

REALIDADE AUMENTADA SOBRE OBJETO IMPRESSO EM 3D PARA PROTOTIPAÇÃO

ALLISON CÂNDIDO LIMA SANTOS



CENTRO DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

João Pessoa, 2018

ALLISON CÂNDIDO LIMA SANTOS

REALIDADE AUMENTADA SOBRE OBJETO IMPRESSO EM 3D PARA PROTOTIPAÇÃO

Monografia apresentada ao curso Engenharia de Computação do Centro de Informática, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação

Orientador: Prof Me. Derzu Omaia

Novembro de 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237r Santos, Allison Cândido Lima.

Realidade aumentada sobre objeto impresso em 3D para prototipação / Allison Cândido Lima Santos. - João Pessoa, 2018.

32 f. : il.

Monografia (Graduação) - UFPB/CI.

1. Impressão 3D. 2. Realidade aumentada. 3. Realidade virtual. 4. Prototipação rápida. I. Título

UFPB/BC




CENTRO DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

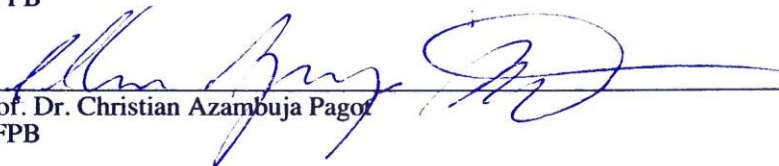
Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação intitulado *Realidade aumentada sobre objeto impresso em 3D para prototipação* de autoria de Allison Cândido Lima Santos, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:



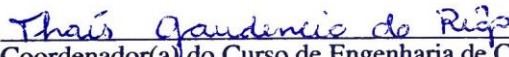
Prof. Me. Deryn Omaia
UFPB



Prof. Dr. Thais Gaudêncio do Rego
UFPB



Prof. Dr. Christian Azambuja Pagot
UFPB



Coordenador(a) do Curso de Engenharia de Computação
Prof. Dr. Thais Gaudêncio do Rego
CI/UFPB

João Pessoa, 12 de novembro de 2018

Centro de Informática, Universidade Federal da Paraíba
Rua dos Escoteiros, Mangabeira VII, João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58058-600
Fone: +55 (83) 3216 7093 / Fax: +55 (83) 3216 7117

*Para conhecermos os amigos é necessário
passar pelo sucesso e pela desgraça. No
sucesso, verificamos a quantidade e, na
desgraça, a qualidade.*

Confúcio

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me deu forças para concluir esta etapa de minha vida. Aos meus pais Leonio e Valdemira por toda a compreensão, incentivo e amor incondicional, sem os quais a apresentação desse trabalho, ou de quaisquer outras apresentações teria sido sem valor. A Meirelly, minha companheira, por todo o apoio, paciência e por dividir vários momentos comigo ao longo dessa trajetória. As minhas irmãs Ana e Artemisia e toda a minha família por me apoiarem e acreditarem em mim. Ao meu orientador Derzu por todo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final. Aos amigos da universidade e professores que estiveram comigo nessa longa jornada.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor uma forma de aliar a capacidade produtiva e flexibilidade proporcionada pela impressão 3D e a capacidade interativa e imersiva proporcionada pela realidade aumentada para aprimorar o processo de desenvolvimento de protótipos de *smartphones*. Essa pesquisa surgiu após observar que apesar da impressão 3D resultar em um objeto no mundo físico com características modeladas por computador, tal objeto é inicialmente apenas composto por uma estrutura com o formato desejado, porém sem qualquer outra informação associada. Sendo assim neste trabalho é mostrado como a realidade aumentada pode influenciar e auxiliar como ferramenta o desenvolvimento desses objetos por tornar os modelos interativos.

Palavras-chave: Impressão 3D. Realidade aumentada. Realidade virtual. Prototipação rápida

ABSTRACT

This work aims to propose a way to combine the productive capacity and flexibility provided by 3D printing and the interactive and immersive capacity provided by augmented reality to improve the process of smartphone prototype development. This research arose after observing that although 3D printing results in an object in the physical world with computer-shaped features, such an object is initially only composed of a structure of the desired shape, but without any other associated information. Thus, in this work it is shown how augmented reality can influence and assist as a tool the development of these objects by making them interactive models.

Key-words: Augmented reality. Virtual reality. 3D printing. Rapid prototyping

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de carro 3D	18
Figura 2: Tipos de Head Mounted Display	20
Figura 3: Funcionamento HUD	21
Figura 4: Funcionamento do HUD simplificado	21
Figura 5: HUD cockpit F/A-18 Hornet	22
Figura 6. HUD acoplado em capacete	22
Figura 7. Diagrama simplificado do display de retina	22
Figura 8. ORDbot quantum 3D printer	23
Figura 9. Arquitetura do sistema	25
Figura 10. Exemplo de caso de uso	27
Figura 11. Exemplo de caso de uso personalizado	28
Figura 12. Exemplo de caso de uso com objeto personalizado	28
Figura 13. QR Code utilizado como marcador	29

LISTA DE ABREVIATURAS

- SLAM – Localização e mapeamento simultâneos (do inglês, *Simultaneous Localization and mapping*)
- HMD – Ecrã montado em cabeça (do inglês, *Head Mounted Display*)
- HUD – Ecrã de alertas (do inglês, *Head Up Display*)
- AR – Realidade aumentada (do inglês, *Augmented Reality*)
- VR – Realidade virtual (do inglês, *Virtual Reality*)
- EKF – Filtro de Kalman estendido (do inglês, *Extended Kalman Filter*)
- CAD – Projeto assistido por computador (do inglês, *Computer Aided Design*)
- SDK – Conjunto de desenvolvimento de software (do inglês, *Software Development Kit*)
- FDM – Modelagem de decomposição fundida (do inglês, *Fused decomposition modeling*)
- SLM – Fusão a laser seletiva (do inglês, *Selective laser melting*)
- EBM – Fabricação aditiva de feixe de elétrons (do inglês, *Electronic Beam Melting*)
- DLP/SLA – Processamento de luz digital / estereolitografia (do inglês, *Digital light processing / stereolithography*)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Caracterização do problema	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	Estrutura da monografia.....	17
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1	Marcadores AR	18
2.2	Visualização AR	19
2.3	Impressão 3D	23
2.4	Ferramentas de desenvolvimento	24
2.4.1	Unity	24
2.4.2	Vuforia	24
3	DESENVOLVIMENTO	25
3.1	Arquitetura	25
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	27
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

A realidade aumentada (AR) é a visualização direta ou indireta do ambiente do mundo real que foi aprimorado ou aumentado através da adição de informações virtuais sintetizadas computacionalmente [1]. A AR consiste em uma variação da realidade virtual (VR), enquanto a VR imerge o usuário em um ambiente totalmente virtual, a AR inclui artefatos virtuais no ambiente real [2]. A AR é subdividida em dois grupos, direta ou indireta. A direta ocorre quando o usuário tem a capacidade de enxergar diretamente o ambiente, como através de uma lente, só que com os objetos virtuais inseridos na imagem em tempo real (*Optical see through*) e a indireta ocorre quando o usuário enxerga AR sendo que a imagem do cenário é capturada por câmeras (*Video see through*) [3].

A Impressão 3D é uma tecnologia que surgiu em 1984 e que utiliza dados produzidos em programas de Desenho Assistido por Computador (CAD) tridimensionais para gerar dispositivos físicos no ambiente real [4]. Amplamente utilizada para prototipação rápida, a impressão 3D tem um papel importante nos processos de manufatura no ambiente industrial e também no ambiente doméstico, sendo possível imprimir objetos em casa como o uso de impressoras 3D de baixo custo [5].

Algumas pesquisas vêm sendo realizadas combinando a impressão 3D e a realidade aumentada. Em Gieser [15] é realizado o teste da Caixa de Blocos (*Box and blocks test*), que ocorre em dois ambientes, inicialmente em um ambiente real com os blocos impressos, e depois em um ambiente virtual, onde a interação com os blocos é realizada através de um dispositivo de controle manual, o Leap Motion [16]. Em seguida, as duas formas de execução do teste são avaliadas e comparadas através de questionários aos usuários [15].

No trabalho de Simoes et al. [6] é realizada uma análise de usabilidade dentre usuários especialistas e não especialistas, comparando protótipos físicos e virtuais quanto a qualidade da representatividade do objeto real, com questionários que incluem perguntas como “O que é esse produto?”, “Qual a aparência desse produto?” ou até mesmo “Qual dessas formas é a mais próxima a forma real do produto?”. Ao fim do trabalho é concluído que os artefatos físicos ainda se destacam frente aos

virtuais por serem considerados mais compreensíveis no que se refere ao tamanho, material e peso, por exemplo [6].

1.1 Caracterização do Problema

A prototipação industrial é uma etapa decisiva no desenvolvimento de produtos. Minimizar o esforço necessário para implementação dessa fase se traduz em praticidade e vantagem para quem projeta um determinado produto.

A utilização da realidade aumentada junto com a impressão 3D é um tema pouco explorado na literatura. A combinação dessas duas tecnologias possibilita que sistemas de prototipagem rápida interativos sejam desenvolvidos. Não foi encontrado na literatura trabalhos que combinem impressão 3D e AR gerando protótipos interativos.

1.1.1 Objetivo geral

Propor uma forma de aliar a capacidade produtiva e flexibilidade proporcionada pela impressão 3D e a capacidade interativa e imersiva proporcionada pela realidade aumentada para aprimorar o processo de desenvolvimento de protótipos de *smartphones*.

1.1.2 Objetivos específicos

Gerar um caso de uso em que seja possível verificar que o sistema proposto pode funcionar corretamente e conseguir atingir o objetivo geral de proporcionar um meio alternativo de geração de protótipos interativos.

1.2 Estrutura da monografia

Inicialmente no Capítulo 2 serão demonstradas as definições e ferramentas de cada parte necessária para compreensão do projeto. No Capítulo 3 será mostrada a metodologia para implementação do projeto e o que foi necessário para obtenção dos resultados. No Capítulo 4 serão demonstrados os resultados através de um caso de uso específico. E, por fim, o Capítulo 5 será dedicado a possíveis rumos que o projeto poderá tomar no futuro e as conclusões alcançadas com esta pesquisa.

2 CONCEITOS GERAIS

Neste capítulo serão apresentados conceitos básicos a algumas técnicas necessárias para a melhor compreensão deste trabalho.

2.1 Marcadores AR

A realidade aumentada geralmente é apresentada sobre algum marcador físico do ambiente real. O Marcador pode ser um objeto 3D (como o carro da Figura 1) ou imagem 2D e ele é utilizado para posicionar o modelo virtual na perspectiva do mundo. A partir dele que são geradas as estimativas de posição e orientação do objeto virtual inserido no cenário. O marcador é detectado e rastreado através da análise dos quadros de vídeo da câmera em tempo real quando a AR é dita direta, mas pode ser utilizado a partir da gravação do cenário de forma indireta.

A Figura 1 apresenta um modelo simples de carro 3D que pode ser utilizado para impressão. Após impresso nada mais é do que um material monocromático no formato desejado. Este poderia ser utilizado como um marcador 3D para a AR.

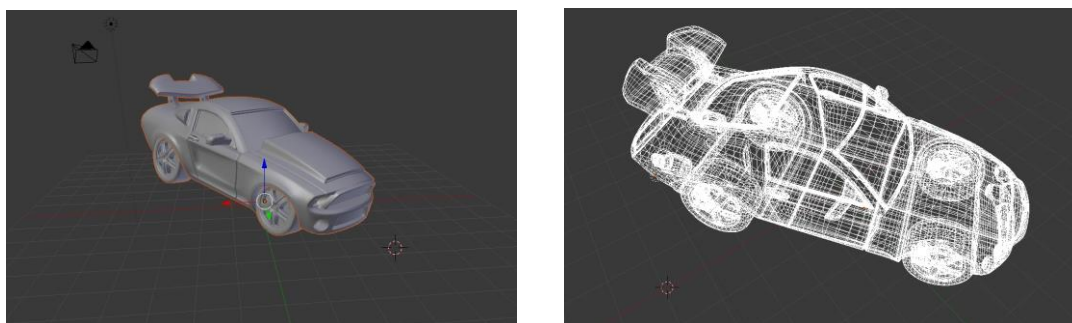


Figura 1: Modelo de carro 3D. Fonte: Própria (2018)

Uma das formas mais comuns de se detectar o marcador é através do uso de técnicas de PDI (processamento digital de imagens). Em [7], por exemplo, os autores utilizam a ferramenta OpenCV para binarizar a imagem, isto é, aplicar uma limiarização no quadro do vídeo e a partir daí computar os contornos extraídos da imagem. Essa etapa de computar os contornos extraídos da imagem significa comparar os pontos chave (*Key points*) que identificam cada marcador e ao analisar os

quadros do vídeo, são esses pontos chaves que são buscados, se eles estiverem presentes significa que o marcador foi detectado. Essa não é a única técnica, porém ela é amplamente utilizada. Outras, por exemplo, processam a cor da imagem, no caso, o valor de cada pixel diretamente e isso traz a vantagem de considerar toda a imagem mesmo que não hajam primitivas geométricas a serem extraídas [8].

A extração de características da imagem do cenário não serve apenas para detectar os marcadores, também são utilizadas para mapear o ambiente ao redor da câmera e assim ter uma maior precisão da localização de cada objeto virtual inserido, isso é importante porque passa uma maior sensação de junção do ambiente físico e virtual ao usuário e conseqüentemente gera uma maior imersão. Essa técnica é conhecida como localização e mapeamento simultâneo (do inglês, *Simultaneous localization and mapping* - SLAM), mais precisamente SLAM Visual, visto que, existem técnicas voltadas ao SLAM em que são utilizados outros tipos de sensores que não câmeras.

O SLAM não é uma técnica imprescindível, sendo necessária apenas em casos em que a aplicação precisa que o objeto virtual sintetizado permaneça inserido no cenário após o marcador sair do campo de visão da câmera. Por padrão, quando o marcador sai do campo de visão, a aplicação remove o objeto virtual associado a ele.

Existem várias abordagens para o SLAM, e cada abordagem depende de um conjunto de características, que variam desde o tipo de calibração das localizações relativas, que pode ser de forma incremental a cada quadro ou em forma de conjuntos de quadros, sejam as que variam de acordo com o método de classificação do conjunto de pontos chave extraídos da imagem. Tais métodos são, por exemplo, o filtro de Kalman estendido (do inglês, *Extended Kalman Filter* - EKF) [10] ou filtro de partículas que é uma abordagem mais recente [9].

2.2 Visualização da AR

Até agora foram abordados os conceitos necessários para entender a etapa de detecção e rastreamento de marcadores e a etapa de mapeamento do ambiente, agora

outra parte fundamental envolve os diversos tipos de formas de visualizar realidade aumentada.

Atualmente a principal forma de se visualizar realidade aumentada é através dos *Head Mounted Display* (HMD) que se refere aos dispositivos que embarcam *displays* em forma de óculos (veja a Figura 2), os óculos Rift e o eMagin Z800, a esquerda e o Google Glass e o Samsung Gear VR, a direita.



Figura 2: Tipos de HMD. Fonte: Wikipédia (2018)

O comum entre essas tecnologias é o uso de lentes, biconvexas ou não, associadas a displays sob uma carcaça apropriada para ser encaixado na cabeça do usuário. Existem outras soluções, dentre elas o *Head Up Display* (HUD) que foi criado anteriormente ao HMD, por volta de 1958. O HUD é uma tecnologia baseada em espelhos (veja Figura 3).

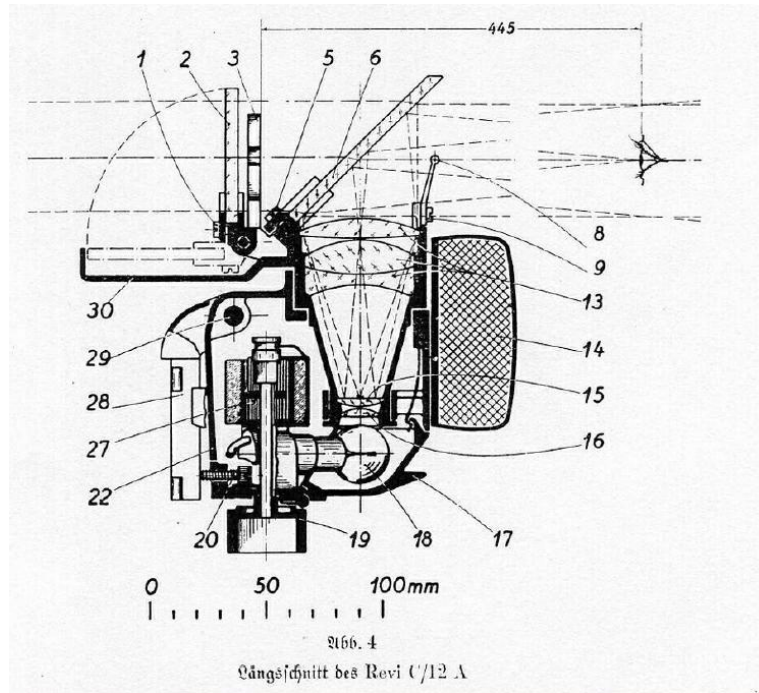


Figura 3. Funcionamento HUD. Fonte: Wikipédia (2018)

Na Figura 3 podemos ver o funcionamento do HUD, onde na parte inferior é gerada a imagem que é emitida e refletida (18), e então após passar por um processo de colimação é parcialmente refletida pelo espelho (6) até chegar ao usuário. A etapa de colimação consiste em desviar o foco dos raios de luz para o “infinito” fazendo com que, quando o usuário olha para frente, ele consegue ver tanto a imagem que atravessa o espelho parcial (6), quanto a imagem refletida por ele sem a necessidade de ficar alterando o foco do campo de visão. Mais sobre isso na Figura 4.

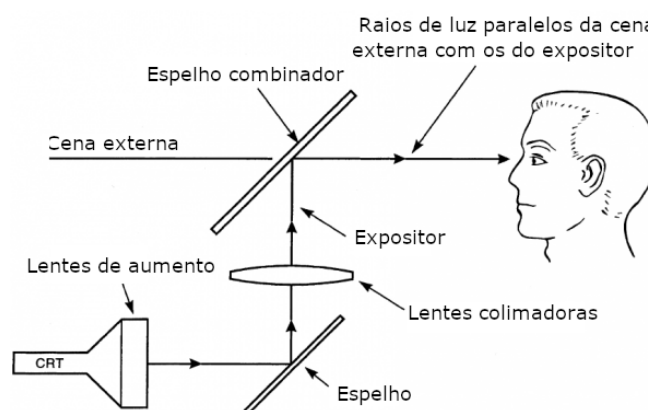


Figura 4. Funcionamento HUD simplificado. Fonte: decom.ufop.br/imobilis/introducao-aos-huds-head-up-displays-e-hmds-head-mounted-displays-parte-i/

O HUD é um tipo de *display* que tanto se aproxima de um HMD quanto de um *display* espacial genericamente, isso porque *displays* espaciais genericamente

produzem “hologramas” da imagem em espelhos parcialmente reflexivos (veja Figura 5), entretanto, é notável que se parecem com HMD’s quando acoplados em capacetes, veja Figura 6.



Figura 5. HUD cockpit F/A-18 Hornet. Fonte: Wikipédia (2018).



Figura 6. HUD acoplado em capacete. Fonte: Wikipédia (2018).

Além dos dispositivos HMD e HUD discutidos existem outros tipos de *displays* com a finalidade de uso em realidade aumentada, os do tipo de retina, que são *displays* de displays de mão que nesse caso normalmente são dispositivos móveis.

Os de retina, como o nome sugere, projetam a imagem diretamente na retina com o uso de lasers como pode ser visto na Figura 7.

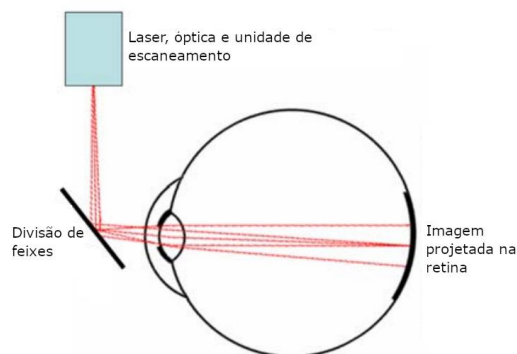


Figura 7. Diagrama simplificado do display de retina. Fonte: [14].

2.3 Impressão 3D

Impressão 3D é um método de manufatura no qual materiais, como plásticos ou metais, são depositados um sobre o outro em camadas para produzir objetos tridimensionais. Desde o início tem sido utilizada com fins de prototipação na engenharia [13]. Algumas das técnicas utilizadas nessa tecnologia são:

- Processamento de luz digital / estereolitografia (do inglês, *Digital light processing / stereolithography* - SLA/DLP) são técnicas que utilizam a exposição à luz de uma porção de resina que se deseja solidificar e o processo de impressão se dá em camadas.
- Modelagem de decomposição fundida (do inglês, *Fused decomposition modeling* - FDM) no qual se utiliza filamentos de resina aquecidos durante a geração das camadas e quando a resina aquecida entra em contato com a camada solidificada anterior essa solidifica também formando uma nova camada.
- Fusão a laser seletiva (do inglês, *Selective laser melting* - SLM) que utiliza um laser para aquecer um pó metálico que funciona substituindo a resina.
- Fabricação aditiva de feixe de elétrons (do inglês, *Electronic Beam Melting*) que é semelhante ao SLM só que utiliza um raio de elétrons.

A Figura 8 mostra um exemplo de impressora 3D do tipo FDM.

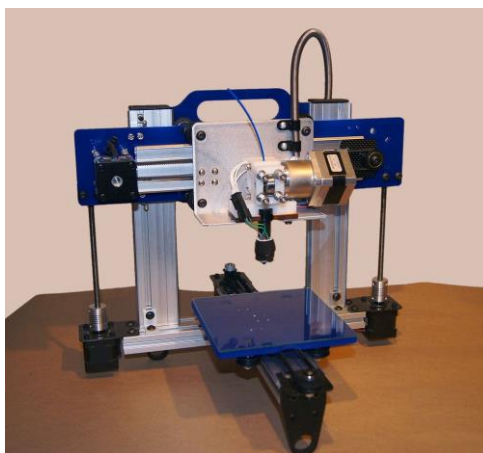


Figura 8: Impressora 3D ORDbot Quantum. Fonte: Wikipédia (2018).

Nesta seção foram abordados os tópicos relacionados ao tema de estudo. No próximo tópico serão mostradas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento da aplicação.

2.4 Ferramentas de Desenvolvimento

2.4.1 Unity

O Unity é um motor de jogos proprietário com capacidade para criar jogos 2D e 3D multiplataforma e com compatibilidade com diferentes sistemas operacionais (Android e iOS), navegadores web, através de *plugins* proprietários (*add-on*) e também com editores de conteúdo 3D como o Blender, Maya e Photoshop entre outros [11].

2.4.2 Vuforia

A Vuforia é um pacote de desenvolvimento de softwares para dispositivos móveis que habilita a criação de aplicações de realidade aumentada, além disso ela utiliza de ferramentas de visão computacional para reconhecer e rastrear imagens planares e objetos 3D em tempo real [12].

Utilizando a extensão e as ferramentas da Vuforia para o Unity é que foi desenvolvida a aplicação deste trabalho. As ferramentas incluem o módulo da câmera da Vuforia e o conjunto de componentes, como o *ImageTarget*, por exemplo, que são utilizados para configurar os marcadores.

Além dos já mencionados, são utilizados os *assets* do Unity para criar a interface que será mostrada quando o marcador for detectado. Dentre os *assets*, o *Mobile Web View* será utilizado para fazer a conversão do conteúdo do website em forma de textura para o *GameObject* do Unity.

3 DESENVOLVIMENTO

O sistema desenvolvido neste trabalho consiste de uma aplicação para smartphone que é utilizada para detectar e rastrear um marcador que será o gatilho que inicia a AR. Após encontrar o marcador, sintetiza um modelo 3D do artefato virtual sobre o marcador e uma parte desse artefato, no caso a sua textura, é utilizada para mostrar a interface interativa.

Essa interatividade se dá através de cliques do usuário na tela do smartphone, sobre a textura do objeto. É feito um mapeamento entre o modelo 3D e a textura interativa, e assim o usuário interage com o objeto.

3.1 Arquitetura

A arquitetura do sistema proposto pode ser vista na Figura 9.

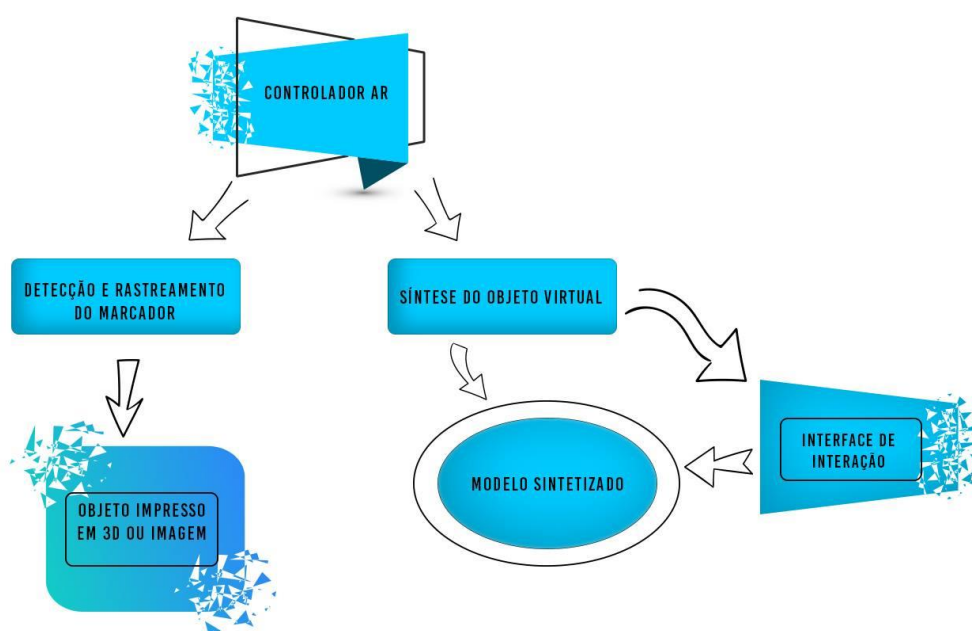


Figura 9. Arquitetura do sistema. Fonte: Própria (2018)

O módulo Controlador AR é o módulo central composto de câmera de vídeo dispositivo de visualização (tela), e ele é responsável por executar no momento adequado os sub módulos. O módulo Detecção e rastreamento do marcador é

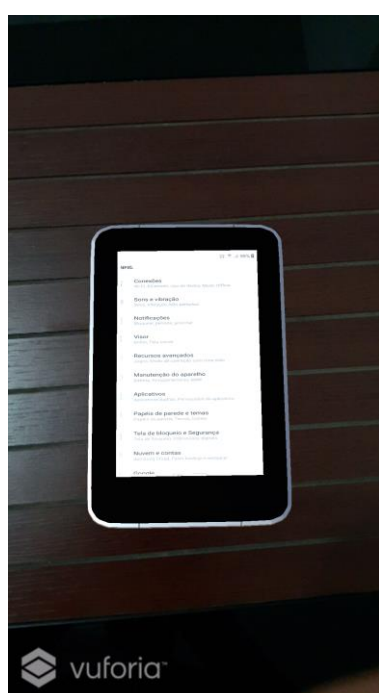
executado a princípio após a inicialização da aplicação a fim de encontrar a pose do objeto impresso, com sua posição e orientação. A Síntese do objeto virtual monta o modelo 3D e em seguida chama o módulo de Interface de interação. Este módulo exibe uma tela interativa em forma de textura que é aplicada sobre uma parte do modelo 3D. Ela recebe os cliques do usuário e gera ações interativas para cada clique na própria tela interativa. Ela foi implementada na forma de um website, onde os cliques levam para subpáginas. Após a síntese, o módulo de Detecção e rastreamento fica a todo momento atualizando a localização do marcador a fim de que qualquer alteração no marcador possa ser refletida sobre o objeto virtual.

A arquitetura do sistema é genérica e bem simples, o que possibilita que possa ser utilizado de diversas formas. A Interface de interação, além de um site, poderia ser utilizada de outra forma, para o caso em que o objeto é composto de várias partes que podem se encaixar de formas diferentes, então animações sobre o modelo 3D poderiam ser geradas permitindo um novo conjunto de interações.

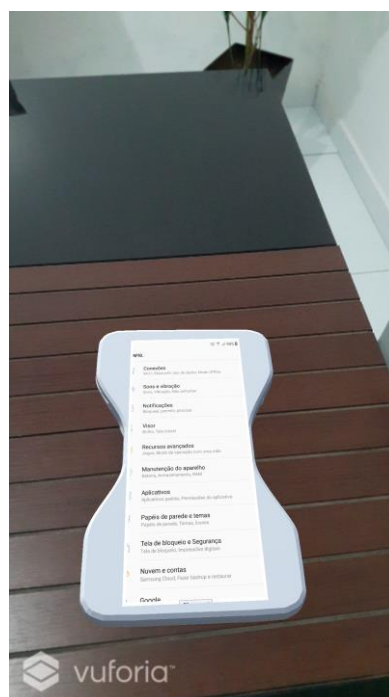
O sistema foi desenvolvido como um aplicativo para Android e a tela de interação com o usuário é um site HTML. A aplicação principal foi desenvolvida utilizando a *engine* Unity e o SDK Vuforia.

4 RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado o caso de uso do sistema proposto. Neste caso, um projetista está desenvolvendo um novo modelo de telefone celular como o da Figura 10.a ou um modelo personalizado da Figura 10.b. Para obter a aprovação do seu projeto é preciso submeter a nova interface do aparelho a testes de manuseio e interação.



(a)



(b)

Figura 10. Exemplo de caso de uso. Fonte: Próprio (2018)

O projetista pode utilizar um objeto impresso em 3D como marcador, ou a imagem de um marcador 2D colada sobre objeto impresso. Neste caso está sendo utilizada a imagem de um marcador sobre o modelo impresso. Nas Figuras 11.a e 12.a é possível ver o protótipo impresso em 3D do lado esquerdo da imagem, com o marcador sobre ele, e o modelo 3D projetado pela AR ao seu lado. Essa situação foi criada apenas para exemplificar o funcionamento. Já nas Figuras 11.b e 12.b tem-se a situação desejada, onde o modelo 3D da AR é projetado sobre o objeto impresso em 3D, sendo possível visualizar apenas o modelo 3D da AR, visto que o protótipo

impresso foi envolto pelo modelo 3D da AR. A imagem utilizada como marcador é um QR Code e é exibido na Figura 13.



(a)

(b)

Figura 11. Exemplo de caso de uso



(a)

(b)

Figura 12. Exemplo de caso de uso com objeto personalizado. Fonte: Próprio (2018)



Figura 13. QR Code utilizado como marcador. Fonte: Próprio (2018)

Desta forma, a visão do usuário, quando a aplicação detecta o marcador, é a apresentada pelas Figuras 11.b e 12.b. Ela consiste de um objeto 3D no formato do telefone projetado sobre o telefone físico impresso em 3D, e no lugar onde ficaria a tela do aparelho fica a textura gerada a partir do módulo Interface de Interação. Ao clicar na tela do telefone, através dos toques no dispositivo de visualização, a aplicação muda a página fazendo com que seja obtida uma nova tela.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho atingiu o resultado esperado, conseguindo gerar um protótipo interativo projetando a AR sobre um modelo 3D impresso.

Tem-se como trabalho futuro a aplicação uma pesquisa dentre usuários do sistema, tanto para projetistas que trabalham com prototipação, quanto para entusiastas de realidade aumentada. Essa pesquisa avaliaria a qualidade, usabilidade, adequação da proposta e melhorias necessárias para aprimorar a cada necessidade, levando em consideração cada caso de uso. A pesquisa poderá se estender a outros casos de uso, como objetos compostos, ou que utilizam partes móveis comunicantes para interação. Outro trabalho futuro é tornar possível que o usuário consiga interagir através de toques diretamente sobre objeto impresso e não apenas com cliques na tela do celular.

REFERÊNCIAS

1. CARMIGNIANI, J.; et al; **Augmented reality technologies, systems and applications**, 2010.
2. AZUMA, RONALD T.; **A Survey of Augmented Reality**, 1997.
3. TSAI, Y.; AZUMA, RONALD T.; WITHER, J.; **Indirect augmented reality**, 2011.
4. RENGIER, F. et al; **3D printing based on imaging data: review of medical applications**, 2010.
5. RAYNA, T.; STRIUKOVA, L.; **From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation**, 2016.
6. Simoes, F., Bezerra, M., Teixeira, J. M., Correia, W., and Teichrieb, V. (2016). **A user perspective analysis on augmented vs 3d printed prototypes for product's project design**. In 2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), pages 71–80.
7. Toole, O.; Dolben, D.; **Marking detection and tracking for augmented reality applications**.
8. ROMERO, Roseli Aparecida Francelin; SILVA JUNIOR, Edson Prestes e; OSÓRIO, Fernando Santos; WOLF, Denis Fernando. **Robótica móvel**. [S.l: s.n.], 2014.
9. MONTEMERLO, M.; THRUN, S.; KOLLER, D.; WEGBREIT, B.; **FastSLAM 2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges**, 2003.
10. TORR, P.H.S.; ZISSERMAN, A.; **Feature based methods for structure and motion estimation**, 1999.
11. WIKIPEDIA, A enciclopédia livre; **Unity**. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Unity>> Acesso em: 29 de out. de 2018.
12. WIKIPEDIA, A enciclopédia livre; **Vuforia Augmented Reality SDK**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK> Acesso em: 29 de out. de 2018.

13. SCHUBERT, C.; LANGEVELD M.; DONOSO L.; **Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs**, 2013.
14. BIMBER, O.; RASKAR, R.; **Modern Approaches to Augmented Reality**, 2005.
15. Gieser, S. N., Gentry, C., LePage, J., and Makedon, F. (2016). **Comparing objective and subjective metrics between physical and virtual tasks**. In Lackey, S. and Shumaker, R., editors, **Virtual, Augmented and Mixed Reality: 8th International Conference, VAMR 2016, Held as Part of HCI International 2016, Toronto, Canada, July 17-22, 2016**. Proceedings, pages 3–13, Cham. Springer International Publishing.
16. Motion, L. (2018). Leap motion controller. URL: <https://www.leapmotion.com>.