

**Análise do Uso de Realidade  
Aumentada em Aparelhos Móveis em  
Ambientes Exteriores**

**Universidade Fernando Pessoa**



José Torres

Faculdade de Ciência e Tecnologia

Universidade Fernando Pessoa

Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos  
requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Informática,  
ramo Computação Móvel

Orientador: Prof. Doutor Feliz Gouveia  
Dezembro 2018



## Resumo

A realidade aumentada é uma área em crescimento pois proporciona uma experiência enriquecedora aos seus utilizadores, ao tornar virtual a realidade. Um dos problemas que ocorre na área da realidade aumentada é a falta de uma ferramenta capaz de produzir aplicações para o meio exterior sem a utilização de marcadores. Este problema ocorre devido á luminosidade que incide sobre os objectos ou edifícios que faz com que os algoritmos de detecção falhem. Uma forma de resolver este problema consiste em criar um conjunto de treino em várias condições de luminosidade para que em qualquer tipo de condição atmosférica seja possível detectar um edifício.

Outro problema consiste na visualização da realidade aumentada que pode ser pouco perceptível devido à luminosidade. Uma forma de resolver este problema consiste em que a realidade aumentada tenha uma textura que permita a sua clara visualização em qualquer condição de luminosidade.

A viabilidade deste trabalho é analisada de modo a verificar se é possível desenvolver uma aplicação de realidade aumentada utilizando apenas a câmara do aparelho móvel e sem marcadores.

É apresentada uma discussão sobre os temas relacionados ao trabalho, especificamente sobre algoritmos de detecção e realidade aumentada, sendo analisados trabalhos e artigos destas áreas. Foi implementada uma aplicação com um algoritmo que deteção de monumentos em OpenCV ORB e uma aplicação em Unity3D com o Vuforia de modo a comparar os resultados de ambos de modo a determinar qual das abordagens é a melhor.

## **Abstract**

Augmented reality is a growing area as it provides an enriching experience for its users by changing reality to virtual. One of the problems that occurs in the implementation of applications like the proposed is the lack of development tools capable of producing applications to the outside environment without the use of markers. This problem occurs because of the lightness that falls on the objects or buildings that causes the detection algorithms to fail. One way to solve this problem is to create a larger training set so that in any kind of atmospheric condition it is possible to detect a building.

Another problem is the visualization of augmented reality that may be barely perceptible due to luminosity. One way to solve this problem is to use various assets offered by Unity that will be responsible for implementing the application.

The feasibility of this project is analyzed.

A discussion on work- related topics, specifically on algorithms of detection and augmented reality, is presented, and papers and articles from these areas are analyzed.



## **Agradecimentos**

Agradeço profundamente ao meu orientador, o Professor Doutor Feliz Gouveia pela ajuda e disposição que teve ao longo da elaboração desta dissertação. À minha família e namorada pelo apoio. Aos meus amigos e especialmente ao grande Horácio pelo apoio espiritual.

# Conteúdo

<b>Conteúdo</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>x</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enunciado do Problema . . . . .	2
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Metodologia . . . . .	2
1.4 Estrutura do Trabalho . . . . .	3
<b>2 Estado da Arte</b>	<b>4</b>
2.1 Realidade Aumentada . . . . .	4
2.2 Ferramentas Existentes . . . . .	8
2.3 Algoritmos de Detecção . . . . .	9
2.4 Aplicações de Realidade Aumentada . . . . .	13
2.4.1 Detecção no Meio Exterior . . . . .	22
2.5 Considerações Finais . . . . .	29
<b>3 Especificações do Trabalho</b>	<b>30</b>
3.1 Composição do Sistema . . . . .	31
3.2 Requisitos . . . . .	31
3.2.1 Requisitos Funcionais . . . . .	31
3.2.2 Requisitos de Sistema (Software e Hardware) . . . . .	32
3.3 Casos de Uso . . . . .	33
3.4 Monumentos . . . . .	33
3.5 Considerações Finais . . . . .	34
<b>4 Implementação</b>	<b>35</b>
4.1 Visão Computacional . . . . .	35
4.1.1 Vuforia . . . . .	37

4.2	Unity . . . . .	37
4.2.1	Image Targets . . . . .	38
4.2.2	Criação do Objeto de Realidade Aumentada . . . . .	39
4.3	Considerações Finais . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Testes e Avaliação</b>	<b>43</b>
5.1	Caso de Uso 1: Algoritmo de Detecção . . . . .	43
5.2	Caso de Uso 2: Detecção de edifícios . . . . .	45
5.3	Caso de Uso 3: Objeto de Realidade Aumentada . . . . .	47
5.3.1	Discussão . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>50</b>
6.1	Resultados . . . . .	50
6.2	Trabalho Futuro . . . . .	51
6.3	Publicações . . . . .	51
	<b>Anexo A</b>	<b>52</b>
	<b>Referências</b>	<b>61</b>

# Lista de Figuras

2.1	Exemplo de uma aplicação que usa Superimposição(Singh, 2018). . . . .	5
2.2	Exemplo de uma aplicação que usa Projeção (Singh, 2018). . . . .	6
2.3	Exemplo do uso de marcadores (Haysom, 2018). . . . .	7
2.4	Exemplo de um quadrado a ser aumentado na revista National Geography (Ufkes and Fiala, 2013). . . . .	11
2.5	A aplicação a ser testada no Charlie Chaplin.(Nithin and Bhooshan, 2016).	12
2.6	Gráfico comparativo das três abordagens (Nithin and Bhooshan, 2016). .	12
2.7	Teste da aplicação(Paul and Park, 2013). . . . .	13
2.8	A aplicação final a ser testada numa embalagem. (Nikobonyadrad, 2012).	14
2.9	A aplicação consegue detectar o cubo mesmo com oclusão parcial (Paulo et al., 2008) . . . . .	15
2.10	Cartão de visita (Shiguemoto, 2010) . . . . .	15
2.11	Ecrã do Unity 3D onde são expostos os resultados das eleições (Martínez, 2017). . . . .	16
2.12	Exemplo de uma pergunta em realidade aumentada (J. Cubillo, S. Martín, M. Castro, G. Díaz, 2014) . . . . .	17
2.13	Resultado da aplicação (Colpani, 2016) . . . . .	18
2.14	Inteface inicial da aplicação (de Carvalho, 2016) . . . . .	18
2.15	Exemplo da aplicação onde é sobreposto um ninja em realidade aumentada (Chapagain, 2018) . . . . .	19
2.16	Exemplo da aplicação (Xiao and Lifeng, 2014) . . . . .	21
2.17	Interface da aplicação (Guzman, 2014) . . . . .	22
2.18	Resultado do protótipo num lago (Haynes and Lange, 2016) . . . . .	23
2.19	Exemplo da aplicação numa zona onde foi gravada uma cena de um filme (Chang et al., 2018) . . . . .	24
2.20	Aplicação a detetar um comboio em tempo real (Uijtdewilligen, 2010) . .	25
2.21	As anotações da aplicação numa Universidade (Langlotz et al., 2011) . .	26
2.22	Deteção de um ponto de interesse (Shi et al., 2016) . . . . .	27
2.23	Teste da aplicação no Palácio de Deoksugung (Chung et al., 2018) . . . .	28
2.24	Exemplo da aplicação (Magdalena and Mo, 2017) . . . . .	28

3.1	Arquitetura do Sistema. . . . .	31
4.1	Em cima a imagem original, em baixo a imagem obtida com um beta=50. . . . .	36
4.2	Exemplo da aplicação RIOT e do seu método de compressão . . . . .	38
4.3	Inspetor do Image Target. . . . .	39
4.4	Inspetor do texto. . . . .	40
4.5	Local no inspetor onde se define a posição do texto no monumento. . . . .	40
4.6	As diferentes opções de edição do texto 3D . . . . .	41
5.1	Os pontos chaves comuns entre a imagem a testar (esquerda) e uma imagem do conjunto de treino (direita). . . . .	44
5.2	Não ocorreram ligações entre as imagens apesar de serem o mesmo monumento. . . . .	44
5.3	Resultado da comparação do conjunto de treino com a imagem de teste. . . . .	45
5.4	Resultado da aplicação que conseguiu detetar a estátua em 2 lados diferentes. . . . .	48
1	O Ardina . . . . .	52
2	Abundância . . . . .	53
3	Igreja do Carmo . . . . .	53
4	Igreja do Carmo . . . . .	54
5	Casa da Música . . . . .	54
6	Torre dos Clérigos . . . . .	55
7	Torre dos Clérigos . . . . .	55
8	Almeida Garrett . . . . .	56
9	Livraria Lello . . . . .	56
10	Menina Nua . . . . .	57
11	D. Pedro IV . . . . .	57
12	D. Pedro IV . . . . .	58
13	Monumento a Raul Brandão . . . . .	58
14	Rosália de Castro . . . . .	59
15	Tribunal da Relação do Porto . . . . .	59
16	Vodafone . . . . .	60

# Lista de Tabelas

2.1	Tabela Comparativa . . . . .	9
5.1	Especificações do aparelho Android . . . . .	43
5.2	Tabela Comparativa das duas abordagens que mostra em que casos foi possível detetar o monumento. . . . .	46
5.3	Número de imagens de treino necessárias para cada monumento. . . . .	47

# Capítulo 1

## Introdução

Ao longo dos anos o uso de realidade aumentada tem vindo a aumentar devido à experiência inovadora que proporciona aos seus utilizadores. A realidade aumentada consiste na integração de elementos ou informações virtuais com visualizações do mundo real através de uma câmara e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerómetro. A utilização de realidade aumentada em dispositivos móveis sofre, no entanto, de várias limitações, que impedem o desenvolvimento de aplicações com funcionalidades de interesse prático, que limitam a sua adoção. No âmbito da detecção de edifícios ou monumentos os aparelhos móveis sofrem de algumas limitações, entre as quais a luminosidade que incide nos edifícios que varia ao longo do dia o que origina que alguns algoritmos de visão computacional não consigam detectar os edifícios. O objeto de realidade aumentada que irá ser mostrado no ecrã do aparelho móvel tem que ser visível em qualquer altura do dia (com luminosidade solar intensa assim como em momentos com pouca luminosidade). Muitas vezes as aplicações móveis de realidade aumentada consomem muitos recursos do aparelho o que pode ser um problema para quem tem um aparelho móvel com poucos recursos. Como tal nesta dissertação pretende-se desenvolver um sistema capaz de ultrapassar todas as limitações existentes, não utilizando alguns recursos do aparelho móvel como a internet e GPS. Esta dissertação em particular será dedicada à área do turismo de modo a auxiliar os turistas na identificação de monumentos. Os turistas ao visitar uma cidade por vezes encontram monumentos sobre os quais não têm informação, ou mesmo que possuam informação sobre os mesmos não a conseguem encontrar rapidamente. Com uma aplicação no aparelho móvel que consiga detectar o monumento desejado, os turistas conseguirão obter a informação de forma mais rápida, simples e de forma interativa, tornando a experiência muito mais enriquecedora. A realidade aumentada irá consistir em texto com o nome do monumento.

---

## 1.1 Enunciado do Problema

O problema deste trabalho consiste em criar uma aplicação móvel de realidade aumentada capaz de detectar monumentos usando apenas a câmara do aparelho móvel sem auxílio do GPS e mostrar realidade aumentada no ecrã do aparelho móvel dos utilizadores. Existem diversas ferramentas capazes de desenvolverem aplicações de realidade aumentada com recurso a visão computacional, contudo nenhuma ferramenta é capaz de detectar edifícios no meio exterior de forma eficaz, devido ao detalhe dos mesmos.

Outro problema consiste nos objectos de realidade aumentada que no meio exterior podem ser pouco visíveis, devido à luminosidade que incide sobre os monumentos, impossibilitando a sua detecção, pretendendo-se que este seja visível durante o dia em vários tipos de luminosidade.

## 1.2 Objetivos

Os objectivos deste trabalho são:

- Criar uma aplicação de realidade aumentada para Android para o meio exterior usando apenas a câmara do aparelho para detetar os edifícios.
- Analisar se o desenvolvimento de um sistema deste género é viável.

Neste trabalho pretende-se cumprir os objetivos propostos de modo a solucionar o problema existente.

## 1.3 Metodologia

A metodologia deste trabalho passa por criar um protótipo de um sistema que irá incluir uma aplicação móvel para Android que será capaz de identificar os monumentos em tempo real, e sobrepor texto sobre os mesmos em realidade aumentada.

Será efetuada uma revisão bibliográfica para identificar alguns dos algoritmos de código-fonte aberto existentes para a deteção dos monumentos e a sua implementação, assim como será efetuada a análise de plataformas de desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada para aparelhos móveis Android. Será determinado o rácio entre o tamanho do monumento e o número de imagens necessário para que o mesmo seja detectado pela aplicação. A aplicação será testada na cidade do Porto em 14 monumentos diferentes entre os quais edifícios pequenos e grandes, estátuas pequenas e grandes e edifícios

---

de estrutura semelhante de modo a verificar se a aplicação os consegue distinguir corretamente. O tipo do texto e o seu tamanho também será testado por 3 pessoas (o autor e duas que nunca usaram aplicações de realidade aumentada) de modo a garantir que será visível em praticamente todo o tipo de condições atmosféricas.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

O trabalho é introduzido pelo Capítulo 1 que expõe o que vai ser feito, o porquê de este ser realizado e como será efetuado.

O Capítulo 2 descreve o Estado da Arte em que é analisada a evolução da Realidade Aumentada assim como são analisadas aplicações que utilizam Realidade Aumentada.

O capítulo 3 descreve as especificações do trabalho, ou seja, os requisitos da dissertação, os casos de uso e a arquitetura do sistema.

O capítulo 4 descreve todas as fases da implementação do projecto, como o desenvolvimento dos algoritmos de visão computacional, a implementação e o funcionamento. De seguida como é implementada a aplicação e a criação do apk final.

O capítulo 5 descreve a avaliação do sistema e os resultados obtidos. Neste capítulo são avaliados os casos de uso definidos no capítulo 3 e se o sistema cumpre os requisitos propostos. No final do capítulo são discutidos os resultados obtidos.

O capítulo 6 apresenta as conclusões retiradas desta dissertação, assim como possíveis melhorias a serem implementadas no futuro.

# Capítulo 2

## Estado da Arte

Este capítulo apresenta a revisão da literatura relevante para o trabalho desta dissertação. Em primeiro lugar serão analisadas algumas aplicações, conceitos e projectos que usam Realidade Aumentada em aparelhos móveis assim como uma comparação entre todas as alternativas. Em segunda lugar será analisado o software Unity 3D em termos aplicativos, assim como a utilização deste software com a plataforma Vuforia que tem como funcionalidade principal o desenvolvimento de aplicações com Realidade Aumentada. Serão igualmente analisados alguns trabalhos realizados na área de visão computacional, mais precisamente na detecção de edifícios e objetos tridimensionais.

### 2.1 Realidade Aumentada

Realidade Aumentada é uma tecnologia que permite colocar elementos virtuais no ambiente real que é percebido pelos utilizadores. Existe, assim, uma combinação de informação virtual com a informação do mundo real. Esta mistura de informação é recebida de forma interativa pelo utilizador, em tempo real, cujos elementos virtuais são alinhados entre eles para uma correta sobreposição com o cenário real, através da câmara e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerómetro (Marto, 2017). Existem pelo menos dois tipos de realidade aumentada:

- Realidade Aumentada baseada em Superimposição: É um dos tipos mais importantes de tecnologia em que o reconhecimento de objetos desempenha um papel importante. Nesta tecnologia, a imagem aumentada pode substituir a imagem original, parcial ou totalmente. A figura seguinte mostra um exemplo desta tecnologia, onde é possível ver o trajecto ideal que o automóvel deve percorrer para efetuar o menor tempo possível na corrida, assim como o velocímetro e o nome dos adversários.

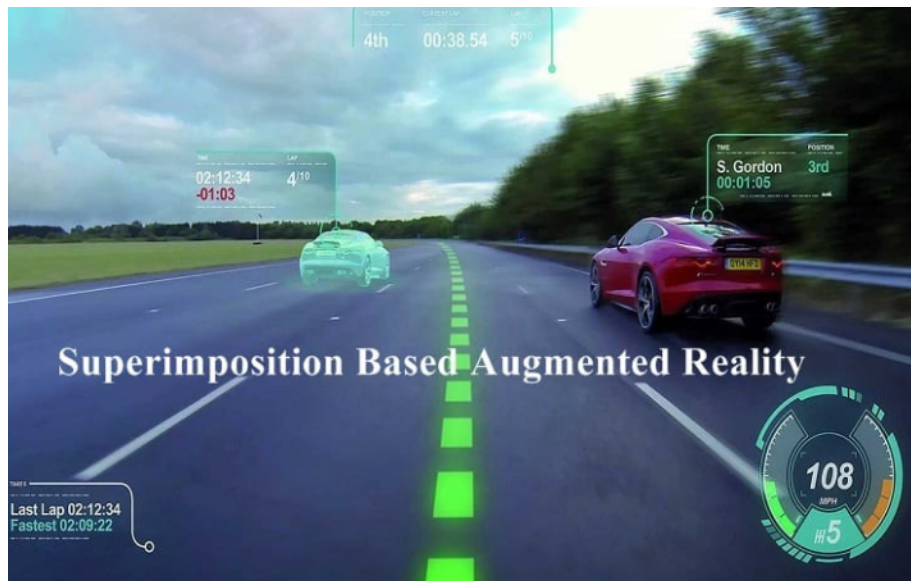


Figura 2.1: Exemplo de uma aplicação que usa Superimposição(Singh, 2018).

- Realidade Aumentada baseada em Projeção: Esta tecnologia é baseada na função de projeção de realidade aumentada, onde as luzes do dispositivo são projetadas nos objetos. Existem inúmeras abordagens que tornam esta tecnologia mais interessante. Uma das abordagens consiste em lançar a luz sobre a superfície do mundo real e torná-la interativa pelo toque humano com a ajuda de sensores. A projeção também pode ser feita em pleno ar com a ajuda da tecnologia de plasma a laser. A figura seguinte mostra um exemplo desta tecnologia, onde é possível ver os números de 0 a 9 em que a aplicação seleciona o número pressionado pelo utilizador quando o dedo com a fita azul se encontra sobre o número.



Figura 2.2: Exemplo de uma aplicação que usa Projeção (Singh, 2018).

Dentro destas duas categorias a realidade aumentada pode ser implementada com o auxílio de marcadores ou sem marcadores.

A realidade aumentada baseada em marcadores consiste no reconhecimento de imagens, ou como o nome indica marcadores, que podem ser QR (código de barras bidimensional), 2D ou 3D, ou seja os marcadores podem ser qualquer tipo de imagem ou objecto. é necessário definir os ImageTarget que são as imagens que serão detetadas pela câmara do aparelho móvel e onde será determinado o local exato onde será exibida a realidade aumentada. Resumidamente, esta tecnologia usa a câmara no dispositivo para detectar o marcador pré-definido e posteriormente sobrepôr a realidade aumentada no mesmo. No exemplo seguinte é possível ver a utilização da realidade aumentada num supermercado em que os produtos são usados como marcadores.

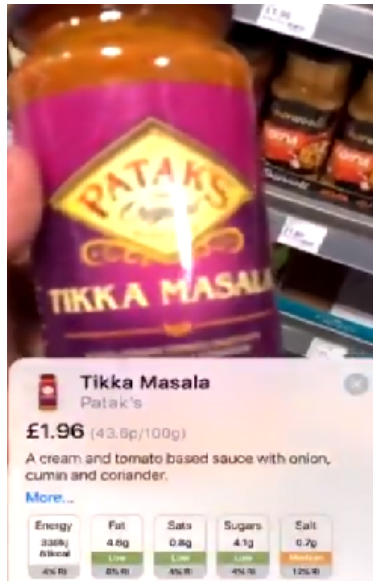


Figura 2.3: Exemplo do uso de marcadores (Haysom, 2018).

Realidade aumentada sem marcadores é baseada em localização e sensores, sendo um dos tipos de realidade aumentada mais utilizados e implementados. É o único tipo de realidade aumentada que não usa nenhum tipo de sistema de reconhecimento visual.

Dentro desta categoria existe o SLAM (simultaneous localization & mapping) que além da localização e sensores, pode usar uma câmara para obter dados sobre o meio em que se encontra através de informações visuais o que permite mapear um espaço e determinar localizações específicas dentro dele.

A realidade aumentada em aparelhos móveis tem tido uma evolução considerável. O avanço computacional dos aparelhos móveis tem ajudado a evolução de aplicações em realidade aumentada. Nazri e Rambali (2014) citam uma vasta panóplia de oportunidades e limitações das aplicações de realidade aumentada em smartphones. As limitações citadas são:

- Limitações de hardware se o ecrã do dispositivo móvel for demasiado pequeno.
- Problemas de interação, o tamanho dos dedos do utilizador pode prejudicar a interação do mesmo com a aplicação.
- Limitações não técnicas como aceitação social, privacidade e utilidade.

Das oportunidades referidas pode-se citar o auxílio que a realidade aumentada pode dar à publicidade, ajudando na promoção de produtos e serviços de forma mais atrativa para o consumidor, na recriação de acontecimentos históricos, livros 3D e auxiliar na área da educação.

---

Vão ser analisadas de seguida as ferramentas já existentes para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada.

## 2.2 Ferramentas Existentes

Existem inúmeras ferramentas para desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada, ferramentas essas que são usadas para criar aplicações de realidade aumentada para aparelhos móveis:

- CraftAR (Catchoom) - Usa reconhecimento de imagens, armazena dados sobre as mesmas em linha ou localmente, pode ser desenvolvida para Android e iOS. Apenas usa marcadores 2D e 3D, não aceita QR.
- Wikitude - É capaz de efetuar rastreamento rápido em objetos tridimensionais e imagens 2D, assim como com geolocalização. Por usar SLAM consegue um rastreamento rápido de objectos e cenários. Pode ser desenvolvida para Android e iOS.
- Kudan - Usa maioritariamente reconhecimento de imagens, porem pode ser igualmente implementada uma aplicação com SLAM com compatibilidade com vários tipos de sensores. Pode ser desenvolvida para Android e iOS.
- EasyAR - Usa reconhecimento de imagem, reconhecimento de objetos 3D, gravação de ecrã e desenvolve aplicações para Android, iOS e Windows.
- ARCore - É uma plataforma da Google de desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada. Possui três características que são: percepção das dimensões do meio em que se vai encontrar a aplicação, percepção da luminosidade do ambiente e rastreamento de movimento que permite que o aparelho móvel atualize a realidade aumentada à medida que a posição muda.
- MAXST - Funciona com SLAM, marcadores, reconhecimento de imagens e objetos e scanner de códigos QR. Além de ser possível criar aplicações para Android e iOS.
- Layar - É o único da tabela seguinte que não tem pelo menos uma componente de código-fonte aberta. O utilizador capta informações ao seu redor, utilizando a câmara do smartphone e aplica realidade aumentada. Pode ser desenvolvida para Android e iOS.
- ARToolKit - É de código-fonte aberta, que é usada para o desenvolvimento de interfaces para realidade aumentada. Esta ferramenta emprega métodos de visão computacional para detectar marcadores numa imagem capturada pela câmara do

smartphone. O rastreamento óptico deste marcador possibilita o ajuste de posição e orientação para realizar a renderização de um objeto virtual. Pode ser desenvolvida para Android e iOS.

- Vuforia - É das mais usadas no desenvolvimento de realidade aumentada devido à sua robustez e facilidade de desenvolvimento de aplicações. Permite criar com o Unity 3D vários tipos de realidade aumentada (SLAM, Marcadores e Sem Marcadores). Pode ser desenvolvida para Android e iOS.

A tabela seguinte compara as ferramentas anteriores em quatro categorias. Essas categorias são essenciais pois pretende-se que a ferramenta a utilizar seja de código-fonte aberta, que use marcadores para que seja possível usar monumentos como marcadores e se é possível integrar com outras plataformas de modo a facilitar o desenvolvimento da aplicação.

Tabela 2.1: Tabela Comparativa

	Open-Source	Marcadores	Sem Marcadores	Integração com outras plataformas
<b>Vuforia</b>	✓	✓	✓	Unity3D
<b>CraftAR</b>	✓	✓		Unity3D
<b>Wikitude</b>	✓		Apenas SLAM	Unity3D
<b>Kudan</b>	✓	✓	✓	Unity3D
<b>EasyAR</b>	✓	✓	✓	Unity3D
<b>ARCore</b>	✓	✓	✓	Unity3D
<b>MAXST</b>	✓		✓	Unity3D
<b>Layar</b>			✓	Layar Creator
<b>ARToolKit</b>	✓	✓		Unity3D

A tabela acima compara algumas das ferramentas de desenvolvimento de realidade aumentada, mostrando as suas funcionalidades em termos de código-fonte aberto, uso de marcadores, sem o uso de marcadores e integração com outras plataformas. Pode-se concluir que a maior parte das ferramentas é de código-fonte aberta e que é possível integrar as mesmas com Unity3D.

A secção seguinte consiste em analisar alguns algoritmos de deteção e trabalhos em que estes são usados.

## 2.3 Algoritmos de Deteção

Os algoritmos de deteção têm como objetivo detetar um objeto ou edifício através de visão computacional. Esta deteção pode ocorrer através do reconhecimento dos pontos chave

---

(descritores) de uma imagem. Existem vários algoritmos para a detecção: SIFT, SURF, ORB, Viola e Jones e HOG (Histogram of Oriented Gradients) (Tavares, 2014).

SIFT é composto por duas partes distintas: o detetor e o descritor. O detetor SIFT é baseado em cálculos de diferença de Gaussianas e o descritor SIFT utiliza histogramas de gradientes orientados para descrever a vizinhança local dos pontos de interesse.

SURF é algoritmo rápido e robusto usado para extração e descrição de pontos de interesse de uma imagem. O SURF foi parcialmente inspirado pelo algoritmo SIFT.

ORB é um algoritmo que surgiu como uma opção alternativa ao SIFT e ao SURF, propondo melhor desempenho computacional. O ORB é uma fusão do detector FAST (Features from Accelerated Segment Test) com o descritor BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features).

Viola e Jones utiliza as somas dos pixels da imagem com áreas retangulares e é usado maioritariamente na detecção de faces pois tem muitos erros na detecção de objetos pequenos.

A ideia principal do descritor HOG é que a aparência forma de objetos em uma imagem podem ser descritos através da distribuição dos gradientes de intensidade dos pixels ou pelas direções das bordas. O processo para gerar o descritor pode ser dividido em quatro etapas: cálculo do gradiente em cada pixel, agrupamento dos pixels em células, agrupamento das células em blocos e obtenção do descritor.

O OpenCV é uma biblioteca multiplataforma, de código-fonte aberta, para o desenvolvimento de aplicações na área de visão computacional, executando processamento de imagem em tempo real. O algoritmo ORB é teoricamente uma fusão entre o FAST (FAST Algorithm for Corner Detection) e BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) (Sharif and Hölzel, 2017), e é uma alternativa ao SIFT e SURF que atualmente não são de código-fonte aberto.

O detetor e descritor de pontos chave SIFT, sempre foi um dos algoritmos mais usados e bem sucedidos na detecção e reconhecimento de objetos, contorno de imagens, mapeamento. No entanto, ele impõe uma grande sobrecarga, especialmente para sistemas em tempo real, como dispositivos de baixa potência, como alguns aparelhos móveis. Rublee e Bradski (2012) propõem um substituto computacionalmente eficiente para SIFT que tem desempenho semelhante, é menos afetado pelo ruído da imagem e é capaz de ser usado em tempo real. A proposta é baseada no detetor de pontos chave FAST e o descritor BRIEF, o que originou o ORB.

Rublee e Bradski (2012), abordam as seguintes contribuições:

- A adição de um componente de orientação rápido e preciso para detector FAST.
- Análise de variância e correlação do BRIEF

- 
- Um método de aprendizagem para descorrelacionar os recursos do BRIEF sob invariância rotacional.

No final do artigo o ORB é comparado com o SIFT e SURF, e apesar de ter resultados piores do que o SIFT e SURF concluíram que o ORB é uma boa alternativa ao SIFT e SURF, pois apesar de o SIFT e o SURF possuírem melhores resultados em termos de detecção o ORB é mais rápido.

Ufkes e Fiala (2013) apresentam um sistema completo baseado numa abordagem híbrida que utiliza o ORB e é capaz de ser utilizado na maior parte dos aparelhos móveis em tempo real. Este artigo tem como contribuições:

- Implementação no hardware por SIMD melhora a eficiência em descodificar a imagem pretendida.
- Testa vários ângulos de modo a verificar e melhorar a velocidade do sistema.
- Implementação de um esquema binário de *bag-of-features* (trata as imagens por palavras) para reconhecer várias imagens de treino para poder aumentar a realidade nessas imagens de treino.

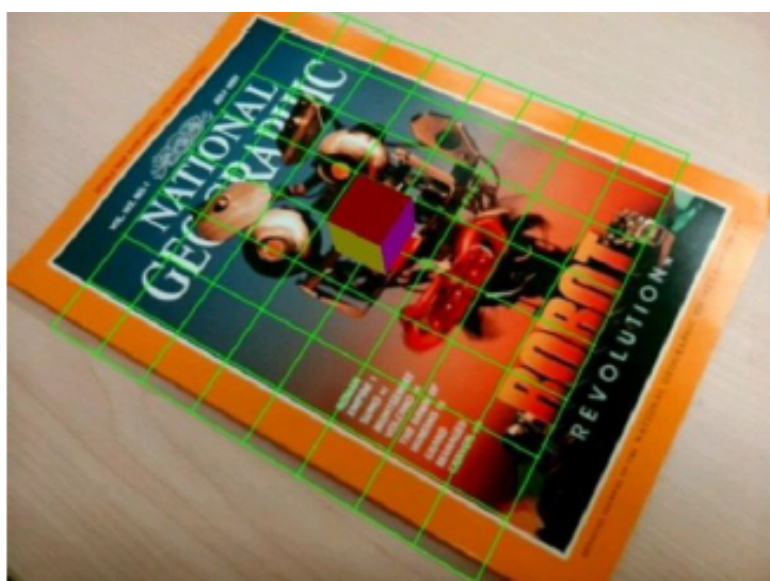


Figura 2.4: Exemplo de um quadrado a ser aumentado na revista National Geography (Ufkes and Fiala, 2013).

Foi criado um protótipo de uma aplicação móvel que usa realidade aumentada em obras de arte (Nithin and Bhooshan, 2016). Esta aplicação usa os algoritmos SURF e BRISK para detectar as obras de arte. A componente de realidade aumentada é configurada pelo ARToolKit. O algoritmo proposto neste artigo, o ARTAR, consiste na detecção

---

de pinturas e sobrepõe sobre as mesmas vídeo e sons em realidade aumentada. Este artigo estuda os vários tipos de algoritmos de visão computacional capazes de detectar objetos (SIFT, SURF, ORB entre outros) e compara os mesmos a nível de precisão e rapidez. Foi demonstrado que o ORB é uma boa alternativa para a deteção de objetos.

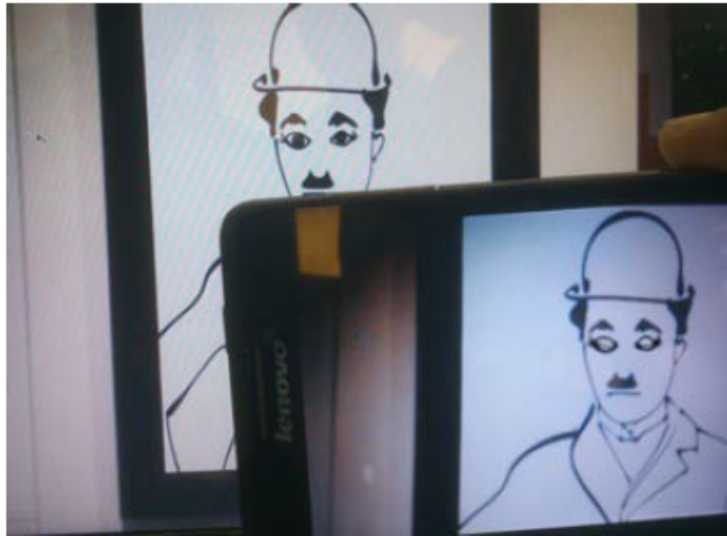


Figura 2.5: A aplicação a ser testada no Charlie Chaplin.(Nithin and Bhooshan, 2016).

O gráfico seguinte compara as abordagens em termos de precisão e tempo de resposta na deteção de obras de arte.

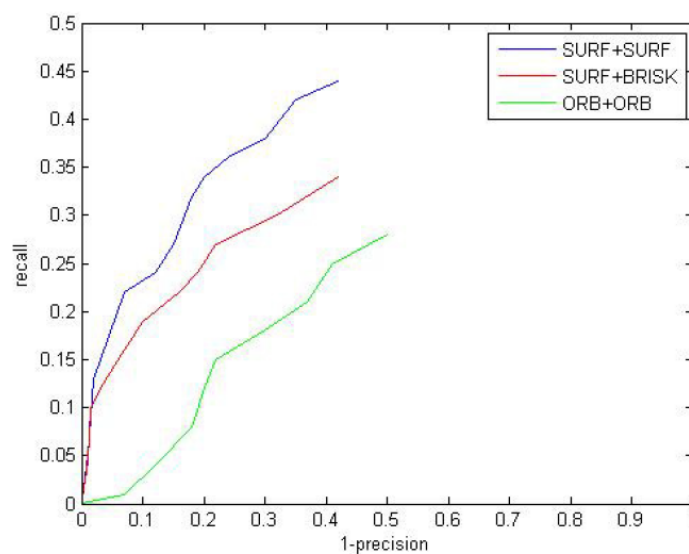


Figura 2.6: Gráfico comparativo das três abordagens (Nithin and Bhooshan, 2016).

---

Do gráfico anterior, os autores concluíram que o SURF é o melhor detector pois tem uma velocidade de detecção superior, porem o SURF não pode ser usado como descritor por ter um tempo de processamento elevado, como tal é mais vantajoso usar o SURF com o BRISK pois é mais rápido do que combinado com o detector SURF. O ORB pode ser considerado uuma boa alternativa pois também possui resultados positivos e é de código-fonte aberto.

## 2.4 Aplicações de Realidade Aumentada

Esta secção tem como finalidade analisar aplicações de realidade aumentada que usem marcadores, como estes são usados, que plataformas e bibliotecas são usadas, assim como aplicações de realidade aumentada para o meio exterior e na área do turismo.

O trabalho de Paul e Park (2013) consiste no reconhecimento de objetos que usa um aparelho móvel e um servidor, em que a câmara é usada para tirar uma fotografia e esta é enviada para o servidor. O servidor usa OpenCV SIFT para detetar as imagens e tem como objetivo detetar objetos e classifica-los. Esse reconhecimento consiste em retirar os pontos chave da imagem recebida e comparar com a base de dados, se ocorrer uma igualdade a imagem que se pretende reconhecer pertence ao conjunto de treino. Para avaliar o sistema foram escolhidos 4 tipos de objetos (extintores, mochilas, bicicletas e corta-relvas). Esta aplicação conseguiu detectar corretamente os objectos em todos os testes.



Figura 2.7: Teste da aplicação(Paul and Park, 2013).

Nikobonyadrad (2012) desenvolveu uma aplicação de realidade aumentada para Android. A ideia foi proposta por um fabricante de embalagens, que gostaria de desenvolver

---

uma aplicação para que os utilizadores possam saber o que cada embalagem contém sem ter que abrir a mesma, podendo assim obter informação sobre a especificação física, ingredientes até um manual de instruções animado. Na implementação foi usado o Vuforia para detectar as embalagens através de marcadores, e sobrepor nas embalagens realidade aumentada. Não ocorreram erros na deteção das embalagens.



Figura 2.8: A aplicação final a ser testada numa embalagem. (Nikobonyadrad, 2012).

Paul et al.(2008) mostram que técnicas de realidade aumentada sem marcadores dependem do meio em que são testadas. Este artigo apresenta uma técnica que, a partir de amostragem de pontos em arestas de um modelo 3D previamente gerado é possível detectar um objeto. Este trabalho encontra as correspondências entre os pontos amostrados no objeto virtual e os pontos da imagem real. Foi utilizada também a extração de arestas invisíveis. A técnica apresentada mostrou-se robusta a oclusões parciais, auto-oclusões e mudanças de iluminação. Durante os testes ocorreram erros quando ocorriam movimentos bruscos da câmara.

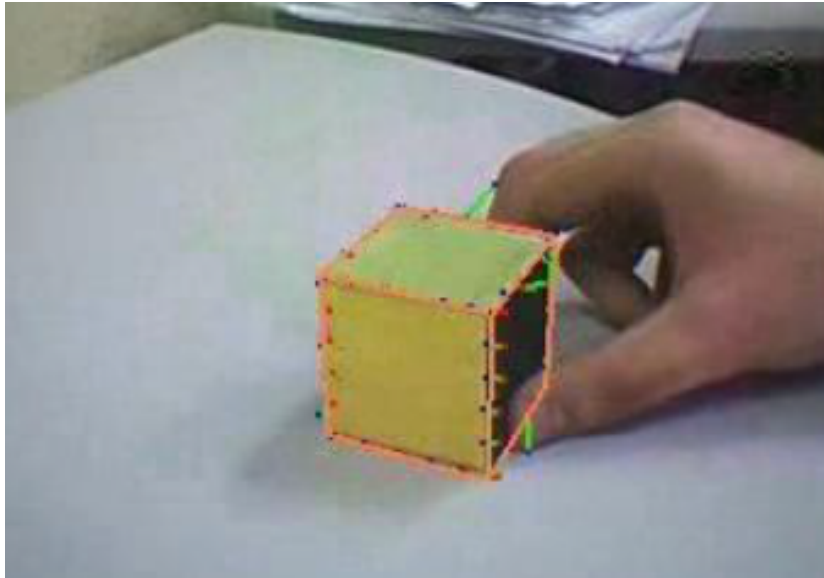


Figura 2.9: A aplicação consegue detectar o cubo mesmo com oclusão parcial (Paulo et al., 2008)

Shiguemoto (2010) tem como objetivo apresentar os conceitos de realidade aumentada, e como essa tecnologia tentou inovar a maneira como os utilizadores interagem com esta tecnologia. Esta aplicação tem como objetivo melhorar a publicidade em cartões de visita. Esta aplicação foi desenvolvida pelo Vuforia com o Unity 3D e a realidade aumentada foi desenvolvida através do software de modelagem 3D Blender que é compatível com o Unity 3D e permite a manipulação de elementos geométricos, texturas e iluminação.



Figura 2.10: Cartão de visita (Shiguemoto, 2010)

---

Martinez (2017) demonstra a aplicação da realidade aumentada em aparelhos móveis nas eleições em Santa Fé no México. Para este caso foi usado Unity 3D + Vuforia. Alguns dos objetivos referidos neste artigo consistem em que a aplicação seja rápida e eficaz, capaz de processar objetos virtuais e compatível com sistemas Android. Como objetivos secundários pretende-se um estudo sobre as ferramentas já existentes, a facilidade da geração de modelos 3D em tempo real e avaliar os mesmos e a possibilidade de uma subdivisão de um marcador natural em vários marcadores naturais diferentes.

A solução proposta no artigo consiste na criação de uma base de dados usando o Vuforia e diferentes texturas para facilitar o reconhecimento pela aplicação. Em cada uma das imagens usando o Unity 3D coloca-se um cilindro correspondente ao partido vencedor e a sua percentagem de votos. Estes cilindros são reutilizados para mostrarem o vencedor em 3 categorias (Governador, Senador e deputados) que podem ser seleccionados pressionando um botão na aplicação. A informação sobre as percentagens encontra-se armazenada num ficheiro XML. Este artigo demonstra que a realidade aumentada tem uma infinidade de utilidades.

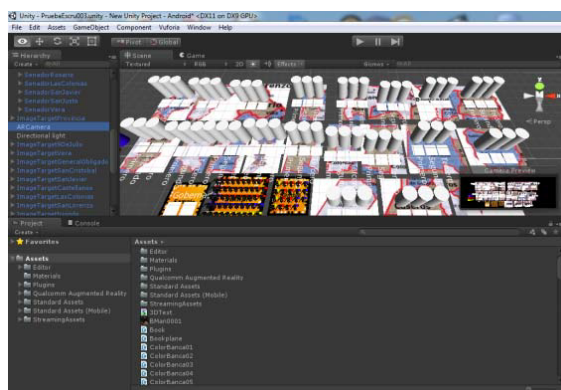


Figura 2.11: Ecrã do Unity 3D onde são expostos os resultados das eleições (Martínez, 2017).

No artigo de Cubillo, Martin, Castro, Diaz (2014) o objetivo principal passa por criar uma aplicação de realidade aumentada para ser usada tanto pelos professores como pelos alunos, em que os professores desenvolvem conteúdo em realidade aumentada para os alunos possam aprender a matéria de forma mais interativa. No desenvolvimento desta aplicação foram tidos em conta os seguintes problemas:

- A dificuldade dos professores em usarem realidade aumentada por ser novidade para eles.
- Dificuldade em incorporar vários tipos de multimédia como vídeos e objetos 3D

---

A aplicação proposta no artigo usa o ARLE (Augmented Reality Learning Environment) que incorpora realidade aumentada em livros, notas ou em qualquer outra superfície. O sistema é baseado numa arquitetura cliente-servidor, em que a informação é enviada para o utilizador quando a aplicação é iniciada. A aplicação móvel foi desenvolvida em Metaio (este software foi comprado pela Apple e descontinuado) e a aplicação web em PHP.

A aplicação web contém as seguintes funcionalidades:

- O professor escolhe o tipo de ficheiro a inserir (JPG, PNG, 3G2, MD2..)
- O professor escolhe a categoria do ficheiro (Geografia, Matemática...)
- Possibilidade de inserir uma descrição ao ficheiro inserido
- Possibilidade de acionar a hipótese de questionário
- O professor escolhe a imagem em que a realidade será aumentada

No final todos os ficheiros serão guardados na base de dados. Os testes realizados mostram que esta aplicação tem algumas falhas como por exemplo a opção seleccionada não ser a desejada por erro na deteção.



Figura 2.12: Exemplo de uma pergunta em realidade aumentada (J. Cubillo, S. Martín, M. Castro, G. Díaz, 2014)

Colpani (2016) desenvolveu uma aplicação de realidade aumentada com o Vuforia que usa marcadores que auxilia alunos com necessidades especiais onde vai ser sobreposto realidade aumentada em cartões após a sua deteção. O funcionamento deste sistema consiste numa pergunta feita ao aluno e ao responder, a resposta irá aparecer em realidade aumentada e se a mesma está certa ou errada.



Figura 2.13: Resultado da aplicação (Colpani, 2016)

Carvalho (2016) tem como objetivo principal apresentar um modelo que facilita o desenvolvimento de objetos de aprendizagem baseados em realidade aumentada. A aplicação foi criada com o Vuforia, tendo esta usado marcadores onde são sobrepostos os objetos de realidade aumentada. Por fim esta aplicação foi testada numa turma e comparou os resultados do teste desta turma com outra que não usou realidade aumentada. Esta aplicação funcionou sem erros.



Figura 2.14: Interface inicial da aplicação (de Carvalho, 2016)

Salmi (2015) discutiu o processo de desenvolvimento de um protótipo de uma aplicação móvel que usa realidade aumentada para o ensino. Este protótipo tem o nome de Human Anatomy im Mobile Augmented Reality ou HuMAR e consiste numa aplicação com a anatomia do esqueleto humano. O objetivo principal do HuMAR é ajudar os alunos na sua aprendizagem. O protótipo foi desenvolvido para Android com uma interface mul-

timodal que facilita a interação em termos de compreensão da matéria usando modelos 3D. A aplicação detecta marcadores previamente definidos e mostra no ecrã do utilizador a realidade aumentada. No desenvolvimento do protótipo foi criada uma base de dados com todos os ossos no Vuforia, e a aplicação Android foi desenvolvida em Unity 3D e a criação dos modelos 3D em Studio Max. O protótipo foi testado com 30 alunos em tablets com o sistema Android e foram testadas seis funcionalidades:

- A fluidez na mudança entre imagens
- Precisão dos modelos 3D
- Se os alunos sentiam que a aplicação melhoraria a aprendizagem
- Se os vários ângulos dos modelos 3D motivavam mais os alunos
- Facilidade na manipulação dos objetos
- Capacidade e rapidez dos alunos em assimilarem todas as funcionalidades da aplicação

Cada funcionalidade foi avaliada entre 1 a 5 pelos alunos e em todos os campos a média ficou entre 4 e 5.

Chapagain (2018) detalhou todo o tipo de funcionalidade que o Vuforia possui. No artigo é descrita a arquitetura do Vuforia detalhando os seus componentes.



Figura 2.15: Exemplo da aplicação onde é sobreposto um ninja em realidade aumentada (Chapagain, 2018)

É demonstrado no artigo que vários tipos de objectos podem ser usados como marcadores, dando exemplos como paredes, papel, chão e prateleiras de uma loja. Este trabalho descreve em detalhe como deve ser implementada uma aplicação usando o Vuforia e como

---

se desenvolve realidade aumentada em C#. Foi avaliado o detalhe necessário que o ImageTarget deve ter e concluiu-se como esperado que quanto mais detalhado for melhor é o ImageTarget.

O trabalho de Xiao e Lifeng (2014) tem como objetivo a criação de uma aplicação móvel que use realidade aumentada que seja implementada em Vuforia e Rawajali. Vuforia usa reconhecimento de imagem para rastrear e registrar os marcadores da imagem, enquanto o Rawajali (plataforma 3D para Android) cria os modelos 3D. O trabalho realizado no artigo está dividido em três partes, Vuforia, Rawajali e Android. No Vuforia é necessário desenvolver quatro etapas:

- Criar a base de dados com os Image Targets
- Configurar os Image Targets
- Efetuar o carregamento dos ficheiros XML e iniciar o reconhecimento das imagens no programa
- Efetuar o carregamento dos modelos 3D e apresentar os mesmos no ecrã do smartphone

Rawajali usa como base a API do OpenGL ES 2.0 e o seu objetivo principal facilitar o desenvolvimento em OpenGL. Neste projeto o desenvolvimento em Rawajali divide-se em três etapas:

- Ler ficheiros ”obj”
- Serializar os objetos e gerar ficheiros ”ser”

Na parte Android são necessárias duas etapas:

- Importar a base de dados com os image targets
- Reconhecer a imagem de treino e escolher o ponto da imagem onde irá ser apresentado o modelo 3D no aparelho móvel.

A aplicação foi testada num HTC T528W com um Qualcomm Snapdragon MSM8625 1G dual core e 1G memória. O utilizador aponta a câmara do aparelho móvel a imagem pretendida e a aplicação procura na sua base de dados se esta existe. Se existir irá ser mostrada no aparelho móvel um objeto 3D.



Figura 2.16: Exemplo da aplicação (Xiao and Lifeng, 2014)

Guzman (2014) analisou a plataforma Vuforia e como seria possível usar o Vuforia com o OpenStreetMap de modo a criar uma aplicação de realidade aumentada que ajudasse os utilizadores a orientarem-se melhor numa cidade. No OpenStreetMap foram definidos os pontos onde a realidade será aumentada definindo as coordenadas dos mesmos. O utilizador ao utilizar a aplicação vai poder ver os pontos mais próximos de si e a que distância estão. Para avaliar a qualidade desta aplicação foi efetuado um estudo com quinze pessoas inquirindo se preferiam a interface do mapa ou a interface da realidade aumentada. A maioria dos inquiridos gostou da aplicação, mas para orientação preferiam a interface do mapa por ser mais intuitiva que a interface da realidade aumentada.



Figura 2.17: Interface da aplicação (Guzman, 2014)

A secção seguinte consiste na análise de trabalhos efectuados na deteção no meio exterior.

### 2.4.1 Deteção no Meio Exterior

Haynes e Lange (2016) propuseram um protótipo de uma aplicação de realidade aumentada para simular as consequências de uma possível inundação. Para criar este protótipo foi usado o Vuforia. O Vuforia foi usado para detectar a água que vai funcionar como marcador e adicionar a realidade aumentada. O processo de desenvolvimento deste projeto passou usar um método de triangulação (detectar três pontos do lugar que pode ser inundado) para determinar o nível da água. Após determinar o nível da água é possível adicionar figuras geométricas para simular o aumento do nível da água. A cada figura adicionada é sobreposto no aparelho móvel em realidade aumentada o nível da água.



Figura 2.18: Resultado do protótipo num lago (Haynes and Lange, 2016)

Nas gravações de filmes e séries são tiradas várias fotos e vídeos. Chang et al (2018) tem como objetivo usar estas fotos e vídeos dos locais das filmagens e criar um protótipo de uma aplicação de realidade aumentada para que os turistas quando visitarem estes locais possam ver em realidade aumentada usando cenas dos filmes ou séries gravados no local no seu aparelho móvel. Neste projeto foi implementada uma aplicação de realidade aumentada para Android e IOS. Foi adoptado o FAST para detectar cantos das imagens e para a detecção dos locais e o OpenGL para o mapeamento das imagens e vídeos em realidade aumentada.



Figura 2.19: Exemplo da aplicação numa zona onde foi gravada uma cena de um filme (Chang et al., 2018)

Uijtdewilligen (2010) criou a plataforma ARCA que consiste numa aplicação para aparelhos móveis, enquanto no lado do servidor existe um Context Information Service (CIS). O CIS facilita a obtenção e o refinamento de informações sobre os transportes e fornece essas informações ao aparelho móvel. Esta aplicação tem duas abordagens distintas no uso de realidade aumentada, com e sem marcadores. Para o uso de realidade aumentada sem marcadores esta aplicação usa as plataformas ARToolkit. Para o uso de realidade aumentada sem marcadores esta aplicação tem duas abordagens, a primeira é o *Pose Tracking* que consiste na obtenção da localização e orientação do aparelho móvel através do GPS.



Figura 2.20: Aplicação a detetar um comboio em tempo real (Uijtdewilligen, 2010)

Um objetivo comum das aplicações de realidade aumentada é a apresentação de apontamentos no ecrã dos utilizadores. Langlotz et al (2011) apresenta uma abordagem para registar e rastrear pontos chave em tempo real. A abordagem é baseada em imagens panorâmicas obtidas pela câmara no local. Os panoramas são então usados para rastreamento de pontos chaves, enquanto o utilizador está a executar apenas movimentos rotacionais. Ao efetuar o mapeamento e rastreamento das imagens a aplicação assume que o utilizador efetua apenas movimentos rotacionais, e a posição do utilizador é determinada através do GPS do aparelho móvel, o que faz com que seja criado em cada utilização um modelo 2D do local. Após a obtenção do modelo 2D a aplicação usa o algoritmo de visão computacional FAST para detectar os pontos chave do local. Para testar foram criados 12 panoramas em diferentes posições de um campus universitário em condições climáticas diferentes (luminoso e sombra). Cada panorama continha entre quatro e seis pontos em que a realidade iria ser aumentada tendo a aplicação cerca de cinquenta e oito pontos. A aplicação teve uma taxa de sucesso de 90%. Alguns dos problemas encontrados foram o sinal de GPS não ser estável, a luminosidade que fez com que alguns dos pontos não fossem visíveis no ecrã do aparelho móvel, e o ruído (carros, pessoas) na obtenção da imagem panorâmica.



Figura 2.21: As anotações da aplicação numa Universidade (Langlotz et al., 2011)

Silva (2009) analisou as potencialidades dos serviços móveis de realidade aumentada aplicados no turismo. O artigo mostra alguns exemplos de projetos cujo objetivo é aplicar realidade aumentada ao turismo:

- Mara - É um protótipo de uma aplicação desenvolvida pela Nokia. Se for conhecida a localização e a orientação da câmara do aparelho móvel é possível determinar o que a câmara está a capturar. Para conseguir obter a orientação da câmara é usado o acelerómetro, bússola e GPS. A realidade aumentada consiste em texto e gráficos.
- Wikitude - Esta biblioteca permite criar uma aplicação que é um guia de viagem móvel baseado em contexto de localização. A aplicação utiliza o receptor GPS e a bússola do aparelho móvel para determinar o posicionamento e orientação deste e, recorrendo a uma base de dados global com mais de 350 000 pontos de interesse e apresenta grafismos e texto com informação sobre a imagem que a câmara do aparelho móvel está a captar. Informa também o utilizador a que distância se encontra do ponto de interesse para onde está a apontar e a altura deste.
- MARQ - Esta aplicação é um guia de visita electrónico a um museu. Este guia foi baseado num PDA que fornece uma experiência de realidade aumentada a grupos de visitantes. Estes utilizaram um dispositivo móvel como guia pessoal que complementará as imagens reais dos objetos expostos com elementos de realidade aumentada. A aplicação calcula o posicionamento do visitante e fornece informações relevantes de acordo com o contexto em que este se encontra. Segundo os autores, este guia pretende ser uma "lente mágica" capaz de visualizar elementos virtuais escondidos.

---

Em 2005 foi criada uma das primeiras aplicações de realidade aumentada dedicada ao turismo (Fritz et al., 2005). A ideia consiste na combinação dos binóculos com a realidade aumentada. A realidade aumentada continha informações interativas para melhorar a experiência turística do utilizador, numa interface amigável. A realidade aumentada usa o sistema PRISMA que é um sistema de visualização de vídeo transparente composto por uma câmara para gravar o vídeo em tempo real e usa os binóculos como dispositivo de visualização da realidade aumentada.

Shi et al (2016) criaram uma aplicação móvel usada para o turismo que através de uma imagem recomenda possíveis locais de interesse ao utilizador para este visitar. Esta aplicação analisa uma imagem tirada pelo utilizador, detecta um ponto de interesse que esteja no alcance do utilizador, calcula as coordenadas do utilizador e no ecrã do aparelho móvel devolve em realidade aumentada informações sobre pontos de interesse. Esses pontos de interesse tornam-se botões virtuais que o utilizador pode premir para obter informação sobre os mesmos.



Figura 2.22: Detecção de um ponto de interesse (Shi et al., 2016)

Chung et al. (2018) realizaram um estudo sobre o papel da realidade aumentada no turismo na Coreia. Foi criada uma aplicação que usa a câmara do aparelho móvel para detectar o monumento e sobrepor sobre o mesmo realidade aumentada. Das limitações encontradas pode-se enumerar os problemas que existem em usar realidade aumentada no meio exterior, como a luminosidade que pode originar uma grande margem de erro na deteção.



Figura 2.23: Teste da aplicação no Palácio de Deoksugung (Chung et al., 2018)

Magdalena e Mo.(2017) mostram as oportunidades do uso da realidade aumentada nos campos da cartografia e geodesia de modo a ser possível criar uma aplicação móvel de apoio ao turismo chamada CityGuideTour Toruń. Esta aplicação usa GPS e Google Maps para descobrir a localização do monumento desejado obtendo a latitude, longitude e altura com a maior precisão possível. A maior parte de aplicações deste género usa GPS.

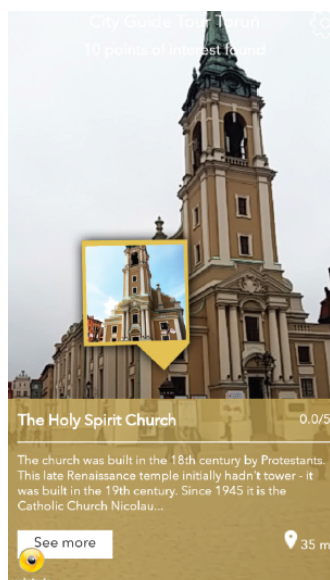


Figura 2.24: Exemplo da aplicação (Magdalena and Mo, 2017)

Uma desvantagem desta aplicação consiste no aparelho móvel do turista, se este não

---

possuir giroscópio nem acelerômetro a aplicação não irá funcionar, assim como deverá ter ligação à internet e um processador rápido. A componente de realidade aumentada é configurada através do Wikitude em SLAM. O conteúdo de realidade aumentada consiste em texto com a informação dos monumentos.

## **2.5 Considerações Finais**

Foram demonstradas as potencialidades da realidade aumentada em aparelhos móveis, explicando as suas vantagens e desvantagens e as ferramentas de desenvolvimento de realidade aumentada existentes.

Foram analisadas aplicações já existentes e o modo como estas funcionam ajudando a perceber o funcionamento geral das aplicações móveis de realidade aumentada. Foram analisadas aplicações que usam deteção no meio exterior e foi possível verificar que a maioria das aplicações usam GPS ou sensores e não a câmara do aparelho móvel.

# Capítulo 3

## Especificações do Trabalho

A aplicação a ser desenvolvida tem como finalidade auxiliar os turistas na deteção de monumentos em tempo real usando um aparelho móvel Android e que devolva informação sobre os mesmos em realidade aumentada em forma de texto.

Tendo em conta que a aplicação a desenvolver seria testada num sistema Android foram testadas as plataformas ARCore e Vuforia, foram testadas estas duas por serem as mais usadas para o sistema Android, tendo sido escolhida a plataforma Vuforia por esta permitir a criação do apk a instalar no aparelho móvel mais facilmente.

Para a componente de visão computacional para a deteção dos edifícios foi testado o algoritmo existente no Vuforia e o OpenCV ORB. Foi escolhido o ORB em detrimento do SIFT e SURF pois o ORB é de código-fonte aberto ao contrário dos outros dois.

O sistema proposto neste trabalho tem como finalidade:

- Criação de uma aplicação para Android.
- Detetar o edifício em quase todos os tipos de luminosidade (nível de luminosidade que incide no monumento).
- O sistema não usa GPS.
- Testar viabilidade do desenvolvimento da aplicação.
- Tem que ser intuitiva para o utilizador.

Um dos objetivos deste capítulo é definir o sistema em termos de desenvolvimento da aplicação móvel em realidade aumentada assim como a sua instalação num sistema Android, descrevendo os diferentes módulos que o compõem, bem como a descrição dos diferentes componentes e funções que desempenham.

---

## 3.1 Composição do Sistema

O sistema a desenvolver consiste em 2 módulos (Vuforia, Unity 3D). Estes 2 módulos são essenciais para que o sistema possa ser desenvolvido ao criarem o .apk da aplicação que é instalado no aparelho móvel Android.

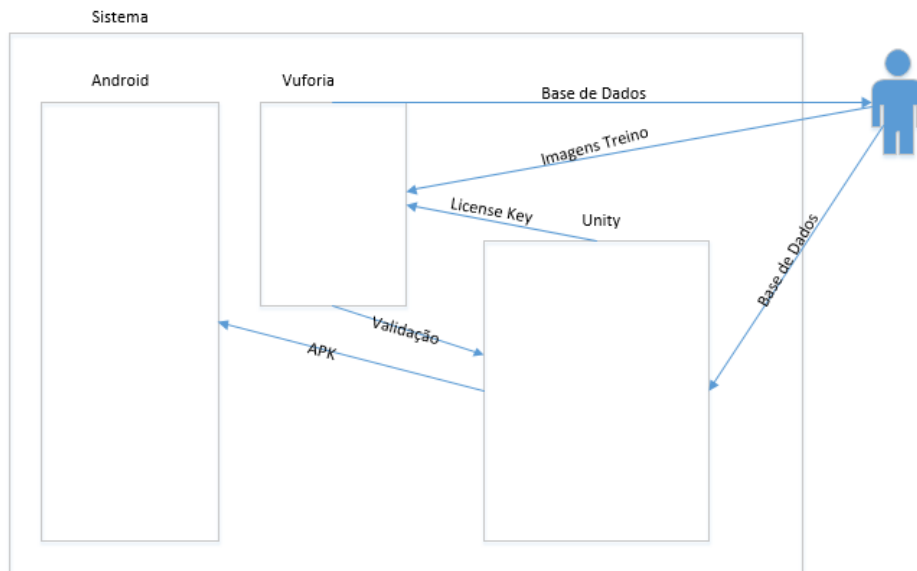


Figura 3.1: Arquitetura do Sistema.

O sistema Android vai ser usado para testar a aplicação desenvolvida no Unity3D. O Unity3D cria o apk que será instalado no Android, assim como recebe os dados sobre as imagens de treino do Vuforia. O Vuforia cria a base de dados das imagens que são usadas na aplicação assim como é responsável pela componente de deteção de monumentos assim como a componente de realidade aumentada.

## 3.2 Requisitos

### 3.2.1 Requisitos Funcionais

**ID:** RF1.1

**Título:** Visão Computacional

**Descrição:** A aplicação é capaz de detetar o edifício pretendido. O monumento tem que estar relativamente próximo do utilizador (tem que ser detetável enquanto a imagem do monumento ocupar todo o ecrã do utilizador).

**ID:** RF1.2

**Título:** Luminosidade Variável

---

**Descrição:** A aplicação é capaz de detetar um edifício durante o dia em várias condições de luminosidade (luz que incide no monumento).

**ID:** RF1.3

**Título:** Realidade Aumentada

**Descrição:** Tem que ser capaz de mostrar texto alusivo ao edifício no aparelho móvel. O texto tem que ser claramente visível em qualquer altura do dia.

Estes requisitos definem as funções que o sistema irá implementar.

### 3.2.2 Requisitos de Sistema (Software e Hardware)

Os requisitos seguintes definem o sistema e com que ferramentas vai ser implementado.

**ID:** RS1.1

**Título:** Realidade Aumentada

**Descrição:** Será desenvolvida com o Vuforia

**ID:** RS1.2

**Título:** Aplicação Móvel

**Descrição:** A aplicação móvel irá ser implementada em Unity 3D sendo criado um apk com a aplicação.

**ID:** RS1.3

**Título:** Texto de Realidade Aumentada

**Descrição:** O texto será desenvolvido usando uma extensão da loja do Unity 3D.

**ID:** RS1.4

**Título:** Tamanho das imagens de treino

**Descrição:** Caso alguma imagem de treino tenha um tamanho superior a 2 MB, esta será comprimida usando o RIOT (Radical Image Optimization Tool).

**ID:** RS1.5

**Título:** Android

**Descrição:** A aplicação tem que ser compatível com a versão Android 4.1 ou superior. Deste modo a maioria dos aparelhos móveis Android conseguem correr a aplicação

**ID:** RS1.6

**Título:** Código-fonte aberto

---

**Descrição:** Todo o software de desenvolvimento tem que ser de código-fonte aberto (Vuforia e Unity3D)

Os casos de uso abaixo ajudam a perceber como o sistema necessita de funcionar.

### 3.3 Casos de Uso

Os casos de uso abaixo são usados para validar o sistema de modo a que os requisitos definidos anteriormente sejam cumpridos.

**ID:** CU1.1

**Título:** Algoritmos de Visão Computacional

**Descrição:** Verificar se a luminosidade afeta a deteção de modo a verificar se é possível detetar monumentos no meio exterior.

**ID:** CU1.2

**Título:** Deteção do edifícios

**Descrição:** A aplicação tem que detectar um edifício. A aplicação pode detetar o edifício a partir de todos os lados e a realidade aumentada deve ser sobreposta no edifício logo após a deteção. Compara imagens de treino obtidas através de um algoritmo que altera o seu brilho com imagens obtidas no terreno com diferentes escalas de luminosidade.

**ID:** CU1.3

**Título:** Realidade Aumentada

**Descrição:** O texto de realidade aumentada tem que ser visível no ecrã do utilizador durante o dia (luminosidade intensa assim como em tempo de nevoeiro).

Estes casos de uso ajudam a validar o sistema.

### 3.4 Monumentos

A aplicação foi testada em 14 monumentos da cidade do Porto:

- O Ardina - Estátua
- D.Pedro IV - Estátua
- Abundância - Estátua
- Menina Nua - Estátua

- 
- Rosália de Castro - Estátua
  - Almeida Garrett - Estátua
  - Câmara Municipal do Porto - Edifício
  - Livraria Lello - Edifício
  - Monumento a Raul Brandão - Edifício
  - Casa da Música - Edifício
  - Sede Vodafone - Edifício
  - Torre dos Clérigos - Edifício
  - Igreja do Carmo - Edifício
  - Tribunal da Relação do Porto - Edifício

Foram escolhidos os monumentos anteriores pois possuem características distintas entre si (Em termos de altura e largura, quantidade de detalhe que pode influenciar a sua deteção. A Sede da Vodafone e Casa da Música são semelhantes). Outro factor para a escolha destes monumentos foi a falta de informação que estes possuem nos mesmos.

### **3.5 Considerações Finais**

Neste capítulo foi proposta uma arquitetura que utiliza três componentes, foi descrita a relação dos componentes entre si, assim como as suas funcionalidades. Foram igualmente enumerados os requisitos que este sistema tem que suportar assim como os casos de uso que permitirão testar os diferentes graus de interação entre o utilizador e os monumentos.

# Capítulo 4

## Implementação

Este capítulo descreve como os componentes de visão computacional e realidade aumentada foram implementados para implementar os casos de uso descritos no capítulo anterior.

A secção sobre visão computacional apresenta uma forma de detectar edifícios em tempo real usando OpenCV ORB assim como as suas capacidades, e um algoritmo que altera o brilho e contraste das imagens. Estes algoritmos foram implementados de modo a entender não só o funcionamento do Vuforia em relação ao método de detecção que utiliza, mas igualmente tentar ultrapassar os seus problemas, de modo a criar uma aplicação com a menor taxa de erro possível.

A secção de realidade aumentada descreve a implementação na aplicação Unity 3D. Também é demonstrado como a aplicação será atualizada ao longo do tempo, assim como a sua instalação no aparelho móvel.

### 4.1 Visão Computacional

Foi implementado um programa em python usando OpenCV ORB que consiste em comparar uma imagem com um conjunto de imagens, de modo a verificar se pertence ao conjunto ou não. O conjunto de imagens usado consiste em fotografias de um edifício de várias perspectivas e com vários tipos de luminosidade de modo a que possa ser possível detectar um edifício em diversas condições meteorológicas. Foi definido por tentativa erro que o edifício pertencia ao conjunto se existirem 14 pontos iguais entre a fotografia tirada e uma fotografia do conjunto de fotografias. Para tal foi definido um limite, que consiste na distância entre os pontos chave das imagens. Foi definido um limite de 25 após vários testes de tentativa e erro, pois foi o valor que obteve a menor taxa de erro, limite esse que consiste na distância dos pontos chave entre si. Se o valor fosse menor que 25 não iria detetar todas as imagens do seu conjunto de treino, caso fosse maior que 25 iria detetar mais imagens do que o pretendido.

---

Foi também implementado outro algoritmo com recurso ao OpenCV. Esse algoritmo recebe uma imagem e altera o brilho e contraste da mesma. Este algoritmo tem como princípio colmatar a falha que o Vuforia possui em não conseguir detetar imagens com brilhos diferentes. Para tal foi usada a função `cv.convertScaleAbs(imagem, alpha,beta)`. O argumento `imagem` corresponde à imagem que vai ser transformada, `alpha` corresponde ao valor do contraste entre 1.0 e 3.0, por fim o `beta` corresponde ao valor do brilho e pode ter um valor entre 0 e 100. Após a transformação a imagem é armazenada.



Figura 4.1: Em cima a imagem original, em baixo a imagem obtida com um  $\beta=50$ .

O algoritmo de alteração de brilho foi utilizado para alterar o brilho das imagens de modo a facilitar a deteção dos monumentos durante o dia. Este algoritmo tem como finalidade evitar obter as imagens de treino nas diferentes escalas de luminosidade necessárias, o que tornaria o seu desenvolvimento mais rápido.

---

### 4.1.1 Vuforia

Para ser possível utilizar o Vuforia é necessário efetuar um registo na plataforma de programador do Vuforia. O registo é necessário para ser possível efetuar as seguintes operações:

- Criar uma chave que permite que a aplicação funcione (a versão de código-fonte aberta permite um máximo de 1000 ImageTarget).
- Criar a base de dados de imagens de treino.
- Definir as imagens de treino que vão ser adicionadas à base de dados (tipo, largura, nome).

Após estes passos o desenvolvimento da aplicação passa a ser efetuado pelo Unity 3D.

## 4.2 Unity

O Unity 3D é usado maioritariamente para criar jogos 2D e 3D. Para implementar a aplicação em Unity 3D em primeiro lugar foi necessário importar a extensão do Vuforia. Este pacote contém todos os componentes necessários para a implementação do Vuforia no Unity 3D, assim como a importação da base de dados com as imagens de treino.

Para que seja possível utilizar o Vuforia no Unity 3D foi necessário ativar o mesmo nas "player settings", assim como desativar a compatibilidade com o Android TV caso contrário não seria possível criar o apk da aplicação.

O Vuforia possui uma câmara especial (ARCamera) que se encontra previamente preparada para realizar as operações de visão computacional necessárias à implementação da realidade aumentada. A API do Vuforia não é aberta, portanto é desconhecido o algoritmo usado para a detecção de imagens (apenas é referido que usa um detetor de características naturais). Nestas configurações é necessário inserir uma chave que se obtêm através do portal de programador do Vuforia, sem esta chave a aplicação não irá funcionar. Nas configurações do Vuforia também é necessário ativar a base de dados que contém as imagens de treino que foi importada previamente.

No passo posterior foi necessário adicionar os ImageTargets, é necessário uma ImageTarget (imagem a ser detetada pela aplicação) para cada imagem de treino.

A ImageTarget encontra-se na pasta Prefabs do Vuforia. Este objeto representa a imagem que funcionará como imagem a ser detetada.

## 4.2.1 Image Targets

Para a criação de uma Image Target foram efetuados os seguintes passos:

- A imagem deve ser comprimida se o seu tamanho for superior a 2 MB.
- Efetuar o carregamento das imagens no portal de programador do Vuforia
- Ao efetuar o carregamento da imagem é necessário escolher um nome e uma largura, em que o nome inserido é o nome do monumento e lado de que foi tirada a foto. O valor da largura original assumido pelo Vuforia não foi alterado.
- Após o carregamento o Vuforia dá uma avaliação numa escala de 1 a 5 estrelas da qualidade da foto. Se a foto possuir menos de 3 estrelas é retirada da base de dados.
- Após o carregamento de todas as imagens foi necessário descarregar a base de dados em formato .unitypackage para que a base de dados seja compatível com o Unity 3D.

O Vuforia só aceita imagens com tamanho igual ou inferior a 2 MB, jpg ou png. A maioria das imagens obtidas para a criação deste protótipo tinha um tamanho superior ao que o Vuforia aceita, para tal as imagens foram comprimidas com o auxílio do RIOT (Radical Image Optimization Tool). O RIOT permite, além de comprimir as imagens alterar o tipo da imagem sem que esta perca qualidade. Foram testadas 3 imagens com cerca de 2 MB e essas mesmas comprimidas com um fator de compressão de cerca de 30%(cerca de 500 KB) e a aplicação conseguiu detetar o monumento em ambos os casos.

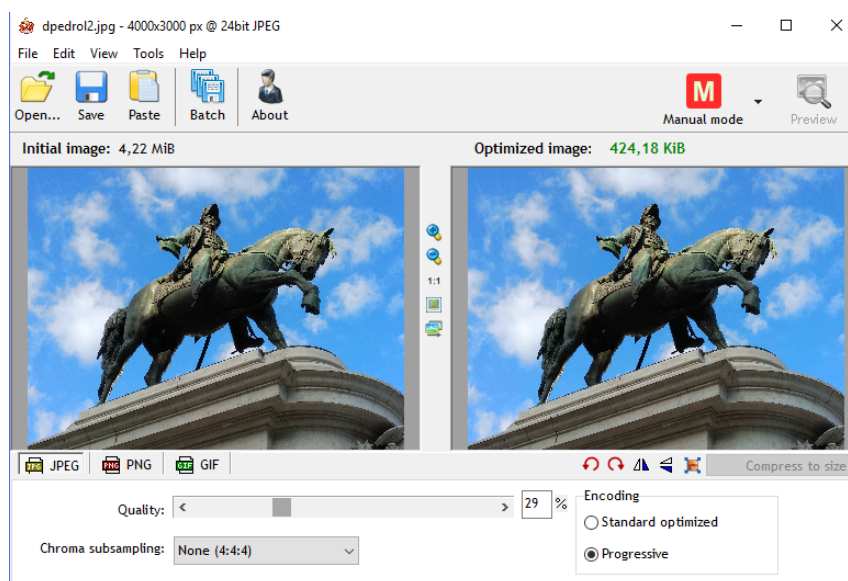


Figura 4.2: Exemplo da aplicação RIOT e do seu método de compressão

---

Ao seleccionar a Image Target no Unity, no inspetor a escala do objeto deve ter 50 nos 3 eixos, pois esse valor corresponde à largura escolhida ao inserir a imagem na base da dados. Com o ImageTarget seleccionado e ainda na janela Inspector vamos associar a imagem “cmpv1” que se encontra na base de dados, a qual foi descarregada e instalada previamente. Foram criados tantos ImageTargets quantas as imagens de treino.

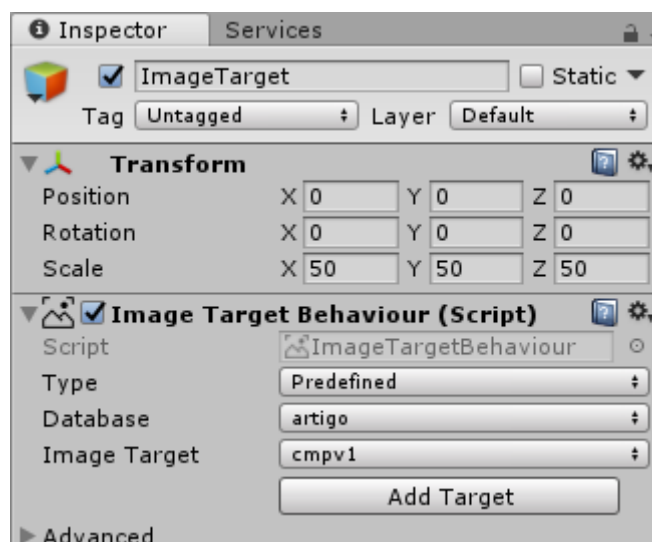


Figura 4.3: Inspetor do Image Target.

A secção seguinte demonstra como foi criados os objetos de realidade aumentada.

## 4.2.2 Criação do Objeto de Realidade Aumentada

Ficou definido que iria ser apresentado texto no ecrã do aparelho móvel em realidade aumentada, texto esse que irá conter em o nome do monumento. Para criar o objeto de texto foi utilizado uma extensão da loja do Unity 3D, o TextMesh Pro. O TextMesh Pro é de código-fonte aberto e oferece um melhor controlo sobre a formatação de texto.

Em primeiro lugar foi necessário importar o TextMesh Pro para o projeto, de seguida é necessário criar um objeto 3D TextMesh Pro no ImageTarget e configurar o texto no inspetor. No inspetor em primeira instância coloca-se o texto que irá aparecer naquele monumento, escolhe-se o tamanho de letra mais adequado. Após vários testes optamos por colocar o tamanho a 5” devido à quantidade de texto inserida. Caso a quantidade de texto fosse maior a letra tinha que ter um tamanho inferior ou dividir a realidade aumentada em páginas.

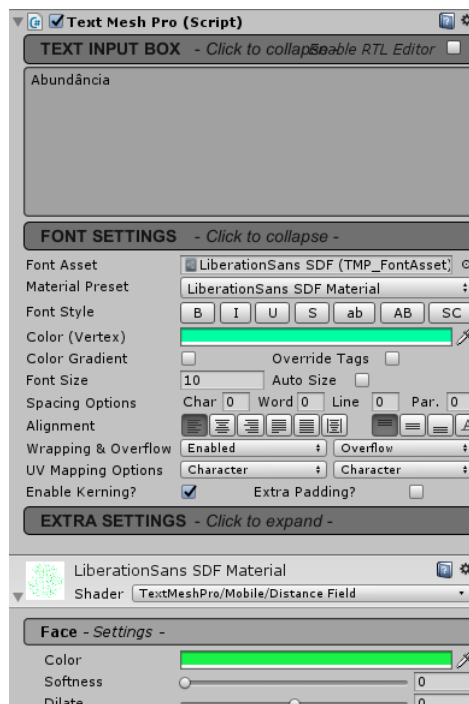


Figura 4.4: Inspetor do texto.

Após a inserção do texto foi necessário decidir onde este irá aparecer no monumento. Para que seja visível a rotação do texto no eixo X tem de ser de 90 e para que este apareça na totalidade no ecrã do utilizador a escala deve ser entre 0.2 e 0.08. Se for necessário colocar o texto no lugar específico do monumento basta alterar os campos Pos X, Pos Y e Pos Z.

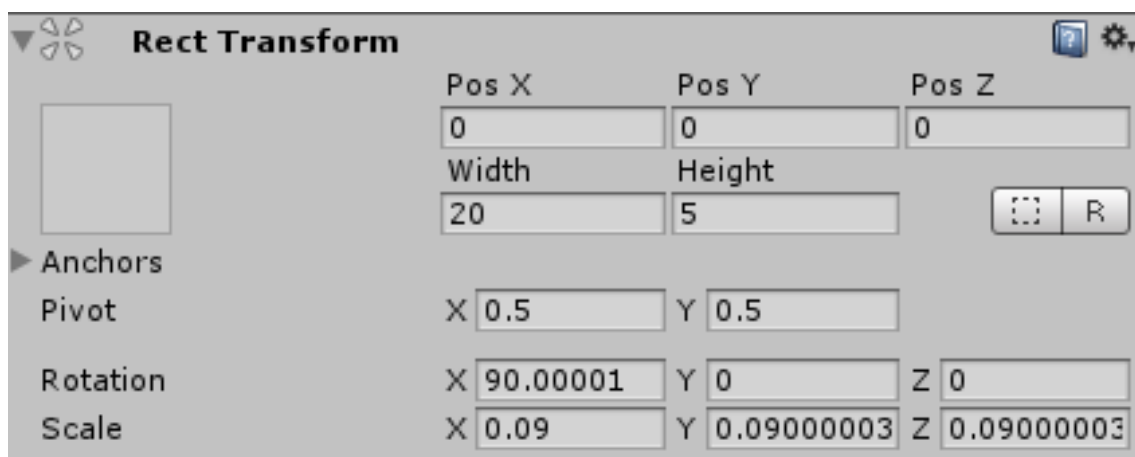


Figura 4.5: Local no inspetor onde se define a posição do texto no monumento.

Para melhorar a qualidade do texto e para que este seja visível em qualquer tipo de condição atmosférica é necessário definir uma cor de preenchimento. O TextMesh

---

Pro permite alterar vários componentes do texto (Face, Outline, Underlay, Bevel, Lighting, BumpMap, EnvMap, Glow), o que torna mais viável a sua utilização em todas as condições atmosféricas.

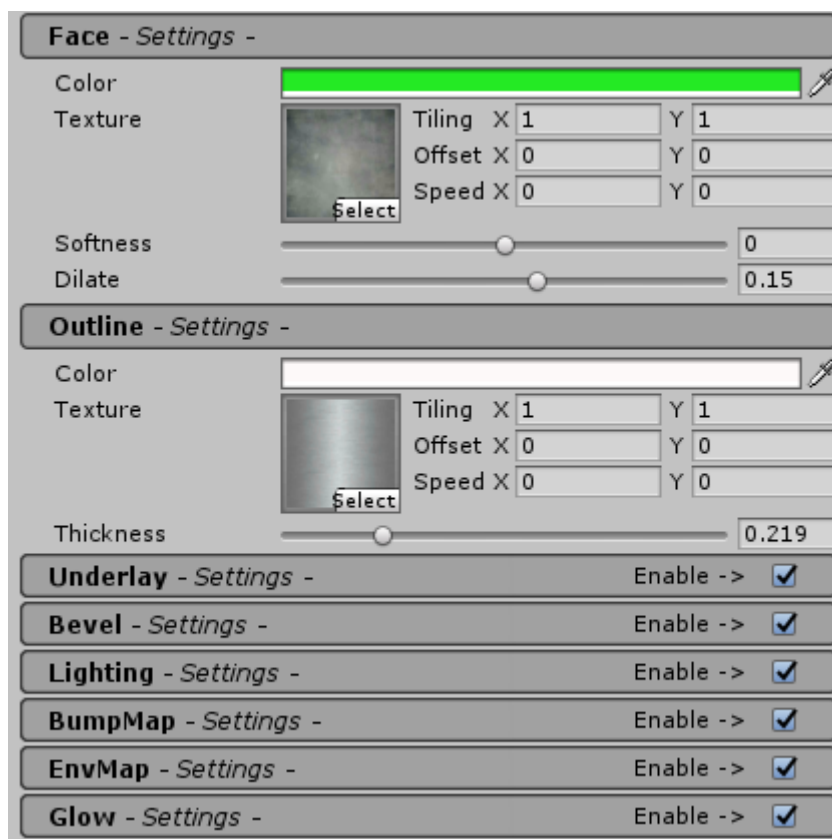


Figura 4.6: As diferentes opções de edição do texto 3D

Foi escolhida a cor verde metálico para o texto e preto para o contorno do texto por estas não se confundirem com as cores do céu e dos monumentos, assim como é possível ver com clareza quando o sol irradiava no ecrã do aparelho móvel.

Após este processo estar concluído foi criado o apk para ser instalado no aparelho Android.

### 4.3 Considerações Finais

O capítulo teve por finalidade expor o modo como os diferentes módulos do sistema foram implementados passo a passo.

A secção sobre visão computacional mostrou uma das formas em que é possível detetar pontos chave de um monumento e comparar com outro monumento e determinar se são o mesmo monumento ou se são diferentes. Estes algoritmos têm a finalidade de serem testados em comparação com o Vuforia de modo a determinar se são uma boa alternativa.

---

A secção de realidade aumentada descreveu como funciona o Vuforia e como este deve ser usado em conjunto com o Unity 3D de modo a criar uma aplicação de realidade aumentada móvel.

A secção Unity 3D demonstra a implementação da aplicação passo a passo, particularmente como se deve criar uma Image Target e como melhorar a sua utilização e também mostra como são criados os objetos de realidade aumentada usada o TextMesh Pro, demonstrando passo a passo a sua implementação.

# Capítulo 5

## Testes e Avaliação

Este capítulo descreve os testes e a avaliação do sistema, tendo em vista a eficácia do mesmo em satisfazer os casos de uso referidos no capítulo 3.

Todos os testes foram realizados no meio exterior e em edifícios reais na cidade do Portol.

Os algoritmos de visão computacional foram testados num só equipamento com o JetBrains PyCharm, e a aplicação móvel foi testada num só aparelho Android.

As especificações do aparelho Android são as seguintes:

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Memória	64GB
Sistema Operativo	Android 8
Processador	Octa Core 2.0 GHz
Câmara Dupla	12.0 MP + 12.0 MP

Tabela 5.1: Especificações do aparelho Android

Tendo em conta as características do aparelho usado nos testes pode-se concluir que se os resultados forem positivos, o mesmo irá ocorrer na maioria dos aparelhos móveis no mercado, pois grande parte dos aparelhos do mercado tem especificações semelhantes.

### 5.1 Caso de Uso 1: Algoritmo de Detecção

Foi criado um algoritmo para perceber o método como é detetado o monumento e como é possível comparar com outros monumentos e determinar se aquela imagem pertence ou não àquele conjunto de treino.

Para tal foi usada a biblioteca OpenCV e o algoritmo ORB. Para considerar que uma imagem de um monumento pertence ao conjunto de imagens de treino foi considerado

---

que tinham que existir entre essa imagem e pelo menos uma do conjunto de treino 25 igualdades de pontos chave. Este número foi obtido por tentativa e erro testando vários valores de modo a que a taxa de erro da aplicação fosse a menor possível (cerca de 0,5%). No final foi possível comparar uma imagem com um conjunto de treino e determinar se essa imagem pertencia ao conjunto de treino ou não.

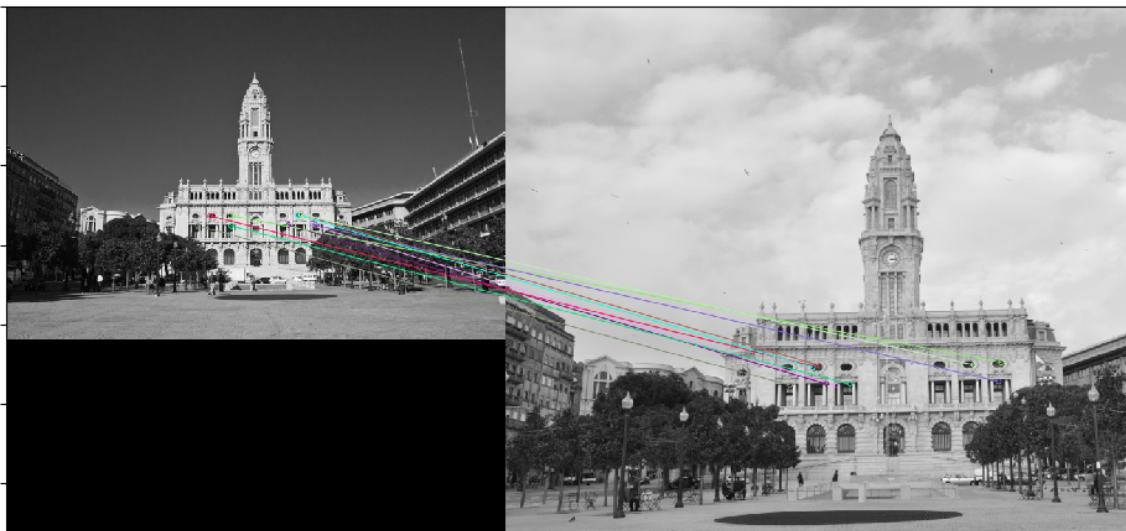


Figura 5.1: Os pontos chave comuns entre a imagem a testar (esquerda) e uma imagem do conjunto de treino (direita).

A figura 5.1 mostra as correspondências entre os pontos chave de ambas as imagens.



Figura 5.2: Não ocorreram ligações entre as imagens apesar de serem o mesmo monumento.

Como é possível verificar na figura acima a luminosidade afeta a deteção, pois mesmo sendo o mesmo monumento não existem correspondências.

```
C:\Python36-32\python.exe "C:/Users/José/Desktop/UFP/2 ano/Visão Computacional/orb (1).py"  
Img: 2.jpg matches with test image  
Img: 3.jpg matches with test image  
Img: 4.jpg doesn't match with test image  
Img: 5.jpg doesn't match with test image  
Img: 6.jpg doesn't match with test image
```

Figura 5.3: Resultado da comparação do conjunto de treino com a imagem de teste.

Após este teste foi efetuado um novo teste, que consistia em comparar o mesmo conjunto de treino com uma imagem que pertencia a esse conjunto mas com uma luminosidade diferente. Foi possível verificar que nem sempre o algoritmo conseguia detetar os mesmos pontos-chave que detetara anteriormente e foi possível concluir que a luminosidade afeta a deteção de edifícios pois altera os pontos chave retirados pelos algoritmos de visão computacional. É possível concluir que os algoritmos já existentes de visão computacional conseguem detetar e comparar edifícios do meio exterior mas em condições de luminosidade favoráveis.

## 5.2 Caso de Uso 2: Deteção de edifícios

Como foi possível verificar no caso de uso 1 a luminosidade afeta a deteção de edifícios. Para contornar este problema foi usada uma aplicação para aparelhos móveis, o Lux Light Meter, para medir a luminosidade em Lux (é a unidade de iluminância). Após vários testes de tentativa erro foi considerado que para cada lado do edifício seriam necessárias cerca de 5 imagens de treino (cada imagem de treino obtida com uma iluminância de 8200, 16400, 24600 e 32800 Lux). Estes valores foram determinados após obter várias imagens de treino durante um dia com vários valores de luminosidade. Sendo necessário mais uma imagem de treino em que o edifício se encontre sem luz solar a incidir na sua superfície, deste modo a taxa de erro e de falha de deteção é quase inexistente para que o edifício seja detetável na sombra ou com nevoeiro.

Os testes com o algoritmo de visão computacional consistiram em criar 5 imagens de treino para cada lado do edifício (com níveis de brilho de -25, -50, 0, 25, 50).

Após realizar os testes em simultâneo das duas aplicações foi possível concluir que a aplicação com as imagens de treino obtidas pelo algoritmo tiveram um pior desempenho do que as obtidas em luminosidades diferentes como se pode comprovar na tabela seguinte. Estes resultados devem-se possivelmente ao facto de a alteração do brilho das imagens fazer com que estas não tenham os mesmos pontos chave logo não existe correspondência com o conjunto de treino.

Sem esta aplicação não seria possível medir a iluminância, e como tal não era possível determinar o número de imagens de treino necessárias para que a deteção em tempo real

---

fosse o mais precisa possível.

Tabela 5.2: Tabela Comparativa das duas abordagens que mostra em que casos foi possível detetar o monumento.

<b>Monumento</b>	<b>Alteração do brilho</b>	<b>Imagens obtidas no local</b>	<b>Iluminância (lux)</b>
Livraria Lello		✓	32157
Almeida Garrett			15837
Abundância		✓	36728
Menina Nua	✓	✓	24493
O Ardina	✓	✓	1554
D.Pedro IV		✓	13264
C.M.P			16759
Torre do Clérigos		✓	4174
Igreja do Carmo	✓	✓	11316
Tribunal da Relação do Porto		✓	9864
Rosália de Castro		✓	12456
Casa da Música	✓	✓	18152
Sede Vodafone	✓	✓	3663
Monumento a Raul Brandão	✓	✓	32768

A tabela anterior compara as duas abordagens testadas e em que valor de iluminância foi efetuado o teste. É possível comprovar que nas imagens em que foi alterado o brilho o resultado é pior do que nas imagens que foram obtidas no local. Estes resultados devem-se às imagens obtidas pelo algoritmo serem insuficientes e se fossem usadas mais imagens (aumentar os níveis de luminosidade a testar) os resultados provavelmente seriam melhores.

Tabela 5.3: Número de imagens de treino necessárias para cada monumento.

<b>Monumento</b>	<b>Tipo de Monumento</b>	<b>Lados</b>	<b>Imagens de Treino</b>
Almeida Garrett	Estátua	1	4
Abundância	Estátua	1	4
Menina Nua	Estátua	2	8
O Ardina	Estátua	1	2*
Monumento a Raul Bradão	Estátua	1	5
Rosália de Castro	Estátua	1	4*
D.Pedro IV	Estátua de Grandes Dimensões	4	16
C.M.P	Edifício de Grandes Dimensões	2	8
Torre do Clérigos	Edifício de Grandes Dimensões	2	8
Tribunal da Relação do Porto	Edifício de Grandes Dimensões	2	8
Casa da Música	Edifício de Grandes Dimensões	4	20
Sede Vodafone	Edifício de Grandes Dimensões	1	5
Livraria Lello	Edifício	1	4
Igreja do Carmo	Edifício	2	6*

A tabela comparativa das imagens de treino necessárias mostra que em três casos foram necessárias menos imagens de treino. Isto deve-se ao facto de estes monumentos se encontrarem em locais com condições especiais. O Ardina encontra-se debaixo de uma árvore logo a luminosidade é sempre baixa. Uma das laterais da Igreja do Carmo é constituída por azulejos que estão maioritariamente com baixo nível de luminosidade por se encontrarem maioritariamente a sombra. A Rosália de Castro encontra-se num local com vegetação o que também influencia o brilho pois encontra-se maioritariamente à sombra, logo necessita de menos imagens de treino.

### **5.3 Caso de Uso 3: Objeto de Realidade Aumentada**

Neste caso de uso foi definido que a realidade aumentada apresentada ao utilizador iria conter o nome do monumento detetado e que teria que ser visível durante o dia. Foi usado a opção de texto oferecida pelo Unity 3D porém essa funcionalidade era pouco visível no meio exterior portanto foi usado o TextMesh Pro. De modo a testar a sua eficácia foi testado em simultâneo com o caso de uso anterior e em todos os monumentos a realidade aumentada foi sempre visível com um nível de qualidade muito elevado.



Figura 5.4: Resultado da aplicação que conseguiu detetar a estátua em 2 lados diferentes.

A aplicação também foi testada no dia 20 de Outubro entre as 17:30 e as 17:45 com uma luminosidade de cerca de 11000 lux por mais duas pessoas em aparelhos móveis diferentes (Samsung Galaxy S8 e Huawei P20 Lite) em que a única indicação fornecida é que tinham que iniciar a aplicação e apontar o aparelho móvel para o monumento, de modo a verificar se os resultados iriam ser idênticos. Em ambos os testes a aplicação funcionou como esperado tendo os resultados sido os mesmos nos 3 aparelhos móveis, sendo os testes efectuados em cinco monumentos diferentes (Câmara Municipal do Porto, Almeida Garrett, Menina Nua, Abundância, D. Pedro IV) em que todos foram detetados pelos três aparelhos móveis excepto a Câmara Municipal do Porto.

### 5.3.1 Discussão

A escolha dos casos de uso teve como foco cumprir os objetivos propostos.

O primeiro caso de uso mostrou os problemas que existem na área da realidade aumentada no exterior sem o uso do GPS, o que demonstra que sem um algoritmo capaz de ultrapassar o problema da luminosidade a criação de uma aplicação com as condições do equipamento propostas torna-se um obstáculo difícil de ultrapassar.

O algoritmo de alteração de brilho mostrou não ser uma mais valia no desenvolvimento deste trabalho, pois teve uma taxa de erro muito elevada, porém com um maior número de imagens de treino (com diferentes níveis de brilho) os resultados podem ser mais satisfatórios se forem usadas mais imagens de treino com diferentes níveis de brilho. Apesar dos resultados obtidos se a aplicação possuir poucos monumentos ou se o tempo para o desenvolvimento da aplicação for longo é uma boa opção criar uma aplicação deste género usando apenas imagens de treino obtidas no local, pois a obtenção de imagens de treino será menos complicada.

No último caso de uso referente à qualidade da realidade aumentada foi demonstrado

---

que é possível criar texto em 3D para aplicações de realidade aumentada em aparelhos móveis e que em qualquer condição meteorológica esse texto é sempre visível com boa qualidade. Ao ser utilizada por outros utilizadores foi de fácil percepção e tiveram uma agradável experiência, pois acharam a aplicação simples e fácil de usar. Em termos de aplicações de realidade aumentada não tinham qualquer experiência pois foi a primeira vez que experimentaram esta tecnologia.

Foi possível cumprir todos os requisitos propostos e criar uma aplicação de realidade aumentada para aparelhos móveis usando apenas a câmara do aparelho porém o seu desenvolvimento pode ser demorado devido à obtenção das imagens de treino com as luminosidades pretendidas.

# Capítulo 6

## Conclusão

### 6.1 Resultados

No início deste trabalho foram propostos 4 objetivos:

- Criar uma aplicação de realidade aumentada para Android para o meio exterior de auxílio aos turistas.
- Analisar algoritmos de deteção.
- Analisar a sua viabilidade.

Dos objetivos acima foi possível criar uma aplicação Android para o meio exterior e esta funciona em qualquer tipo de luminosidade exceto à noite. Foram analisados algoritmos de deteção entre eles o ORB , SIFT e SURF concluindo que o ORB era a melhor opção pois é de código-fonte aberto e tem resultados bastante satisfatórios comparado com o SIFT e o SURF. Foi analisada uma extensão da loja do Unity 3D, o TextMesh Pro que comparado com a opção já existente do Unity 3D é mais visível no meio exterior. Foi provado que é possível criar uma aplicação de realidade aumentada para o meio exterior usando a câmara do aparelho móvel para detetar monumentos porém não é viável o seu desenvolvimento comparada com uma aplicação sem marcadores. Para a obtenção de imagens de treino (marcadores) é necessário obter cerca de cinco imagens para cada perspetiva do monumento em diferentes condições de luminosidade sendo necessário esperar pela luminosidade desejada para obter a imagem de treino.

Durante a elaboração deste trabalho foram realizadas as seguintes tarefas:

- Experimentação de algoritmos de deteção, utilizando o OpenCV.
- Análise da luminosidade incidente nos monumentos de modo a criar um conjunto de treino.

- 
- Comparação de imagens obtidas localmente com imagens obtidas através de um algoritmo de alteração de brilho.
  - Análise ao número de imagens de treino necessárias para que a aplicação funcionasse com o mínimo de erros no meio exterior.

No final deste trabalho obteve-se uma aplicação que pode ser usada para auxiliar os turistas na cidade do Porto.

## **6.2 Trabalho Futuro**

Em termos de trabalho futuro desenvolver o objecto de realidade aumentada em termos de qualidade e utilidade (conter hiperligação para uma página com informação sobre o monumento, horário de abertura).

Outra mais valia seria o melhoramento do algoritmo de alteração do brilho de modo a que este consiga ter resultados idênticos às imagens obtidas localmente.

Por fim criar a possibilidade de a aplicação estar disponível em vários idiomas.

## **6.3 Publicações**

Maia Torres, J., & Gouveia, F. (2018). A Mobile Augmented Reality framework for outdoor applications. ISREIE 2018, 1–6, Arad, Romania, 2018.

# Anexo A

Em anexo encontram-se imagens dos testes realizados e os resultados obtidos.



A. 1: O Ardina



A. 2: Abundância



A. 3: Igreja do Carmo



A. 4: Igreja do Carmo



A. 5: Casa da Música



A. 6: Torre dos Clérigos



A. 7: Torre dos Clérigos



A. 8: Almeida Garrett



A. 9: Livraria Lello



A. 10: Menina Nua



A. 11: D. Pedro IV



A. 12: D. Pedro IV



A. 13: Monumento a Raul Brandão



A. 14: Rosália de Castro



A. 15: Tribunal da Relação do Porto



A. 16: Vodafone

# Referências

- Yoon-seop Chang, Seong-ho Lee, and Joonmyun Cho. Augmented Reality Services of Photos and Videos from Filming Sites Using Their Shooting Locations and Attitudes. pages 656–660, 2018.
- S. Chapagain. Application Development with VUFORIA and UNITY 3D. (April), 2018.
- Namho Chung, Hyunae Lee, Jin-young Kim, and Chulmo Koo. The Role of Augmented Reality for Experience-Influenced Environments : The Case of Cultural Heritage Tourism in Korea. 2018. doi: 10.1177/0047287517708255.
- Rogério Colpani. Realidade Aumentada e Gamificação na Educação : uma aplicação para auxiliar no processo de aprendizagem de alunos com deficiência intelectual. 24: 83–102, 2016. doi: 10.5753/RBIE.2016.24.01.83.
- Bruno Alves de Carvalho. Modelo de desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada para empacotamento e distribuição no formato de objetos de aprendizagem. 2016.
- F Fritz, A Susperregui, and M T Linaza. Enhancing Cultural Tourism experiences with Augmented Reality Technologies. 2005.
- Guzman. Augmented Reality User Interface Analysis in Mobile Devices. 2014.
- Paul S. Haynes and Eckart Lange. In-situ flood visualisation using mobile AR. 2016 *IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2016 - Proceedings*, pages 243–244, 2016. doi: 10.1109/3DUI.2016.7460061.
- S Haysom. Here’s how AR could help you with your weekly grocery shop, 2018. URL <https://mashable.com/2018/04/05/artificial-reality-retail-shopping-tool/?europe=true{#}J9zP3zvksPq5>.
- A. Colmenar J. Cubillo, S. Martín, M. Castro, G. Díaz. A Learning Environment for Augmented Reality Mobile Learning. *Word Journal Of The International Linguistic Association*, pages 51–58, 2014.

- Tobias Langlotz, Claus Degenhofer, Alessandro Mulloni, Gerhard Schall, Gerhard Reitmayr, and Dieter Schmalstieg. Computers & Graphics Robust detection and tracking of annotations for outdoor augmented reality browsing. *Computers and Graphics*, 35(4):831–840, 2011. ISSN 0097-8493. doi: 10.1016/j.cag.2011.04.004. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2011.04.004>.
- W Magdalena and Albina Mo. CityGuideTour Toruń – tourist application using augmented reality. 66(2):317–331, 2017. doi: 10.1515/geocart-2017-0018.
- Hernán Martínez. Augmented Reality using mobile technology with real time object rendering data based for vote counting . A case in Santa Fe elections 2017. 2017.
- A. Marto. Realidade Aumentada Móvel num Contexto de Herança Cultural. 2017.
- N. Nazri and D. Rambli. Current limitations and opportunities in mobile augmented reality applications. *Computer and Information Sciences (ICCOINS), 2014 International Conference on*, pages 1–4, 2014. doi: 10.1109/ICCOINS.2014.6868425.
- Sam Nikobonyadrad. Augmented Reality for Product Packaging : An Android Augmented Reality App. 2012. URL <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?searchId=3&pid=diva2:536726>.
- G. Nithin and Reshmi S. Bhooshan. ARTAR-Artistic Augmented Reality, 2016. ISSN 22120173. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212017316302730>.
- Anjan Kumar. Paul and Jong Sou Park. Multiclass object recognition using smart phone and cloud computing for augmented reality and video surveillance applications. *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, pages 1–6, 2013. doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572719. URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6572719/>.
- Francisco Paulo, Magalhães Simões, João Paulo, Monte Lima, and Veronica Teichrieb. Realidade Aumentada sem Marcadores Baseada na Amostragem de Pontos em Realidade Aumentada sem Marcadores Baseada na Amostragem de Pontos em Arestas. *Structural Modeling for SLAM Systems*, (January), 2008.
- Ethan Rublee and Gary Bradski. ORB : an efficient alternative to SIFT or SURF. 2012.
- Siti Salmi, Mohd Fairuz, Kok Wai, and Charlotte L Oskam. Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197(February):659–668, 2015. ISSN 1877-0428. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.07.054. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.054>.

- Helia Sharif and Matthew Hölzel. A comparison of prefilters in ORB-based object detection. *Pattern Recognition Letters*, 93:1339–1351, 2017. ISSN 01678655. doi: 10.1016/j.patrec.2016.11.007.
- Zhenghao Shi, Hao Wang, Wei Wei, Xia Zheng, Minghua Zhao, Jinwei Zhao, and Yinghui Wang. Novel individual location recommendation with mobile based on augmented reality. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(7): 155014771665726, 2016. ISSN 1550-1477. doi: 10.1177/1550147716657266. URL <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1550147716657266>.
- Raul Aguirre Shiguemoto. Viabilidade na Utilização da Realidade Aumentada Como Ferramenta Publicitaria. *Universidade Paranaense (Unipar)*, 2010.
- Lídia J Oliveira L Silva. Potencialidades dos serviços móveis de Realidade Aumentada aplicados ao Turismo. *8º Congresso LUSOCOM*, pages 2296–2314, 2009.
- Hemendra Singh. What is Augmented Reality? – Types of AR and Future of Augmented Reality, 2018. URL <https://dev.to/theninehertz/what-is-augmented-reality--future-of-augmented-reality--1en0>.
- André Tavares. Descritores de Imagem. pages 1–5, 2014.
- Alex Ufkes and Mark Fiala. A Markerless Augmented Reality System for Mobile Devices. *2013 International Conference on Computer and Robot Vision A*, pages 226–233, 2013. doi: 10.1109/CRV.2013.51.
- Freek Uijtdewilligen. A framework for context-aware applications using augmented reality:” ”A train station navigation proof-of-concept on Google Android”. *University of Twente*, page 96, 2010. URL <http://www.citeulike.org/user/maram{ }akram/article/6719920>.
- Cheng Xiao and Zhang Lifeng. Implementation of mobile augmented reality based on Vuforia and Rawajali. *2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*, pages 912–915, 2014. ISSN 23270594. doi: 10.1109/ICSESS.2014.6933713. URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6933713/>.