



---

**POSICIONAMENTO E EXIBIÇÃO DE IMAGENS 3D UTILIZANDO  
ÓCULOS DE REALIDADE AUMENTADA PARA APLICAÇÃO  
CIRÚRGICA**

---

Relatório final na modalidade de auxílio à iniciação científica, submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

---

Processo: 2020/15835-4

Pesquisador Responsável: Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin

Coorientador: Paulo Henrique Polegato

Beneficiário: Calvin Suzuki de Camargo

# **Informações gerais do projeto**

- Título do projeto:

**Posicionamento e exibição de imagens 3D utilizando óculos de realidade aumentada para aplicação cirúrgica**

- Pesquisador responsável:

**Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin**

- Coorientador:

**Paulo Henrique Polegato**

- Beneficiário:

**Calvin Suzuki de Camargo**

- Número do processo do projeto:

**2020/15835-4**

- Instituição sede do projeto:

**Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**

- Período de vigência proposto:

**01 de março de 2021 a 28 de fevereiro de 2022**

- Período coberto por este relatório científico:

**01 de março de 2021 a 28 de fevereiro de 2022**

# Resumo

Trata-se do relatório final do projeto de pesquisa de iniciação científica que compreende os trabalhos iniciados em março de 2021 até o final de fevereiro de 2022. O projeto visa estudar a exibição de objetos 3D em óculos inteligentes (*Smart glasses*) com realidade aumentada, que podem servir como um dispositivo auxiliar para aplicações cirúrgicas. Para isso, conceituamos as relações entre visão computacional e computação gráfica no campo da realidade aumentada. Com o apoio do Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (AeroTech), definimos uma arquitetura de sistema que permite a sobreposição de um modelo 3D na cabeça de um paciente, indicando pontos de implantação de eletrodos durante o procedimento neurocirúrgico orientado por estereoeletroencefalografia (SEEG). Essa arquitetura foi baseada na comunicação de computador e óculos pela rede local: O computador recebe as imagens da câmera dos óculos e utiliza o método de detecção por marcadores fiduciais (*ArUco*) para estimar a posição do paciente e envia as coordenadas aos óculos, indicando onde a projeção deve ser exibida. Os resultados parciais da aplicação apresentam uma rápida responsividade com o método de estimativa escolhido.

**Palavras-chaves:** *Smart glasses*, Aplicação cirúrgica, Visão computacional, Realidade aumentada.

# Sumário

<b>Informações gerais do projeto</b>	<b>i</b>
<b>Resumo</b>	<b>ii</b>
<b>1 Resumo do projeto</b>	<b>1</b>
1.1 Enunciado do problema . . . . .	1
1.2 Objetivo . . . . .	2
1.3 Metodologia . . . . .	2
1.4 Breve histórico do projeto . . . . .	3
<b>2 Realizações</b>	<b>4</b>
2.1 Moverio BT-350 . . . . .	4
2.1.1 Documentação . . . . .	4
2.1.2 Ferramenta de calibração . . . . .	5
2.1.3 Ferramenta de captura . . . . .	5
2.1.4 Ferramenta de treinamento . . . . .	5
2.1.5 Exemplo baseado em <i>Unity</i> . . . . .	7
2.2 Capacitação em Android Studio . . . . .	7
2.3 Estudos de desenvolvimento Unity . . . . .	9
2.4 Revisão bibliográfica . . . . .	11
2.5 Elaboração do VCraniun . . . . .	12

2.5.1	Arquitetura do Sistema . . . . .	12
2.5.2	Comunicação . . . . .	13
2.5.3	Estimação da posição da projeção . . . . .	15
2.5.4	Interface com usuário . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Proposta de extensão</b>	<b>17</b>
3.1	Objetivo . . . . .	18
3.2	Metodologia . . . . .	18
3.3	Cronograma . . . . .	20
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>21</b>

# 1 Resumo do projeto

## 1.1 Enunciado do problema

Atualmente na medicina, as cirurgias têm o objetivo de causar a mínima agressão ao organismo do paciente, isso implica em um menor tempo de hospitalização; menor incidência de complicações pós-operatórias; menos dor; e recuperação mais rápida (IPC..., 2019). Contudo, entre os diversos desafios de sua realização, a habilidade visual do médico, que envolve a capacidade de localizar e identificar os tecidos sensíveis, é essencial para redução dos danos ao paciente durante um procedimento cirúrgico, nos levando à questão: Como podemos potencializar a visão do médico para aumentar a qualidade dessas operações?



Figura 1.1: Exemplo da utilização de neuronavegador em cirurgia. Fonte: (SERVIÇO..., 2019).

Para esse fim, um *software* que informa e assiste o médico em tempo real na operação denota-se como um ótimo meio de aumentar as chances de sucesso dessas cirurgias. Atualmente, esses *softwares* são muito presentes no planejamento e execução das operações, entretanto, toma-se como exemplo os sistemas de neuronavegação, cuja função é permitir visualização, de forma precisa, das estruturas cerebrais do paciente. O neurocirurgião precisa virar a cabeça para ler os monitores e perde o foco na atividade conduzida, colaborando para um maior tempo de operação e favorecendo a exaustão do profissional, de modo que aumente seu potencial de erros durante os procedimentos cirúrgicos (Figura 1.1).

Para isso, a tecnologia de realidade aumentada (*AR*) oferece o potencial de reduzir es-

sas limitações, em razão de que figuras tridimensionais podem sobrepor a visão do médico para facilitar a visualização e a localização dos objetivos da operação enquanto mantém seus olhos direcionados ao paciente (CHO et al., 2020a). O que foi feito nesse projeto é uma pesquisa que envolve visão computacional e computação gráfica no campo do *AR* e uma aplicação para os óculos da empresa *Seiko Epson Corporation*<sup>®</sup>, modelo *Moverio BT-350™*. Recebendo suporte físico e técnico da equipe do Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (Aerotech) da Universidade de São Paulo, esse estudo corrobora com o objetivo do grupo que é desenvolver uma plataforma colaborativa de multi-aplicação neurocirúrgica.

## **1.2 Objetivo**

Exibir informações e posicionar modelos tridimensionais em uma região do espaço com *AR*, de forma que facilite o acesso do cirurgião à informação durante a neurocirurgia; estudar e registrar a resposta dos equipamentos utilizados no quesito de qualidade gráfica e latência de resposta do sistema. Tudo isso, com o objetivo central de aumentar a proximidade do cirurgião com a tecnologia de *AR* como apoio durante os procedimentos cirúrgicos.

## **1.3 Metodologia**

Consiste na listagem de possíveis soluções, técnicas ou ferramentas; o estudo e a discussão sobre elas, em seguida, sua implementação. Paralelamente a isso, a busca bibliográfica é constantemente realizada com o objetivo de esclarecer dúvidas sobre os meios imaginados e discutidos com o orientador e coorientador. Essa busca enfatiza os resultados encontrados pelos artigos, o objetivo disto é caracterizar os prós e contras das diversas opções encontradas. Essa pesquisa de artigos trás uma evolução do discernimento dos assuntos do estado da arte, refletindo em uma noção de funcionamento dos métodos científicos que constrói um novo pesquisador no desenvolvimento dessa iniciação científica.

## 1.4 Breve histórico do projeto

Desde o início dos trabalhos no projeto, foram experimentados diversos tipos de contato com a elaboração de *softwares* para o sistema operacional *Android* (Figura 1.2a); testes das ferramentas da documentação dos óculos de realidade aumentada *Moverio BT-350* (Figuras 1.2b e 1.2c); e a elaboração de aplicativos que ilustram o objetivo do *VCranium* (Figura 1.2d). Assim, como foi explicado no relatório parcial da pesquisa, pretendíamos prosseguir o desenvolvimento estabelecendo uma arquitetura composta por computador e óculos para capturar os dados necessários para a projeção em realidade aumentada, os detalhes serão descritos no capítulo das realizações.



Figura 1.2: Histórico de realizações da pesquisa até a primeira entrega parcial. Fonte: Autor.

## 2 Realizações

### 2.1 Moverio BT-350

#### 2.1.1 Documentação

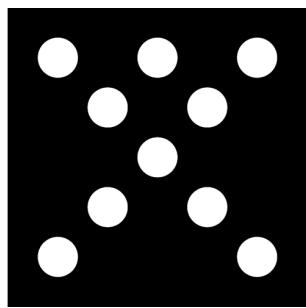
A Epson disponibilizou uma documentação sobre as funcionalidades dos óculos e forneceu algumas ferramentas e aplicações exemplares para auxiliar os desenvolvedores de aplicativos do *Moverio*. A tabela abaixo apresenta os arquivos da documentação e uma breve descrição:

Arquivo	Descrição
<i>CalibrationTool.apk</i>	Aplicativo de calibração da projeção da tela dos óculos
<i>CaptureTool.apk</i>	Ferramenta que ajuda a capturar fotos para o mapeamento de novos marcadores e objetos
<i>TrainingToolWindows</i>	Usa as imagens obtidas do <i>CaptureTool.apk</i> e cria o <i>dataset</i> para a detecção do novo marcador ou objeto
<i>Moverio_AR</i>	Exemplo de cena que aplica funções do <i>Moverio</i> no <i>Unity</i>

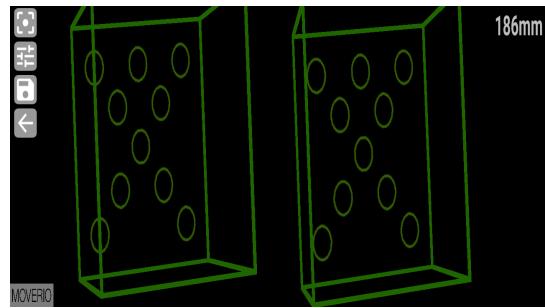
Antes de prosseguirmos com os testes de cada programa, é importante ressaltar que o suporte da fabricante foi precário. No momento em que o projeto foi aprovado e acessou os sites da fabricante, não foi encontrado a atualização de sistema, ficando com o *Android 5.1 (API 22 Lollipop)* que estava muito desatualizado em relação ao mercado atual. Além disso, existia uma biblioteca exclusiva de aplicativos para o *Moverio*, porém não para o *BT-350*, mas para outros modelos com foco em usuário. A documentação existia, porém sua última atualização foi em julho de 2019, segundo os metadados dos arquivos. Por fim, infelizmente, o suporte do produto foi descontinuado enquanto a pesquisa utilizava sua documentação, ademais, os arquivos da documentação foram excluídos do site da fabricante. O download de todos os arquivos foi feito e reservado para os estudantes do laboratório.

## 2.1.2 Ferramenta de calibração

Segundo a fabricante, cada pessoa tem uma distância e um formato de rosto diferente, exigindo uma calibração específica para cada usuário (MARUYAMA et al., 2018). Essa calibração pode ser feita manualmente por meio da interface do *CalibrationTool.apk*, que é instalado diretamente nos óculos. A calibração é efetuada ao ajustarmos uma imagem com o movimento da cabeça sobre o marcador da Figura 2.1a. O processo é feito com cada olho, então fechamos o olho direito, ajustamos o esquerdo e fazemos o mesmo para o direito (Figura 2.1b).



(a) Marcador da biblioteca *Moverio*



(b) Aplicativo fazendo a calibração

Figura 2.1: Calibração usando marcador impresso e o aplicativo *Calibration Tool* instalado nos óculos. Fonte: Autor.

## 2.1.3 Ferramenta de captura

A *Epson* forneceu um aplicativo para auxiliar a captura de fotos para o reconhecimento de novos objetos. O programa utiliza a imagem do marcador (Figura 2.1a) que serve de referência de localização para a câmera que captura 16 imagens com a posição pré-definida. A obturação é automática quando o usuário entra na posição determinada, no entanto, a utilização do programa não é satisfatória na maioria das vezes: A câmera aciona automaticamente quando você está indo para a posição desejada, ou seja, ele obtura uma imagem embaçada pois sua cabeça ainda está em movimento.

## 2.1.4 Ferramenta de treinamento

O *Training Tool* tem o intuito de ampliar as possibilidades da detecção adicionando novos marcadores e objetos nos programas elaborados. Para treinarmos um objeto precisamos

importar o modelo 3D (\*.STL) no programa, e então utilizar as imagens coletadas do *Capture Tool* para fazer um treinamento que habilitará a identificação do novo objeto. O primeiro teste foi realizado com uma lata de refrigerante, encontrado gratuitamente na *internet* (Figura 2.2a). Quando prosseguimos no programa, é pedido para escolhermos uma das imagens da captura e correlacionar pontos no objeto real da imagem e com o modelo virtual (Figura 2.2b). Após esse processo manual, o programa realiza a sobreposição do modelo no resto das imagens e libera uma ação de ajuste finais.

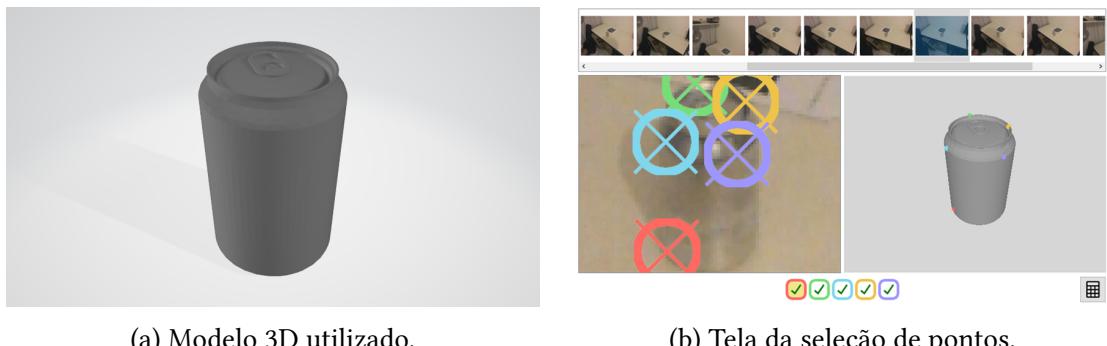


Figura 2.2: Importação de modelo e configurações iniciais de calibração. Fonte: Autor.

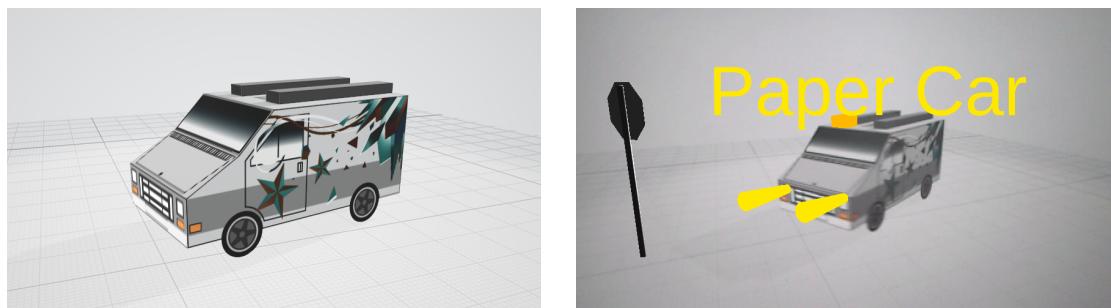
O ajuste manual dos pontos funciona muito bem, seu resultado é a figura 2.3a. O próximo passo é esperar o programa estimar a posição nas demais imagens, porém, isso não ocorre como o desejado. A Figura 2.3b representa essa falha na estimação de posição da lata, normalmente, pensariam em descartar essa imagem da lista, no entanto, essa é a melhor tentativa que o programa fez, os demais erram tanto que a latinha mal aparece na imagem. Ao tentar reajustar a lata, o programa impede a ação e notifica que a diferença é muito grande em relação ao primeiro ajuste, o que impossibilita realização da sobreposição AR de modo satisfatório.



Figura 2.3: Falha do treinamento na detecção da lata de refrigerante. Fonte: Autor.

### 2.1.5 Exemplo baseado em *Unity*

A documentação da *Epson* forneceu um programa de exemplo para *Unity* que pode reconhecer um carrinho de papel e sobrepor com animações em AR. Por sua vez, o *Unity* é um programa voltado para o desenvolvimento de jogos em múltiplas plataformas, sendo o *Android* uma delas, e com o apoio da USP, temos acesso a mais recursos para os projetos desenvolvidos nele (UNITY..., 2021). Para o teste inicial, consideramos que ele funcionaria com uma imagem na tela do computador, pois ele não pode diferenciar figuras tridimensionais e bidimensionais pela limitação da câmera. De fato, isso ocorreu e o teste foi registrado na figura 2.4.



(a) Modelo virtual do carrinho de papel

### (b) Sobreposição em AR com *Moverio*

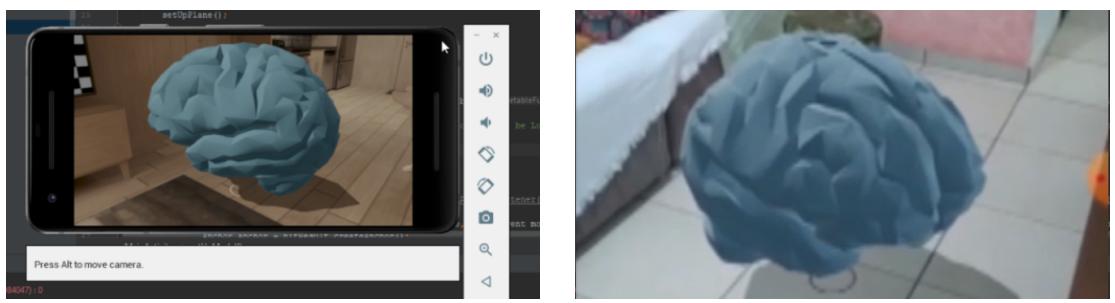
Figura 2.4: Resultados obtidos dos testes da documentação Moverio no Unity. Fonte: Autor.

## 2.2 Capacitação em Android Studio

Por razão do sistema operacional do *Moverio BT-350* ser baseado em *Android*, foi estudado o desenvolvimento de aplicativos nos primeiros meses da pesquisa. Nessa parte do projeto, a pesquisa teve um aspecto mais técnico, que serviu de base para a programação das futuras aplicações que estariam por vir. A *IDE* (ambiente de desenvolvimento integrado) utilizada foi o *Android Studio*, que foi sugerida pelo curso adquirido da *Udemy* (UDEMY..., 2021).

Após as primeiras semanas de aprendizado *Android*, foi iniciado uma pesquisa sobre o desenvolvimento de aplicativos voltados a realidade aumentada. Porém, um teste preparatório foi realizado com *OpenCV*, que consistiu em realizar a primeira manipulação e processamento das imagens da câmera (ABOUT..., s.d.). A experiência foi importante para o aprendizado da integração de ferramentas externas ao projeto padrão da plataforma e que, ademais, será feito muitas vezes até a conclusão da pesquisa.

A primeira biblioteca de realidade aumentada a ser testada foi o *Google Sceneform* (SCE-NEFORM..., 2021), porém, muitos problemas foram encontrados na integração dos *plugins* com o *Android Studio*, pois este precisava estar em uma versão anterior específica para funcionar. Após a instalação, foi possível ver a primeira projeção em realidade aumentada em um simulador de *smartphone* no computador (figura 2.5a). O teste foi repetido em um *smartphone* real, porém o afastamento dos integrantes do laboratório pela pandemia, e a falta de dispositivos compatíveis à minha disposição, causaram um atraso nos testes. Felizmente, foi gerado um arquivo que permite a instalação à distância e o aplicativo funcionou com sucesso nos celulares da equipe (figura 2.5b).



(a) Simulação da projeção AR. (b) Teste do aplicativo com *Smartphone* real.

Figura 2.5: Resultados adquiridos com o *Google Sceneform*. Fonte: Autor.

Prosseguindo os estudos de aplicativos *AR*, os problemas de versão tidos com o *Sceneform* estavam sendo reparados pelo *Google* e adaptados em um novo programa: *Google ARCore Services* (GOOGLE..., 2021). Sua proposta é que uma biblioteca seja instalada no dispositivo *Android* para que os aplicativos tenham acesso, trazendo a vantagem da redução do tamanho das aplicações produzidas. No entanto, somente uma lista restrita de *smartphones* modernos podem instalar essa biblioteca, a justificativa dos desenvolvedores é a compatibilidade com a versão do sistema *Android* (ARCORE..., 2021).

Seguido disso, durante a pesquisa foi encontrado um projeto em crescimento, também do *Google*, chamado *Mediapipe*. Esse trabalho tem a proposta de entregar diferentes ferramentas de visão computacional com *ML* (*machine learning*) integrado (MEDIAPIPE..., 2022). O projeto foi iniciado em julho de 2019, e tem ganhado mais popularidade por ser gratuito, multi-plataforma e facilitar muito a aplicação de *ML* para sistemas *Android*, *iOS*, e *PC*. No momento da descoberta, não era conhecida a compatibilidade do *Mediapipe* com *API* de *Android* anteriores a 2020 e muito menos o seu comportamento nos óculos de realidade aumentada, por isso, a ideia foi reservada para um estudo posterior.

O que podemos concluir do desenvolvimento de aplicações em realidade aumentada com *Android Studio* é que mesmo existindo ferramentas robustas de criação para *AR*, eles são restritos às novas versões de *Android*, que por sua vez, estão presentes somente em dispositivos de nova geração, i.e., de lançamento posteriores a 2019. Por fim, a incompatibilidade das bibliotecas com o sistema e a construção dos óculos *AR* foram os motivos para a procura de um novo ambiente de desenvolvimento, que seja mais versátil e comporte bem com os recursos do *Moverio BT-350*.

## 2.3 Estudos de desenvolvimento Unity

O programa apresentado no capítulo "Exemplo baseado em *Unity*" foi o único programa em *Unity* disponibilizado na documentação dos óculos, o projeto foi elaborado no *Unity 2017*, mesmo com alguns alertas de incompatibilidade, o projeto pôde ser compilado com êxito e funcionou nos óculos. Novamente, a falta do suporte da *EPSON* deixou incerto se era uma boa opção construir um aplicativo somente baseado na documentação disponível. Por isso, iniciamos novamente uma pesquisa sobre as ferramentas para suporte de *AR* nessa plataforma.

O *Vuforia* foi o primeiro *plugin* a ser testado no ambiente do *Unity* (VUFORIA..., 2021). Em fevereiro de 2022, ele apresenta mais opções rastreio para *AR*, mas no início de 2021, no momento em que foi experimentado pela pesquisa, as opções eram de usar imagens e algumas formas 3D como marcadores para suas projeções. Foi testado a detecção de imagem com um pedaço da logo da *Coca-cola™* como alvo, a figura 2.6 ilustra os resultados.



Figura 2.6: Testes com diferentes modelos de diferentes complexidades, constatando performance acima de 15 quadros por segundo em todos os casos. Fonte: Autor.

As formas de detecção tridimensionais não eram compatíveis com a detecção da posição da cabeça de um paciente, por isso esse recurso não foi testado. O *Vuforia* é uma ferramenta que trabalha com *Android* de API 23 ou superior, infelizmente, também incompatível com o *Moverio*

*BT-350* que possui uma *API 22* e sem chances de atualização. Outras ferramentas foram encontradas como o *Wikitude™* que também era para *API 23* (WIKITUDE..., 2022), porém uma outra ferramenta denominada *ARFoundation* que estima a posição da face humana chamou a atenção por termos a oportunidade de criar uma demonstração da ideia final do projeto nos óculos (ARFOUNDATION..., 2022).



Figura 2.7: A primeira imagem foi o primeiro teste com a projeção de um cubo na região da testa. A segunda detalha a superfície estimada da face e a projeção do cérebro. Fonte: Autor.

A instalação do *ARFoundation* foi feita no *Unity 2018* e apresentou compatibilidade com celulares de *API 28* ou superior. Os testes consistiram em utilizar a posição da face encontrada pelo *plugin* para projetar um objeto em referência a esses dados. A aplicação teve um ótimo resultado e foi possível apresentar o objetivo principal para professores e médicos da área pela aproximação visual dos testes com o resultado final esperado, visto na figura 2.7. Nesse momento, criamos um nome fantasia para facilitar as apresentações do projeto: *VCranium*.

Retornando ao objetivo prático de encontrar um meio de desenvolver o projeto, concluímos que temos muitas opções disponíveis de desenvolvimento, mas sem muito suporte para o *Moverio BT-350*. O *Unity* foi escolhido para seguir a pesquisa pela sua facilidade de elaboração de cenários tridimensionais; compatibilidade com o sistema de outros óculos de *AR* do mercado; e fornecimento de privilégios pela USP. Dessa maneira, podemos garantir que os próximos trabalhos que serão desenvolvidos, não dependem do equipamento que temos hoje, i.e, se futuramente precisarmos trocar para um óculos mais moderno, uma adaptação será feita e aproveitaremos o material produzido até o momento.

Dado o histórico de testes do projeto, foi decidido prosseguir sem depender de *plugins* e bibliotecas *closed-source*, isso garantirá um maior controle do *software* elaborado e também exigirá

um estudo aprofundado do funcionamento dos algoritmos de visão computacional. Dessa forma, o projeto tem o potencial de ter um contato maior com problemas discretizados de programação, i.e, dúvidas específicas de funções empregadas. Isso facilita as pesquisas e levantamento de questões em seminário para os estudantes e professores dessa área de pesquisa na universidade.

## 2.4 Revisão bibliográfica

Aqui podemos analisar com mais atenção os artigos da literatura e suas diferentes soluções para sistemas de realidade aumentada aplicados em cirurgias. O trabalho que mais auxiliou a pesquisa foi uma revisão literária de aplicações em AR para neurocirurgias: "*Enhancing Reality: A Systematic Review of Augmented Reality in Neuronavigation and Education*" (CHO et al., 2020a). Esse artigo faz uma breve apresentação da aplicabilidade de AR em ambiente cirúrgico e tabela as informações de doze pesquisas mostrando as patologias tratadas; descrição de método; e resultado da precisão da projeção em AR.

Dentre as pesquisas descritas estava o artigo de Maruyama: *Smart Glasses for Neurosurgical Navigation by Augmented Reality* (MARUYAMA et al., 2018). Sua equipe de pesquisadores construíram um sistema que utilizava os óculos *Moverio BT-200*, um modelo que se assemelha muito com o que possuímos no laboratório, para auxiliar a visualização de tumores cerebrais em dois pacientes, além disso, foi também possível exibir a escala; o crânio; e os vasos da superfície do cérebro nos óculos.



Figura 2.8: (A) Duas câmeras para detectar movimento, (B) Marcadores para paciente, (C) Marcadores nos óculos, (D) Visualização nos óculos. Fonte: (MARUYAMA et al., 2018).

O método que o artigo utilizou apresentou a dinâmica da integração de componentes para uma arquitetura de um sistema AR: Empregar câmeras estereoscópicas para a detecção de

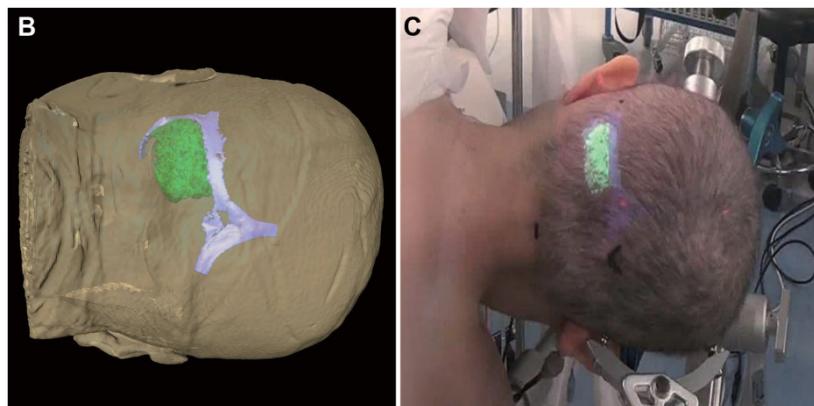


Figura 2.9: (B) Computação gráfica da reconstrução do cérebro do paciente, (C) Visualização em AR antes da incisão. Fonte: (MARUYAMA et al., 2018).

marcadores nos óculos e na cabeça do paciente; relacionar com os dados da reconstrução 3D do cérebro; utilizar parâmetros da calibração; e fazer a exibição nos óculos. Por meio desse sistema, o resultado obtido é visto na figura 2.9.

A precisão da projeção, segundo o artigo, foi de  $2.1 \pm 1.3 \text{ mm}$  com a mediana de 1.8 e a remoção total de 5 tumores com sucesso e sem complicações pós-operatórias. Além disso, o sistema tem uma interface de fácil utilização e conveniência para o médico, sendo possível desabilitar a projeção em qualquer momento da cirurgia, teve um custo menor que os sistemas de neuronavegação convencionais e, por fim, pode ser instalado em outros óculos de AR comerciais disponíveis, portanto, não se limitando ao seu modelo do *Moverio* (MARUYAMA et al., 2018).

Os resultados apresentados por essa pesquisa e a conjectura apresentada na seção anterior - aplicação baseado no *Unity* para a compatibilidade com mais óculos do mercado - foram confirmados possíveis. Contudo, antes de simplesmente seguir os passos de Maruyama, decidimos fazer uma listagem das arquiteturas utilizadas em outros sistemas para tentar ponderar suas características para optarmos pela opção que mais atende as necessidades da pesquisa.

## 2.5 Elaboração do VCranium

### 2.5.1 Arquitetura do Sistema

A definição da arquitetura do sistema é muito importante para configurar o seu funcionamento, estabelecer suas vantagens e desvantagens, e implicará como nós trabalhos em seu

desenvolvimento. Para isso, a equipe realizou reuniões e debates para estabelecer uma solução que seja compatível para um período de seis meses e respeitando as medidas de prevenção por afastamento pela pandemia de COVID-19. Ainda assim, precisamos de uma arquitetura versátil e que objetiva facilitar a mudança de métodos de estimativa a posição da projeção em AR.

Para tal, dividiremos o sistema em computador e óculos: O computador estima a posição da projeção e os óculos fazem a visualização nos olhos do usuário. Isso simplifica a mudança de método aplicado pelo computador, melhorando a recepção de novos algoritmos da equipe de estudos do laboratório. Esse sistema foi aplicado no artigo de Maruyama, que utilizou um *software* de visualização médica e enviou os dados para os óculos que, por fim, fizeram a exibição do *AR* utilizando o *Unity* (MARUYAMA et al., 2018). Com a definição dos componentes da arquitetura, deve ser definido uma comunicação entre os dispositivos. Um exemplo da literatura foi o uso do computador para adquirir informações de sinais vitais de equipamentos médicos e o envio para os óculos via *TCP/IP* (Protocolo de Controle de Transmissão / Protocolo de *Internet*) (ARPAIA et al., 2021).

Utilizando o recurso de conexão *wireless* dos óculos, podemos nos conectar com o computador via *LAN* (Rede de área local). Na questão da estabilidade dessa conexão, em um espaço livre de obstáculos entre os óculos e a origem do sinal, a velocidade e latência são respectivamente  $100 \pm 10 \text{ Mbps}$  e  $15 \pm 10 \text{ ms}$ . Nota-se que com essa velocidade a conexão pode suportar a transmissão de vídeo e, portanto, harmoniza com a arquitetura mencionada anteriormente: O computador recebe imagens dos óculos e aplica algoritmos de visão computacional, e então retorna os dados com resultados para os óculos novamente.

### 2.5.2 Comunicação

A programação em C# do sistema teve o desafio de conciliar a comunicação do computador programado em *Python* com os óculos em plataforma *Unity*. As pesquisas na *web* demonstraram essa comunicação via *TCP/IP* com a utilização de *network sockets* (YOUTUBE..., 2020). No entanto, o que precisava ser feito é a transmissão de vídeo em tempo real (*video streaming*), essa ocasião é diferente do envio de uma mensagem de texto, que está na ordem de centenas de *bytes*, uma única imagem pode carregar milhões de *bytes* de informação.

Nos testes iniciais, a tentativa foi realizar o processo contínuo de capturar imagens e

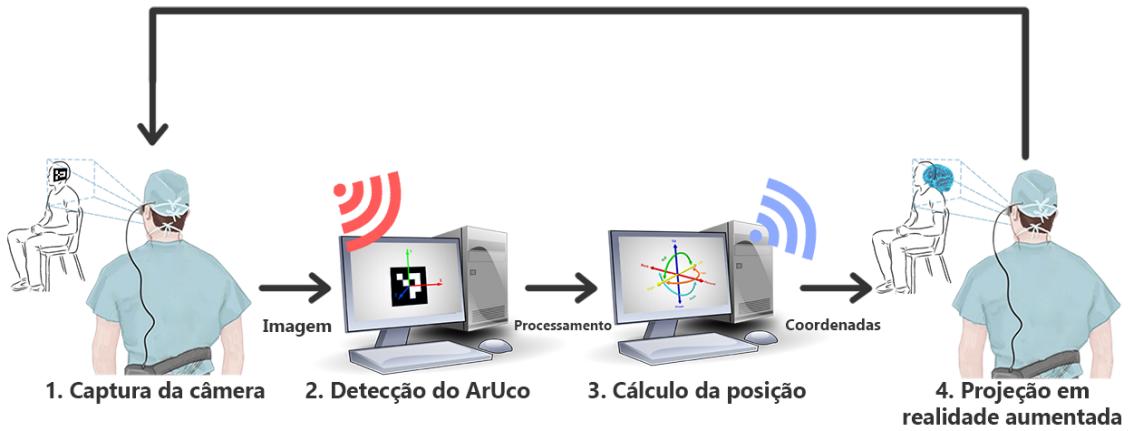
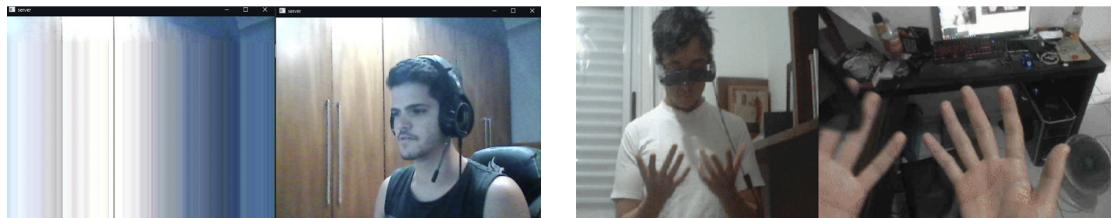


Figura 2.10: A figura representa o funcionamento do sistema. (1) Captura a imagem do paciente e envia para o computador. (2) Faz uma varredura na imagem e identifica o marcador ArUco. (3) Calcula a posição do marcador e envia as coordenadas para os óculos. (4) Recebe as informações e exibe a projeção para o usuário e então retorna para o passo 1. Fonte: Autor.

enviar dos dados via *TCP* ao computador. Porém, ocasionalmente, a visualização da imagem era cortada horizontalmente, parecendo que "faltou um pedaço". Isso ocorre pois no processo de recepção de dados do *socket*, a instrução de leitura não tem a informação do tamanho do arquivo a ser recebido da rede, i.e., o computador não pode interpretar onde é o fim da imagem, causando a renderização parcial das informações da foto, resultando em uma imagem defeituosa.



(a) Comparação entre uma imagem defeituosa e (b) Êxito na transmissão em tempo real das imagens corrigida com o *header*.

Figura 2.11: Resultados dos testes de comunicação Fonte: Autor.

A solução desse problema foi fazer um envio de uma mensagem de tamanho fixo (*header*) informando ao computador o tamanho da próxima imagem, garantindo a captura completa da informação de cada foto (Figura 2.11a). Esse estudo e investigação do problema ampliou muito os conhecimentos de redes e seus protocolos de comunicação. Foi possível adquirir um resultado melhor que o esperado na transmissão de vídeo, obtendo uma taxa superior a 20 quadros por segundo, sua variação é sensível ao conteúdo da imagem por causar variação na taxa de compressão do formato *JPEG* (*Joint Photographic Experts Group*).

### 2.5.3 Estimação da posição da projeção

A aplicação objetiva exibir os detalhes da anatomia cerebral de um paciente em AR para auxiliar os procedimentos operatórios de um neurocirurgião. Para isso, devemos utilizar um método que estime a relação entre o mundo real e virtual para sobrepormos a cabeça do paciente com a vista 3D dos seus dados da tomografia computadorizada. A procura desse método é o objeto de pesquisa de muitas referências bibliográficas. Nesse ponto da pesquisa, o projeto pode receber os métodos pesquisados por outros estudantes do laboratório, como a técnica de *surface matching* da cabeça do paciente ou a estimação da posição corporal com *machine learning*. No entanto, optamos por um método com baixa complexidade para darmos ênfase no objetivo de completarmos todo o sistema e, em um futuro breve, torná-lo em algo mais adequado para o ambiente cirúrgico.

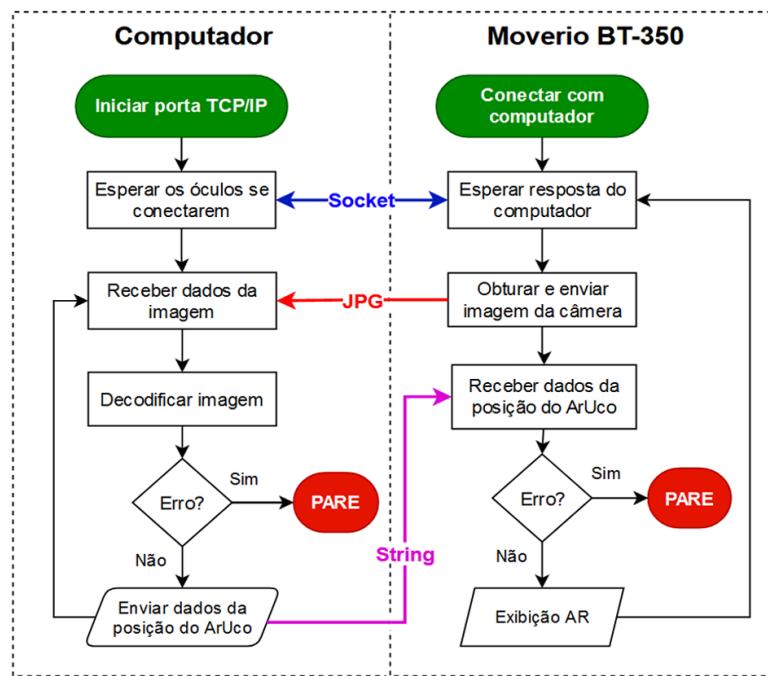


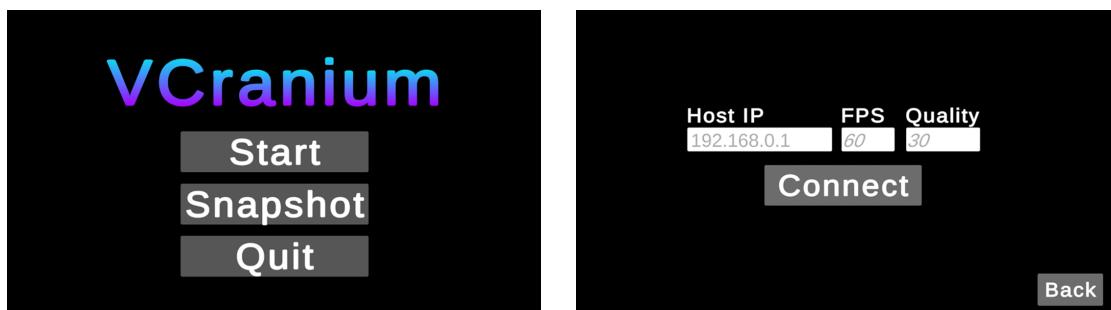
Figura 2.12: Fluxograma dos processos da execução do *VCranium*. Fonte: Autor.

O método de estimação escolhido foi a detecção de marcadores fiduciais nativos da biblioteca do *OpenCV*, o *ArUco*. A estratégia de marcadores, especificamente os com forma quadrada, é comumente utilizada em aplicações de realidade aumentada pela sua rápida responsividade e robustez (RAMIREZ; SALINAS; CARNICER, 2018). Ele é especial por ter quatro pontos proeminentes (os quatro vértices) que facilitam sua detecção e seu conteúdo interno, preenchido com um padrão único que serve de identificador para o computador (POROYKOV et al., 2020).

O algoritmo da detecção *ArUco* foi implementado junto ao programa *Python* do computador. Esse módulo tem como entrada uma imagem dos óculos e saída as coordenadas da posição e rotação do marcador. Os dados são formatados em uma mensagem de tamanho fixo e enviado por *TCP*, semelhante ao *header* da imagem. Na rotina de execução dos óculos, ele primeiro obtura a imagem e envia para o computador, então ele espera a resposta com as informações do *ArUco* correspondentes à imagem e por fim ele posiciona a projeção AR. Na detecção de quaisquer erros de formatação dos *header*, são emitidos como erros fatais no programa, parando todos os processos da execução, vistos no fluxograma da figura 2.12.

#### 2.5.4 Interface com usuário

Para a criação da interface, demos mais atenção ao funcionamento da projeção das imagens nas lentes dos óculos. A tecnologia empregada é a *Si-OLED (Silicon - Organic Light-Emitting Diode)* que tem a característica de exibir os *pixels* pretos como regiões desligadas de *LED*, i.e., áreas escuras são regiões transparentes e áreas claras são regiões visíveis (MOVERIO..., 2020). Pensando nisso, a interface apresenta as partes interativas mais claras, para chamar atenção do usuário, e um fundo preto para causar um efeito transparente (Figura 2.13).



(a) Menu principal do programa

(b) Tela de conexão com computador

Figura 2.13: Imagens da interface do *VCraniun*. Fonte: Autor.

### 3 Proposta de extensão

O projeto até o momento enfrentou diversos desafios e buscou desempenhar muitos testes até decidirmos escolher um meio de começar a elaboração do *VCranium* (Capítulo "Elaboração do *VCranium*"). A pesquisa bibliográfica mostrou a possibilidade, por meio de diferentes técnicas, de aplicarmos o *Moverio BT-350* no ambiente cirúrgico e, especialmente, na neurocirurgia (CHO et al., 2020b). A extensão do período de trabalho no projeto, assim como a renovação da bolsa, trará também o aprofundamento e refinamento dos processos implementados no programa.

Com a arquitetura do sistema montada, temos um cenário propício para continuar a desenvolver atualizações que permitam uma melhor estabilidade e compatibilidade com os recursos dos óculos. Isto posto, podemos não só refinar o algoritmo atual de detecção por marcadores, como podemos aplicar redes treinadas de *machine learning* ou utilizar o modelo da *Intel RealSense* do laboratório para o uso de *surface matching* da superfície da cabeça do paciente, ambas técnicas já sendo estudadas por outros pesquisadores do *AeroTech*.

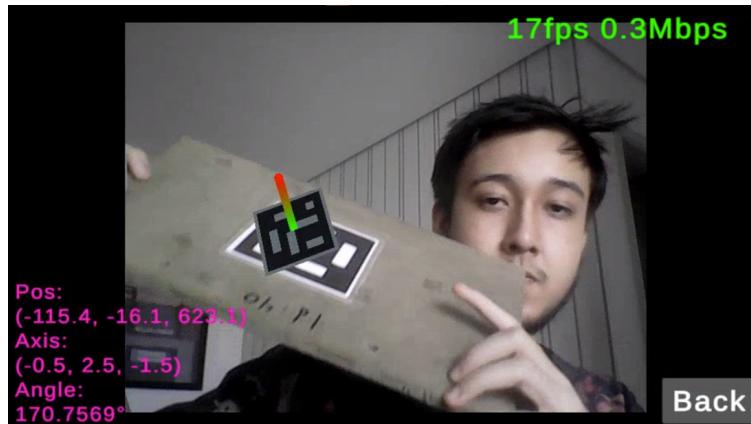


Figura 3.1: Erro de projeção por falta de calibração da câmera. Fonte: Autor.

O próximo passo do *VCranium* é a calibração da projeção em realidade aumentada. Visto que a observação do usuário dos óculos é estereoscópica, a primeira parte de viabilizar a exibição de AR é fazer a visualização independente para cada olho. Para isso, é necessário um cálculo de calibração particular de cada usuário, e além disso, garantir que essa calibração se mantenha em todas as posições da projeção no espaço virtual. Atualmente, o projeto se encontra desregulado na projeção, não criando o efeito de sobreposição adequado (Figura 3.1).

### 3.1 Objetivo

Trabalhar na arquitetura de sistema montado no primeiro período da pesquisa, que envolverá os compromissos de refinar o método atual de estimativa de posição por marcadores; experimentar diferentes métodos de visão computacional; e comparar com os dados de precisão da literatura. Dessa maneira, cooperando com o objetivo primordial de aumentar a proximidade do neurocirurgião com a tecnologia *AR* em procedimentos cirúrgicos.

### 3.2 Metodologia

Como trata-se de um projeto com um sistema já definido, a metodologia precisa dar ênfase no conhecimento da confiabilidade dos métodos e, por isso, consistirá no estudo da matemática das projeções da computação gráfica. Esse assunto é muito importante para entendermos como funciona a visualização 3D de objetos em um espaço virtual, os cálculos são feitos com transformações por meio da multiplicação de matrizes (*Model*, *View* e *Projection*), que por sua vez, agem como parâmetros desse método (LEARN..., 2022).

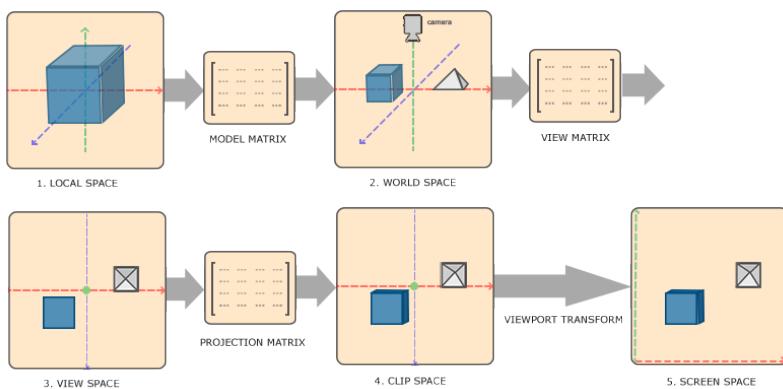


Figura 3.2: Aplicação das matrizes *Model*, *View* e *Projection* para a visualização 3D em perspectiva.  
Fonte: (LEARN..., 2022).

Não se limitando apenas na teoria, mas também estudando a aplicação da computação gráfica em realidade aumentada, podemos então criar uma relação entre as visualizações 3D do espaço virtual dos óculos e a tela em que serão projetadas as imagens, sendo essa, a base do efeito de sobreposição em *AR*. Portanto, esse trabalho vai enfatizar os estudos de marcadores fiduciais para essa visualização, sendo necessário correlacionar os parâmetros da câmera com os modelos

com o intuito de fazer uma projeção de forma adequada (TENG; CHEN, 2012).

Por fim, o trabalho exigirá uma aferição da precisão da projeção em realidade aumentada apresentada pelo método. Na literatura, essa medida foi adquirida com a utilização de ferramentas que entregam uma estimativa do erro da projeção (Figura 3.3) (MARUYAMA et al., 2018). Ainda que a metodologia terá destaque no aprofundamento teórico dos métodos, as pesquisas de novos artigos serão feitas conjuntamente com esses estudos, procurando monitorar as descobertas e novos resultados no campo de realidade aumentada aplicada em cirurgias e neurocirurgias.

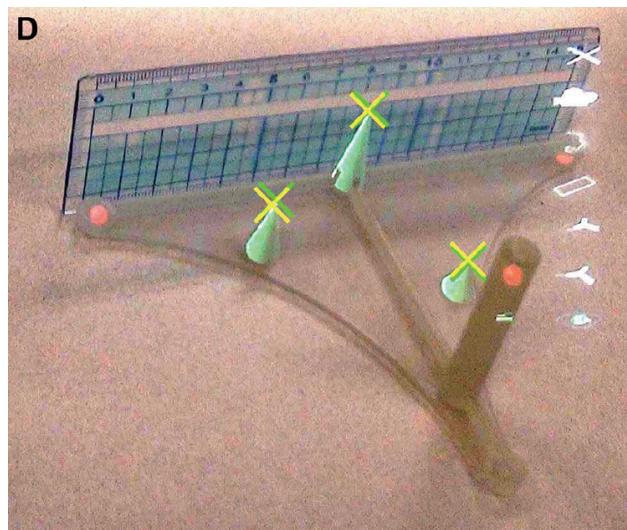


Figura 3.3: Aplicação do *phantom* para a medição do erro de projeção. Fonte: (MARUYAMA et al., 2018).

### 3.3 Cronograma

O controle de atividades vai ser feito com encontros mensais e semanais com o coorientador, orientador e integrantes do laboratório. Um cronograma foi elaborado na tabela 3.1 para servir de guia para o progresso do projeto.

Atividade	Bimestre	Execução					
		1	2	3	4	5	6
Revisão literária de aplicação de marcadores em AR							
Estudo das transformações matriciais de perspectiva							
Estudo sobre calibração de projeção AR							
Aprofundamento em calibração estereoscópica Moverio							
Testes com outros algoritmos de detecção							
Coleta de dados da precisão de métodos*							

Tabela 3.1: \*A coleta de dados vai envolver o auxílio da parceria do Centro de Cirurgia de Epilepsia (CIREP) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP

# Referências bibliográficas

- ABOUT OpenCV. [S.l.: s.n.]. <https://opencv.org/about/>. Acessado em 17 de fev. de 2020.
- ARCORE: supported device. [S.l.: s.n.], 2021. <https://developers.google.com/ar/devices>. Acessado em: 7 de agosto de 2021.
- ARFOUNDATION: Documentação do *plugin*. [S.l.: s.n.], 2022. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>. Acessado em: 26 de fevereiro de 2022.
- ARPAIA, P. et al. Metrology-Based Design of a Wearable Augmented Reality System for Monitoring Patient's Vitals in Real Time. **IEEE Sensors Journal**, v. 21, n. 9, p. 11176–11183, mai. 2021. ISSN 1530-437X. DOI: 10.1109/JSEN.2021.3059636. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9354808/>>.
- CHO, J. et al. Enhancing Reality: A Systematic Review of Augmented Reality in Neuronavigation and Education. **World Neurosurgery**, p. 186–195, mai. 2020. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.04.043.
- CHO, J. et al. Enhancing Reality: A Systematic Review of Augmented Reality in Neuronavigation and Education. **World Neurosurgery**, 2020. ISSN 18788750. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.04.043.
- GOOGLE Play: Google Play Services para RA. [S.l.: s.n.], 2021. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.ar.core>. Acessado em: 5 de agosto de 2021.
- IPC Instituto de Patologia da Coluna. [S.l.: s.n.], 2019. <https://neurocirurgia.com/cirurgia-minimamente-invasiva/>. Acessado em: 18 de março de 2022.
- LEARN OpenGL: Coordinate Systems. [S.l.: s.n.], 2022. <https://learnopengl.com/Getting-started/Coordinate-Systems>. Acessado em: 21 de março de 2022.
- MARUYAMA, K. et al. Smart Glasses for Neurosurgical Navigation by Augmented Reality. **Operative Neurosurgery**, v. 15, n. 5, p. 551–556, nov. 2018. ISSN 23324260. DOI: 10.1093/ons/oxp279. Disponível em: <<https://academic.oup.com/ons/article/15/5/551/4823484>>.

MEDIPIPE: *README* do projeto no *Github*. [S.l.: s.n.], 2022. <https://github.io/mediapipe/>. Acessado em: 26 de fevereiro de 2022.

MOVERIO BT-350 Smart Glasses. [S.l.: s.n.], 2020. <https://epson.com/For-Work/Wearables/Smart-Glasses/Moverio-BT-350-Smart-Glasses/p/V11H837020>. Acessado em: 3 de agosto de 2021.

POROYKOV, A.; KALUGIN, P.; SHITOV, S.; LAPITSKAYA, I. Modeling ArUco Markers Images for Accuracy Analysis of Their 3D Pose Estimation. **Proceedings of the 30th International Conference on Computer Graphics and Machine Vision (GraphiCon 2020). Part 2**, short14–1–short14–7, dez. 2020. DOI: 10.51130/graphicon-2020-2-4-14. Disponível em: <<http://ceur-ws.org/Vol-2744/short14.pdf>>.

RAMIREZ, F. J. R.; SALINAS, R. M.; CARNICER, R. M. Speeded up detection of squared fiducial markers. **Image and Vision Computing**, v. 76, June, p. 38–47, 2018. ISSN 02628856. DOI: 10.1016/j.imavis.2018.05.004.

SCENEFORM: Quickstart for Android. [S.l.: s.n.], 2021. <https://developers.google.com/sceneform/develop/android-quickstart>. Acessado em: 5 de agosto de 2021.

SERVIÇO de Neurocirurgia retira lesão cerebral com paciente acordado: Youtube. [S.l.: s.n.], 2019. <https://youtu.be/-n1x25yu04w>. Acessado em: 5 de março de 2022.

TENG, C. H.; CHEN, J. Y. An augmented reality environment for learning OpenGL programming. **Proceedings - IEEE 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and IEEE 9th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, UIC-ATC 2012**, p. 996–1001, mai. 2012. DOI: 10.1109/UIC-ATC.2012.57.

UDEMY: Desenvolvimento *Android* Completo 2021. [S.l.: s.n.], 2021. <https://www.udemy.com/course/curso-de-desenvolvimento-android-oreo/>. Acessado em: 5 de agosto de 2021.

UNITY: Arquivo de download Unity. [S.l.: s.n.], 2021. <https://unity3d.com/pt/get-unity/download/archive>. Acessado em: 10 de agosto de 2021.

VUFORIA: Developer Portal. [S.l.: s.n.], 2021. <https://developer.vuforia.com>. Acessado em: 9 de agosto de 2021.

WIKITUDE: Augmented Reality. [S.l.: s.n.], 2022. <https://www.wikitude.com/>. Acessado em: 1 de março de 2022.

YOUTUBE: Connect Csharp and Python tutorial. continuous communication. [S.l.: s.n.], 2020.

<https://youtu.be/VeIiU9qTsGI>. Acessado em: 8 de março de 2022.