

hARdware: APLICATIVO PARA AUXILIAR A VISITAÇÃO DE OBJETOS DE UM MUSEU TECNOLÓGICO USANDO REALIDADE AUMENTADA

Henrique Delegregio, Dalton Solano dos Reis – Orientador

Curso de Bacharel em Ciência da Computação
Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brasil

hdelegregio@furb.br, dalton@furb.br

Resumo: Este artigo apresenta um aplicativo que tem como objetivo melhorar a experiência de visita em um museu tecnológico através da Realidade Aumentada. O aplicativo foi desenvolvido na plataforma Unity, utilizando a linguagem de programação C# e a ferramenta Vuforia. A aplicação é capaz de detectar marcadores colocados sobre chapas pretas de madeira em dois cenários distintos, acionando assim a sequência do código hARdware. A combinação das tecnologias de realidade aumentada e realidade misturada permite guiar o usuário na interação com cada cenário, proporcionando uma oportunidade de aprendizado diferente sobre o objeto em exibição. Essa abordagem abrange o uso de informações textuais, áudio e animações para transmitir ao usuário as características técnicas e a história do objeto de forma envolvente e educativa. Ao explorar o aplicativo, os visitantes do museu têm acesso a um conteúdo mais enriquecido, podendo compreender melhor os detalhes e contextos relacionados aos objetos expostos.

Palavras-chave: Realidade aumentada. Realidade misturada. Museus. Educação. Hardware. Detecção de objetos.

1 INTRODUÇÃO

Museus, da forma em que conhecemos atualmente, existem desde o século XVIII (HALBERTSMA, 2005) e desde então cativam a imaginação de seus visitantes, contando uma história vivida por seus antepassados e protegendo a cultura. Leis como a Lei nº 11.906, de 20 de janeiro de 2009, que cria o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM) (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2013) reforçam a importância da criação de museus e a cultura que é preservada com eles. Dentre os diferentes tipos de museus existem os de arqueologia, história natural, ciência e tecnologia.

O primeiro museu de tecnologia, o Computer History Museum, foi criado no final da década de 60 na cidade de Mountain View na Califórnia. O Computer History Museum nasceu da necessidade de preservar o computador Whirlwind I, um dos primeiros computadores de entrada e saída em tempo real, e outras tecnologias da época. Em 2.000 o museu foi incorporado pela NASA e, de acordo com eles, é a maior e mais significativa coleção de artefatos de computadores no mundo, com exibições como supercomputadores históricos, o primeiro computador da Apple e o Utah Teapot, o primeiro objeto a ser computadorizado em 3D, além de vários softwares (MARSH, 2013).

Grande parte dos museus têm pequenos pedaços de papéis com uma explicação do que aquela peça é ou representa, porém é difícil em somente algumas palavras descrever a história, importância e no caso de equipamentos tecnológicos, a sua funcionalidade. Outro fator a ser considerado é a grande variedade de tipos e quantidade de peças que fazem parte dos acervos desses museus, por exemplo, o Museu de Arte de São Paulo (MASP) tem mais de 11.000 peças, totalizando um valor estimado de US\$ 17 bilhões (MASP, 2023).

Algumas medidas foram tomadas para tentar sanar o problema da falta de informação das diversas peças de um museu, como por exemplo o Brooklyn Museum que utiliza QR Codes para fornecer informações extras das obras há mais de uma década (CHARR, 2020). É reportado que a adoção desse sistema pelos usuários é escassa, de acordo com um artigo na revista Cuseum “QR Codes perderam o seu charme romântico” (CUSEUM, 2016, p. 1). Algumas medidas mais modernas também foram tomadas para solucionar o problema da falta de informações, como por exemplo, o uso de Realidade Aumentada (RA) nos museus. O Muséum National d’Histoire Naturelle em Paris, por exemplo, usa realidade aumentada para permitir visualizar animais que hoje em dia estão extintos (COATES, 2023). O uso de realidade aumentada em museus é algo ainda longe da realidade especialmente no Brasil em que os únicos exemplares de museus utilizando essa tecnologia são o MASP, Museu do Amanhã e Museu Catavento (MENEZES *et al.*, 2018).

Em contrapartida à realidade dos museus brasileiros, observa-se um cenário onde os dispositivos móveis fazem cada vez mais parte das nossas vidas e estamos cada vez mais conectados a ela, sendo hoje em dia impossível de imaginar uma vida sem o uso destes dispositivos móveis, pois eles se tornaram muito importantes tanto para a troca de informações, como para atividades do cotidiano.

Diante deste contexto, este trabalho desenvolveu uma aplicação para auxiliar a visita de objetos de um museu tecnológico usando realidade aumentada.

O objetivo principal é disponibilizar um aplicativo para auxiliar a visita de objetos de um museu tecnológico usando realidade aumentada, utilizando as peças do museu como marcadores. Os objetivos específicos são: desenvolver um ambiente de realidade aumentada que permita a interação com modelos 3D na plataforma Unity; avaliar o uso de peças do museu como marcadores para apresentação do conteúdo em realidade aumentada e analisar a eficácia da interação usando peças reais de um museu tecnológico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A subseção 2.1 tem como objetivo comentar sobre museus tecnológicos. Na subseção 2.2 serão apresentados os conceitos de Realidade Aumentada. Na subseção 2.3 será apresentada a ferramenta Vuforia. Na subseção 2.4 serão apresentados os cenários criados para a interação com o aplicativo. Por fim, a subseção 2.5 irá apresentar os trabalhos correlatos.

2.1 MUSEU TECNOLÓGICO

Um museu é uma construção ou instituição que abriga e exhibe uma coleção de artefatos e outros objetos de valores artísticos, culturais, históricos e científicos. Segundo a jornalista Rebecca Carlsson da revista Museum Next “Museus tem o poder de criar união no aspecto social e político, mas também a nível local. Museus locais são capazes de criar um senso de comunidade celebrando uma herança coletiva e oferecendo uma ótima maneira de conhecer a história de um lugar em particular” (CARLSSON, 2022, p. 1, tradução nossa).

Entre os diversos tipos de museus, temos os museus de computadores, que são museus para o estudo de hardwares e softwares históricos. Alguns exemplos de museus de computadores são: o Computer History Museum (o maior museu de computadores do mundo - Figura 1), o museu da Universidade de Ciências de Tokyo, Museu Capixaba do Computador e Museu do Computador da cidade de São Paulo.

Figura 1 - Computer History Museum



Fonte: The Mercury News (2022).

Entre alguns exemplos de uso de tecnologias para explorar os museus usando a gamificação se pode citar o Horus (HAMMADY; MA; TEMPLE, 2016). Horus é um jogo de realidade aumentada que tem como objetivo educar o visitante sobre os deuses do Egito Antigo. Neste jogo o jogador pode ser o deus Horus (deus bom) ou deus Seth (vilão, deus Egípcio da guerra). O jogo também dá a opção de postar a sua pontuação em redes sociais.

2.2 REALIDADE AUMENTADA

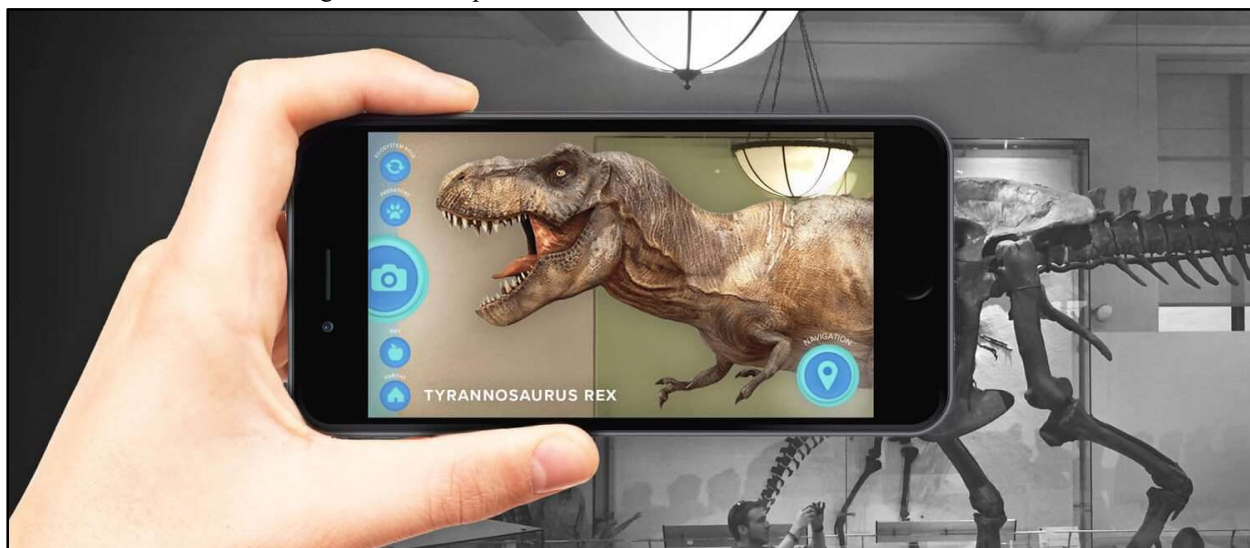
A realidade aumentada é uma versão virtual do mundo real que é obtida através de elementos visuais, sonoros e outros meios com o uso da computação, diferente da realidade virtual que imerge o usuário em um mundo totalmente virtual. Assim, a realidade virtual e a realidade aumentada permitem ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e virtuais estáticos e em movimento. Permite também reproduzir, com fidelidade, ambientes da vida real como uma casa virtual, uma universidade virtual, um banco virtual, uma cidade virtual etc., de forma que o usuário possa entrar nesses ambientes e interagir com seus recursos de forma natural, usando as mãos (com ou sem aparatos tecnológicos, como a luva) e eventualmente comandos de voz (KIRNER; TORI, 2006).

A realidade aumentada tem revolucionado a forma como os visitantes interagem com os museus, oferecendo uma experiência enriquecedora e imersiva. Por meio da realidade aumentada, os visitantes podem explorar obras de arte, artefatos históricos e exposições de maneiras totalmente novas. Ao apontarem seus dispositivos móveis ou usarem óculos

de realidade aumentada, os visitantes têm acesso a informações adicionais, como descrições detalhadas, vídeos, áudios e animações, que complementam e enriquecem a compreensão do conteúdo apresentado (SPADONI *et al.*, 2022).

Essa abordagem interativa estimula a curiosidade, o engajamento e o aprendizado dos visitantes. Ao possibilitar uma interação mais imersiva com os objetos e informações, a realidade aumentada transforma a visita ao museu em uma experiência dinâmica e envolvente. Um exemplo interessante de como a tecnologia está sendo usada para enriquecer a experiência dos visitantes em museus é o uso da gamificação. A gamificação é uma abordagem que utiliza elementos e mecânicas de jogos em contextos não relacionados a jogos, como educação, marketing e experiências de usuário, com o objetivo de engajar e motivar as pessoas. Essa estratégia tem sido amplamente explorada em diversos campos, incluindo o setor de museus. O objetivo é tornar a experiência mais interativa e envolvente (DETERDING *et al.* 2011), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de uso de realidade aumentada em museus



Fonte: Poplar Studio (2021).

A realidade aumentada tem algumas limitações no quesito de eficácia de ancoragem. De acordo com Hammady, Ma e Temple (2016), eles citam o problema do “ruído”, que definem como: qualquer fonte interna ou externa que pode interromper a comunicação ou confundir o usuário, como por exemplo um museu lotado de visitantes e luz insuficiente. Alguns outros problemas que eles mencionam são mudanças no campo magnético, por causar problemas no acelerômetro e bússola ou se o objeto não tem bordas bem definidas. Hammady, Ma e Temple (2016) também mencionam que experiências passadas mostraram que sistemas de realidade aumentada poderiam ser alterados pelas experiências, padrões de uso e comunicações dos usuários.

2.3 VUFORIA

O Vuforia é um *framework* criado pela Qualcomm que fornece ferramentas e tecnologias para criar aplicativos de RA em diversas plataformas, como smartphones, tablets e óculos inteligentes. O Vuforia permite que os desenvolvedores sobreponham conteúdo digital, como modelos 3D, animações e elementos interativos, ao mundo real em tempo real. Pelas suas características específicas de fácil integração com o Unity, esquema amigável de desenvolvimento e uma comunidade de suporte online, o Vuforia foi a escolha para o trabalho.

O *framework* se integra ao mecanismo de desenvolvimento de jogos Unity, tornando-o acessível para desenvolvedores que já estão familiarizados com o Unity, fornecendo *plugins* e Application Programming Interface (APIs) para integração e desenvolvimento fáceis de aplicativos de Realidade Aumentada (RA).

Essa ferramenta tem sido amplamente utilizada em várias indústrias, incluindo jogos, marketing, varejo, educação e aplicações industriais. Ela capacita os desenvolvedores a criar experiências de RA imersivas que aprimoram as interações do usuário com o mundo real, mesclando conteúdo virtual de forma transparente ao ambiente ao redor.

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

A seguir são apresentados os trabalhos correlatos que abordam assuntos de realidade aumentada em museus ou realidade aumentada no contexto de educação. O primeiro, mostrado no Quadro 1, é um aplicativo que permite com que o usuário visualize modelos 3D de peças de museus Chen, Chang e Huang (2013). O segundo, detalhado no Quadro 2, é o aplicativo Virtuali-Tee, que mostra os sistemas orgânicos do corpo humano projetados sobre uma camiseta com marcadores de realidade aumentada (CURISCOPE, 2016). Por último, o Quadro 3 apresenta o trabalho desenvolvido por Keil *et al.* (2013), um aplicativo que projeta texturas sobre estátuas do Museu da Acrópole de Atenas.

O trabalho desenvolvido por Chen, Chang e Huang (2013) teve como objetivo criar um software offline de realidade aumentada para auxiliar a visualização das obras de um museu (Quadro 1). Os autores argumentaram que as soluções existentes na época utilizavam equipamentos do museu para a interação, que aumentavam o custo da implementação e aumentava o risco de contaminação. O objetivo do trabalho era fornecer um sistema de guia de museu utilizando computação gráfica em equipamentos dos usuários.

Quadro 1 - Multimedia Augmented Reality Information System for Museum Guidance

Referência	Chen, Chang e Huang (2013).
Objetivos	Criar um aplicativo para visualizar modelos 3D de museus a partir de imagens impressas em um papel.
Principais funcionalidades	Manipular os objetos virtuais, como dar zoom, rotacionar e ampliar as imagens geradas e desenvolver um aplicativo que funcionasse com o hardware pessoal dos visitantes.
Ferramentas de desenvolvimento	Os autores usaram a ferramenta ARToolKit para desenvolver o aplicativo, a linguagem de programação não foi informada.
Resultados e conclusões	Foi provado que era possível desenvolver um aplicativo que funcionasse em um dispositivo pessoal, algo que na época era inovador.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O Virtuali-Tee (Quadro 2) é uma aplicação de realidade aumentada que permite ao usuário visualizar uma projeção 3D animada do interior do corpo humano (CURISCOPE, 2016). A aplicação mostra o sistema respiratório, circulatório, digestivo, urinário e esquelético simultaneamente, com a possibilidade de também os ver individualmente. O aplicativo requer o uso de uma camisa especial com marcadores na região do torso.

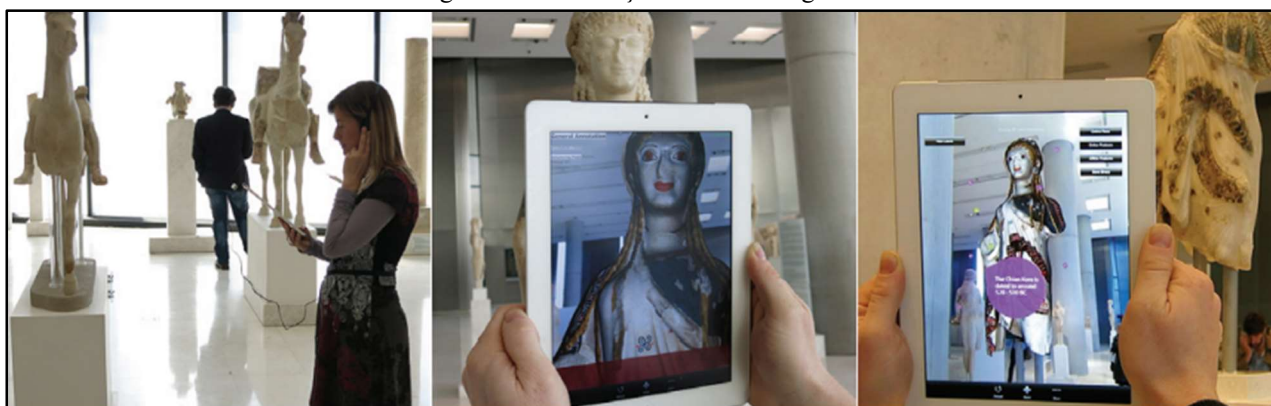
Quadro 2 - Virtuali-Tee

Referência	Curiscope (2016).
Objetivos	Criar um aplicativo que projeta virtualmente os órgãos do corpo humano sobre uma camiseta especialmente feita para o aplicativo.
Principais funcionalidades	O usuário pode escolher qual sistema fisiológico ele quer ver, por exemplo, fazer com que apareça somente o sistema cardíaco, entre outros. Além disso, o aplicativo também fornece uma explicação por áudio de algumas funções dos sistemas orgânicos
Ferramentas de desenvolvimento	Não foi mencionada nenhuma ferramenta de desenvolvimento usada para criar esse aplicativo.
Resultados e conclusões	O resultado foi um produto que é comercializado e é usado principalmente por professores de jardim de infância para ensinar crianças sobre o corpo humano.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O trabalho feito por Keil *et al.* (2013), desenvolvido em colaboração com o Museu da Acrópole de Atenas, teve como objetivo reconstruir virtualmente as obras milenares em exposição nesse museu (Quadro 3). Essas restaurações incluem adição de pedaços que foram destruídos, o posicionamento virtual no local original de exibição e adição virtual das cores autênticas (Figura 3). Além de fornecer informações sobre as exposições e mostrar efeitos visuais interessantes quando apontado para certas obras, por exemplo, a tela do dispositivo móvel quebra virtualmente quebrando quando apontado para a Medusa.

Figura 3 - Restauração das cores originais



Fonte: Keil *et al.* (2013).

Quadro 3 - A Digital Look At Physical Museum Exhibits

Referência	Keil <i>et al.</i> (2013).
------------	----------------------------

Objetivos	Criar um aplicativo que reconstrói virtualmente as obras milenares em exposição nesse museu. Essas restaurações incluem adição de pedaços que foram destruídos, o posicionamento virtual no local original de exibição e adição virtual das cores autênticas.
Principais funcionalidades	Reconstruir virtualmente as obras em exposição no museu e contar histórias que mostram como era a sociedade Ateniense da época.
Ferramentas de desenvolvimento	Os autores usaram a ferramenta instantAR para desenvolver o aplicativo, a linguagem de programação não foi informada.
Resultados e conclusões	O resultado foi um aplicativo que consegue projetar texturas em realidade aumentada com sucesso nas estátuas. De acordo com os autores, as estátuas estão em uma posição privilegiada para serem usadas para realidade aumentada, sendo que elas estão em um palanque alto o bastante para não serem obstruídas por visitantes, além da iluminação no museu ser constante durante boa parte do dia.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

3 DESCRIÇÃO

Esta seção tem como objetivo fornecer informações sobre o desenvolvimento do aplicativo, abordando técnicas e ferramentas utilizadas. Ela está dividida em duas subseções: a 3.1 demonstra a especificação do aplicativo, enquanto a 3.2 destaca os principais aspectos implementados na construção do aplicativo.

3.1 ESPECIFICAÇÃO

Nesta subseção encontram-se os Requisitos Funcionais (RF - Quadro 4) os Requisitos Não Funcionais (RNF - Quadro 5). Além disso, são apresentados os fluxogramas, que proporcionam uma melhor compreensão do fluxo de processos dentro da aplicação.

Quadro 4 - Requisitos Funcionais

Requisitos Funcionais
RF01: permitir que o usuário manipule virtualmente o objeto virtual.
RF02: permitir que o usuário se movimente no espaço 3D mantendo o objeto virtual sobreposto a peça do museu.
RF03: permitir que o usuário selecione o objeto virtual que representa a peça do museu para visualizar a sua animação.
RF04: exibir informações detalhadas sobre as peças do museu.
RF05: incluir áudios que ajudam na imersão do usuário.
RF06: o aplicativo deve ser capaz de detectar e reconhecer marcadores de peças do museu usando a câmera do dispositivo.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Quadro 5 - Requisitos Não Funcionais

Requisitos Não Funcionais
RNF01: utilizar o ambiente de desenvolvimento Visual Studio Code com o motor de jogos Unity.
RNF02: utilizar a linguagem de programação C#.
RNF03: ser desenvolvido para plataforma Android.
RNF04: utilizar as peças do museu como marcadores para ancoragem do conteúdo virtual.
RNF05: utilizar a ferramenta Vuforia para detecção dos marcadores.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O fluxograma de comportamento foi construído utilizando a ferramenta Moqups, disponível gratuitamente na internet. O objetivo do fluxograma é descrever o processo de interação do usuário com o aplicativo.

O usuário é representado como um visitante de um museu que possui o aplicativo hARdware (aplicativo desenvolvido) já instalado em seu smartphone. O processo de inicialização de cada cenário ocorre quando o usuário abre o aplicativo e direciona a câmera do seu smartphone para a marcador, enquadrando-o completamente no visor do dispositivo (cenário Placa Mãe – Figura 4). O processo de identificação sempre ocorre até que um dos cenários seja detectado.

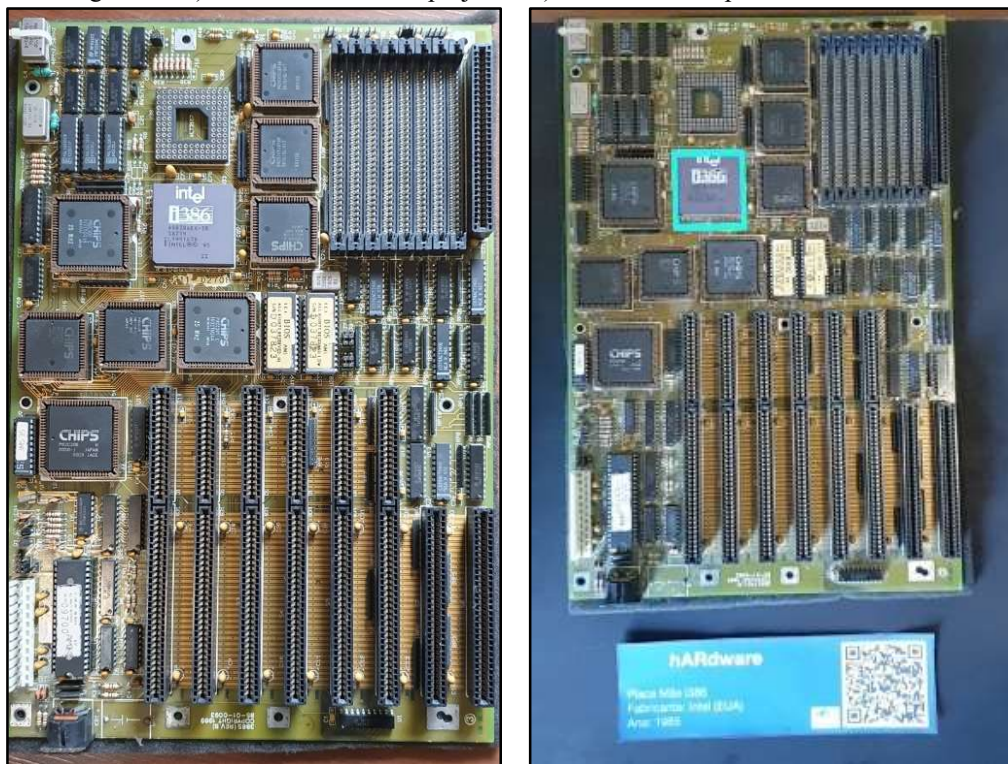
Para o desenvolvimento do projeto foram escolhidos dois cenários: o cenário da placa mãe para o processador Intel i386, aqui denominado como Placa Mãe; e o cenário de uma simulação de uma válvula com um bug, denominada de Válvula Bug.

Para o cenário Placa Mãe se utilizou o processador Intel i386, também conhecido como Intel 80386, que foi um processador revolucionário lançado em 1985. Esse processador tem um chip que marcou avanços significativos na arquitetura x86 e se tornou um dos processadores mais icônicos na história da computação. A popularidade desse

processador abriu caminho para a adoção em massa de computadores pessoais e contribuiu para o crescimento da arquitetura x86, que ainda é usada na grande maioria dos processadores de computadores pessoais.

O objetivo do cenário *Placa Mãe* (Figura 4a), é o de demonstrar para o usuário às principais seções dessa placa, mostrando informações sobre o processador, memória Random Access Memory (RAM) e expansões Industry Standard Architecture (ISA). Bem como, comentando sobre o papel desses componentes e comparando-os com componentes encontrados em computadores modernos. Essas informações são apresentadas assim que o usuário aciona os botões virtuais que são apresentados na tela.

Figura 4 – a) Placa mãe usada no projeto – b) Moldura usada para instruir o usuário



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

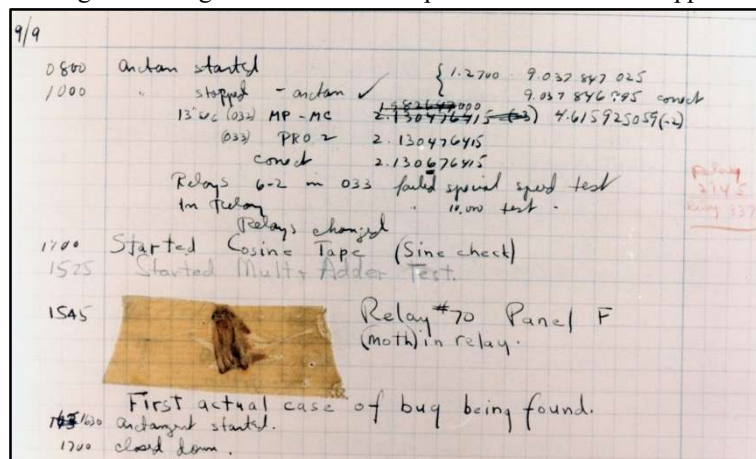
Para instruir o usuário de como usar o programa, o aplicativo cria uma moldura em volta do botão virtual mostrando onde que o usuário deve pôr a mão (Figura 4b). Assim que o usuário aciona um dos botões virtuais um texto ancorado ao marcador é mostrado, dando informações sobre aquele componente.

Já o cenário *Válvula Bug*, utiliza uma válvula, que é um dispositivo eletrônico que foi amplamente utilizado nos primórdios da tecnologia eletrônica antes do surgimento dos componentes de semicondutores. As válvulas são recipientes de vidro ou metal que abrigam diversos componentes, como eletrodos, em um ambiente selado a vácuo para eliminar quaisquer moléculas de gás ou ar que possam interferir no funcionamento do dispositivo (REICH, 1941).

As válvulas foram utilizadas em diversas aplicações, incluindo computadores antigos, rádios, televisões, amplificadores e outros equipamentos eletrônicos. No entanto, seu uso diminuiu com o desenvolvimento de componentes menores, mais rápidos e que consomem menos energia. Apesar de sua obsolescência na maioria dos eletrônicos modernos, as válvulas ainda encontram aplicações específicas em campos como amplificadores de alta potência, equipamentos de áudio especializados e entre entusiastas de áudio vintage (KEEPORTS, 2017).

Assim o cenário *Válvula Bug* foi para representar uma válvula em um circuito eletrônico que não está funcionando devido a um “bug”. Neste cenário um vídeo ancorado ao marcador mostra um código com problemas, e então o usuário deve tirar a válvula que está conectada ao circuito. Ao remover a válvula, um besouro virtual que está embaixo desta válvula sai voando. Ao reconectar a válvula um código funcional aparece onde o vídeo estava anteriormente e uma mensagem aparece agradecendo o usuário por ter resolvido o “bug”, que em inglês significa inseto, mas no contexto da computação tem o significado de problemas com hardware ou código. O termo “bug” teve origem quando a cientista Grace Hopper encontrou uma mariposa presa em um dos relés de um computador, o que causou um curto-circuito. Ela registrou a ocorrência em seu caderno de anotações mencionando o “bug” que havia sido responsável pelo problema. A foto original do caderno pode ser vista na Figura 5. Desde então, o uso desse termo se popularizou, aparecendo frequentemente com a grafia em português “bugado” e associado a imagens de insetos (SHAPIRO, 1987). A história por trás desse ditado remonta ao período em que os computadores eram construídos utilizando válvulas e relés.

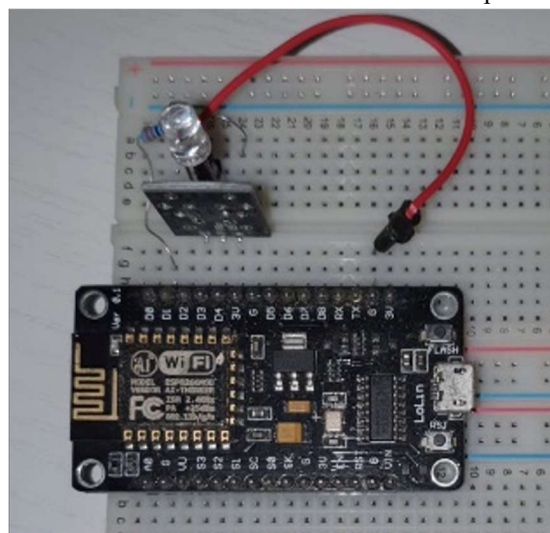
Figura 5 - Bug no relé encontrado pela cientista Grace Hopper



Fonte: Wikimedia Commons (2022).

O cenário Válvula Bug ainda apresenta uma funcionalidade adicional com o acendimento de um *Light-emitting diode* LED por mensagem via *socket Transmission Control Protocol/Internet Protocol* TCP/IP usando o microcontrolador ESP8266. O ESP8266 é uma placa de baixo custo com capacidade de conexão Wi-Fi que ganhou grande popularidade no mundo do desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT). O circuito apresentado na Figura 6 consiste em um microcontrolador ESP8266 com conexão Wi-Fi que tem um LED conectado em uma das portas.

Figura 6 – Placa com o microcontrolador ESP8266 usada para acender o LED



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Para o cenário Placa Mãe a sequência inicia com uma mensagem ancorada ao marcador exibindo o nome da placa mãe utilizada no projeto, que nesse caso é "Placa mãe para o processador Intel i386". Essa mensagem é exibida durante 5 segundos para dar tempo do usuário ler. Em seguida, um texto mais detalhado com informações técnicas sobre o processador é exibido, fornecendo ao usuário um conhecimento sobre os componentes. Logo após a exibição das informações técnicas, uma instrução básica de como utilizar o aplicativo é mostrada ao usuário. Esses textos podem ser encontrados no Apêndice A. Após isso uma moldura aparece em volta do primeiro botão virtual (botão do processador), e essa moldura serve como um indicador visual para o usuário mostrando onde ele deve posicionar a mão para interagir com o botão (Figura 4b). Após o usuário colocar a mão sobre a moldura uma mensagem adicional com informações relevantes sobre o processador é exibida, mostrando mais informações para o usuário sobre esse componente.

Após soltar o botão virtual do processador, uma nova moldura é exibida ao redor dos slots de memória RAM. O usuário é orientado a tocar no botão das memórias RAM, e um processo semelhante ocorre. Uma mensagem informativa é exibida após o toque no botão, fornecendo informações sobre as memórias RAM presentes na placa. E por fim, a última moldura é exibida ao redor das expansões ISA. O usuário coloca a mão sobre a moldura e um texto específico desse componente é mostrado. Essa etapa permite ao usuário obter informações sobre as expansões ISA e sua importância na placa (Figura 7).

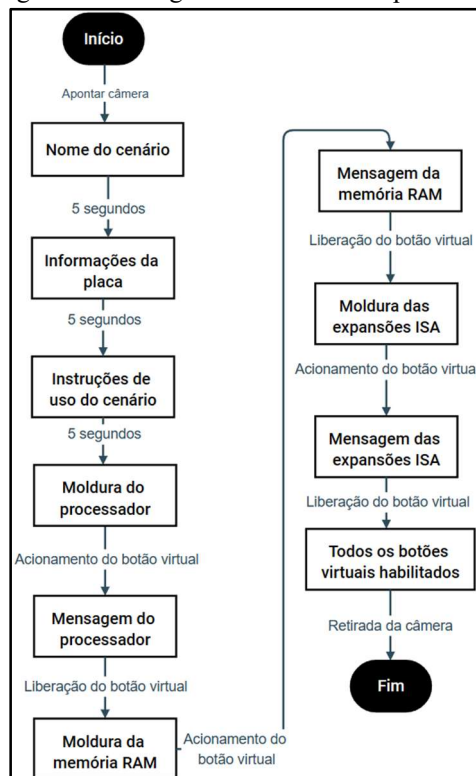
Figura 7 - Exemplo de texto



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após soltar o botão virtual das expansões ISA, o cenário entra em um modo em que todos os botões virtuais estão habilitados, permitindo ao usuário reler qualquer texto, caso deseje. O uso do cenário é finalizado quando o usuário não está mais apontando a câmera para a placa, indicando que ele encerrou sua interação com aquele cenário em específico. A Figura 8 mostra o fluxograma desse cenário (cenário Placa Mãe).

Figura 8 - Fluxograma do cenário da placa mãe



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O segundo cenário, o *Válvula Bug*, representa uma válvula que está com um “bug”. A sequência começa com uma mensagem ao usuário relatando que o código está com um problema e que o usuário pode consertá-lo retirando a válvula e a reconectando. Os textos utilizados no cenário *Válvula Bug* estão dispostos no Apêndice A. Um vídeo foi colocado ao lado da chapa de madeira de forma ancorada e simboliza um código “bugado”. Para representar o bug, foi colocado um objeto 3D virtual de um besouro embaixo da válvula. A Figura 9 representa a visão inicial do cenário.

Figura 9 - Mensagens iniciais do cenário da válvula



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Após o usuário remover a válvula o texto e o vídeo desaparecem, para representar o desligamento do sistema, como se o sistema dependesse dela. Além disso, o besouro virtual começa a voar após retirar a válvula, como se ele estivesse preso pela válvula e assim causando o problema. Junto com a animação do besouro voando também é reproduzido um áudio que simula o som de um inseto voando. Após alguns segundos o besouro é retirado de cena.

Assim que o usuário reconectar a válvula, o vídeo que antes mostrava um código problemático, agora mostra um trecho de código funcional. Além disso, a mensagem que dizia que o programa estava bugado agora agradece o usuário por ter consertado o “bug”. Também foi feito o acionamento de um LED para representar o conserto do “bug”. O acionamento deste LED é possível porque se utilizou uma placa ESP8266 para criar uma rede WIFI. Ao se conectar nessa rede WIFI o aplicativo manda uma mensagem via *socket* TCP/IP que faz o LED ligar. A ideia é para demonstrar que com a remoção do inseto que estava preso na válvula, o circuito volta a funcionar ligando o LED, e o código se torna um código funcional.

Após 20 segundos o cenário é reiniciado e o usuário pode repetir o processo o quanto ele desejar. O uso do cenário *Válvula Bug* é finalizado quando o usuário não está mais apontando a câmera para o marcador, indicando que ele encerrou sua interação com o cenário. A Figura 10 mostra o fluxograma desse cenário.

Figura 10 - Mensagens iniciais do cenário da válvula



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

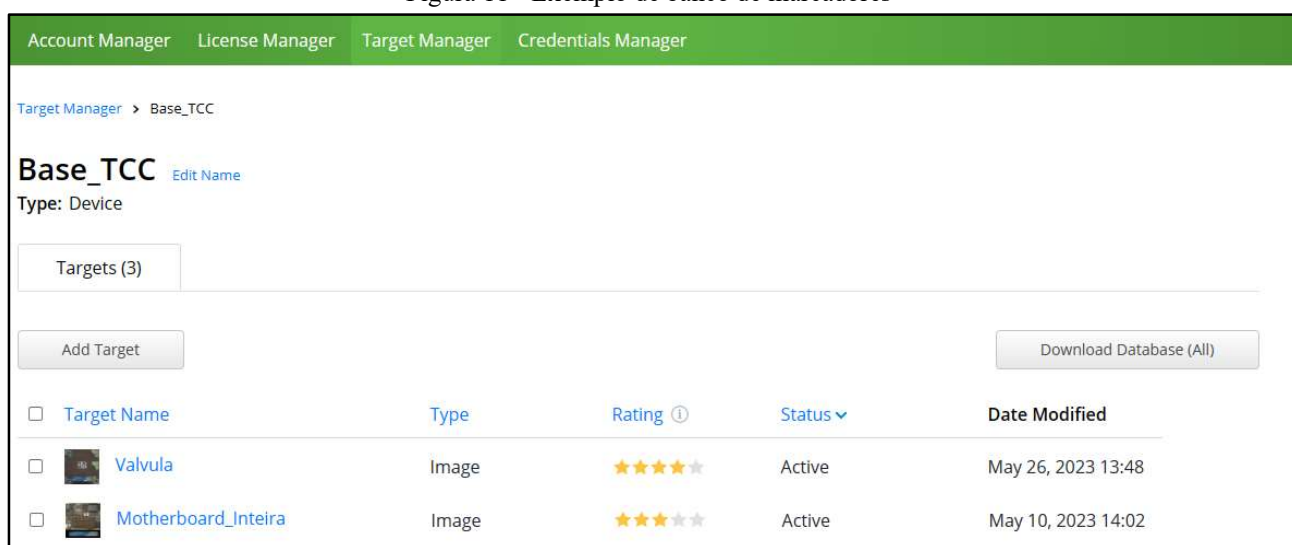
3.2 IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação do aplicativo de auxílio a visitação de objetos de um museu tecnológico usando realidade foi utilizado a linguagem de programação C#, utilizando o Visual Studio 2022 com integração ao Unity, e o sistema operacional Windows 10 da Microsoft. A ferramenta principal de desenvolvimento foi o Unity versão 2021.3.20f.



A parte de realidade aumentada foi feita com a ferramenta Vuforia (versão 10.15) que se integra com o Unity a partir de uma chave para a validação. Para o Vuforia ser utilizado é preciso criar uma licença e um gerenciador de marcadores. A licença serve para informar ao Vuforia se aquele projeto utilizará a versão paga ou gratuita. Para esse trabalho não foi necessário utilizar funcionalidades da versão paga.

Após a definição da licença é necessário usar o gerenciador de marcadores. Neste gerenciador é onde os bancos de dados dos marcadores são salvos. Os bancos de dados armazenam os marcadores que serão utilizados no projeto, e podem ser baixados e acoplados a programas como o Unity, Android Studio, Xcode ou Visual Studio. Com isso, esses editores podem adicionar os marcadores ao projeto. Um exemplo de banco de dados de marcador é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de banco de marcadores



The screenshot shows the Vuforia Target Manager interface. At the top, there are tabs for Account Manager, License Manager, Target Manager (selected), and Credentials Manager. Below the tabs, the breadcrumb 'Target Manager > Base_TCC' is visible. The main heading is 'Base_TCC' with an 'Edit Name' link. Below this, it says 'Type: Device'. There are two buttons: 'Add Target' and 'Download Database (All)'. A table lists the targets with columns: Target Name, Type, Rating, Status, and Date Modified. The table contains two entries: 'Valvula' and 'Motherboard_Inteira', both of type 'Image' and status 'Active'.

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating ①	Status ▾	Date Modified
<input type="checkbox"/>  Valvula	Image	★★★★★	Active	May 26, 2023 13:48
<input type="checkbox"/>  Motherboard_Inteira	Image	★★★★★	Active	May 10, 2023 14:02

Fonte: Vuforia (2023).

Na Figura 11 é possível ver que existem as colunas nome do marcador, tipo, nota, status e data modificada. A coluna tipo se refere ao tipo do marcador, podendo ser um marcador de imagem, multiface, cilíndrico ou objeto. A opção escolhida para esse trabalho foi image, que consiste em uma imagem em 2D, sem levar em consideração outras faces do marcador. A coluna nota se refere ao quão bom o marcador é para ser bem reconhecido pelo aplicativo (marcador com 5 estrelas são facilmente reconhecido). O Vuforia dá algumas dicas de como deixar o seu marcador mais reconhecível, por exemplo, escolher imagens que apresentem alto contraste e tenham características distintas, diferenças claras de cor ou padrão, alvos com detalhes complexos e imagens com formas únicas. A iluminação adequada é crucial para o reconhecimento correto, onde condições extremas de iluminação ou sombras podem prejudicar o rastreamento. Algumas dicas de como criar um marcador com uma boa nota podem ser vistas no Anexo B.

O primeiro cenário a ser desenvolvido foi o Placa Mãe. Durante o seu desenvolvimento foi visto que tendo somente a placa como marcador fazia com que a detecção do objeto não ocorresse em diversas ocasiões. Para isso, foi testada a adição da imagem de pedregulhos (Anexo B). A adição dessa imagem aumentou a nota do marcador no Vuforia e fez com que o objeto fosse facilmente reconhecido na aplicação. Após isso foi testado colocar um pedaço de papel que contém informações sobre a peça e um QR Code que leva para uma página com mais informações desse cenário. A mudança da imagem dos pedregulhos para esse pedaço de papel não causou uma perda notável na capacidade de detecção do marcador.

Materiais refletivos podem também interferir no rastreamento, causando reflexos indesejados ou distorções. Para melhorar a detecção, os dois cenários foram colocados em cima de uma chapa de madeira pintada com a cor de preta (por ser a cor que menos reflete).

No cenário da Placa Mãe foi implementado um contador para evitar que o usuário acione os botões virtuais antes do momento ideal. O contador é inicializado com o valor -1, que impede que qualquer um dos botões seja acionado. Quando a moldura do botão do processador é exibida, o contador é atribuído com o valor 1, representando a ordem do primeiro botão. Em seguida, os botões da memória RAM e expansão ISA recebem os valores 2 e 3, respectivamente.

Após soltar o botão de expansão ISA, o valor 0 é atribuído ao contador, indicando que todos os botões estão habilitados e o usuário pode escolher livremente qual texto gostaria de ver. Um exemplo de código que faz o uso desse contador pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6 - Código mostrando o contador

```
public void AcaoBtn_CPU(VirtualButtonBehaviour vb)
{
    if(Script_Motherboard.ordemCPU == 1 || Script_Motherboard.ordemCPU == 0)
    {
        this.canvasQuadradoCPU.SetActive(false);
        texto_CPU.SetActive(true);
    }
}
public void ReleaseBtn_CPU(VirtualButtonBehaviour vb)
{
    texto_CPU.SetActive(false);
    if(Script_Motherboard.ordemCPU == 1)
    {
        Script_Motherboard.ordemCPU = 2;
        this.canvasQuadradoRAM.SetActive(true);
    }
}
```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A moldura que vai em volta dos botões virtuais foi criada unindo 4 cubos achatados (criando arestas de um retângulo) para formar um retângulo maior. Cada moldura possuía o própria *canvas*. O *canvas* no Unity fornece uma maneira de renderizar e exibir elementos de UI no mundo do jogo ou na tela. Eles definem uma ordem de renderização e fornecem controle sobre o layout e posicionamento dos elementos de UI dentro da interface do usuário do jogo. O Unity suporta dois tipos de *canvas*: tela inteira ("Screen Space") e espaço do mundo ("World Space"). Um *canvas* de tipo tela inteira não respeita a ancoragem do marcador, por esse motivo foi utilizado o tipo espaço do mundo. Um *canvas* de espaço do mundo é colocado dentro do mundo 3D do jogo, assim como qualquer outro objeto do jogo. *Canvas* em espaço do mundo são úteis quando você deseja que os elementos de UI sejam afetados pela perspectiva, iluminação e outros efeitos 3D. Os elementos de UI dentro de um *canvas* em espaço do mundo usam coordenadas 3D para posicionamento. Os *canvas* do cenário podem ser vistos na Figura 12, juntos com os outros objetos do cenário.

Figura 12 - Hierarquia do cenário placa mãe



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O cenário Válvula Bug pode ser separado em 4 estados. O estado inicial consiste em uma condição em que o cenário está com problemas sendo gerados pelo bug, o besouro está no cenário e o código de exemplo que aparece ao lado está problemático. O segundo estado é quando o usuário remove a válvula pela primeira vez, fazendo com que o besouro voe, como a válvula não está mais conectada ao circuito, todas as mensagens do cenário são apagadas, para

representar o desligamento do sistema. O terceiro estado é quando o usuário reconecta a válvula no circuito, nesse estado o sistema foi consertado e aparecem todas as imagens mostrando que o cenário está consertado, além disso é nesse estado que o LED é ligado. O quarto estado seria quando o usuário removeu a válvula após o terceiro estado ter sido realizado, nesse estado o sistema é desligado, porém como o besouro já voou (segundo estado) essa animação não ocorre. Após 5 segundos do terceiro estado ser concluído, o cenário volta para o estado inicial. O Quadro 7 mostra o código que faz o cenário voltar ao original.

Quadro 7 - Código que faz o cenário voltar para o estado inicial

```
private void ReiniciaSequencia()
{
    this.AcaoLed(false);
    this.texto_Valvula.SetActive(true);
    this.texto_ValvulaConsertado.SetActive(false);
    this.codigoConsertado.SetActive(false);
    this.videoPlayer.SetActive(true);
    this.painelValvula.SetActive(false);
    ScriptBtn_Valvula.hasPressed = false;
    ScriptBtn_Valvula.comeco = true;
    this.ligaDesliga = false;
}
```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O trecho de código em C# a seguir demonstra um processo de comunicação para controlar o estado de uma luz LED, enviando mensagens para um chip por meio de uma conexão via *socket* TCP/IP. O chip recebe as mensagens e acende a luz LED quando recebe a mensagem LIGA e a apaga quando recebe a mensagem DESLIGA. O código começa inicializando as variáveis necessárias. A variável *gateway* é do tipo String que contém o endereço IP do chip para estabelecer a conexão via *socket* TCP/IP. Já a variável *port*, é uma variável inteira que representa o número da porta para a conexão. A variável *Message* é uma variável tipo String inicialmente vazia, que receberá o valor LIGA ou DESLIGA com base no valor da variável *acao*.

Uma nova instância da classe *TcpClient* é criada, representando o cliente TCP para conectar ao chip. O cliente é inicializado com os valores *gateway* e *port* especificados para estabelecer a conexão. A string *message* é convertida em um array de bytes usando a codificação UTF-8. A mensagem é concatenada com `\r\n` para estar em conformidade com o formato de terminação de linha. O objeto *NetworkStream* é obtido a partir do cliente TCP. O fluxo de rede será usado para enviar a mensagem ao chip. Os dados da mensagem são gravados no fluxo de rede usando o método *Write* e a mensagem é enviada ao chip para processamento. O Quadro 8 mostra o código necessário para controlar o LED.

Quadro 8 - Código usado para controlar o LED

```
private void AcaoLed(bool acao)
{
    try
    {
        string gateway = "192.168.4.1";
        int port = 8080;
        string message = "";
        if (acao)
        {
            message = "LIGA";
        }
        else
        {
            message = "DESLIGA";
        }

        message.Replace("\r", "").Replace("\n", "\r\n");

        // Create a new TCP client and connect to the specified IP address and port
        TcpClient client = new TcpClient(gateway, port);

        // Convert the message to bytes
        byte[] data = Encoding.UTF8.GetBytes(message + "\r\n");

        // Get the network stream from the client
        NetworkStream stream = client.GetStream();

        // Send the message
```



```

        stream.Write(data, 0, data.Length);

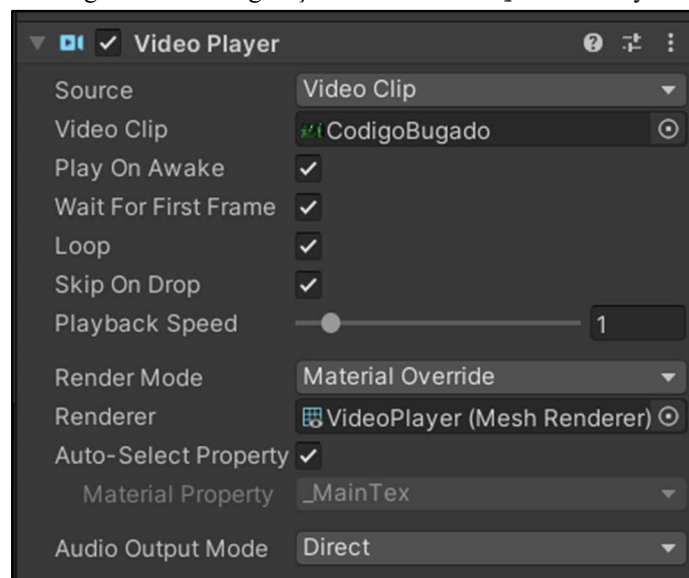
        // Close the stream and client
        stream.Close();
        client.Close();
        print("Message sent successfully!");
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Console.WriteLine("Error: " + ex.Message);
    }
}

```

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Por último, a configuração no Unity para fazer um vídeo ser reproduzido dentro do cenário é a da Figura 13. Para isso deve ser criado um objeto simples, por exemplo um cubo, para ser o recipiente desse vídeo, após isso deve ser atribuído um componente de Video Player para esse objeto e passado o vídeo a ser reproduzido no campo Video Clip. O cubo deve então ser achatado para dar a impressão que é um plano que está reproduzindo o vídeo.

Figura 13 - Configuração do Video Player no Unity



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

4 RESULTADOS

Durante a avaliação do aplicativo de realidade aumentada hARdware foram conduzidos testes para identificar possíveis problemas e melhorias. O aplicativo foi testado exclusivamente em dispositivos Android, o que limitou sua validação para outras plataformas. Foi observado que o aplicativo não funcionava corretamente quando o smartphone tremia, portanto foi necessário garantir que o dispositivo estivesse firme para obter resultados adequados. Foi verificado que em condições de iluminação insuficiente o aplicativo não funcionava adequadamente, assim uma boa iluminação é essencial para uma experiência de realidade aumentada satisfatória.

Durante os testes, foi identificada uma limitação importante que afeta a operação do LED do cenário da válvula. Essa limitação está relacionada à necessidade de uma conexão Wi-Fi com o microcontrolador. Ao realizar os testes, foi atestado que, quando o dispositivo não está conectado à rede Wi-Fi criada pelo microcontrolador, o aplicativo experimenta uma falha e é encerrado abruptamente. Essa limitação se deve ao design atual do aplicativo, que depende da presença dessa conexão para estabelecer uma comunicação com o microcontrolador ESP8266.

Outra etapa dos testes consistiu na melhor forma de dispor o texto sobre a visão do usuário no aplicativo. No cenário da placa, a possibilidade de usar quadros de texto fora da imagem mostrou-se inviável do ponto de vista de usabilidade, pois exigia que o usuário angulasse e afastasse o smartphone para ler o texto, isso fazia com que fosse difícil para o usuário acionar os botões virtuais, devido ao tamanho amplo do marcador. Assim, foi demonstrado que a ausência de um quadro se mostrou a opção mais eficaz para esse cenário. Já para o cenário da válvula não houve esse problema e os quadros foram utilizados.

Durante a interação com o aplicativo foi observado que a proximidade excessiva entre os botões virtuais resultava em uma sobreposição indesejada, ocasionando o acionamento simultâneo de dois ou mais botões. Esse problema foi

solucionado colocando os botões virtuais onde o usuário tem mais chance de colocar a mão, ficando um pouco deslocado do componente.

Um ponto particularmente desafiador foi a detecção da imagem da placa mãe, antes da adição de mais objetos no marcador. A menos que uma luz artificial fosse direcionada para algumas seções específicas, a detecção ficava prejudicada. Isso indicou a importância da iluminação adequada em relação a capacidade do aplicativo de rastrear e reconhecer objetos virtuais.

A inclusão de uma imagem de pedregulhos (imagem de exemplo do Vuforia de um marcador 5 estrelas) no cenário resultou em uma maior precisão na detecção. O uso do marcador com uma imagem, em vez de usar somente a imagem da placa, ajudou o aplicativo a rastrear com mais precisão os objetos virtuais sobrepostos. Por questão estética, foi colocada uma imagem no marcador abaixo da placa com o mesmo intuito da imagem dos pedregulhos já mencionada. Porém nesse caso essa imagem contém um link para uma página web com mais informações. A mudança da imagem do pedregulho para essa nova imagem não trouxe mudanças significativas na capacidade de detectar os marcadores.

Já o cenário *Válvula Bug* já foi testado com o marcador de imagem e um outro marcador no meio da imagem para fazer a interação da válvula. Porém, foi identificado que apenas esses dois objetos no cenário causava uma grande perda de estabilidade, principalmente quando o botão virtual estava acionado, para isso foram colocadas placas controladoras de Hard Disk drive (HDD) espalhadas pelo cenário. Essas placas aumentaram a confiabilidade do marcador com o Vuforia.

Por fim, foi testado o efeito da chapa de madeira ser pintada na cor preta. Verificou-se que a pintura na chapa de madeira contribuiu para uma melhor detecção dos marcadores. No caso pode-se supor que o contraste entre os marcadores e o fundo desempenha um papel importante na precisão da detecção.

Esses resultados e observações fornecem informações para aprimorar o aplicativo hARdware, abordando questões como a estabilidade do dispositivo, a iluminação adequada, a disposição dos botões e a detecção otimizada dos marcadores em diferentes cenários. A comparação de detectabilidade (grau de detecção do Vuforia) entre as configurações do marcador da placa podem ser vistas no Quadro 9.

Quadro 9 - Reconhecimento do marcador com configurações

Configuração de marcador	Detectabilidade	Comentários
Somente a placa	Baixa	O marcador nessa configuração era somente reconhecido sobre condições ideais de luz, tendo que projetar uma iluminação artificial sobre o objeto.
Placa + imagem de pedregulhos + chapa cor marrom	Razoável	Nessa configuração o marcador era reconhecível sobre formas naturais de iluminação, porém em situações de baixa luminosidade a detectabilidade ainda era menor do que a desejada.
Placa + etiqueta TCC + chapa cor marrom	Razoável	Não houve diferença na detectabilidade comparado à configuração anterior.
Placa + etiqueta TCC + chapa cor preta	Boa	Nessa configuração era possível reconhecer o marcador até mesmo em configurações de baixa luminosidade.

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Em comparação aos trabalhos correlatos, este trabalho (o hARdware) destaca-se por reunir as principais características encontradas nesses estudos. Uma dessas características é a possibilidade do usuário utilizar seu próprio dispositivo, como demonstrado no trabalho de Chen, Chang e Huang (2013). Além disso, a aplicação hARdware oferece informações adicionais sobre as peças de forma lúdica, seguindo uma abordagem gamificada, semelhante ao aplicativo desenvolvido por Keil *et al.* (2013). Por último, o aplicativo hARdware é capaz de projetar objetos virtuais sobre o objeto, de forma semelhante ao aplicativo Virtuali-Tee da Curiscope (2016). No entanto, a grande diferença da aplicação hARdware (desenvolvida neste trabalho) em relação aos existentes com foco em museu é a possibilidade de ser utilizada diretamente pelo smartphone, uma opção não oferecida pelos trabalhos mencionados anteriormente.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi desenvolvido um aplicativo de realidade aumentada com o objetivo principal de auxiliar a visita de objetos de um museu tecnológico. A proposta consistiu em utilizar as peças do próprio museu como marcadores, permitindo aos visitantes uma experiência imersiva e interativa ao explorar o acervo.

Para alcançar esse objetivo, foi desenvolvido um aplicativo móvel que foi testado em conjunto com a criação de dois cenários envolvendo peças eletrônicas antigas. Esses cenários foram projetados com a perspectiva de compor o acervo de um museu tecnológico, proporcionando aos usuários uma visão virtual dos artefatos históricos.

Um dos objetivos específicos desse trabalho era desenvolver um ambiente de realidade aumentada que permitisse a interação com modelos 3D na plataforma Unity. Esse objetivo foi alcançado, utilizando a ferramenta Vuforia em conjunto com a plataforma Unity. A combinação dessas tecnologias possibilitou a criação de um ambiente virtual imersivo, onde os modelos 3D interativos puderam ser sobrepostos aos marcadores presentes no museu.

Outro objetivo era avaliar o uso das peças do museu como marcadores para apresentação do conteúdo em realidade aumentada. Esse objetivo foi atingido para uma configuração em que o marcador contenha mais objetos do que somente a peça de exibição central, assim os objetos adicionais podem ser QR Codes, como outros componentes eletrônicos posicionados sobre uma base de cor escura.

Além disso, buscou-se analisar a eficácia da interação utilizando peças reais de um museu tecnológico. Esse objetivo foi alcançado, e na seção 4 foram apresentadas as análises realizadas. Diferentes configurações de iluminação foram testadas, bem como o uso de uma base de suporte para as peças. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade e eficácia da interação, destacando a importância desses elementos para uma experiência imersiva e realista.

Pode-se afirmar que o aplicativo hARdware de realidade aumentada desenvolvido neste trabalho apresenta um potencial significativo para aprimorar a visitação de museus tecnológicos. A utilização dos marcadores, compostos pelas próprias peças do acervo, proporciona uma experiência única aos visitantes, permitindo uma imersão profunda na história e no contexto dos objetos expostos.

No entanto, é importante ressaltar que este trabalho representa apenas o primeiro passo para o desenvolvimento de um museu virtual completo. Futuras pesquisas podem explorar a expansão desse aplicativo, adicionando mais peças ao acervo virtual, aprimorando a interação com os modelos 3D, permitindo uma visualização da peça em 3D com controles de zoom e rotação, um índice, mostrando o acervo de peças do museu, a criação de uma página externa dedicada ao aplicativo e ao museu, dando mais informações sobre as peças e investigar outras formas de enriquecer a experiência do usuário, como *quizzes*.

A integração da realidade virtual com o patrimônio histórico e cultural oferece novas possibilidades para a preservação e divulgação da memória tecnológica, proporcionando aos visitantes uma experiência enriquecedora e envolvente. Espera-se que este trabalho possa contribuir para o avanço da tecnologia de realidade aumentada no campo dos museus e incentivar a adoção de abordagens similares em outras instituições culturais.

REFERÊNCIAS

- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Legislação sobre museus**. 2. ed. Brasília: Edições Câmara 2013. Disponível em: <https://www.sistemademuseus.rs.gov.br/wp-content/midia/Legislacao-sobre-Museus.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2023.
- CARLSSON, Rebecca. **Why we need museums now more than ever**. Museum Next, [s.l.], 2022. Disponível em: <https://www.museumnext.com/article/why-we-need-museums-now-more-than-ever/>. Acesso em: 12 maio 2023
- CHARR, Manuel. **How technology is bringing museums back to life**. Museum Next, [s.l.], 2020. Disponível em: <https://www.museumnext.com/article/how-technology-is-bringing-museums-back-to-life/>. Acesso em: 20 maio 2023.
- CHEN, Chia Y.; CHANG, Bao R.; HUANG, Po S. **Multimedia augmented reality information system for museum guidance**. Pers Ubiquit Comput 18, 315–322. 2013 [s.l.]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00779-013-0647-1>. Acesso em: 10 maio 2023.
- COATES, Charlotte. **How Museums are using Augmented Reality**. Museum Next, [s.l.], 2023. Disponível em: <https://www.museumnext.com/article/how-museums-are-using-augmented-reality/>. Acesso em: 25 maio 2023.
- CURISCOPE. **Virtuali-Tee**. 2016. Disponível em: <https://www.curiscope.com/product/virtuali-tee/>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- CUSEUM. **Life & Death of QR Codes in Museums**. Cuseum, [s.l.]. 2016. Disponível em: <https://cuseum.com/blog/life-death-of-qr-codes-in-museums>. Acesso em: 14 maio 2023.
- DETERDING, Sebastian *et al.* **From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification**. roceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, MindTrek 2011. 11. 9-15. 10.1145/2181037.2181040. [s.l.]. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230854710_From_Game_Design_Elements_to_Gamefulness_Defining_Gamification. Acesso em: 24 maio 2023.
- HALBERTSMA, Ruurd B. **The purest examples from antiquity’ – Old Museums in a Modern World**. European Review, 13(4), 649-659. [s.l.]. 2005. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/european-review/article/abs/purest-examples-from-antiquity-old-museums-in-a-modern-world/6419721E2A1AB6A90C15EC1ED736CCE1>. Acesso em: 21 maio 2023.

- HAMMADY, Ramy; MA, Minhua; TEMPLE, Nicholas. **Augmented Reality and Gamification in Heritage Museums**. 9894. 181-187. 10.1007/978-3-319-45841-0_17. [s.l.] 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307587162_Augmented_Reality_and_Gamification_in_Heritage_Museums. Acesso em: 26 jun. 2023.
- KEEPORTS, David. **The warm, rich sound of valve guitar amplifiers**. *Physics Education*, Volume 52, Issue 2, pp. 025010. 2017. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017PhyEd..52b5010K/abstract>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- KEIL, Jens *et al.* **A digital look at physical museum exhibits: Designing personalized stories with handheld Augmented Reality in museums**. Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), Marseille, France, 2013, pp. 685-688. 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6744836>. Acesso em: 10 maio 2023.
- KIRNER, Cláudio; TORI, Romero. **Fundamentos de Realidade Aumentada**. VIII Symposium on Virtual Reality Belém – PA. 2006. Disponível em: http://fabiopotsch.pbworks.com/w/file/48938507/Fundamentos_realidade_aumentada.pdf. Acesso em: 21 nov. 2022.
- MARSH, Allison C. **Revolution: The First 2,000 Years of Computing: The Computer History Museum**, Mountain View, California. Technology And Culture. Baltimore. Technology and Culture 54, no. 3 (2013): 640–49. 2013 [s.l.]. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24467981>. Acesso em: 21 maio 2023.
- MASP. **Sobre o MASP**. 2023. Disponível em: <https://masp.org.br/sobre>. Acesso em: 22 maio 2023.
- MENEZES, Graciela Sardo *et al.* **O uso de Realidade Aumentada no contexto dos museus: o portfólio brasileiro de teses e dissertações até 2017**. 10.19132/1808-5245253.246-268. [s.l.] 2018 Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4656/465660194011/html/>. Acesso em: 20 maio 2023.
- FERRANDEZ, Cristina. **5 amazing augmented reality museum experiences**. Poplar Studio. 2021. Disponível em: <https://poplar.studio/blog/5-amazing-augmented-reality-museum-experiences/>. Acesso em: 30 maio 2023.
- REICH, Helbert J. **Principles of Electron Tubes**. MCGRAW-HILL Book Company, Inc. New York and London. York. 1941. Disponível em: http://www.tubebooks.org/Books/reich_principles.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.
- SHAPIRO, Fred R. **Etymology of the Computer Bug: History and Folklore**. *American Speech*, vol. 62, no. 4, 1987, pp. 376–78. [s.l.]. 1987. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/455415>. Acesso em: 26 jun. 2023.
- SPADONI, Elena *et al.* **Augmented Reality to Engage Visitors of Science Museums through Interactive Experiences**. *Heritage* 2022, 5, 1370-1394. [s.l.]. 2022. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202206.0104/v1>. Acesso em: 30 maio 2023.
- THE MERCURY NEWS. **A visitor looks at exhibits at the Computer History Museum in Mountain View**. The Mercury News. 2022. Disponível em: <https://www.mercurynews.com/2022/02/19/not-just-for-silicon-valley-bros-computer-history-museum-reopens-to-all/>. Acesso em: 04 fev. 2023.
- VUFORIA. **Best Practices for Designing and Developing Image-Based Targets**. 2023. Disponível em: <https://developer.vuforia.com/vui/develop/dashboard>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- WIKIMEDIA COMMONS. **A page from the Harvard Mark II electromechanical computer's log, featuring a dead moth that was removed from the device**. 2022. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/ff/First_Computer_Bug%2C_1945.jpg/1280px-First_Computer_Bug%2C_1945.jpg. Acesso em: 22 maio 2023.

APÊNDICE A – MENSAGENS MOSTRADAS NO APLICATIVO

Esse apêndice serve para mostrar por extenso todos os textos mostrados no uso do aplicativo. Os parágrafos abaixo mostram a sequência dos textos assim como o contexto em que aparecem.

No cenário *placa mãe* a primeira mensagem mostrada é “Placa mãe para o processador Intel i386”, após 5 segundos a mensagem “Esse processador foi revolucionário por ser o primeiro a ter uma arquitetura de 32 bits” aparece e por último, após 5 segundos aparece a mensagem “Usando a sua mão, tampe os quadrados que vão aparecer na tela”. Após essas mensagens aparece a moldura sobre o processador e a mensagem “Esse é o processador Intel i386. Com uma frequência de 33MHz e 275 mil transistores, esse era o processador mais rápido do mundo em 1985”, após isso aparece a moldura sobre as memórias RAM e a mensagem “Essa é a memória RAM, usada para acessar dados mais rápidos. Na época os computadores tinham aproximadamente 500KB. Atualmente os computadores têm 30 mil vezes mais RAM.” É mostrada, por último a mensagem “Essas são as conexões ISA, usadas para conectar placas de expansão no geral. Hoje em dia, as conexões PCI-E 5.0 são 128 mil vezes mais rápidas” aparece após ser acionado o botão virtual das expansões ISA.

No cenário *válvula bug* a primeira mensagem mostrada é “O programa está bugado. Tire a válvula e a conecte de novo”, após remover a válvula e a reconectar, aparece a mensagem “Obrigado. O sistema está consertado”.

ANEXO A – DICAS DO VUFORIA DE COMO CRIAR UM BOM MARCADOR

Esse anexo apresenta algumas dicas da Vuforia de como gerar marcadores com uma melhor qualidade para o reconhecimento (Figura 17).

Figura 14 - Página do Vuforia com dicas de melhores marcadores

Attributes of an Ideal Image Target

Image Targets that possess the following attributes will enable the best detection and tracking performance from the Vuforia Engine.

Attribute	Example
Rich in detail	Street scene, group of people, collages and mixtures of items, and sport scenes are good examples.
Good Contrast	Images with bright and dark regions and well-lit areas work well.
No repetitive patterns	Employ unique features and distinct graphics covering as much of the target as possible to avoid symmetry, repeated patterns, and feature-less areas.
Format	Must be 8- or 24-bit PNG and JPG formats; less than 2 MB in size; JPGs must be RGB or greyscale (no CMYK).

Example Image

Figure A – Image Target with coordinate axes for explanation.
This image is fed into the online [Target Manager](#) to create the target database.


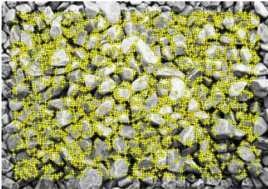


Figure B – Image showing the natural features that the Vuforia Engine uses to detect the Image Target.



Fonte: Vuforia (2023).