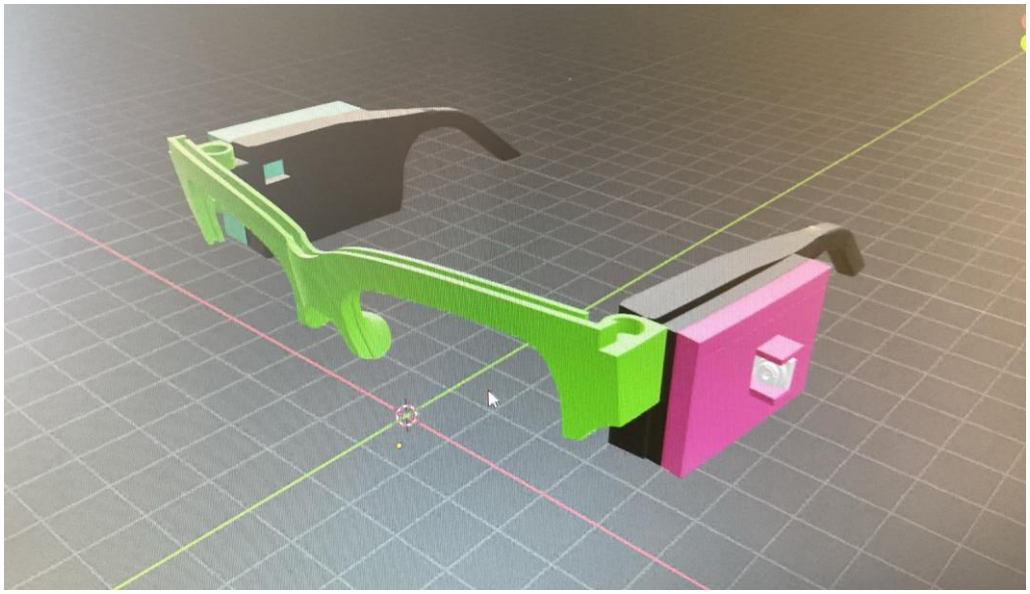


Fonte: Retirado dos próprios autores.

Os modelos 3D de algumas partes do projeto também foram refeitos para realizar correções mínimas de formato e escala. A armação suspensa, em particular, passou por uma redução de tamanho, visando otimizar a ergonomia geral do dispositivo. Adicionalmente, foram criados suportes específicos para a câmera, localizada externamente ao compartimento lateral.

Tais suportes promovem maior estabilização da câmera, permitindo o registro do ambiente de forma mais segura e confiável. Além disso, evitam que o equipamento seja danificado acidentalmente ou que a câmera se desestabilize devido ao movimento do usuário, garantindo funcionalidade e proteção ao longo do uso.

Figura 40. Modelo 3D com parte em destaque da nova armação suspensa e a tampa da câmera na lateral



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Em síntese, as alterações realizadas na estrutura física do dispositivo — incluindo a adoção da armação suspensa, a modularização de componentes, ajustes de formato e escala, e a criação de suportes para a câmera — resultaram em um protótipo mais ergonômico, leve, seguro e adaptável às necessidades dos usuários. Tais melhorias não apenas otimizaram a funcionalidade e a durabilidade do dispositivo, mas também possibilitaram maior eficiência no processo de prototipagem, permitindo ajustes rápidos sem a necessidade de reimpressão completa do conjunto.

Paralelamente às otimizações físicas, o desenvolvimento do aplicativo que integra o dispositivo também passou por melhorias significativas. Aprimorando a experiência do usuário, aumentando a confiabilidade das funções assistivas e garantindo que a interface fosse intuitiva e acessível, de modo a complementar de forma eficaz o desempenho do hardware.

Houve correções no layout do aplicativo, com o objetivo de garantir que todas as telas fossem apresentadas de maneira organizada, coerente e consistente. Essa etapa de correção eliminou inconsistências visuais e, por consequencia, melhorou a navegação da interface, tornando tudo mais claro e intuitivo para o usuário. A padronização do layout também contribui para reduzir possíveis confusões e aumentar a acessibilidade, especialmente em um dispositivo voltado a pessoas com deficiência visual.

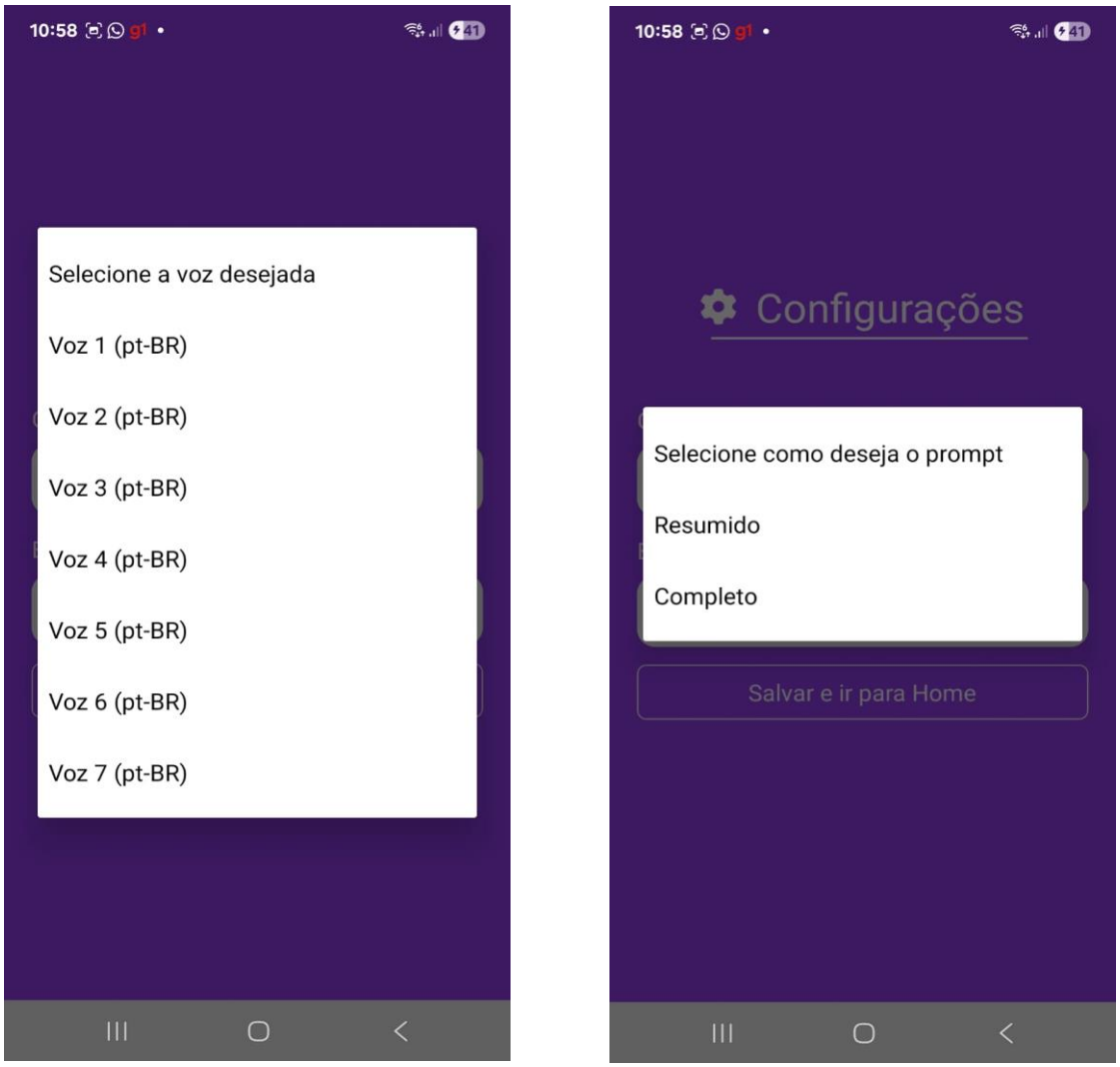
Figura 41. Tela referente as novas configurações adicionadas.

Fonte: Retirado dos próprios autores.

Foi adicionada ao sistema uma tela de configurações que contempla a funcionalidade de seleção da voz utilizada nas respostas. Essa opção permite ao usuário escolher a entonação e o estilo de leitura que melhor atendem às suas preferências. Estão disponíveis sete opções de voz, todas em língua portuguesa, para facilitar o uso do dispositivo pelo público-alvo.

Paralelamente, foi incorporada a opção de selecionar o tipo de prompt, possibilitando que o usuário opte por respostas mais resumidas ou mais completas, de acordo com sua necessidade ou preferência. Essas funcionalidades tornam a experiência mais personalizada, aumentando o conforto do usuário e o nível de controle sobre as interações com o dispositivo.

Figura 42. Opções de voz disponiveis para seleção e opção de selecionar prompt



Fonte: Retirado dos próprios autores.

Por fim, a implementação referente a funcionalidade do processo de autenticação na tela de login foi concluido, assim, a última função essencial estabelecida para completar o desenvolvimento do sistema. Essa etapa possui relevância significativa, pois garante não apenas o acesso seguro às funcionalidades internas do dispositivo, mas também a integridade dos dados manipulados pelo usuário.

Figura 43. Tela para criar conta no aplicativo

Fonte: Retirado dos próprios autores.

5 CONCLUSÃO

Ainda que os conceitos relacionados à inteligência artificial remontem a várias décadas, foi apenas nos últimos anos que seu desenvolvimento se acelerou de forma significativa, ganhando maior destaque. Nesse contexto, a adoção e o desenvolvimento de aplicações voltadas à acessibilidade têm se intensificado e tendem a se beneficiar ainda mais desse avanço tecnológico.

Observa-se, entretanto, que ainda são escassas as iniciativas que integrem os recursos proporcionados pela inteligência artificial, especialmente no segmento de soluções mais inclusivas e de baixo custo. Este trabalho contribui ao validar a integração de tecnologias que promovem o desenvolvimento de dispositivos acessíveis, ao mesmo tempo em que reduzem os custos operacionais, ampliando, assim, o alcance social dessas inovações.

A utilização de um modelo computacional pré-treinado, especialmente em tarefas de interpretação e reconhecimento de imagens, demonstrou-se uma estratégia eficaz para reduzir custos. Modelos desse tipo, como o empregado neste trabalho, mostraram-se capazes de agilizar o processo de desenvolvimento, uma vez que reduzem preocupações relacionadas ao alto processamento computacional necessário para o treinamento de soluções voltadas a problemas complexos, muitas vezes inviáveis por meio de abordagens supervisionadas mais simples.

Ademais, este trabalho também verificou que a crescente disseminação das impressoras 3D, em contextos que vão do educacional ao industrial, contribui significativamente para a aceleração da prototipagem de produtos acessíveis, permitindo a rápida validação de ideias.

Em suma, este estudo demonstrou a viabilidade de desenvolver um protótipo de dispositivo vestível, integrando diversas tecnologias, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida do público-alvo e proporcionar uma interação mais eficiente com o ambiente, indicando, assim, o potencial para evolução futura desse protótipo em um produto acessível.

Como propostas para trabalhos futuros, recomenda-se aprimorar a autonomia energética do dispositivo, por meio do desenvolvimento de baterias mais eficientes e duráveis, bem como maior investimento no design ergonômico, de forma a atender diferentes formatos de rosto e, consequentemente, melhorar a usabilidade geral do protótipo.

No que se refere ao modelo de inteligência artificial utilizado, futuras pesquisas poderão focar no treinamento de modelos mais especializados para a identificação de riscos ao usuário, bem como no aprimoramento do modelo atual por meio da engenharia de prompt, visando otimizar as requisições do usuário antes da comunicação com o modelo.

REFERÊNCIAS

SOUSA, Kelly Aparecida Oliveira. **Uso de visão computacional em dispositivos móveis para auxílio à travessia de pedestres com deficiência visual.** 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013. Disponível em: Biblioteca Central George Alexander. Acesso em: 20 set 2024.

SILVA, Kenad Wanderson Araujo. **Reconhecimento de cédulas monetárias falsas para auxiliar pessoas com deficiência visual**. 2024. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2024. Acesso em: 20 set 2024.

NETO, Elze Pinheiro Lima. **Avaliação de redes neurais profundas para o reconhecimento de pequenos objetos**. 2020. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: Biblioteca Central da UFG. Acesso em: 20 set 2024.

MACHADO, Andre de Lima. **Reconhecimento de produtos de mercearia para auxiliar pessoas com deficiência visual**. 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020. Acesso em: 20 set 2024.

DOURADO, Antonio Miguel Batista. **Protótipo vestível de sistemas de navegação multimodal e interativo para auxílio customizável a pessoas com deficiências visuais**. 2020. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: Biblioteca BCo – UFSCar. Acesso em: 20 set 2024.

DUARTE, D. A. A.; MEYRER, G. T.; TONEL, T. DE O.; MACHADO, M. F. Sistema de auxílio na locomoção de deficientes visuais. **Scientia Prima**, São Leopoldo, v. 6, n. 1, p. 98-116, 27 mai 2020. Disponível em: https://abric.ong.br/ojs/index.php/scientiaprima/article/view/18/11. Acesso em: 20 set 2024.

KHATCHATOURIAN, Oleg; PADILHA, Fábio R. R. Reconhecimento de variedades de soja por meio do processamento de imagens digitais usando redes neurais artificiais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.759-769, 20 out 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/eagri/a/F5kVxxcfHKDcDKnHKF7NKkv/?lang=pt. Acesso em: 20 set 2024.

VIEIRA, Tiago Figueiredo; FONTANA, Eduardo. **Dispositivo de tecnologia assistiva baseado no processamento em tempo real de imagens do globo ocular**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5404. Acesso em: 22 set 2024.

YI, Yiting; DONG, L. **A design of blind-guide crutch based on multi-sensors.** In: Proceedings of the 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015, p. 2288-2292.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE**.** International Classification of Diseases (ICD-10). Geneva: WHO, 2016. Disponível em: https://www.who.int/classifications/icd/en/. Acesso em: 27 mar. 2025.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. International Classification of Diseases (ICD-11). Geneva: WHO, 2019. Disponível em: https://icd.who.int/. Acesso em: 27 mar. 2025.

VISÃO SUBNORMAL. O que é baixa visão? São Paulo: Visão Subnormal, 2024. Disponível em: https://www.visaosubnormal.org.br/oquee.php. Acesso em: 27 mar. 2025.

CADENA SER. *Ópticos-Optometristas de Andalucía apuestan por la accesibilidad de sus más de 1.800 establecimientos sanitarios de óptica para personas con discapacidad visual*. 2024. Disponível em: https://cadenaser.com/andalucia/2024/10/23/opticos-optometristas-de-andalucia-apuestan-por-la-accesibilidad-de-sus-mas-de-1800-establecimientos-sanitarios-de-optica-para-personas-con-discapacidad-visual-radio-sevilla. Acesso em: 27 mar. 2025.

RETINA CAMPOS. *Tecnologias Assistivas para PcD visual e surdocego*. 2023. Disponível em: https://retinacampos.org.br/tecnologias-assistivas-para-pcd-visual-e-surdocego. Acesso em: 27 mar. 2025.

SETHURAMAN, Sibi C.; TADKAPALLY, Gaurav R.; MOHANTY, Saraju P.; GALADA, Gautam; SUBRAMANIAN, Anitha. *MagicEye: An Intelligent Wearable Towards Independent Living of Visually Impaired*. 2023. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2303.13863. Acesso em: 27 mar. 2025.

VLibras. *Tecnologia Assistiva para Pessoas com Deficiência Visual*. 2023. Disponível em: https://www.vlibras.com.br/tecnologia-assistiva-para-pessoas-com-deficiencia-visual. Acesso em: 27 mar. 2025.

A CIDADE ON. *Motorista de ônibus ativa sistema de avisos sonoros para passageiros com deficiência visual*. 2024. Disponível em: https://www.acidadeon.com/campinas/cotidiano/motorista-de-onibus-ativa-sistema-de-avisos-sonoros-para-passageiros-com-deficiencia-visual. Acesso em: 27 mar. 2025.

SANTOS, Ana. Tecnologias assistivas para deficientes visuais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256949 Acesso em: 28 mar. 2025.

MASHIATA, Maisha et al. *Towards assisting visually impaired individuals: A review on current status and future prospects*. 2022. **Journal of Assistive Technology**, v. 15, n. 3, p. 1-12.

IBM. O que é aprendizado de máquina (ML)? Disponível em: O que é machine learning (ML)? | IBM. Acesso em: 27 mar. 2025.

IBM. *What is a microcontroller?* IBM, 2024. Disponível em: https://www.ibm.com/topics/microcontroller. Acesso em: 10 abr. 2025.

LUDERMIR, T. B.. *Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: estado atual e tendências*. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, p. 85–94, jan. 2021.

DIGNUM, V. Responsible Artificial Intelligence - How to Develop and Use AI in a Responsible Way. Artificial Intelligence: Foundations, Theory, and Algorithms. Springer, 2019.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital Image Processing*. 4. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2018.

SZELISKI, Richard. *Computer vision: algorithms and applications.* 1. ed. [S.l.]: Springer, 2011.

MARENGONI, L. C.; STRINGHINI, E. A. *Processamento de imagens digitais e visão computacional*. São Paulo: Editora XYZ, 2009.

JAIN, A. K. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, 1989.

JÄHNE, B. *Digital Image Processing*. 6. ed. Springer, 2005.

MAZIDI, M. A.; MAZIDI, J. G.; MCKINLAY, R. D. *The 8051 Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2016.

LAMBERT, Tyler Ross. *Introduction to Microcontrollers and Embedded Systems*. 2017. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 2 maio 2025.

PEREIRA, José Wilson Rocha. *Microcontroladores*. Disponível em: https://josewrpereira.github.io/docs/digitais/mcu/mcu2-microcontroladores/. Acesso em: 2 maio 2025.

GOS, K.; ZABIEROWSKI, W. The comparison of microservice and monolithic architecture. *ResearchGate*, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341956559_The_Comparison_of_Microservice_and_Monolithic_Architecture. Acesso em: 06 maio 2025.

BLINOWSKI, G.; OJDOWSKA, A.; PRZYBYŁEK, A. Applying microservices to improve scalability of an IoT platform. *IEEE Xplore*, 2022. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9717259. Acesso em: 06 maio 2025.

FOWLER, S. *Production-ready microservices: building standard and scalable systems*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2016. Disponível em: https://archive.org/download/allitebooks-02/Production-Ready%20Microservices.pdf. Acesso em: 06 maio 2025.

PRZYBYŁEK, A. Where the truth lies: AOP and its impact on software modularity. *ResearchGate*, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221115350_Where_the_Truth_Lies_AOP_and_Its_Impact_on_Software_Modularity. Acesso em: 06 maio 2025.

LEWIS, J.; FOWLER, M. Microservices: a definition of this new architectural term. *martinfowler.com*, 2014. Disponível em: https://www.martinfowler.com/articles/microservices.html. Acesso em: 06 maio 2025.

DUDJAK, S.; MARTINOVIC, G. Microservices in practice: A survey. *Periódicos CAPES*, 2020. Disponível em: https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalhes&source=all&id=W3018550531. Acesso em: 06 maio 2025.

SAGGIOMO, V. A 3D printer in the lab: not only a toy. *Advanced Science*, [S. l.], v. 9, n. 6, 2022. Wiley Online Library. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/advs.202104102. Acesso em: 16 maio 2025.

KAWAGISHI, M. et al. [Title not provided]. *International Journal of Automation Technology*, Tokyo: Fuji Technology Press, v. 11, p. 278, 2016.

MUSHTAQ, Ray Tahir et al. Investigation and optimization of effects of 3D printer process parameters on performance parameters. *Materials*, Basel, v. 16, n. 9, p. 3392, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ma16093392. Acesso em: 16 maio 2025.

JAIN, Pradeep; BHARDWAJ, Tarun. Additive manufacturing: a comprehensive review. *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE)*, [S. l.], v. 9, p. 12–14, 2022. DOI: https://doi.org/10.36647/IJERMCE/09.07.A003. Acesso em: 16 maio 2025.

GALVÃO FILHO, T. A.; DAMASCENO, L. L. Tecnología asistida en entorno informático: recursos para la autonomía e inclusión socioinformática de la persona con discapacidad. In: PROGRAMA INFOESP: Premio Reina Sofía 2007 de Rehabilitación y de Integración. Madrid: Ministerio de Educación, Política Social y Deporte/Real Patronato sobre Discapacidad, 2008. Disponível em: http://www.infoesp.net/premio.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

ROCHA, T. B.; MIRANDA, T. G. A inclusão de alunos com deficiência no ensino superior: uma análise de seu acesso e permanência. In: DÍAZ, F.; BORDAS, M.; GALVÃO, N.; MIRANDA, T. (Org.). *Educação inclusiva, deficiência e contexto social: questões contemporâneas*. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 27-37. Disponível em: http://books.scielo.org/id/rp6gk/03. Acesso em: 21 maio 2025.

BERSCH, Rita. *Introdução à tecnologia assistiva*. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: http://www.assistiva.com.br. Acesso em: 21 maio 2025.

GILLESPIE, Tarleton. *A relevância dos algoritmos*. [S.l.: s.n.], 2018.

MONARD, Maria; BARANAUSKAS, José Augusto. Aplicações de inteligência artificial: uma visão geral. [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: https://dcm.ffclrp.usp.br/~augusto/publications/2000-laptec.pdf. Acesso em: 24 mar. 2025.

RIZZO, Linamara. *Conceito de deficiência segundo a Convenção da ONU e os critérios da CIF*. [S.l.: s.n.], [s.d.].

GUEDES, Paulo Roberto Nunes; RODRIGUES JUNIOR, Waldery; et al. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2019*. [S.l.: s.n.], 2020.

SICHMAN, Jaime Simão. Inteligência artificial e sociedade: avanços e riscos. *Estudos Avançados*, [S.l.], v. 35, n. 101, p. 37–49, 2021.

ZAFAR, Sadia et al. Assistive devices analysis for visually impaired persons: a review on taxonomy. [S.l.]: *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2022.

APÊNDICE A – REPOSITÓRIOS DO PROJETO

Firmware: https://github.com/caiofuzita/gosense-esp

Aplicativo: https://github.com/TCCuniso/tcc2025-app