

MESTRADO
MULTIMÉDIA - ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS

Realidade Aumentada Móvel num Contexto de Herança Cultural

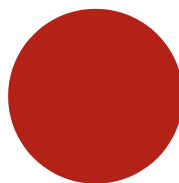
Anabela Gonçalves Rodrigues Marto

M

2017

FACULDADES PARTICIPANTES:

**FACULDADE DE ENGENHARIA
FACULDADE DE BELAS ARTES
FACULDADE DE CIÊNCIAS
FACULDADE DE ECONOMIA
FACULDADE DE LETRAS**





Realidade Aumentada Móvel num Contexto de Herança Cultural

Anabela Gonçalves Rodrigues Marto

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Orientador: A. Augusto de Sousa (Professor Associado – DEI, FEUP)

Coorientador: Alexandrino José Marques Gonçalves (Professor Adjunto – DEI, ESTG-IPLeiria)

Junho de 2017

© Anabela Gonçalves Rodrigues Marto, 2017

Realidade Aumentada Móvel num Contexto de Herança Cultural

Anabela Gonçalves Rodrigues Marto

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Rui Pedro Amaral Rodrigues (Professor Auxiliar – DEI, FEUP)

Vogal Externo: Miguel Ângelo Correia de Melo (Assistente de Investigação – INESC TEC)

Orientador: A. Augusto de Sousa (Professor Associado – DEI, FEUP)

Ao meu pai.

Resumo

A realidade aumentada tem um elevado potencial de utilização nas mais diversas áreas de atuação, nomeadamente, em contextos de herança cultural onde torna possível exibir, *in loco*, elementos virtuais que complementam o cenário real que envolve o utilizador. A par da constante e natural evolução tecnológica, diferentes formas de experienciar esta tecnologia têm sido exploradas, possibilitando uma maior democratização do saber ao disponibilizar, junto do utilizador comum, acesso a uma tecnologia de utilização, até há bem pouco tempo, bastante limitada, particularmente em locais públicos.

A atual oferta de diferentes tecnologias e formas de implementar sistemas de realidade aumentada, possibilitam uma utilização alargada da tecnologia, mas, dependendo do propósito de cada utilização, é desafiante, a quem desenvolve estes sistemas, conseguir identificar qual a solução mais adequada. A investigação apresentada nesta dissertação pretende avaliar diferentes formas de implementação sistemas de realidade aumentada móvel – com recurso a um *smartphone* – em ruínas romanas e avaliar o seu impacto junto dos visitantes desse espaço. Assim, neste estudo, são implementados protótipos de realidade aumentada com base em diferentes técnicas e com recurso a diferentes ferramentas, cuja avaliação tem em vista a identificação de uma solução a ser implementada num contexto de herança cultural. Tendo como caso de estudo as ruínas romanas afetas ao Museu Monográfico de Conimbriga, tendo o protótipo final desenvolvido nesta investigação sido testado e avaliado *in-situ*.

Palavras-chave:

Realidade aumentada móvel, tecnologias para realidade aumentada, herança cultural

Abstract

The use of augmented reality systems has a great potential of applications in several areas in a cultural heritage context where it has become possible to display, *in loco*, virtual elements which complement the user's real scenario. Due to technological advances, differentiated ways of experience this technology has been explored with this technology, providing to any common user, the access to this technology, and until recently, quite limited, especially in public locations.

Currently, several technologies and ways of implementations are possible to accomplish an augmented reality system, but, regarding to the main purpose of each project, it has become a true challenge for developers to identify which solution achieves the best results. The research presented in this dissertation intends to evaluate different ways of implementing mobile augmented reality systems, applicable to ruins, and evaluate its impact along with their visitors. Thereby, this research includes the implementation of several augmented reality applications, regarding to the several methods available to develop this technology, intending to identify a solution to implement in a cultural heritage context. The case study for this project are the roman ruins of the Museu Monográfico de Conimbriga and the final prototype was tested and evaluated *in-situ*.

Keywords:

Mobile augmented reality, technologies for augmented reality, cultural heritage

Agradecimentos

À mui nobre Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela disponibilização de todas as condições para a minha formação académica.

Aos meus orientadores, Professor António Augusto de Sousa (FEUP) e Professor Alexandrino Gonçalves (ESTG – IPEiria), pela distinta orientação, sugestões e correções, disponibilidade, confiança, amizade e motivação que me transmitiram para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Nuno Rodrigues (ESTG – IPEiria), ao Professor Henrique Almeida (ESTG – IPEiria) e ao Professor Luciano Moreira (FEUP), pelo auxílio dedicado na elaboração e revisão do presente documento.

Ao Doutor Telmo Adão (UTAD) e ao Doutor Luís Pádua (UTAD), pela disponibilidade e colaboração prestada relativa à investigação afeta a esta dissertação.

Ao Doutor Virgílio Hipólito Correia que me recebeu, no Museu Monográfico de Conimbriga, de braços abertos, pela disponibilidade e abertura em colaborar com este projeto de investigação. Ao Doutor Humberto Rendeiro, ao Engenheiro Paulo Alves e ao Paulo Marques, por todo o apoio prestado, tanto a nível psicológico – na motivação – como a nível físico – a respeito da montagem de toda a logística necessária para testar este projeto nas ruínas de Conimbriga.

À Elodie Amaro, à Alison Kurley, ao Dave Kurley, à Bruna Silva e à Inês Silva, pela amizade e pela colaboração na realização dos questionários e dos testes-piloto.

Aos meus colegas de curso, atualmente amigos, pela amizade e espírito de entejuda constante.

À minha mãe, pela confiança e apoio dedicado ao longo deste percurso.

Aos meus amigos, pela amizade e compreensão prestada em todos os momentos.

Por fim, a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

A todos, um bem-haja!

Anabela Gonçalves Rodrigues Marto

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento da Investigação	2
1.2 Enquadramento do Projeto.....	3
1.3 Identificação dos Problemas	4
1.3.1 Técnicas de Realidade Aumentada.....	5
1.3.2 Ferramentas para Implementação de Realidade Aumentada.....	6
1.3.3 Outros Desafios na Realidade Aumentada	6
1.3.4 Objetivos de Investigação.....	7
1.4 Metodologia de Investigação	8
1.5 Contribuições desta Dissertação	9
1.6 Estrutura do Documento	9
2. Realidade Aumentada e Herança Cultural.....	11
2.1 Realidade Aumentada.....	11
2.2 Etapas da Realidade Aumentada.....	13
2.3 Técnicas em Realidade Aumentada Móvel.....	14
2.3.1 Técnicas de Localização para Aquisição de Imagem e Tracking	15
2.3.2 Análise das Técnicas de Localização e de Tracking.....	17
2.4 Tecnologias para Implementação de Realidade Aumentada	19
2.4.1 Características dos SKDs.....	21
2.5 Avaliação de Sistemas de Realidade Aumentada	23
2.6 Os Utilizadores e a Realidade Aumentada.....	25
2.7 Trabalho Relacionado.....	26
2.7.1 Tracking Baseado em Edifícios – 2004.....	28
2.7.2 Projeto «House of Olbrich» - 2010.....	28
2.7.3 Projeto «XMAR: Piazza dei Miracoli» - 2012	29
2.7.4 Projeto «MixAR» - 2015	30
2.7.5 Aplicações Disponíveis para os Utilizadores.....	30
2.8 Síntese do Estado da Arte	33
3. Desenvolvimento de Sistemas de RA	35
3.1 Implementação dos Protótipos.....	35
3.1.1 Considerações Gerais	35

3.1.2	Protótipo Baseado no SDK Vuforia	42
3.1.3	Protótipo Baseado no SDK Kudan	47
3.1.4	Protótipo Baseado no SDK Wikitude	50
3.1.5	Resultados dos Protótipos Implementados	52
3.1.6	Discussão dos Resultados Obtidos	58
3.2	DinofelisAR: Implementação do Protótipo Final	59
3.2.1	O Modelo Virtual - Forum.....	59
3.2.2	Visualização do Modelo Virtual in-situ.....	62
4.	Recolha de Resultados In-Situ.....	65
4.1	Sobre o Local	65
4.2	Testes Efetuados	66
4.2.1	Testes-Piloto	67
4.2.2	Testes com Utilizadores In-Situ.....	68
4.2.3	Os Participantes	70
4.3	Resultados do Processo Experimental	71
4.3.1	Resultados Afetos ao Interesse dos Participantes	71
4.3.2	Resultados Afetos ao Desempenho da Tecnologia.....	75
4.4	Discussão dos Resultados	79
5.	Conclusões e Trabalho Futuro	81
5.1	Cumprimento dos Objetivos	81
5.2	Trabalho Futuro	83
6.	Referências.....	85
Anexos	91	
Aperfeiçoamento de Sistemas SLAM.....	92	
Listagem de SDKs	93	
Nomenclatura do Protótipo	96	
Documentação Afeta aos Testes com Utilizadores	98	
Questionários	98	
Declarações de Consentimento Informado	107	

Lista de Figuras

Figura 1 – Representação simplificada de <i>Reality-Virtuality Continuum</i> apresentada por Milgram e Kishino em 1994.....	12
Figura 2 – Equipamento utilizado para a experiência de realidade aumentada móvel. Em [A] observamos um utilizador a usar o protótipo do projeto MARS, 1999 (Höllerer, Feiner, Terauchi, Rashid, & Hallaway, 1999) e, em [B], um utilizador a usar o equipamento do projeto <i>Archeoguide</i> , 2001 (Vlahakis <i>et al.</i> , 2001).	27
Figura 3 – <i>Snapshots</i> capturados aquando da utilização: [A] o utilizador aponta o smartphone para o edifício em questão; [B] a informação virtual é sobreposta sobre a imagem real capturada.	29
Figura 4 – Imagem que ilustra a utilização de realidade aumentada do projeto “Augmenting the Historic City: Trade and Merchant’s Life in Ribe”.....	31
Figura 5 – Imagem ilustrativa da utilização da aplicação “The Skin & Bones”.....	31
Figura 6 – Ilustração da utilização da aplicação de RA fornecida pela England's Historic Cities para auxiliar os visitantes nas suas visitas a Bath – The Roman Baths, um dos 12 museus de Inglaterra onde é possível utilizar a aplicação.....	32
Figura 7 – Captura do vídeo promocional do projeto “Clio” onde é possível visualizar imagens transatas relativas ao local em que os utilizadores se encontram.....	32
Figura 8 – Rochas utilizadas para o protótipo de RA cuja aquisição de imagem é feita com base em objetos 3D. Foram utilizadas duas rochas com formatos distintos representadas em [A] e em [B].....	37
Figura 9 – Padrões repetitivos exibem a mesma informação gráfica [A] em diversos pontos impossibilitando uma localização precisa do local a expor a informação virtual. Imagens com irregularidades [B] possibilitam informação suficiente para que os pontos sejam detetados na posição adequada.....	38
Figura 10 – Imagens geradas por computador para serem utilizadas como marcas. A imagem [A] foi identificada como <i>Ar_spot</i> e [B], identificada por <i>Milimeter</i>	39
Figura 11 – Imagem capturada do mundo real utilizada como <i>target</i> para realização dos testes. Esta imagem é identificada como <i>roomESTG</i>	40
Figura 12 – Modelo virtual utilizado para ser sobreposto com o real: <i>Domus</i>	41
Figura 13 – Modelo virtual utilizado para ser sobreposto com o real: cubo.	41

Figura 14 – Inclusão dos modelos virtuais 3D nos respectivos <i>targets</i> , utilizando o <i>Wikitude SDK</i> .	42
Figura 15 – <i>Object Scanning Target</i> fornecido pelo <i>Vuforia</i> para digitalização de objetos. A colocação do objeto é feita no quadrante positivo do referencial representado.	43
Figura 16 – Digitalização de um objeto (uma rocha) com o <i>Vuforia Object Scanner</i> . Os polígonos representados a verde correspondem à identificação de pontos característicos suficientes para reconhecimento nessa zona do objeto.	44
Figura 17 – A barra verde translúcida indica-nos que o objeto foi corretamente reconhecido e a posição da barra corresponde ao centro do referencial do <i>Object Scanning Target</i> .	44
Figura 18 – Imagem utilizada como <i>target</i> com uma avaliação de 5 estrelas. A amarelo é possível observar os pontos característicos da imagem que facilitam o seu reconhecimento.	45
Figura 19 – Ilustração de uma experiência de RA com o protótipo implementado com o <i>Vuforia SDK</i> .	47
Figura 20 – Apresentação do <i>Kudan AR Toolkit</i> , para inclusão de imagens 2D que são utilizadas para o momento de aquisição de imagem na experiência de RA.	48
Figura 21 – Experiência de RA com o protótipo implementado com o <i>Kudan SDK</i> .	49
Figura 22 – Ilustração de uma experiência de RA com o protótipo implementado com o <i>Wikitude SDK</i> .	51
Figura 23 – Procedimento adotado para avaliação da escala de alteração de posição.	53
Figura 24 – Representação gráfica referente à oscilação e alteração de posição do modelo virtual, utilizando como marca o objeto 3D e a imagem 2D.	54
Figura 25 – Comparação dos protótipos usando os três SDKs para comparar a oscilação e alteração de posição do modelo virtual quando utilizada como marca uma imagem capturada do ambiente real e uma imagem sintetizada por computador.	55
Figura 26 – Representação da distância mínima para detetar a marca e, conseqüentemente, iniciar a experiência de RA, nas diferentes aplicações implementadas.	56
Figura 27 – Avaliação do comportamento do modelo virtual quanto à sua oscilação e alteração de posição nos diferentes protótipos implementados. Esta avaliação foi feita com luminosidade ideal e condicionada.	57
Figura 28 – Comportamento da aplicação usando o <i>extended tracking</i> do <i>Vuforia</i> , com luminosidade ideal e condicionada.	58
Figura 29 – Modelo virtual do <i>Forum</i> inicial, importado no <i>Unity</i> através do formato de ficheiro <i>.obj</i> .	60
Figura 30 – Adaptação do modelo virtual no <i>Unity</i> : utilização de instâncias para objetos repetidos; conclusão dos elementos que faltavam no modelo inicial e aplicação de cores e texturas.	61
Figura 31 – Adaptação do modelo virtual no <i>Unity</i> : simplificação dos telhados.	61

Figura 32 – Imagem utilizada como marca na aplicação final de RA para testar com utilizadores.	62
Figura 33 – Vista panorâmica sobre a praça do <i>Forum</i> , local escolhido para a realização da experiência.	63
Figura 34 – Destacado a vermelho, com a identificação do número 23, está o <i>Forum</i> enquadrado com a envolvência da cidade romana (imagem retirada de www.conimbriga.pt).	66
Figura 35 – Identificação da posição central do <i>Forum</i> onde a experiência decorreu. O círculo indica o local onde um tripé sustém a folha com a imagem que foi utilizada para testar a aplicação <i>DinofelisAR</i>	66
Figura 36 – Momento em que a aplicação reconhece a imagem em causa e sobrepõe um cubo virtual sobre a imagem reproduzida no ecrã.	68
Figura 37 – Visualização do modelo virtual correspondente ao <i>Forum</i> através da aplicação <i>DinofelisAR</i>	69
Figura 38 – Momento capturado aquando de uma experiência com a aplicação <i>DinofelisAR</i> . ..	69
Figura 39 – Distribuição de participantes organizados por faixa etária.	70
Figura 40 – Representação gráfica referente ao nível de escolaridade dos participantes.....	71
Figura 41 – Representação gráfica das respostas dos participantes quando questionados sobre o motivo principal que os motivou a aceitarem participar na experiência	72
Figura 42 – Representação gráfica relativa ao nível de interesse manifestado pelos participantes em instalar uma aplicação de RA para utilizar na visita às ruínas (eixo vertical), cujas respostas se encontram distribuídas por faixa etária (eixo horizontal).....	73
Figura 43 – Representação percentual da concordância, por parte dos participantes, relativamente ao enriquecimento cultural que as aplicações de RA podem trazer a Conimbriga.....	74
Figura 44 – Representação percentual da concordância, por parte dos participantes, relativamente à possibilidade de aplicações de RA poderem contribuir para um maior número de visitantes às ruínas de Conimbriga.	74
Figura 45 – Comparação das respostas dos participantes relativamente à sua experiência com a tecnologia de RA (eixo horizontal), conjugadas com o nível de concordância com a afirmação de que a referida tecnologia é fácil de utilizar (eixo vertical).	75
Figura 46 – Representação das respostas dos participantes relativamente à oscilação do modelo virtual.	76
Figura 47 – Representação das respostas dos participantes relativamente à perceção da posição do modelo virtual, considerando erros de posicionamento.	77
Figura 48 – Esquematização das sugestões mais frequentemente referidas pelos participantes, num total de 46 sugestões efetuadas.....	78
Figura 49 – Imagem gerada para o protótipo que acompanhou esta investigação.	96
Figura 50 – Ícone criado para representar a aplicação no <i>smartphone</i>	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comparação qualitativa relativa às técnicas de localização em sistemas de realidade aumentada móvel por Bae <i>et al.</i> (2016)	17
Tabela 2 – Recolha das características disponibilizadas pelos diferentes SDKs.	21
Tabela 3 – Comparação de duas imagens com o respetivo histograma referente ao contraste. Quanto mais abrangente for o histograma representado, mais contraste tem a imagem.	38
Tabela 4 – Resumo do trabalho desenvolvido no melhoramento de sistemas SLAM	92
Tabela 5 – Recolha dos SDKs disponíveis para implementação de sistemas de aumentada.	93

Acrónimos

RA	Realidade Aumentada
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localisation and Mapping</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>

1. Introdução

A Realidade Aumentada (RA), apesar de ter dado os seus primeiros passos na década de 50, tem ganho alguma preponderância e popularidade nas últimas décadas. Por consequência da evolução tecnológica, tanto a nível de *hardware* como de *software*, é atualmente possível implementar sistemas de RA para utilizar em *smartphones*, tornando a tecnologia cada vez mais acessível ao utilizador comum. Outro fator importante para a existência cada vez mais frequente de aplicações que exploram o potencial da realidade aumentada, é a quantidade de ferramentas desenvolvidas com vista à simplificação da sua implementação, tornando-a cada vez mais popular.

Do ponto de vista do utilizador, uma experiência de RA consiste na possibilidade de poder sobrepor conteúdos virtuais no mundo real circundante. Para tal, este necessita de ter consigo algum dispositivo tecnológico que lhe permita a visualização desses conteúdos virtuais simultaneamente com o mundo real que o envolve (*e.g.* óculos de realidade aumentada, *smartphone* – neste caso, a observação do mundo real combinado com o mundo virtual, acontece através do ecrã, com imagens captadas pela câmara do *smartphone*).

Do ponto de vista da implementação, importa desde já referir que, para que o utilizador consiga visualizar uma correta sobreposição de informação virtual combinada com o ambiente real, é necessário identificar a posição e a orientação do dispositivo que está a ser utilizado para a experiência. De acordo com o propósito do projeto a que se destina a aplicação a ser desenvolvida, o criador do sistema tem de tomar decisões que terão consequências diretas no comportamento da mesma e, conseqüentemente, na sua utilização. Neste sentido, esse criador deve optar pela técnica – ou técnicas – mais adequadas por forma a conseguir os melhores resultados possíveis. Uma vez que as ferramentas disponíveis diferem entre si, deve optar também pela que melhor se adapta ao objetivo do seu projeto. Note-se que a referência a técnicas de RA neste documento, estão associadas à forma como a RA reage, *i.e.*, se esta é despoletada com base numa imagem, com recurso a sensores, etc. Já as ferramentas utilizadas, estão associadas a *software* que é produzido por entidades, disponibilizando instruções que facilitam a implementação do sistema de RA. Esta tomada de decisões constitui, numa fase

inicial, um problema para quem desenvolve sistemas de RA, pois implica a necessidade de tomada de decisões para a adequada escolha dos procedimentos mais adequados à sua implementação. A presente investigação visa apresentar resultados que facilitem essas decisões para uma aplicação em contexto de herança cultural. A abordagem apresentada ao longo do presente documento foca-se na criação de uma aplicação de realidade aumentada – utilizando dispositivos móveis, em ambientes exteriores – de forma a identificar a solução mais adequada para utilização num local em concreto, o Museu Monográfico de Conimbriga.

Neste primeiro capítulo é feito o enquadramento do tema a desenvolver ao longo desta investigação e são apresentados os principais desafios no uso da tecnologia mantendo o foco nos principais problemas detetados na sua utilização. É neste primeiro capítulo que é igualmente apresentado o projeto que se pretende desenvolver e quais os objetivos afetos à elaboração deste.

1.1 Enquadramento da Investigação

A RA tem evidenciado um grande potencial de utilização nas mais variadas áreas de intervenção e existem diversos tipos de utilização desta tecnologia com impacto positivo junto dos utilizadores. No entanto, o facto da realidade aumentada se evidenciar como uma tecnologia promissora e ainda não se ter afirmado nesta sociedade digital, é uma evidência de que ainda há metas para superar.

As áreas de atuação em que a RA se tornou mais popular até à atualidade são a publicidade e, ultimamente, o entretenimento. Contudo, esta tecnologia também marca presença noutras áreas, como é o caso particular da herança cultural – área específica de intervenção do trabalho proposto. Existem várias abordagens desenvolvidas com o intuito de preservar e/ou divulgar a herança cultural com recurso à RA, alguns dos quais estão descritos no capítulo 2, referente ao estado da arte. Contudo, observa-se que esta tecnologia ainda não constitui uma presença sólida na sociedade atual, pois ainda são poucos os locais onde é possível fazer uma visita ao espaço cultural com a possibilidade de explorar a realidade aumentada *in-loco*.

A presente investigação, considerando um espaço de visita em ruínas como é o caso de Conimbriga, tenciona possibilitar aos visitantes desse espaço ancestral, com recurso a um *smartphone*, a visualização de reconstruções virtuais de edifícios que, outrora, ali terão existido. Desta forma, o visitante estará perante uma experiência de realidade aumentada pois poderá visualizar elementos virtuais correspondentes aos edifícios que outrora marcavam presença no local, numa perceção conjunta com o cenário atual em ruínas. Esta situação permitir-lhe-á “viajar no tempo” e ter, assim, acesso a uma visita paralela e complementar do espaço. O sucesso desta experiência encontra diversos desafios, nomeadamente, o correto alinhamento dos edifícios virtuais relativamente às ruínas (elementos reais), quer seja no momento em que o modelo virtual é sobreposto na imagem real, quer seja durante a navegação no espaço físico

aquando da exploração do modelo virtual. Este alinhamento exige precisão, tanto da posição como da orientação desses elementos virtuais sobrepostos, no ambiente real. Esta dificuldade é acrescida aquando da realização de experiências de RA em ambientes exteriores devido à luminosidade alterável, tema este que será abordado com mais detalhe, numa secção posterior deste documento.

Existem diferentes formas de implementar sistemas de RA de acordo a técnica utilizada, *e.g.*, é possível visualizar elementos virtuais tendo como base de alinhamento uma imagem 2D; baseados num modelo 3D; através da deteção de localização do utilizador através de sensores; ou até mesmo usando simultaneamente mais do que uma destas técnicas. Existem igualmente diversas ferramentas disponíveis para auxiliar na implementação de sistemas de realidade aumentada e a utilização de diferentes *softwares* pode ter resultados finais diferentes (esta hipótese é colocada à prova em testes realizados com protótipos desenvolvidos tendo como base diferentes ferramentas). Assim, dependendo do objetivo de cada projeto, torna-se necessário escolher a solução mais eficaz para cada caso de estudo. É, por isso, importante conhecer as diferentes técnicas e as diversas ferramentas existentes, facto de dá motivação para o estudo realizado e apresentado neste documento.

1.2 Enquadramento do Projeto

O presente trabalho pretende estudar, planear, avaliar e desenvolver uma solução de realidade aumentada para que os visitantes das ruínas de Conimbriga, com recurso a um dispositivo móvel, possam visualizar edifícios virtuais, construídos na era Romana, sobre as atuais ruínas do espaço. Em algumas situações de utilização da RA em contextos culturais, é necessário o uso de equipamento específico para a experiência, (*e.g.* óculos de realidade aumentada) que necessitam de ser transportados durante toda a visita. Estas situações evidenciam alguns problemas de utilização que incidem sobre o elevado custo do equipamento em questão utilizado pelos visitantes assim como o desconforto que alguns dispositivos apresentam para o utilizador após uma utilização prolongada (Azuma, 1997; Carmigniani *et al.*, 2011). Para evitar esta situação e porque, atualmente, ter um *smartphone* é frequente na sociedade atual, aborda-se, no âmbito deste trabalho, a implementação da tecnologia de RA em *smartphones*.

Assim, o enfoque tecnológico deste trabalho consiste em avaliar a viabilidade da utilização da tecnologia de realidade aumentada acessível através de dispositivos móveis e avaliar o impacto da sua utilização *in-situ* (ruínas do Museu Monográfico de Conimbriga) junto de utilizadores.

Esta aplicação deverá sobrepor os elementos virtuais, corretamente alinhados, sobre as ruínas do espaço de Conimbriga. O utilizador terá alguma liberdade para navegar no espaço

físico para melhor observar o elemento virtual adicionado à realidade percebida pela câmara do telemóvel, de forma a poder visualizar todo o complexo edificado virtualmente.

O público-alvo desta investigação é constituído, com alguma naturalidade, pelos visitantes que circulam pelas ruínas de Conimbriga, pelo que, a aplicação a desenvolver, deverá apresentar uma interface simples e de fácil utilização.

Em resumo, como caso de estudo deste projeto, é implementado um protótipo de RA a ser testado *in-situ* com utilizadores e avaliado o seu desempenho e respetivo impacto junto destes. Para que este processo seja cumprido na sua extensão, deve ter-se em conta que:

- Os utilizadores são o público que visita as ruínas – na sua maioria, podem não estar familiarizados com as tecnologias e podem não saber o que é a RA;
- A sua utilização será em ambiente exterior;
- O espaço referente ao local de utilização da experiência – ruínas de Conimbriga – não deve ser invadido com marcas ou outros artefactos excessivamente visíveis;
- O espaço onde decorre a experiência não tem disponível corrente elétrica nem ligações *wi-fi*;
- O utilizador usa um *smartphone* para a experiência.

1.3 Identificação dos Problemas

A realidade aumentada enquanto afeta a dispositivos móveis, é uma tecnologia emergente nos últimos anos. O facto de ainda não ter uma utilização recorrente nos dias de hoje, deve-se a alguns desafios que tem enfrentado e que ainda não foram totalmente solucionados. Estes problemas, sentidos pelos utilizadores, contribuem para algum insucesso na utilização desta tecnologia, originando uma sensação de fragilidade destes sistemas junto do público geral.

Torna-se, assim, relevante que exista uma consciencialização das dificuldades mais recorrentes em sistemas de RA já avaliados e testados. De uma forma geral, os problemas afetos à utilização de RA em dispositivos móveis no exterior, estão maioritariamente relacionados com a precisão na localização e orientação do dispositivo para uma correta sobreposição dos elementos virtuais nas imagens do mundo real. A velocidade com que o sistema se comporta em relação à ação do utilizador é também um fator decisivo para uma experiência bem-sucedida do ponto de vista do utilizador.

As diferentes técnicas de RA podem possibilitar alternativas que se evidenciem mais eficazes aquando da utilização do sistema, colmatando, assim, alguns problemas ou minimizando-os. A diversidade atual de *softwares* disponíveis para implementação de aplicações de RA, é também uma forma de poder contrapor essas dificuldades devido às

diferentes características com respetivas diferenças de comportamento que essas ferramentas apresentam.

Neste sentido, um dos focos principais desta investigação reside na identificação de técnicas e ferramentas que melhor cumpram com o objetivo do protótipo a ser desenvolvido, tendo em conta a sua utilização no espaço exterior das ruínas em Conimbriga, com recurso a um *smartphone*, com o mínimo de falhas possível, considerando as limitações listadas no ponto anterior.

No sentido de clarificar os problemas detetados referentes às técnicas de RA possíveis e às formas de implementação com recurso a ferramentas auxiliares para tal, apresentam-se, nas subsecções seguintes, algumas considerações e conceitos que se consideram relevantes.

1.3.1 Técnicas de Realidade Aumentada

A utilização de marcas para determinar a localização e orientação do utilizador – *marker-based* – é muito popular entre as aplicações de RA existentes (Billinghurst, Clark, & Lee, 2015). Estas marcas, normalmente, são imagens ou objetos com formas bem definidas e com alto contraste para simplificar o processo de aquisição de imagem que vai permitir o seguimento da experiência de RA. Tendo em conta que o trabalho referido é para ser utilizado em contexto arqueológico, nomeadamente, num conjunto de ruínas que constituem um espaço de visita, estas marcas devem ser usadas de forma moderada, havendo algumas limitações no seu uso para não violar a natureza do meio envolvente.

Algumas técnicas de localização e orientação surgiram com vista a abolir a necessidade de utilização de marcas, tornando possível a experiência de RA sem qualquer marca nem conhecimento anterior do espaço a ser identificado – *marker-less*. Nestas situações, é feito um mapeamento virtual do espaço em tempo real sem serem necessárias informações anteriores relativas a este. Contudo, a necessidade de 1) um ambiente envolvente com formas geométricas simples e bem definidas (e.g. cubos, esferas, paralelepípedos) e 2) uma utilização lenta e cuidada, são requisitos fundamentais para o seu correto funcionamento (Augment, 2016; Billinghurst *et al.*, 2015). Recordando o espaço em questão – ruínas com formas geométricas complexas sem formatos bem definidos, e o público-alvo em questão (os visitantes no geral) –, são expectáveis problemas de utilização nos dois pontos referidos anteriormente, que facilmente resultarão no insucesso da experiência por parte dos utilizadores.

Apresenta-se igualmente como uma técnica *marker-less*, a obtenção da posição do utilizador através de sensores como é o caso das coordenadas GPS¹ e os sensores IMU² dos *smartphones*, usados para identificar a posição e orientação destes, ou o processo de *dead-*

¹ GPS (*Global Positioning System*) é um sistema que permite a identificação da posição de dispositivos móveis através de informação satélite.

² IMU (*Inertial Measurement Unit*) são sensores disponíveis nos dispositivos móveis atuais que não estão afetos ao movimento do telemóvel no espaço mas sim aos movimentos locais, como por exemplo, giroscópio, acelerómetro e magnetómetro (Mourcou, Fleury, Franco, Klopčič, & Vuillerme, 2015).

reckoning – cuja posição é calculada com base em determinados dispositivos colocados no espaço. No entanto, a sua precisão é limitada apresentando oscilações na recolha destas coordenadas que impossibilitam uma experiência de RA viável para ser bem-sucedida. Os sensores de IMU dos smartphones, usados para identificar a orientação destes, apresentam acumulação de erro após um curto período de utilização e evidenciam erros de oscilação com alguma facilidade. Assim, apesar destes dados poderem fornecer alguma informação útil, estes não poderão ser utilizados de forma independente e isolada (Fong, Ong, & Nee, 2008; Pagani, Henriques, & Stricker, 2016).

1.3.2 Ferramentas para Implementação de Realidade Aumentada

Dependendo da técnica utilizada para desenvolver sistemas de RA, existem atualmente diversos SDKs³ que simplificam o processo de implementação. No entanto, diferentes ferramentas apresentam diferentes formas de implementação que conduzem a diferentes resultados. Assim, um dos requisitos desta investigação, tendo em conta os diferentes SDKs existentes, é a identificação de, entre eles, qual melhor cumpre os requisitos propostos para desenvolver o trabalho em causa.

A lista de SDKs disponíveis é extensa e muito heterogénea a nível de funcionalidades disponibilizadas por cada um. Esta lista é, inclusivamente, volúvel ao longo do tempo, na medida em que alguns aumentam o seu leque de funcionalidades, enquanto outros são descontinuados pelas empresas ou projetos que os criaram, deixando de existir no mercado passando, assim, a ser inexequível a sua utilização. Esta análise será feita mais detalhadamente no capítulo 2 deste documento.

1.3.3 Outros Desafios na Realidade Aumentada

Relativamente ao *hardware* utilizado, existe uma crescente parcela de aplicações de realidade aumentada usadas na atualidade que recorrem à utilização de uma câmara monocular (câmara RGB regular dos *smartphones*) para determinar a localização e a orientação de objetos através das imagens obtidas pela mesma ao longo da navegação do utilizador. Ou seja, em ambientes não controlados, onde as condições de iluminação sofrem grandes variações, como é o caso de espaços exteriores, esta operação é significativamente dificultada, originando mesmo falhas em algumas das situações mais adversas às que são tidas, à partida, como ideais.

Considerando as experiências em espaços exteriores, deve ter-se presente a informação de que a projeção de sombras, num dia de sol, varia de acordo a hora do dia, surgindo como adversidade acrescida no sucesso da experiência de RA, pois pode interferir com o

³ SDK (*Software Development Kit*) refere-se ao conjunto de ferramentas que permitem o desenvolvimento de um *software*, uma aplicação, *framework*, etc. São, normalmente, disponibilizados por empresas ou projetos de desenvolvimento de tecnologias.

reconhecimento dos elementos utilizados para o decorrer da experiência. Tendo em conta o projeto desenvolvido no âmbito deste estudo, é enfrentada esta dificuldade, intensificando-se com a utilização de câmaras RGB (câmaras que, tipicamente, vêm incorporadas nos *smartphones* atuais), devido ao facto destas câmaras não possuírem sensores de profundidade, como é o caso das câmaras RGB-D⁴ (Regazzoni, Vecchi, & Rizzi, 2014).

Outro dos problemas, advém da inexistência de energia elétrica no local para implementar o sistema. Uma possível solução para esta situação seria a utilização de baterias, no entanto, obriga à sua substituição periódica, vicissitude não aprovada pela direção do Museu Monográfico de Conimbriga. Desta forma, considera-se impraticável a utilização de recursos que necessitem de energia para funcionar (*e.g. beacons*⁵).

O sucesso das experiências de RA pode ainda ser comprometido aquando do reconhecimento dos elementos utilizados para serem identificados enquanto marcas para efetuar o alinhamento dos modelos virtuais. Nomeadamente, em situações de alterações de luminosidade, principalmente estando perante um ambiente exterior, e ocorrências em que esses elementos possam estar parcialmente ocultos.

1.3.4 Objetivos de Investigação

Perante o objetivo de implementar um sistema de RA que funcione num dispositivo móvel, no exterior, com conseqüentes alterações de luminosidade, em contexto de herança cultural (onde existem algumas limitações a nível de criação de marcas para aquisição de imagem no espaço), pretende-se identificar a solução mais adequada para implementar um sistema que seja testado por utilizadores *in-situ*. Considerando os problemas apresentados anteriormente, esta solução passa por apresentar a técnica mais eficaz e a ferramenta que melhor se comporta quando sujeita aos testes a executar para, posteriormente, conhecer o impacto que a tecnologia de RA poderá ter junto dos visitantes as ruínas de Conimbriga.

Neste sentido, as hipóteses levantadas nesta investigação, que serão analisadas no desenvolvimento do projeto que acompanha este estudo, são as seguintes:

1. A técnica de aquisição de imagem utilizada influencia a obtenção de melhores resultados no comportamento de uma aplicação de RA;
2. A tecnologia utilizada para implementação de um sistema de RA, utilizando as mesmas técnicas de aquisição de imagem, influencia a obtenção de melhores resultados no comportamento de uma aplicação de RA;

⁴ As câmaras RGB-D possuem sensores de profundidade que permitem obter mais informações relativamente ao ambiente 3D envolvente.

⁵ *Beacons* são dispositivos eletrónicos que enviam sinais via *Bluetooth Low Energy* (BLE) que podem ser interpretados por pelos sistemas operativos dos *smartphones*.

3. A utilização de uma aplicação de RA, que possibilite a reconstrução virtual de edifícios com recurso a dispositivos móveis, tem um impacto positivo junto dos visitantes das ruínas de Conimbriga.

1.4 Metodologia de Investigação

Esta investigação é iniciada com uma pesquisa sobre as técnicas disponíveis para implementação de RA em *smartphones*. Nesta pesquisa, são reunidas as dificuldades sentidas na implementação da tecnologia em questão, assim como limitações e problemas detetados de acordo com as técnicas utilizadas. Para selecionar a ferramenta auxiliar à implementação do protótipo final, foi elaborada uma listagem de todos os SDKs disponíveis no momento da escrita do presente documento, onde são apresentadas as funcionalidade e limitações de cada um. Desta lista, são selecionadas as que, pelas suas características, cumprem os requisitos necessários do trabalho que se pretende implementar. São, posteriormente, testados de acordo com um conjunto de parâmetros de avaliação, de forma a selecionar a solução a ser desenvolvida para a aplicação final que será testada *in-situ*, por visitantes do espaço arqueológico em estudo.

Nesse sentido, foram implementados os seguintes protótipos de RA para dispositivos móveis:

1. Um protótipo de RA que recorre a um objeto 3D para o alinhamento dos elementos virtuais;
2. Três protótipos de RA que recorrem a imagens 2D (imagens processadas por computador e imagens capturadas do mundo real) para o alinhamento dos elementos virtuais, implementados com base em três ferramentas diferentes que resultaram da avaliação das características da listagem de SDKs;
3. Um protótipo final a ser testado *in-situ*, com exibição de uma edificação da era Romana, sobre as suas ruínas, cuja utilização é testada com utilizadores;

A implementação dos protótipos descritos nos pontos 1 e 2, visam o seu teste e análise orientados à recolha de resultados em ambiente controlado. Nestes testes, é avaliado o comportamento das aplicações de RA mediante determinados parâmetros de avaliação. O primeiro parâmetro a ser testado é o sucesso ao iniciar a experiência, onde se verifica se a aplicação inicia e funciona corretamente. A velocidade de resposta será igualmente tida em consideração, de forma a garantir que o fluxo da utilização da aplicação, por parte do utilizador, se mantenha interrupto. Para tal, segundo Jakob Nielsen, é necessário que a aplicação responda num tempo máximo de 1 segundo (J. Nielsen, 1993). A distância mínima necessária que o utilizador necessita de estar em relação ao local da experiência, foi igualmente calculado (em metros).

O protótipo final, enumerado no ponto 3, foi testado nas ruínas de Conimbriga, mais especificamente, na zona do *Forum*, com voluntários que se dispuseram a testar esta tecnologia *in loco* e que, posteriormente, responderam a um questionário relacionado com a sua experiência. O questionário pode ser consultado no [Anexo D](#) deste documento. O grupo de participantes deste estudo corresponde, assim, a todos os voluntários que, enquanto visitantes do espaço de ruínas de Conimbriga, aceitaram o desafio proposto de testar a aplicação e preencher o respetivo questionário.

1.5 Contribuições desta Dissertação

Esta dissertação aborda a utilização de RA aplicada em contextos de herança cultural com recurso a *smartphones*, tema este que foi proposto à direção do Museu Monográfico de Conimbriga, com o intuito de utilizar este espaço como caso de estudo. A temática deste trabalho de investigação foi recebida com elevado interesse pela entidade acolhedora por considerar ser esta uma oportunidade de possibilitar aos visitantes novas formas de explorarem o espaço de visita das ruínas que, desse modo, poderão complementar e enriquecer a sua passagem por Conimbriga. Neste sentido, explorar este tipo de tecnologias no contexto em causa é, do ponto vista arqueológico e museológico, relevante para a sociedade, fortalecendo, assim, o sentido de oportunidade desta investigação. O contributo deste projeto para a comunidade científica, suscita também elevado interesse pelo facto de estar direcionado para uma tecnologia emergente e em ascensão aplicada a dispositivos móveis. As técnicas de RA e as ferramentas disponíveis na atualidade, são aspetos técnicos que levantam diversas questões científicas relacionadas. Evidência deste interesse, no rescaldo deste estudo científico, encontra-se a publicação de um artigo publicado nas atas da CISTI'2017⁶, e um outro a aguardar aceitação de apresentação e publicação no EPCGI'2017⁷. Existe ainda, com base na presente investigação, a intenção de submeter um artigo para apreciação no “ACM Journal on Computing and Cultural Heritage”⁸.

1.6 Estrutura do Documento

Para além do capítulo de Introdução, esta dissertação conta com mais 5 capítulos.

⁶ 12ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação.

⁷ 24º Encontro Português de Computação Gráfica e Interação.

⁸ O “ACM Journal on Computing and Cultural Heritage” caracteriza-se por publicar artigos relevantes para a comunidade científica relacionados com o uso de tecnologias de informação e comunicação no apoio à herança cultural.

No segundo capítulo, designado por Realidade Aumentada e Herança Cultural, é descrito o estado da arte que inclui uma introdução e definição do conceito de RA, referência às áreas de aplicação e apresentado algum do trabalho relacionado que se evidencia, de alguma forma, relevante para a identificação de problemas e dificuldades sentidas no uso da tecnologia no contexto da herança cultural.

O capítulo 3, intitulado “Desenvolvimento de Sistemas de RA”, aborda questões relacionadas com todo o procedimento necessário para implementação dos protótipos. É feita uma avaliação destes, com discussão de resultados que fundamentam a escolha da tecnologia adotada para a implementação do protótipo final, que será também descrita neste capítulo.

No capítulo 4, “Recolha de Resultados *in-situ*”, é apresentado o local onde a experiência decorre e apresenta-se a recolha de resultados feita após avaliação do protótipo no local junto dos utilizadores.

O capítulo 5, “Conclusões e Trabalho Futuro”, apresenta as conclusões alcançadas no decorrer desta investigação. Consequentemente, é feita referência ao trabalho futuro que esta investigação suscitou.

No capítulo 6 (“Referências”), são apresentadas as referências bibliográficas consultadas ao longo da investigação realizada.

Todos os anexos podem ser encontrados no final do presente documento, após o capítulo relativo às referências bibliográficas.

2. Realidade Aumentada e Herança Cultural

Neste capítulo é introduzido o conceito de realidade aumentada (RA), incluindo uma contextualização desta tecnologia, com algumas abordagens práticas da sua utilização. Este capítulo introduz os conceitos que permitem uma melhor compreensão do funcionamento da RA. Com base no estado da arte afeto a esta área, os principais desafios que enfrenta são referidos. São também apresentadas algumas das aplicações desta tecnologia relevantes para a sua evolução no contexto de herança cultural e quais as dificuldades mais sentidas, tanto a nível de implementação, como a nível de utilização. Esta abordagem, do ponto de vista do utilizador, acontece no sentido de compreender as falhas na sua utilização com vista a melhorar e/ou corrigir esses aspetos aquando da realização do trabalho que serviu de base a esta investigação.

Por último, é elaborado um balanço de conclusões relevantes afetas a este capítulo.

2.1 Realidade Aumentada

A realidade aumentada é uma tecnologia que permite colocar elementos virtuais – gerados por computador – no ambiente real que é percecionado 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 (Azuma, 1997; Azuma *et al.*, 2001).

Apesar de algumas soluções de RA terem sido propostas no início dos anos 50, foi em 1965 que Ivan Sutherland descreveu o conceito com a indicação de que deveria existir interatividade entre um ambiente virtual e aquilo a que ele chamou de *Ultimate display* – uma sala onde o computador poderia controlar a existência de matéria (Sutherland, 1965). Em 1968, foi quando Sutherland desenvolveu o primeiro HMD (*head-mounted display*) – o sistema usava gráficos, gerados por computador, apenas representados por linhas (*wireframe*). Contudo, não é

necessário ter um dispositivo tão específico para vivenciar uma experiência de RA; esta pode ser percebida através de diferentes dispositivos tecnológicos, incluindo também dispositivos que podem ser transportados na mão do utilizador ou dispositivos instalados no espaço envolvente (Azuma *et al.*, 2001; Bimber & Raskar, 2005).

A realidade aumentada é, então, uma mistura de informação virtual com informação do mundo real. Neste sentido, em 1994, Paul Milgram e Fumio Kishino apresentaram o conceito de *Reality-Virtuality Continuum* (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1994), ou “Contínuo de Virtualidade” (Cruz-Cunha *et al.*, 2010), uma expressão utilizada para descrever um conceito que é revelado numa escala que varia entre o totalmente virtual e o totalmente real. Numa extremidade dessa escala, onde se encontra a realidade virtual, o utilizador encontra-se totalmente imerso num ambiente virtual. Avançando na escala em direção à outra extremidade, o utilizador vai tendo a percepção do mundo real, combinando assim a experiência entre ambos.

Na Figura 1 está esquematizada a noção de *Reality-Virtuality Continuum*.

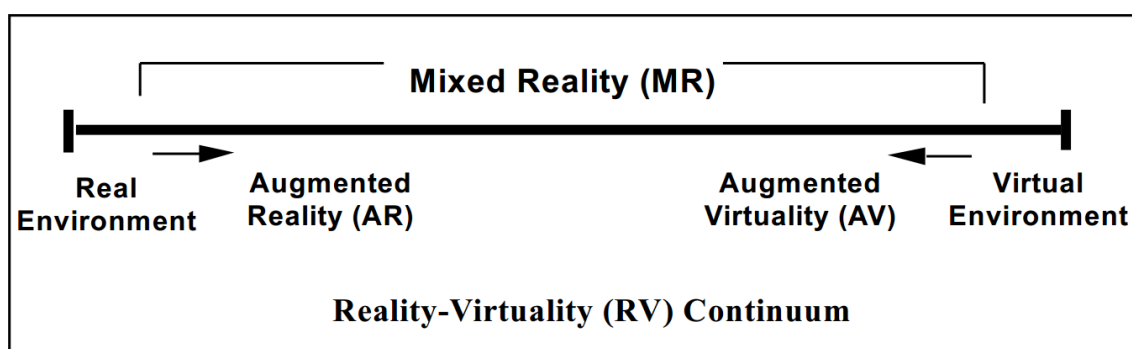


Figura 1 – Representação simplificada de *Reality-Virtuality Continuum* apresentada por Milgram e Kishino em 1994.

Na extremidade esquerda da escala apresentada na Figura 1, encontra-se representado o mundo real, onde o utilizador tem percepção total da realidade que o envolve. À medida que vai avançando na escala em direção ao ambiente virtual, o utilizador vai-se sentindo progressivamente imerso no mundo gerado por computador, combinando, assim, a experiência entre ambos, *i.e.*, ao percorrer esta escala da esquerda para a direita, a quantidade de informação virtual aumenta e a ligação com o mundo real vai-se desvanecendo. Chegando à extremidade direita, o utilizador perde a percepção do mundo real ficando sujeito apenas à experiência de realidade virtual.

No sentido de exploração da navegação entre a vivência do mundo real e o mundo virtual, alguns projetos foram desenvolvidos para que o utilizador realizasse esta “viagem” entre o real e o virtual com recurso à realidade aumentada. É o caso do projeto *MagicBook* (Billinghurst, Kato, & Poupyrev, 2001a, 2001b) lançado em 2001, onde o utilizador, sem qualquer experiência de RA, poderia visualizar um livro percebendo apenas o mundo real ou, então, iniciar uma experiência de realidade aumentada no livro, passando, assim, a estar envolvido com o mundo virtual. Em 2003, surgia o projeto “Alice's Adventures in Virtuality” (Davis *et al.*, 2003), onde o utilizador poderia experienciar as transições entre os diferentes níveis de imersão

na realidade virtual. Aqui, o conceito *Reality-Virtuality Continuum* é aplicado à obra infantil “Alice no País das Maravilhas”, onde a personagem principal, Alice, viaja entre o mundo real e o mundo imaginário – numa analogia à viagem experienciada pelos utilizadores entre o mundo real e o mundo virtual (o imaginário da Alice).

2.2 Etapas da Realidade Aumentada

A criação de uma experiência de RA é um processo composto por várias fases, desde o desenvolvimento da informação virtual, que será usada para complementar o mundo real, até ao desenvolvimento da tecnologia que permite a interação em tempo real: sobreposição dos objetos virtuais no mundo real através de técnicas de aquisição de imagem baseada no espaço físico real (Azuma, 1997; Azuma *et al.*, 2001).

Existem diferentes métodos para implementar uma experiência de RA em função do que se pretende obter enquanto produto final (Yuen, Yaoyuneyong, & Johnson, 2011). Considerando, por exemplo, a informação virtual que é possível observar com recurso à realidade aumentada, esta pode ser relativa à representação de elementos virtuais 2D ou de modelos 3D originando, logo à partida, diferentes processos de implementação do sistema. No trabalho a ser desenvolvido no âmbito deste estudo, pretendem-se representar modelos 3D. Para tal, normalmente, recorrem-se ferramentas que permitam a criação desses modelos 3D (*e.g.*, *Blender*⁹, *3DS Max*¹⁰, *Maya*¹¹, *SketchUp*¹²). O resultado final deste processo é um modelo virtual com a sua respetiva geometria, materiais e texturas que, no seu conjunto, constituem a representação final do modelo 3D. Ou seja, esta reprodução corresponde ao conjunto de características necessárias para conseguir representar o aspeto visual exterior dos objetos (Foley, Dam, Phillips, Hughes, & Feiner, 1993). Existem diversos repositórios, frequentemente designados por *virtual libraries* tais como o *Sketchfab*¹³, o *TurboSquid*¹⁴ ou a *Asset Store* do *Unity*¹⁵ que albergam modelos 3D, passíveis de serem adquiridos, onde os criadores podem disponibilizar as suas obras para que outros possam utilizar esses modelos virtuais.

A implementação de um sistema de RA na sua totalidade, pode ser distinguida em cinco subsistemas (Vallino, 1998):

- i. Sistema de aquisição de imagem;

⁹ Mais informação sobre este *software* disponível no endereço www.blender.org (consultado em janeiro de 2017).

¹⁰ Mais informação sobre este *software* disponível no endereço www.autodesk.com/products/3ds-max (consultado em janeiro de 2017).

¹¹ Mais informação sobre este *software* disponível no endereço www.autodesk.com/products/maya (consultado em janeiro de 2017).

¹² Mais informação sobre este *software* disponível no endereço www.sketchup.com (consultado em janeiro de 2017).

¹³ Mais informação sobre os modelos do *Sketchfab* disponível no endereço sketchfab.com (consultado em janeiro de 2017).

¹⁴ Mais informação sobre os modelos do *TurboSquid* disponível no endereço www.turbosquid.com (consultado em janeiro de 2017).

¹⁵ Mais informação sobre os modelos da *Asset Store Unity 3D* disponível no endereço www.assetstore.unity3d.com (consultado em janeiro de 2017).

- ii. Sistema de seguimento da localização e orientação da imagem (*tracking*);
- iii. Sistema para criação dos objetos virtuais;
- iv. Sistema de fusão da imagem real com a virtual;
- v. Sistema de apresentação (*render*).

A aquisição de imagem é o momento em que, qualquer imagem ou corpo no espaço real, é reconhecido de forma a adicionar a informação virtual. Para que todos os elementos virtuais sejam alinhados com o mundo real, é necessário referir o conceito de registo – que possibilita esse alinhamento –, daí a importância de o utilizador ser localizado (posição e orientação) pelo sistema em relação ao local detetado. A orientação (doravante designada pelo anglicismo *tracking*) corresponde ao seguimento da identificação da localização do utilizador para que, à medida que este se desloca, a informação virtual exibida sobre o ambiente real, seja corretamente atualizada de forma a permanecer alinhada no decorrer da navegação. A sobreposição é conseguida através da apresentação dos elementos virtuais (inclui o processo de *render* para visualização dos modelos 3D anteriormente referidos) sobre o ambiente real onde o utilizador se encontra (Amin & Govilkar, 2015; Karimi, 2004).

Com recurso a determinados *softwares*, o sistema acima descrito pode ser simplificado em três etapas principais: aquisição de imagem, seguimento da localização e *tracking* e a junção dos ambientes real com o virtual (Amin & Govilkar, 2015; Augment, 2016). Existem diferentes *softwares* que abordam diferentes formas de aquisição de imagem e de *tracking*. Os principais desafios, encontrados ao recorrer a estas ferramentas para implementar sistemas de RA, dependem das diferentes técnicas utilizadas. Esta abordagem será feita à medida que as diferentes tecnologias vão sendo apresentadas.

2.3 Técnicas em Realidade Aumentada Móvel

Neste tópico são apresentadas as técnicas desenvolvidas na implementação de sistemas de RA em dispositivos móveis. São descritos métodos de localização para identificar a posição e orientação do utilizador em relação ao cenário no qual será sobreposta a informação virtual, assim como as técnicas de *tracking* para acompanhar o utilizador durante a experiência enquanto este se desloca no espaço que está a ser “aumentado”.

É importante manter presentes os conceitos anteriormente referidos de *marker-based* e de *marker-less*. Um sistema designa-se *marker-based*, quando a aquisição de imagem e/ou o *tracking* é feito com base em marcas – referências visuais presentes no espaço da experiência que podem ser obtidas através de imagens 2D ou modelos 3D. No caso da aquisição de imagem e/ou de *tracking* ser efetuada sem recurso a qualquer apoio visual adicionado ao espaço, então estamos perante um sistema *marker-less*.

2.3.1 Técnicas de Localização para Aquisição de Imagem e *Tracking*

Tendo como base os cinco subsistemas que constituem um sistema de RA já referidos neste documento: 1) aquisição de imagem; 2) *tracking*; 3) criação dos objetos virtuais; 4) Fusão da imagem real com a virtual; 5) *render*, importa, neste trabalho, identificar as soluções possíveis para a aquisição de imagem e para o *tracking*, de forma a diferenciar os tipos de experiência criados.

Relativamente às etapas de criação de objetos visuais, os modelos virtuais a serem utilizados provêm de duas fontes: na primeira fase de testes, são utilizados modelos virtuais preliminares (gratuitos), da *Asset Store* do *Unity*; posteriormente será utilizado um modelo 3D correspondente à reconstrução virtual do *Fórum* de Conimbriga (Gonçalves, 2002), com as devidas alterações necessárias de modo a ser representado de acordo com os requisitos propostos pela direção do Museu Monográfico de Conimbriga.

Aquisição de imagem

Como foi já referido neste documento, o momento de aquisição de imagem serve como ponto de partida da experiência de RA pois, será ser com base nesta informação, que a posição e orientação do utilizador será estimada para que o registo – alinhamento do conteúdo virtual – seja cumprido. Numa abordagem geral, esta etapa pode ser conseguida através de uma fonte física – poderá ser uma imagem impressa ou um objeto 3D – ou, numa forma alternativa, pode ser determinada através de dados provenientes de sensores – como é o caso da utilização de GPS ou através do processo de cálculo de posição com base em posições anteriores (processo de navegação conhecido por *dead-reckoning*) (Billinghurst *et al.*, 2015).

Nos casos em que é utilizada uma imagem 2D ou um objeto 3D, que são as técnicas mais usais devido à sua precisão e robustez (Hagbi, Bergig, El-Sana, & Billinghurst, 2011), esta fase é conseguida através da análise à marca utilizada. O sistema precisa, *a priori*, de conhecer essa marca, seja ela uma imagem ou um objeto 3D, para que seja possível fazer a comparação da marca armazenada no sistema, com a marca que é colocada no espaço da experiência de RA. Ao reconhecer o padrão desta, é identificada qual a informação virtual a ser sobreposta e, ao analisar a posição de pontos-chave da marca reconhecida, a posição e orientação do utilizador é calculada através da identificação das transformações geométricas realizadas, determinado, assim, a perspetiva do utilizador. Este cálculo permite fazer o alinhamento da informação virtual para que seja visualizado na perspetiva correta.

Tracking

Assim que o alinhamento da informação é feito, torna-se essencial que, para a experiência de RA, seja feito um seguimento da posição e orientação do utilizador – o *tracking*. As tecnologias genéricas para o *tracking* incluem recursos óticos, em que a posição relativa ao

ponto de observação é calculada tendo em conta três ou mais pontos de observação no mundo real (seja por marcas presentes no espaço, seja por uma marca colocada artificialmente no local), ou através de dispositivos mecânicos como acelerómetros e giroscópicos, campos magnéticos, frequências de rádio, e acústicas (Neumann & You, 1999).

Nos estudos de Bae *et al.* em 2013 (Bae, Golparvar-Fard, & White, 2013) existe uma categorização das técnicas utilizadas para estimar a posição do dispositivo móvel que o utilizador transporta. Esta classificação apresenta quatro técnicas de localização: 1) localização baseada em sensores (*sensor-based*), onde é feito o acompanhamento da posição do utilizador com recurso a coordenadas GPS e/ou sensores geomagnéticos colocados nos utilizadores; 2) localização com recurso a marcas (*marker-based*) identificadas pelo dispositivo móvel do utilizador. Esta identificação permite determinar a posição e orientação do dispositivo móvel, devendo, para tal, existir um processo anterior de elaboração destas marcas visuais; 3) localização e mapeamento visual simultâneo – *Visual Simultaneous Localization and Mapping* (*Visual SLAM*), que utiliza linhas paralelas para fazer o mapeamento visual a partir das imagens capturadas pelo dispositivo móvel em tempo real; 4) localização baseada em modelo tridimensional (*model-based*) onde é requerido que exista uma construção virtual do objeto 3D *a priori*.

De forma semelhante, quatro tipos de *tracking* de realidade aumentada foram identificados por Amin *et al.* (2015) (Amin & Govilkar, 2015): 1) *tracking* baseado em marcas fiduciais, que apresentam o inconveniente de terem de estar visíveis durante todo o processo da experiência de RA; 2) combinação de duas ou mais fontes de informação para *tracking*, tais como: sensor GPS, bússola ou acelerómetro para calcular a posição e orientação. Nesta solução, é conhecido o erro provocado por acumulação ou oscilação do dispositivo quando apenas são usados os sensores do *smartphone* (GPS/IMU) (Fong, Ong, & Nee, 2008); 3) utilização de um modelo 3D previamente digitalizado e posteriormente colocado no ambiente; 4) *tracking* de características naturais no ambiente a explorar, sendo utilizado como marcas, os elementos naturais no espaço.

Numa classificação ligeiramente diferente, Billinghurst *et al.* (2015) classificam os diferentes tipos de *tracking* em 1) magnético; 2) visual; 3) inercial; 4) GPS e 5) híbrido (Billinghurst *et al.*, 2015).

O *tracking* magnético, utiliza campos magnéticos para calcular a posição do utilizador (recetor) em relação a pontos fixos (emissores). No *tracking* visual, a posição do utilizador é determinada com base nos dados capturados através da câmara em uso durante a experiência de RA. Este método tornou-se muito popular nos últimos anos devido à baixa necessidade de aquisição de *hardware* e devido à ubiquidade com outras plataformas como é o caso do *smartphone*. Os dados recolhidos pela câmara que permitem o cálculo da posição do utilizador, podem ser realizados através da emissão e reflexão de radiação de infravermelhos ou por informação visual recolhida pela câmara, possibilitando o reconhecimento de pontos-chave, como são os casos da utilização de marcas fiduciais; de características naturais do ambiente e na utilização de modelos 3D. O *tracking* inercial recorre aos sensores IMU, anteriormente

referidos, para determinar a orientação e velocidade relativa do dispositivo em relação ao objeto a ser utilizado para o *tracking*. Esta classificação apresenta ainda o *tracking* através de GPS e o *tracking* híbrido – que combina múltiplos sensores para superar as limitações que cada um apresenta.

2.3.2 Análise das Técnicas de Localização e de *Tracking*

Foi já referido, no presente documento, que no trabalho que acompanha esta investigação, pretende-se criar um sistema de RA que seja resiliente e que funcione de forma não intrusiva relativamente ao espaço físico, *i.e.*, a técnica utilizada para localização e, principalmente, *tracking*, deverá ser impercetível para os visitantes do espaço.

Nas técnicas não intrusivas a nível visual, abordadas no ponto anterior, encontramos o *tracking* magnético que apresenta como limitações a propensão a oscilações e a sensibilidade a outros campos magnéticos presentes no ambiente. Encontramos igualmente o *tracking* baseado em sensores IMU, que apresentam uma suscetibilidade elevada de acumulação de erro ao longo do tempo de utilização e por GPS, cuja imprecisão relativa à posição condiciona a sua utilização enquanto solução de única para implementação num sistema de RA (Billinghurst *et al.*, 2015).

No estudo publicado por Bae *et al.* em 2013 (Bae *et al.*, 2013), foi efetuada uma análise do desempenho das técnicas de localização para RA móvel, que foi posteriormente reforçada (Tabela 1) numa publicação de 2016 (Bae, Walker, White, Sun, & Golparvar-Fard, 2016).

Tabela 1 – Comparação qualitativa relativa às técnicas de localização em sistemas de realidade aumentada móvel por Bae *et al.* (2016)

Métrica	<i>Sensor-based</i>	<i>Marker-based</i>	<i>Visual SLAM</i>	<i>Model-based</i>
Precisão na localização	1.5 – 35 m ^a	0.5 – 2 mm ^b	0.5 – 20 mm ^c	0.5 – 20 mm ^c
Velocidade de localização	100 – 200 msec.	20 – 140 msec.	20 – 40 msec.	5 – 240sec.
Infraestrutura externa	Satélite GPS	Marcas visuais	Não necessário	Não necessário
Resistência a oscilações	×	√	×	√
Larga escala	×	×	×	√

^a De acordo com a cobertura GPS do local. ^b Marcas a 3m de distância. ^c Objetos a 10 m de distância.

Relativamente às técnicas que se encontram resumidas na tabela anterior, observa-se que a precisão na localização é mais falível na utilização de sensores e que, a par com a técnica de *Visual SLAM*, não admitem resistência a oscilações. A técnica baseada em modelos 3D, neste estudo, é a única que admite reconstruções em larga escala, sendo também esta a que se manifestou como sendo a mais lenta. Por sua vez, as mais rápidas na velocidade de localização, são as técnicas baseadas em marcas e o *Visual SLAM*.

Resumindo, no que à técnica de localização baseada em sensores diz respeito, são apontadas alterações significativas devido à precisão limitada dos recetores GPS (mesmo em ambientes de exterior) e devido ao ruído presente (Gotow, Zienkiewicz, White, & Schmidt, 2010). Soluções que exijam a presença de energia (tais como a utilização de infravermelhos ou de dispositivos *Bluetooth*) foram excluídos nesta recolha de informações devido à impossibilidade e/ou incómodo da sua implementação no espaço pretendido.

Quanto ao recurso de marcas visuais para identificação da posição e orientação do utilizador, mesmo que estas sejam fiduciais, continuam a ser elementos que precisam de ser adicionados ao cenário real. No entanto, o seu uso pode ser combinado com necessidade de informar ao utilizador que, em determinado local, é possível ter acesso a uma experiência de RA. Assim, esta infografia poderá ser utilizada como marca visual.

Quanto ao desenvolvimento da técnica de *Visual SLAM*, é perceptível nos dados apresentados na tabela 1 (métrica designada por «Larga escala»), que está direcionada para ambientes de pequena escala, sofrendo algumas inconsistências quando o tamanho se aproxima do tamanho de edifícios (Bae *et al.*, 2013). Contudo, esta situação, entre outras que surgiram posteriormente – *e.g.* suportar movimentos rápidos com o dispositivo móvel (na Tabela 1, designado por «Resistência a oscilações») –, têm vindo a encontrar soluções nas diversas propostas de novos sistemas que têm surgido a par com o aumento da capacidade de processamento dos dispositivos móveis. Liu *et al.* (2016) apresentam uma compilação de sistemas SLAM desenvolvidos com vista a solucionar alguns problemas detetados (Liu, Zhang, & Bao, 2016). A técnica de SLAM sofreu diversas evoluções que colmatam falhas abrindo a possibilidade desta técnica poder ser utilizada como uma forma subtil (sem marcas) para experiências de RA precisas e eficazes. No entanto, continua a ser uma técnica que exige um elevado poder computacional, que poderá ficar comprometido aquando da sua utilização em *smartphones*. Os sistemas desenvolvidos e a sua contribuição no melhoramento da utilização do SLAM, podem ser consultados na tabela anexa a esta dissertação ([Anexo A](#)).

Relativamente à localização através de modelos 3D estacionários, onde exista uma sobreposição de várias capturas de imagem para extrair, com precisão, um modelo tridimensional, é possível estimar a posição e orientação do objeto 3D baseando-se na imagem capturada pelo dispositivo móvel, não apresentando restrições relativas ao *hardware* utilizado. Contudo, apresenta-se como sendo uma solução lenta quando comparada com o *visual SLAM*: apresenta uma velocidade de localização na ordem dos segundos contra os 20-40 milissegundos do SLAM (Bae *et al.*, 2013).

Outra solução, para evitar a intrusão do espaço com marcas, poderá ser a realização do *tracking* através de características naturais do ambiente real. Este é um processo complexo, que, normalmente, exige um poder computacional mais elevado o que, por sua vez, conduz novamente ao problema relacionado com o poder computacional dos dispositivos móveis que têm uma capacidade de processamento inferior quando comparado com os tradicionais computadores pessoais. Wagner *et al.* entre 2003 e 2010 apresentaram três técnicas de *tracking*

com recurso às características naturais, usando dispositivos móveis, entre as quais surgia o primeiro método independente de *tracking* baseado em características naturais do ambiente físico. Este método foi apresentado como sendo capaz de acompanhar o movimento do utilizador em 6 graus de liberdade (*degrees of freedom* – 6DOF¹⁶), em tempo real (30 Hz) e usando apenas a câmara de um telemóvel. Para tal, foram usados alvos (este conceito é frequentemente referido em inglês como *targets*) apenas com texturas planas conhecidas pelo sistema *a priori* (Wagner & Schmalstieg, 2003) (Wagner, Reitmayr, Mulloni, Drummond, & Schmalstieg, 2008) (Wagner, Reitmayr, Mulloni, Drummond, & Schmalstieg, 2010).

Uma técnica de *tracking* sem marcas que se baseia em elementos naturais, pode estar associada a objetos 3D presentes naturalmente na cena (Vacchetti, Lepetit, & Fua, 2004), podendo ser classificada em duas categorias: 1) *tracking* recursivo (*recursive tracking*) e 2) *tracking* por deteção (*tracking by detection*). O *tracking* recursivo requer menos capacidade de processamento, o que o torna menos pesado computacionalmente, enquanto que o *tracking* por deteção, que efetua o cálculo da posição sem conhecimento *a priori* do espaço, torna-se computacionalmente mais exigente e, por sua vez, mais oneroso (Barandiaran, Paloc, & Graña, 2009). Em 2016, Lowney *et al.* aplicaram esta técnica com sucesso, recorrendo aos objetos naturais presentes onde provaram que, colocando um cubo na cena, o *tracking* a esse modelo pode ser implementado em tempo real num dispositivo móvel *Android* (Lowney & Raj, 2016).

2.4 Tecnologias para Implementação de Realidade Aumentada

Como já foi referido, as tecnologias disponíveis para desenvolvimento de aplicações de RA facilitam a implementação de diversos componentes do sistema de RA, mais especificamente, na aquisição de imagem, no *tracking* e no *render*.

Num estudo comparativo realizado por Amin *et al.* em 2016 (Amin & Govilkar, 2015), os SDKs foram organizados nas seguintes categorias:

- Navegadores de RA geolocalizados;
- Baseados em marcas;
- Baseados em características naturais.

Os navegadores de RA geolocalizados permitem aos utilizadores criar aplicações que recorrem aos sensores GPS e IMUs disponíveis nos dispositivos móveis atuais. Os SDKs baseados em marcas, recorrendo a imagens definidas pelo utilizador ou pelo sistema, tratam da

¹⁶ *Six degrees of freedom* (6DOF) é um conceito relacionado com a capacidade de *tracking* de forma a manter alinhada a informação virtual com a informação real. A referência é feita com seis ações que qualquer aplicação de RA num *smartphone* pode obter: frente/trás, esquerda/direita, cima/baixo (GPS), oscilações (*compass*), inclinação e rotação (acelerómetro) (Casella & Coelho, 2013).

aquisição para iniciar a experiência. Nos SDKs que recorrem às características naturais para o *tracking*, baseando-se no ambiente real, constroem um mapa tridimensional através de *Visual SLAM* ou então baseiam-se em imagens planas específicas presentes no ambiente natural (como por exemplo, em fotografias tiradas *a priori*). Torna-se relevante referir que uma ferramenta pode suportar mais do que uma categoria apresentada.

Na pesquisa de SDKs efetuada no presente estudo, foram tidas em conta as suas características de modo a poderem vir a ser uma solução válida para implementação do protótipo final. Tendo em conta que serão testadas tecnologias para recolher resultados que ajudem a escolher uma das tecnologias disponíveis, é necessário que essas tecnologias facultem uma opção livre para testar a aplicação (*developers*). A respetiva versão comercial do SDK, deverá:

- Ser compatível com sistemas operativos móveis iOS e *Android*, para que seja possível, na sequência deste trabalho, implementar um sistema compatível com a larga maioria dos sistemas operativos móveis utilizados atualmente;
- Providenciar a sua implementação em *Windows* com recurso ao *Unity 3D*, que, devido à versatilidade que este *software* apresenta, foi a ferramenta utilizada para implementar os sistemas de RA de modo a efetuar os testes e a respetiva recolha de resultados;
- Possibilitar o recurso a sensores GPS e sensores IMU para a experiência de RA, para que, após esta investigação, seja possível recorrer a estes sensores para a construção de um sistema de RA completo para implementação no local das ruínas. Este requisito prende-se pela otimização do sistema de RA que, recorrendo a dados GPS, permite identificar a posição aproximada do utilizador, identificando qual o modelo virtual a ser exibido naquele local (Pádua et al., 2015).
- Permitir liberdade na conceção das marcas a utilizar na experiência de RA, para que seja possível adaptar estas marcas de forma a serem utilizadas também como grafismos indicativos da experiência de RA perante os utilizadores.

Neste sentido, foi feita uma pesquisa extensiva das ferramentas disponíveis para implementar RA. A listagem destas ferramentas levou à exclusão de alguns SDKs (listados no [Anexo B](#)) devido ao facto de não haver informação disponível aquando do momento desta investigação. Ainda assim, existe ainda uma grande variedade de SDKs que podem ser passíveis de utilização num sistema de RA móvel no contexto da presente investigação. Assim, tendo em conta as características requeridas para este trabalho, identificadas anteriormente, na secção seguinte, são analisadas várias tecnologias disponíveis para implementação de sistemas de RA em dispositivos móveis são analisadas na secção seguinte.

2.4.1 Características dos SDKs

As características estudadas para cada SDK encontram-se identificadas na Tabela 2. Note-se que os campos da tabela correspondem aos requisitos elaborados para este trabalho devendo cada SDK, por isso, possibilitar todas as opções apresentadas (assinaladas com ✓).

Tabela 2 – Recolha das características disponibilizadas pelos diferentes SDKs.

Tecnologia	Tipo de licença		Compatibilidade (smartphone)		Unity 3D	Sensores		Tracking		
	Gratuito p/ developers	Commercial ou free	iOS	Android		GPS	IMU	Imagem 2D	Objeto 3D	Natural features
ALVAR	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	n.e.
AndAR	✓	✗	✗	✓	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	n.e.
Arcrowd	✓	✗	✓ (HTML 5 – browser)	✓ (HTML 5 – browser)	✗	✗	✗	✓	n.e.	✓
ARLab	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	n.e.
AR-media	✓ (mas não foi possível descarregar devido a falha do servidor)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ARMES	✗	✓	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	✓
ARPA Solutions	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	✓	n.e.	✓	✗	✓
ARToolkit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ (apenas compass)	✓	✗	✓
ArUco	✓	✗	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	n.e.
Augmented Pixels	✓	✓	✓	n.e.	✗	✓	n.e.	✗	✓	n.e.
Aurasma	✓	✓	n.e.	n.e.	✗	✓	n.e.	✓	✗	✓
Awila AR	✓	n.e.	n.e.	✓	✗	✓	✓ (apenas compass)	n.e.	✗	n.e.
BazAR	✓	n.e.	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
BeyondAR	✓	✓	✗	✓	✗	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	✓
Catchoom	✓	✓	✓	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	✗	✓
DART	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	n.e.
DroidAR	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
EasyAR	✓	✓	✓	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	✗	n.e.

Tecnologia	Tipo de licença		Compatibilidade (smartphone)		Unity 3D	Sensores		Tracking		
	<i>Gratuito p/ developers</i>	<i>Commercial ou free</i>	iOS	Android		GPS	IMU	Imagem 2D	Objeto 3D	<i>Natural features</i>
FLARToolKit	✓ (mas não foi possível descarregar devido a falha do servidor)	✓	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	n.e.	n.e.
Goblin XNA	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	n.e.
Holobuiler	✓	✓	✓	✓	✗	✓	n.e.	✓	✗	✓
IN2AR	✓	✓	✓	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	n.e.	✓
InstantReality	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	n.e.	n.e.
Kudan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Luxand	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	n.e.
MagicLens	n.e.	✓	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	n.e.
Maxst	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓
Minerva	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	n.e.	n.e.
Mixare	✓	✓	✓	✓	✗	✓	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
MXR Toolkit	✓	✓	✗	✗	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	n.e.
NyARToolkit	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	n.e.	n.e.	✓	n.e.	n.e.
OsgART	✓	✓	✓	✓	✗	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	✓
PanicAR	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	n.e.
PRAugmente dReality	✓	✓	✓	✗	✗	n.e.	✓	n.e.	✗	n.e.
PTAM	✓	✓	✓	n.e.	✗	n.e.	✓	✗	✗	n.e.
Robocortex	✓	✓	✓	✓	n.e.	n.e.	✓	✓	✗	✓
Seac02	n.e.	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	n.e.
SLARToolkit	✓	✓	✗	✗	✗	n.e.	n.e.	✓	n.e.	n.e.
SSTT	✓ (mas não foi possível descarregar devido a falha do servidor)	✓	✓	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✓	✓
Studierstube Tracker	✓	✓	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	✓

Tecnologia	Tipo de licença		Compatibilidade (smartphone)		Unity 3D	Sensores		Tracking		
	Gratuito p/ developers	Commercial ou free	iOS	Android		GPS	IMU	Imagem 2D	Objeto 3D	Natural features
TinEye	✓	✓	n.e.	n.e.	✗	✗	✗	✓	✗	n.e.
Total Immersion	n.e.	✓	n.e.	n.e.	✗	n.e.	n.e.	✓	✗	✓
UART	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	n.e.
Vidinoti	✓ (apenas 1 mês)	✓	✓	✓	✗	✓	n.e.	✓	n.e.	✓
Vuforia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Wikitude	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ (beta)	✓
Xloundia	✓ (apenas 1 mês)	✓	✓	✓	✓	✓	n.e.	✓	n.e.	✓
XZIMG	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓ (beta)	✓

Legenda:

- ✓ – Cumpre requisito
- ✗ – Não cumpre requisito
- n.e. – Não especificado

A Tabela 2 apresenta a recolha das características, recolhidas das páginas oficiais das tecnologias em questão, consideradas relevantes para o trabalho em causa nessa investigação. Assim, observa-se que, da vasta lista de SDKs disponíveis, uma grande parte é excluída por não cumprir com os requisitos deste trabalho, sendo que os SDKs que cumprem, na totalidade, com os requisitos definidos foram o *ARToolKit*, o *Kudan*, o *Vuforia* e o *Wikitude*. O *ARToolKit*, quando testado numa fase inicial, apresentou uma limitação relacionada com o facto de que as imagens que utiliza para a experiência de RA, não serem totalmente personalizáveis, limitado o seu uso a padrões geométricos, ao invés de uma imagem livre criada por quem está a implementar o sistema. Desta forma, apenas o *Kudan*, o *Vuforia* e o *Wikitude* foram implementados e testados no presente estudo.

2.5 Avaliação de Sistemas de Realidade Aumentada

Sendo o trabalho inerente a esta dissertação constituído pela implementação de diferentes protótipos de RA com respetiva avaliação de comportamento, de forma a identificar uma solução para aplicar num contexto de herança cultural, apresenta-se seguidamente uma abordagem à forma como os sistemas de realidade aumentada podem ser avaliados.

Bae *et al.* (2016) reuniram um conjunto de quatro características-chave que determinam a fiabilidade e segurança de uma aplicação de RA móvel (Bae *et al.*, 2016): 1) determinação da

localização do utilizador, de forma a identificar o contexto envolvente do utilizador com vista a apresentar informação relevante a este; 2) velocidade na identificação do conteúdo virtual a apresentar associado ao mundo físico real no local correto; 3) robustez do sistema e capacidade de se adaptar à dinâmica do ambiente percorrido; 4) capacidade de escala, tanto dos elementos virtuais como dos elementos reais – neste caso perante a aproximação ou afastamento do elemento real.

No estudo feito por Pagani *et al.* (2016), é efetuada uma análise sobre os diversos sensores que podem ser usados para RA (Pagani, Henriques, & Stricker, 2016). É apontada como um elemento fundamental, a capacidade do motor de *render*, de modo a obter uma integração realista dos elementos virtuais sobre o ambiente percecionado como sendo real. *i.e.*, para que o objeto virtual seja visto de forma natural no mundo real, a sua geometria deverá ser bem analisada e bem compreendida antes da sua utilização.

De forma a preservar a ilusão de que os elementos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço, é necessário um alinhamento e aquisição de imagem adequados. Mesmo pequenos erros, incluídos neste procedimento, são facilmente detetados pelo olho humano. Desta forma, deve ter-se em conta na avaliação que o *tracking* deve ser preciso enquanto o dispositivo se desloca em qualquer uma das direções (6DoF), mesmo que seja em poucos milímetros. Deve também existir uma velocidade de resposta rápida, de modo a efetuar a correspondência dos elementos virtuais no mundo real. O *tracking* deve ainda funcionar a longas distâncias, especialmente em situações onde o utilizador tem liberdade de movimentos no espaço enquanto experiencia de RA (Azuma, 1993, 1997) – como é o caso do protótipo final que se pretende implementar neste estudo.

No estudo de Swan *et al.* é evidenciada a importância da avaliação das experiências de RA centradas no utilizador e é afirmado que as experiências baseadas no utilizador são desafiantes em tecnologias emergentes, como é o caso da realidade aumentada (Gabbard & Swan II, 2008; Swan II & Gabbard, 2005). Dünser *et al.* (2008) classificaram os diferentes estudos direcionados para a avaliação centrada no utilizador nas seguintes categorias (Dünser, Grasset, & Billingham, 2008):

- Medições objetivas (*objective measurements*): medições relacionadas com a conclusão de uma tarefa específica com valores precisos e exatos, *e.g.*, medir taxas de erro, distâncias, número de ações completadas;
- Medições subjetivas (*subjective measurements*): medições com recurso a escalas de avaliação por parte do utilizador, ou com recurso a questionários;
- Análises qualitativas (*qualitative analysis*): análises por observação aos utilizadores ou com recurso a entrevistas;

- Técnicas de avaliação de usabilidade (*usability evaluation techniques*): com recurso a literatura relacionada com avaliações de usabilidade, *e.g.*, avaliação heurística, avaliação com peritos;
- Avaliações informais (*informal evaluations*): observações informais ao utilizador ou recolha de feedback dos utilizadores de informalmente.

É com base nesta análise que a avaliação efetuada no decorrer deste trabalho é feita, onde existe uma adequação deste procedimento ao presente caso prático.

2.6 Os Utilizadores e a Realidade Aumentada

Diversas técnicas com diferentes objetivos têm sido apresentadas em busca de aplicações bem-sucedidas junto do público. Aborda-se, seguidamente, a perspetiva do lado dos utilizadores relativamente à utilização de RA, onde são referidas algumas das dificuldades sentidas pelos mesmos ao experienciarem esta tecnologia. O interesse desta abordagem reside no reconhecimento da RA, enquanto ferramenta a ser explorada para utilização em contextos de herança cultural, e na identificação das falhas mais frequentes para serem solucionadas ou contornadas aquando do desenvolvimento do trabalho que acompanha esta investigação.

O parecer dos utilizadores que se mostraram a favor da utilização de RA para aquisição de conhecimento relacionado com herança cultural, é esmagador. Num estudo dirigido por Pedit *et al.* em Melaka (Malásia), publicado em 2016 (Pedit, Zaibon, & Bakar, 2016), num total de 200 participantes, 95,5% dos inquiridos afirmaram divertir-se através da utilização de uma aplicação móvel de realidade aumentada enquanto meio de aprendizagem no contexto de museu e 94,0% admitem preferir a aplicação de RA ao invés dos meios tradicionais (livros, mapas e panfletos). Quanto à utilização desta tecnologia no futuro, 93,5% dos inquiridos consideram fazê-lo.

No entanto, torna-se necessário identificar os problemas de usabilidade que esta tecnologia ainda apresenta, apesar de todos os avanços tecnológicos dos últimos anos, e que implicam uma utilização ainda não massiva na sociedade atual.

Nos primeiros anos do novo milénio, surgiu o projeto *Archeoguide* onde os utilizadores, fazendo-se acompanhar por um complexo conjunto de artefactos tecnológicos (incluindo, entre outros objetos, dois computadores portáteis, óculos de realidade aumentada e uma antena), poderiam visualizar reconstruções virtuais do espaço da visita em Olympia (Grécia) (Gleue & Dähne, 2001). No mesmo ano, Vlahakis *et al.* (Vlahakis *et al.*, 2001) publicaram os primeiros resultados relacionados com o uso de um sistema de RA móvel em locais de herança cultural. Nesta análise, em que os jovens utilizadores mostraram ser os mais entusiastas, foram identificadas, pelos utilizadores, algumas falhas no sistema que, apesar de alguns dos problemas ocorridos na altura, podem não ter o mesmo impacto nos dias de hoje – um dos

constrangimentos detetados foi a falta de à vontade dos utilizadores com as novas tecnologias, algo que poderá revelar-se menos significativo nos dias de hoje –, e existem outras que, atualmente, ainda constituem um obstáculo para o utilizador. Destaca-se a dificuldade do utilizador visualizar informação sobre ecrãs digitais quando expostos a luz direta (utilização exterior).

Recentemente, em 2016, Střelák *et al.* reuniram um conjunto de dados relacionados com a avaliação por parte de utilizadores em contexto de utilização de realidade aumentada móvel numa visita turística (Střelák, Škola, & Liarokapis, 2016). Nesta recolha de informação, os utilizadores manifestaram o desejo de ter maior controlo sobre as cenas visualizadas, como por exemplo, ser possível clicar em determinada parte do modelo virtual para obter mais informações relacionadas, implementar a opção de zoom *in/out* sobre os objetos digitais, ter a possibilidade de tirar uma fotografia com boa definição e adicionar espacialização sonora para tornar a experiência mais imersiva.

2.7 Trabalho Relacionado

Existem diversas abordagens à utilização da RA na comunidade científica em diferentes áreas de utilização, cuja utilização se revelou inovadora, tais como:

- Medicina (*e.g.* visualização de imagens 3D obtidas por ultrassons (Bajura, Fuchs, & Ohbuchi, 1992), (Garrett, Fuchs, Whitton, & State, 1996), cirurgia assistida (*State et al.*, 1996));
- Entretenimento (*e.g.* jogos (Stapleton, Hughes, Moshell, Micikevicius, & Altman, 2002), (Piekarski & Thomas, 2002), (Lyu, King, Wong, Yau, & Chan, 2005)), literatura (Billinghurst *et al.*, 2001a), instalações multimédia em concertos musicais (Hamasaki, Takeda, & Nishimura, 2008));
- Indústria (*e.g.* processos de fabricação assistidos (Caudell & Mizell, 1992), *design* de aviões assistido (Baratoff, Wilke, Artificial, & Engineering, 2005), desenvolvimento de produto assistido (Nee, Ong, Chryssolouris, & Mourtzis, 2012));
- Educação (*e.g.* no apoio à aprendizagem de áreas como, por exemplo, a matemática e a geometria (Kaufmann & Schmalstieg, 2002), (Yuen *et al.*, 2011));
- Arquitetura e construção (*e.g.* visualização da obra no local antes da sua construção real (Behzadan, Aziz, Anumba, & Kamat, 2008));

- Publicidade (*e.g.* visualização de carros virtuais (Esther, Obeidy, & Arshad, 2014), simulação de controlo físico para compras online (Hilken, Ruyter, Chylinski, Mahr, & Keeling, 2017));
- Preservação e divulgação da herança cultural (*e.g.* visualização de locais arqueológicos (Tсотros, 2002), (Narciso, Pádua, Adão, Peres, & Magalhães, 2015), visualização de informação adicional em exposições de museus (Walczak, White, & Cellary, 2004), (White *et al.*, 2004), visualização de informação adicional em pinturas (Chang *et al.*, 2014)).

Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos diversos trabalhos de realidade aumentada, nomeadamente, aplicados a dispositivos móveis. A evolução da tecnologia permitiu, ainda, reduzir significativamente o tamanho dos dispositivos tecnológicos utilizados nos sistemas de RA permitindo, atualmente, implementar experiências em *smartphones*, ao invés de fazer com que os utilizadores transportem um conjunto de equipamentos tecnológicos pesados, volumosos, caros e desconfortáveis. Na Figura 2 pode observar-se a complexidade de *gadgets* utilizados em projetos anteriores.

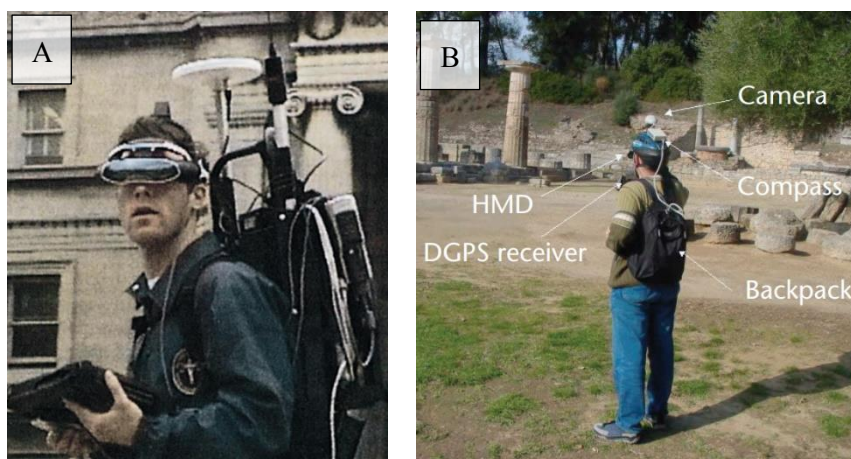


Figura 2 – Equipamento utilizado para a experiência de realidade aumentada móvel. Em [A] observamos um utilizador a usar o protótipo do projeto MARS, 1999 (Höllnerer, Feiner, Terauchi, Rashid, & Hallaway, 1999) e, em [B], um utilizador a usar o equipamento do projeto *Archeoguide*, 2001 (Vlahakis *et al.*, 2001).

Nos últimos anos, a tecnologia tornou possível o acesso a recursos digitais a qualquer momento e em qualquer lugar, através da utilização de dispositivos facilmente transportáveis pelo utilizador comum (Karimi, 2004), *e.g.* os *smartphones*. Assim, o conceito de realidade aumentada móvel, atualmente, está afeto à utilização de dispositivos móveis, (*e.g.* *smartphones*, *tablets*), ganhando, assim, um novo significado uma vez que, projetos que incluíam o transporte de dispositivos tecnológicos pesados e volumosos, eram já enquadrados na categoria de RA móvel (*e.g.* na Figura 2, o projeto MARS (Höllnerer *et al.*, 1999) e o projeto *Archeoguide* (Tсотros, 2002)). O conceito de realidade aumentada móvel torna-se agora uma comodidade

ubíqua que, além de poder ser utilizada em qualquer lugar, se torna passível de interpretar os mais variados cenários (Specht, Ternier, & Greller, 2011).

De seguida, são referidos alguns dos projetos desenvolvidos com vista à implementação de realidade aumentada em dispositivos móveis em ambiente exterior, nomeadamente, em *smartphones*. Os projetos são apresentados por ordem cronológica e foram selecionados de forma a compreender quais os desafios enfrentados numa perspetiva evolutiva e quais os desafios não superados.

Existe ainda uma secção dedicada a aplicações de realidade aumentada atuais, disponíveis em contextos de herança cultural para os utilizadores.

2.7.1 *Tracking* Baseado em Edifícios – 2004

No estudo publicado por Jing Li e Xiangtao Fan (Li & Fan, 2014) é apresentada uma técnica de *tracking* baseada em edifícios de forma a estimar a orientação do utilizador. Este tipo de *tracking* é possível na existência de alguma variedade de edifícios. Os resultados mostraram um sistema de *tracking* entre 6/7 *frames* por segundo, o que, segundo este estudo, se traduz numa experiência satisfatória.

Limitações e/ou resultados obtidos

A sua performance em tempo real, apesar de satisfatória, é lenta. Foram detetados igualmente alguns erros no reconhecimento dos edifícios localizados e o sistema não suporta movimentos bruscos na rotação nem na translação do dispositivo.

2.7.2 Projeto «House of Olbrich» - 2010

Numa das primeiras aplicações de RA para dispositivos móveis, o projeto «House of Olbrich» (Keil *et al.*, 2011), apresenta uma aplicação de realidade aumentada que mostra a história da arte nova em Darmstadt (Alemanha) na casa de Olbrich (nome do arquiteto). O utilizador tira uma fotografia ao edifício em questão e, é então, que a experiência de RA é iniciada, colocando sobre a fotografia capturada a informação digital – *e.g.* fotografias antigas ou informação referente ao arquiteto. A aplicação explora a API do sistema operativo do *iPhone* 4 (dispositivo utilizado e testado neste projeto), em que uma interface implementada em *JavaScript* se interliga à aplicação nativa do telemóvel, através de HTML utilizada no *front-end*, e dá acesso à câmara e aos sensores do telemóvel. Também afeto diretamente ao *iPhone*, está o motor de *render Webkit*¹⁷ que é utilizado para efetuar o *render* do modelo 3D. Na Figura 3 é possível observar a aplicação em funcionamento.

¹⁷ *WebKit* é um motor de navegação utilizado por aplicações afetas aos sistemas iOS e Linux. Mais informações no seguinte endereço: webkit.org (consultado em janeiro de 2017)



Figura 3 – *Snapshots* capturados aquando da utilização: [A] o utilizador aponta o smartphone para o edifício em questão; [B] a informação virtual é sobreposta sobre a imagem real capturada.

Limitações e/ou resultados obtidos

Este projeto não soluciona o problema das grandes alterações de luminosidade existentes (apenas ligeiras oscilações), nem situações em que os objetos a serem localizados estão parcialmente ocultos.

2.7.3 Projeto «XMAR: Piazza dei Miracoli» - 2012

XMAR é um protótipo de uma aplicação de realidade aumentada para *smartphone* orientada para a utilização em contexto de herança cultural, nomeadamente, à Piazza dei Miracoli (Brondi, Carrozzino, Tecchia, & Bergamasco, 2012). Esta *framework*, disponível para dispositivos *Android*, foi criada de forma a sobrepor informação 3D em ambientes exteriores com recurso a um *smartphone*. O projeto XMAR baseia o seu processo de registo (no momento de aquisição de imagem) na combinação de dados GPS e IMU (neste caso específico, acelerómetro e magnetómetro). Uma vez que os dados obtidos por estes sensores não são muito precisos (esta imprecisão deve-se, em parte, à presença de ruído), os valores obtidos foram processados através de um filtro *low-pass*¹⁸. O *render* é feito por *OpenGL ES*¹⁹ 2.0 o qual tira partido da estrutura base da API do telemóvel. A aplicação de gestão foi elaborada em C++.

¹⁸ Um filtro *low-pass* permite modificar ou rejeitar frequências não desejadas (e.g. ruído) de forma a obter um resultado final mais limpo e mais preciso.

¹⁹ *OpenGL ES* é uma API multiplataforma embutida no sistema que admite a possibilidade de gráficos 3D programáveis. Mais informações sobre esta tecnologia disponíveis no endereço www.khronos.org/opengles (consultado a janeiro de 2017).

Limitações e/ou resultados obtidos

Este projeto apresenta problemas de precisão consideráveis e a velocidade do *render* dos modelos virtuais ficava aquém daquilo que seria desejável para tempo real: 17 *fps* usando texturas nos modelos virtuais e 20 *fps* sem texturas.

2.7.4 Projeto «MixAR» - 2015

Este protótipo, apresentado por Narciso *et al.* (Narciso *et al.*, 2015), é constituído por um sistema completo que possibilita a visualização *in situ* de reconstruções virtuais sobre ruínas. A unidade móvel do utilizador (testado com dispositivos *Android*) captura informação do ambiente real e envia informação GIS (*Geographical Information System*) para o servidor. Esta comunicação é assegurada por uma rede presente no local. O servidor, que armazena os modelos virtuais 3D (construídos no *Blender*) a representar, que, por solicitação do sistema, são enviados para o cliente de acordo com o reconhecimento feito (com base nas coordenadas GPS do utilizador). A implementação que gere o armazenamento dos modelos 3D e o *workflow* da aplicação foi implementada no *Unity 3D*. A aquisição de imagem e o *tracking* são realizados com auxílio do SDK *Metaio*²⁰. Quanto ao funcionamento da aplicação em si, o *download* dos modelos é consumado quando a aplicação inicia. Depois, a posição GPS é capturada e, com base nesta posição, é selecionado o edifício a apresentar. Uma imagem de ajuda é apresentada ao utilizador para este alinhar corretamente o modelo a apresentar sobre a imagem real. Esta tarefa faz uso dos sensores do *smartphone*, mais especificamente do giroscópio e do acelerómetro. Assim que o alinhamento é feito com sucesso, a apresentação do modelo virtual é despoletada e, a partir deste momento, o método SLAM é utilizado (por intermédio do *Metaio*) para estender um mapa virtual 3D.

Limitações e/ou resultados obtidos

A tecnologia utilizada para aquisição de imagem e *tracking*, o SDK *Metaio*, foi adquirida tendo sido descontinuada a sua utilização livre para *developers*. É ainda afirmada a necessidade de efetuar um maior número de testes para validar o impacto computacional em relação à complexidade dos modelos virtuais utilizados.

2.7.5 Aplicações Disponíveis para os Utilizadores

Na Dinamarca, o Museu Sydvestjyske, situado em Ribe, dá aos seus visitantes a possibilidade de explorar e experienciar as muitas facetas da vida de um mercador nos anos de 1500 (Figura 4). Para o *tracking*, este projeto, intitulado por “Augmenting the Historic City:

²⁰ O SDK *Metaio* foi lançado por uma *startup* em 2003, na Alemanha. Informações obtidas através da plataforma www.owler.com.

Trade and Merchant’s Life in Ribe” faz uso de *beacons* e, em 2016, foi premiado com um “Gold MUSE Award” na categoria de Jogos e Realidade Aumentada (K. B. Nielsen, 2016).

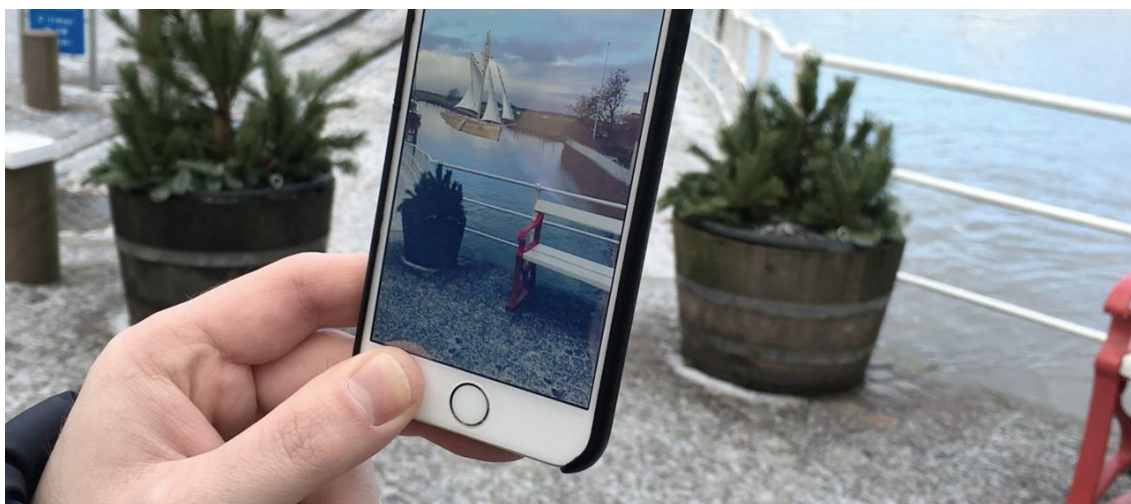


Figura 4 – Imagem que ilustra a utilização de realidade aumentada do projeto “Augmenting the Historic City: Trade and Merchant’s Life in Ribe”.

O Museu Nacional de História Natural em Washington (Estados Unidos da América), parte integrante da instituição Smithsonian, faculta aos seus visitantes a aplicação “The Skin and Bones”, que possibilita a visualização de modelos virtuais tridimensionais dos animais aos quais correspondem as estruturas ósseas representadas no museu (Figura 5) (Smithsonian, 2017).



Figura 5 – Imagem ilustrativa da utilização da aplicação “The Skin & Bones”.

No Reino Unido, 12 museus relacionados com herança cultural, possibilitam aos seus visitantes explorarem informações através da aplicação de realidade aumentada fornecida pela England’s Historic Cities (Cities, 2017) (Figura 6) .

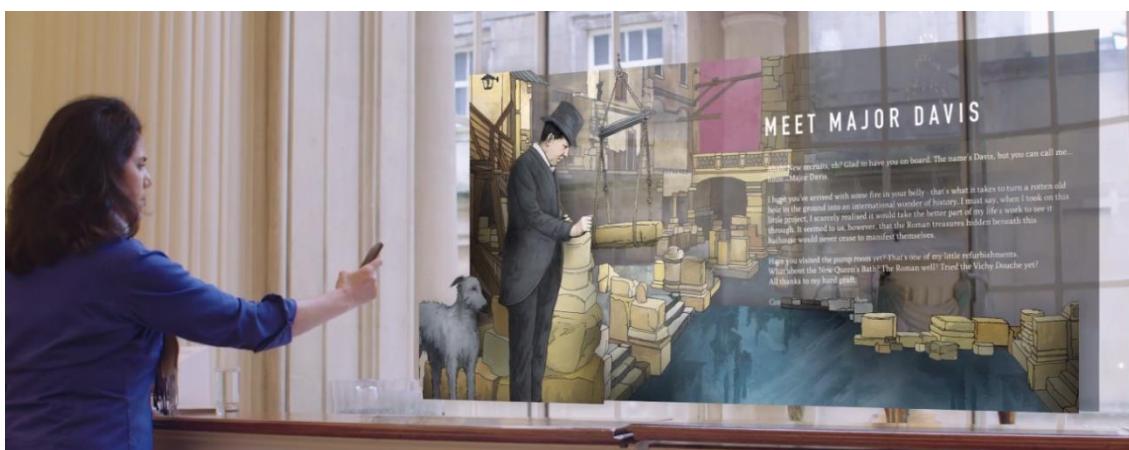


Figura 6 – Ilustração da utilização da aplicação de RA fornecida pela England's Historic Cities para auxiliar os visitantes nas suas visitas a Bath – The Roman Baths, um dos 12 museus de Inglaterra onde é possível utilizar a aplicação.

Numa colaboração entre os museus locais e a Marshall University (Estados Unidos da América), o projeto “Clio” possibilita aos visitantes explorarem diferentes temáticas do passado referentes a alguns locais de visita (Figura 7) (Marshall University, 2017).



Figura 7 – Captura do vídeo promocional do projeto “Clio” onde é possível visualizar imagens transatas relativas ao local em que os utilizadores se encontram.

Nesta secção foram apresentadas algumas das aplicações de RA, que se podem considerar como referência em contextos de herança cultural, mas mais haverão disponíveis e outras, seguramente, a serem desenvolvidas. Com base neste conjunto de trabalhos, podemos afirmar com alguma certeza que a realidade aumentada está, neste momento, a ganhar importância acrescida em contextos museológicos e de herança cultural (Buzz, 2017; Guardian, 2017; Schavemaker & Wils, 2011).

2.8 Síntese do Estado da Arte

A revisão bibliográfica efetuada ao longo do presente capítulo, permite obter, desde já, algumas conclusões associadas à realidade aumentada.

Relativamente à definição do conceito, pode-se resumir nas seguintes características:

- Combina informação do mundo real com informação gerada por computador – informação virtual;
- Possibilita a interação com os objetos em tempo real;
- Possibilita a aquisição de imagem baseando-se em imagens ou objetos do ambiente real;
- Permite o *tracking* dos objetos em tempo real;
- Providencia contexto ou informação em tempo real.

Relativamente à perceção do utilizador, existem algumas falhas na utilização da realidade aumentada móvel, em espaços exteriores, que devem ser melhoradas de forma a intensificar a sua experiência com estes sistemas.

Pode-se concluir que existem diversas tecnologias que permitem a implementação de RA em espaços exteriores. A sobreposição de modelos 3D de edificios sobre as suas ruínas tem sido explorada e é oportuna a sua investigação, já que ainda não existem soluções sólidas disponíveis para os utilizadores.

Para a aquisição de imagem, uma vez que o uso de sensores GPS não deve ser considerado como único elemento de localização do utilizador para a experiência de RA e, além disso, não existe corrente elétrica no espaço em causa (no caso de se considerar soluções que necessitem de energia para funcionar), no nosso trabalho adequa-se a utilização de elementos físicos para esta etapa específica da experiência – uso de imagens 2D ou de objetos 3D.

As técnicas de *tracking* mais comuns são as que utilizam marcas, o *Visual SLAM* e o recurso a modelos 3D. O *tracking*, através de características naturais do ambiente real, é um problema complexo que depende largamente das características do meio envolvente e, normalmente, exige um elevado poder computacional o que, por sua vez, conduz a um outro problema que está relacionado com a capacidade computacional dos *smartphones* (dispositivos a serem utilizados no trabalho a desenvolver).

Os problemas detetados na implementação de RA em dispositivos móveis, estão maioritariamente relacionados com a precisão da posição e orientação dos elementos virtuais a serem sobrepostos de acordo com o reconhecimento dos elementos reais e com a admissão de alterações significativas de luminosidade do espaço. Estas dificuldades são sentidas tanto no

processo de aquisição de imagem, como no processo de *tracking*, sendo mais evidente neste último.

O uso de RA em diversos contextos de herança cultural, particularmente em museus, tem sido uma aposta dos mesmos para cativar e envolver os seus visitantes.

Com base nas conclusões referidas, pode-se afirmar que existe espaço para uma contribuição válida nesta investigação com vista à apresentação de dados conclusivos relativamente ao sucesso na aplicação de tecnologias disponíveis para a implementação de um sistema de realidade aumentada, num contexto de herança cultural, com recurso a um *smartphone*.

3. Desenvolvimento de Sistemas de RA

Para implementar um sistema de RA adequado a um determinado propósito, é necessário optar pela técnica de *tracking* sob a qual a experiência será realizada. Para tal, é essencial conhecer as opções disponíveis e os seus comportamentos. Também a diversidade atual de ferramentas que auxiliam na implementação desta tecnologia, obriga à tomada de decisão de uma solução que poderá mais ou menos viável, de acordo com a opção tomada.

É nesse sentido que foram desenvolvidos diferentes protótipos, cuja descrição do processo de implementação é descrita neste capítulo, seguindo-se uma avaliação relacionada com o comportamento destes. Após a discussão dos resultados obtidos desta análise de técnicas e ferramentas para implementação de sistemas de RA móveis, procede-se à descrição do protótipo final desenvolvido.

3.1 Implementação dos Protótipos

Dada a necessidade de seleção de uma solução de RA, este subcapítulo aborda conteúdos relacionados com todo o procedimento necessário para implementação dos protótipos que se apresentam como candidatos à solução final, nomeadamente, em relação à seleção das técnicas e das ferramentas, apresentando fatores de exclusão e de inclusão a serem avaliados.

3.1.1 Considerações Gerais

Para implementar os sistemas de RA, existem algumas especificações técnicas que são transversais à implementação de todos os protótipos desenvolvidos neste projeto. Estas considerações são apresentadas de seguida.

Targets para Aquisição de Imagem e Tracking

É com base na informação recolhida nos momentos de aquisição de imagem e *tracking*, que a posição e orientação do utilizador é determinada e posteriormente, seguida.

Com base na síntese apresentada no capítulo anterior, para este trabalho em específico, considera-se a utilização de uma fonte física (imagem 2D ou objeto 3D) que é identificada como *target*, pois trata-se de um “alvo” que é utilizado para o alinhamento da informação virtual ao longo da experiência de RA (no caso da utilização de imagens 2D que sejam colocadas no espaço, este *target* é frequentemente apelidado por marca). Assim, são desenvolvidos protótipos com base em ambas as soluções para que, após análise, seja identificada a técnica que, entre ambas, e tendo como objetivo final este projeto de RA para utilização nas ruínas de Conimbriga, é implementada no protótipo final.

– Detecção de modelos 3D

A deteção de objetos 3D para aquisição de imagem numa aplicação de realidade aumentada permite, em tempo real, através da imagem capturada pela câmara, extrair pontos-chave encontrados nesse objeto, nomeadamente, saliências deste, para que, quando comparados com o modelo virtual guardado na base de dados, seja possível reconhecer o objeto presente na *frame* capturada pela câmara. Após o sucesso desta tarefa, é possível identificar a posição e orientação da câmara, sendo então colocada a informação virtual respetiva (*render*) sobreposta na imagem real capturada. O *tracking* das *frames* seguintes capturadas pela câmara permite a navegação da experiência de RA, que pode ser feito com base neste mesmo objeto ou com base nas características naturais do espaço (Qualcomm, 2016).

Para que a aquisição com recurso a modelos 3D seja bem-sucedida²¹, o objeto a ser utilizado deve ser opaco, rígido e deve conter poucas partes móveis. Objetos deformáveis não são aconselhados, assim como a superfície do objeto deverá ter bons contrastes e não deverá possuir transparências.

Os objetos testados, para este protótipo de RA, foram rochas, de forma a que, caso este método fosse o selecionado para implementar na aplicação final, pudessem ser utilizados objetos que não destoassem com a natureza do espaço das ruínas. Na Figura 8 encontram-se representadas as rochas testadas.

²¹ Estas características são apresentadas pelo *Vuforia*, *software* utilizado para efetuar este teste com objetos 3D. Mais informações podem ser consultadas no endereço <https://library.vuforia.com/articles/Training/Object-Recognition>.

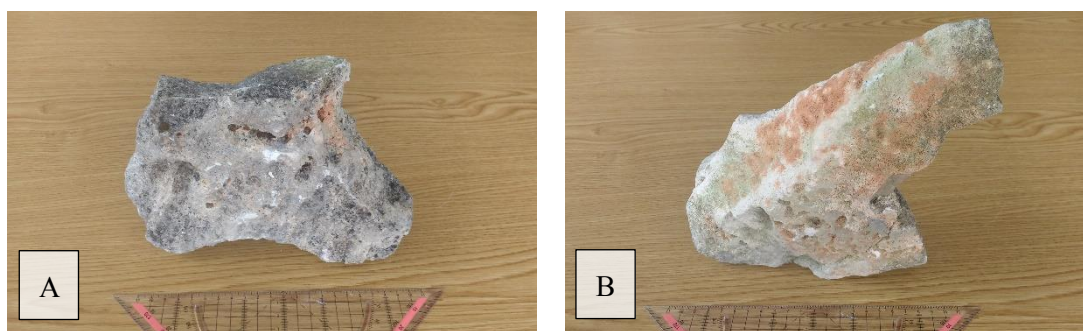


Figura 8 – Rochas utilizadas para o protótipo de RA cuja aquisição de imagem é feita com base em objetos 3D. Foram utilizadas duas rochas com formatos distintos representadas em [A] e em [B].

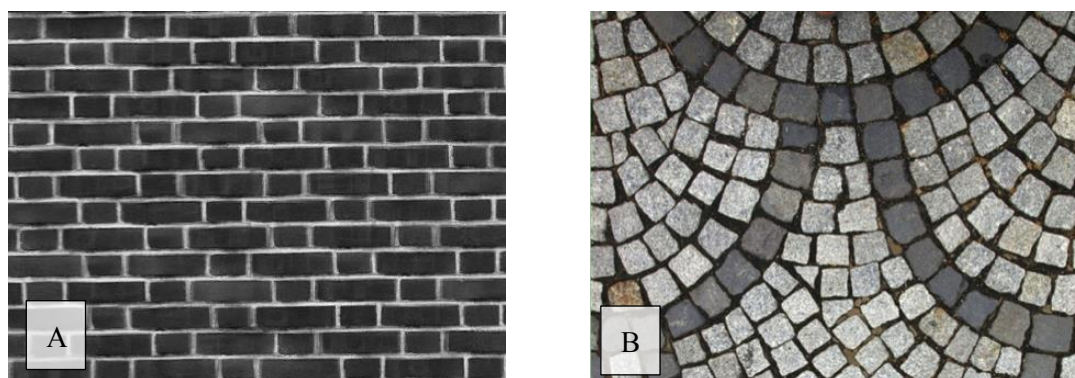
Para a escolha destas rochas foram tidas em conta as características que facilitam o reconhecimento de objetos 3D.

– Detecção de imagens 2D

A deteção de imagens planas para aquisição de imagem numa aplicação RA permite, em tempo real, apontar a câmara para a imagem em causa, identificar pontos-chave nessa imagem de forma a reconhecê-la quando comparada com a imagem armazenada na base de dados. Seguidamente, identifica-se a posição e orientação da câmara para proceder à sobreposição da informação virtual e posterior *tracking*.

Neste estudo comparativo, existem dois tipos de imagens distintas a serem utilizadas: 1) a utilização de uma imagem produzida para o efeito – gerada por computador –, tendo em consideração características que facilitam o seu reconhecimento 2D; 2) a utilização de uma imagem capturada do mundo real para evitar o uso de marcas no local para a experiência de RA.

Para que o momento de aquisição com recurso a imagens planas seja bem-sucedida, existem algumas especificações descritas pelas diferentes ferramentas que importa referir. A dimensão das imagens deverá situar-se entre os 200 e os 1000 pixels, em que as áreas em branco são zonas desperdiçadas da imagem não servindo para o reconhecimento. As imagens devem possuir elevado contraste com texturas distribuídas uniformemente evitando padrões repetitivos (Figura 9) em que, estruturas com cantos melhoram a probabilidade de reconhecimento. As imagens são processadas em *grayscale* ou, quando admitem cores, tornam o processo de reconhecimento mais lento (Kudan, 2016; Vuforia, 2017; Wikitude, 2017).



imagens obtidas em: www.wikitudo.com/external/doc/documentation/latest/studio/targetguide.html

Figura 9 – Padrões repetitivos exibem a mesma informação gráfica [A] em diversos pontos impossibilitando uma localização precisa do local a expor a informação virtual. Imagens com irregularidades [B] possibilitam informação suficiente para que os pontos sejam detetados na posição adequada.

Por vezes pode ser difícil definir se uma imagem é, efetivamente, adequada para ser usada como marca devido à dificuldade sentida na identificação dos contrastes. Uma forma de verificar se a imagem tem elevado contraste, é recorrer ao histograma respetivo (Tabela 3).

Tabela 3 – Comparação de duas imagens com o respetivo histograma referente ao contraste. Quanto mais abrangente for o histograma representado, mais contraste tem a imagem.

Imagem (<i>grayscale</i>)			Imagens tiradas de library.vuforia.com/articles/Solution/Image-Target-Enhancement-Grayscale-Histogram-Quality-Indicator
Histograma			

Na tabela representada, observa-se que a segunda imagem representada tem mais contraste do que a primeira. Essa análise é confirmada quando observamos o respetivo histograma, sendo visível que este é mais extenso, no eixo horizontal, do que o histograma da primeira imagem.

De forma a obter *feedback* sobre a classificação da imagem para ser utilizada como marca, algumas ferramentas possuem um sistema de classificação que, ao carregar a imagem para a

base dados, lhe atribuem uma classificação indicando se a imagem é boa ou não para ser usada como marca.

i) Reconhecimento de Imagem Gerada por Computador

A imagem gerada por computador foi pensada no contexto em questão onde é tido como importante alertar um utilizador relativamente à experiência de RA disponível. Pretende-se que esta infografia seja, simultaneamente, tida como marca para a aquisição de imagem e foi criada tendo em conta as características, referidas anteriormente, que facilitam o seu reconhecimento.

Para testar esta técnica, foram criadas duas imagens processadas por computador utilizadas na fase de avaliação dos protótipos (Figura 10).

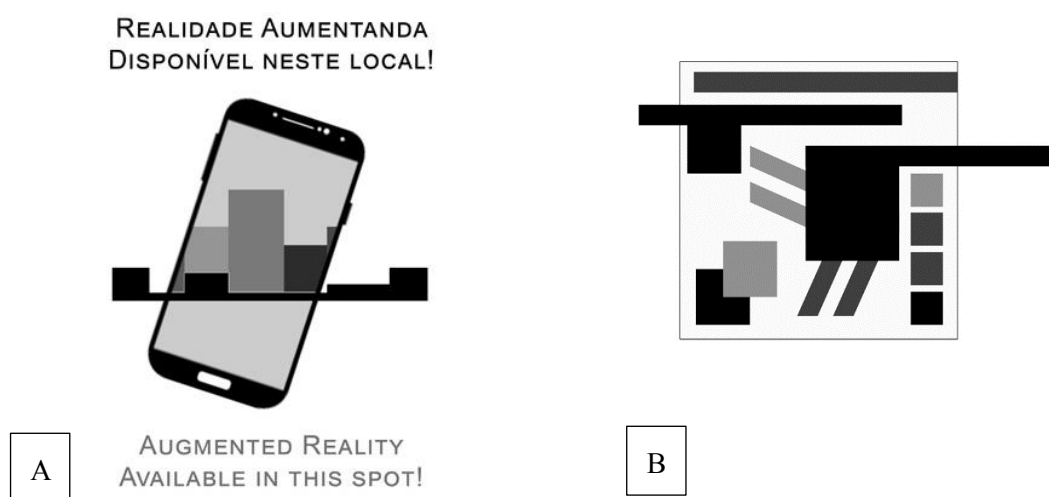


Figura 10 – Imagens geradas por computador para serem utilizadas como marcas. A imagem [A] foi identificada como *Ar_spot* e [B], identificada por *Milimeter*.

As imagens representadas foram utilizadas na fase de testes para avaliação da técnica com recurso a imagens para a aquisição de imagem e posterior *tracking*. No entanto, a imagem representada em [B], apenas serviu para facilitar a avaliação de alguns parâmetros, nomeadamente, para os testes relacionados com alteração de posição do modelo virtual. A imagem [A] tem uma dupla funcionalidade: servir de marca e informar o visitante que o local em causa possibilita uma experiência de RA.

ii) Reconhecimento de Imagem Capturada do Mundo Real

Foram capturadas imagens do mundo real para que o utilizador, ao navegar pelo espaço, pudesse experienciar RA sem recurso a qualquer marca adicional. Neste caso, uma vez que não existe uma marca específica para a aquisição de imagem, esta não é referida como marca, mas apenas como alvo (*target*).

A imagem utilizada para os testes realizados no decorrer desta investigação está representada na Figura 11.



Figura 11 – Imagem capturada do mundo real utilizada como *target* para realização dos testes. Esta imagem é identificada como *roomESTG*.

Esta imagem capturada do mundo real serve como marca pois permite que, em vez de apontar o *smartphone* para uma marca específica, seja possível iniciar a experiência de RA apontado para o cenário em causa.

Modelos Virtuais Utilizados

Vários modelos virtuais foram utilizados para testar as diferentes aplicações de RA.

Um dos modelos a ser exibido é uma casa romana de elevado estrato social (*Domus*), obtida por intermédio do repositório gratuito do *Unity, Asset Store* (Figura 12). Este modelo é representado sobre os seguintes *targets*: 1) a imagem identificada anteriormente como *Ar_spot* (Figura 10 [A]); 2) a imagem identificada anteriormente como *roomESTG* (Figura 11) e 3) no modelo 3D construído (rochas da Figura 8). O único *target* onde este modelo não aparece é na imagem identificada anteriormente como *Milimeter* (Figura 10 [B]). A *Domus* é utilizada para simular os edifícios virtuais a representar em Conimbriga, pela representação em larga escala e devido à sua complexidade de polígonos e texturas.

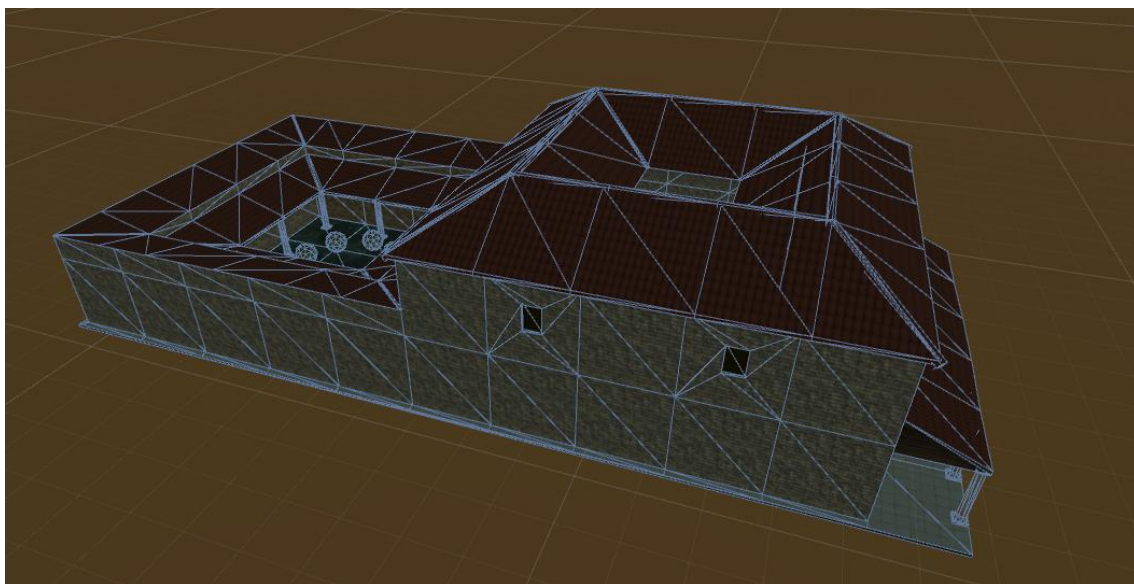


Figura 12 – Modelo virtual utilizado para ser sobreposto com o real: *Domus*.

Outro modelo utilizado foi um cubo, com as faces identificadas, de modo a rapidamente determinar a frente do cubo. Este modelo é constituído por apenas 6 polígonos e é usado como elemento facilitador na avaliação da alteração de posição do modelo virtual, quando sobreposto com o mundo real. Por este motivo, este modelo (representado na Figura 13) é utilizado em todos os *targets*.

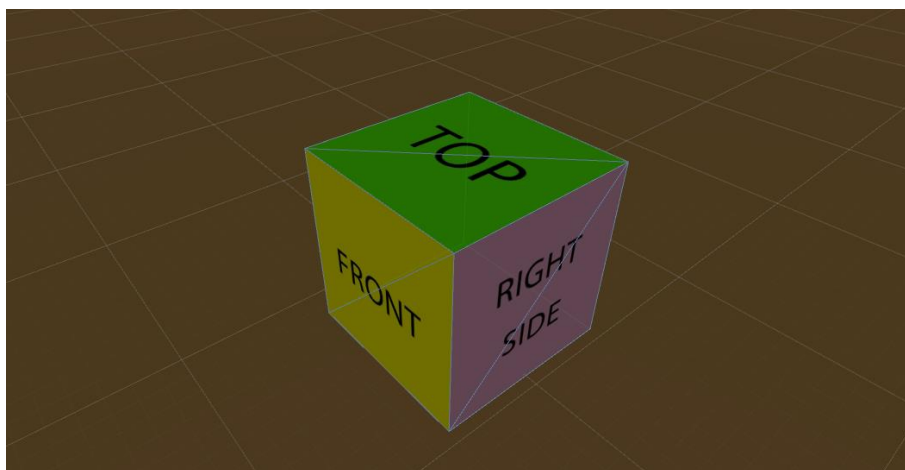


Figura 13 – Modelo virtual utilizado para ser sobreposto com o real: cubo.

Na Figura 14 é possível observar um exemplo de utilização destes modelos virtuais de acordo com o *target* utilizado.

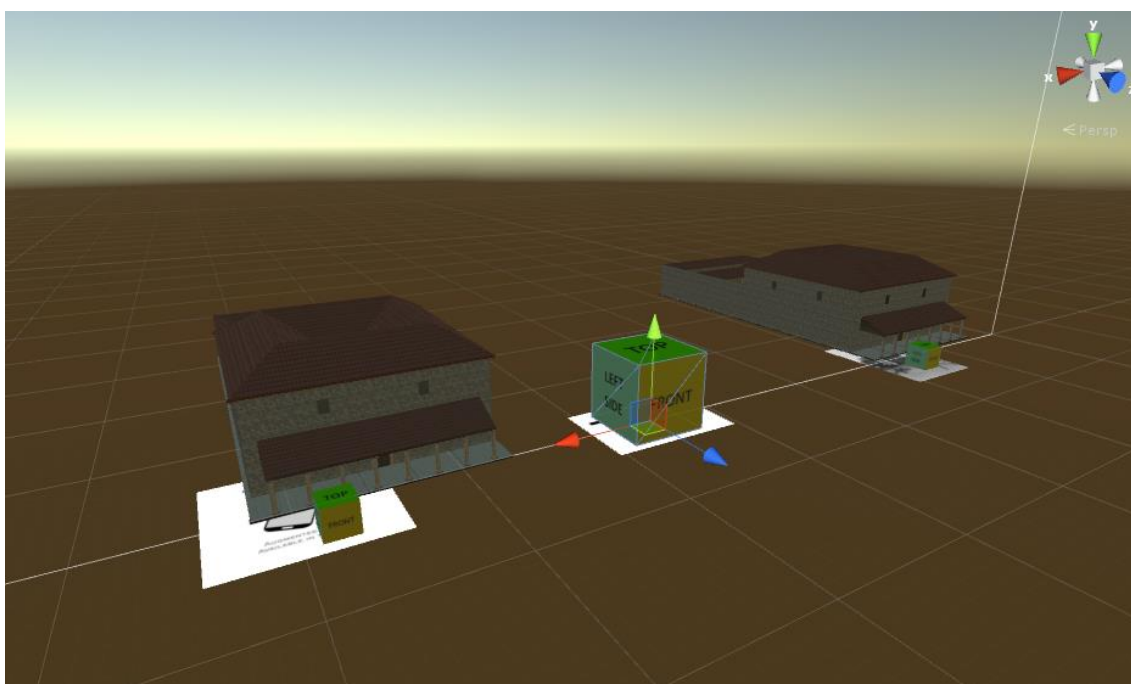


Figura 14 – Inclusão dos modelos virtuais 3D nos respetivos *targets*, utilizando o *Wikitude* SDK.

Na figura anterior estão representados os modelos virtuais utilizados para cada *target*. Da esquerda para a direita, encontramos o *target* anteriormente identificado por *Ar_spot*, onde são sobrepostos os 2 modelos virtuais anteriormente referidos (a *Domus* e o cubo); ao centro da imagem está o *target* anteriormente identificado por *Milimeter*, onde apenas é sobreposto cubo; o último *target* é o que foi identificado por *roomESTG*, onde são também sobrepostos os modelos virtuais referidos anteriormente.

3.1.2 Protótipo Baseado no SDK Vuforia

O *Vuforia* é uma tecnologia de realidade aumentada fundada em 2008 com sede em Massachusetts (EUA)²² e, desde novembro de 2015, tornou-se propriedade da PTC²³. O *Vuforia* possibilita diferentes técnicas de implementação de RA, entre as quais se encontra a aquisição de imagem baseando-se em imagens planas ou em objetos 3D. Inclui configurações *multi-target* (várias imagens usadas como marcas passíveis para a aquisição de imagem por parte do sistema). Inclui facilidades (fornecidas através de um *package*) para integração com o *software Unity 3D*. São apresentadas como principais limitações, a falta de importação de objetos 3D noutros formatos que não o nativo fornecido pelo *software* próprio para digitalização do objeto em questão e o facto de a base de dados suporta apenas até um total de 100 imagens passíveis de utilização como marca, que esta *framework* designa por *target* (alvo para aquisição de imagem e *tracking* no decorrer da experiência de RA).

²² Informações obtidas através da plataforma www.owler.com.

²³ PTC é uma empresa norte-americana de soluções tecnológicas. Mais informações no endereço www.ptc.com.

Reconhecimento de Objetos 3D

Quando o processo de aquisição de imagem é feito com recurso a um objeto 3D real, torna-se necessário modelá-lo num modelo virtual. É com base neste modelo virtual que a aplicação de realidade aumentada irá comparar pontos característicos do objeto do mundo real com o modelo virtual, armazenado na base de dados.

Existem várias aplicações de modelação de objetos virtuais 3D (e.g. *Maya*, *3ds Max*, *Blender*) e existem diversos formatos de ficheiros que resultam dessa modelação (e.g. *.obj*, *.fbx*, *.max*, *.blend*). No entanto, o *Vuforia* dispõe de um componente próprio para digitalização de objetos 3D – o *Vuforia Object Scanner* – de onde resulta um ficheiro do tipo *.od*, não sendo possível utilizar outros formatos. Esta aplicação é instalada no *smartphone*, neste caso em particular, num dispositivo *Android*. A instalação é realizada no dispositivo através do *Android Device Bridge* (ADB). Após a instalação, é possível lançar a aplicação que está pronta a fazer a digitalização – o *Scan*. Esta aplicação permite, após digitalização, testar se o modelo virtual gerado é reconhecido corretamente quando apontado para o elemento real e, entre outras informações, fornece ainda uma previsualização do modelo criado.

O objeto a ser digitalizado deve ser colocado sobre um padrão específico fornecido pelo *Vuforia* – o *Object Scanning Target* – pelo que é necessário imprimir esta imagem (Figura 15) num tamanho mínimo de A4 ou máximo de A3 (tamanhos aconselhados pelo próprio *Vuforia*). O formato escolhido para este protótipo foi o tamanho A3, devido ao facto de que, quanto maior a dimensão do padrão, maior será a representação virtual comparativamente ao objeto (Marto, Sousa, & Gonçalves, 2017).

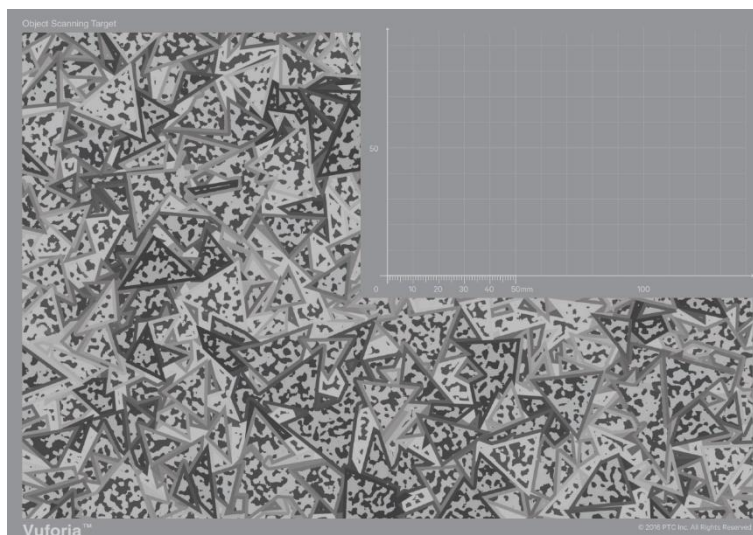


Figura 15 – *Object Scanning Target* fornecido pelo *Vuforia* para digitalização de objetos. A colocação do objeto é feita no quadrante positivo do referencial representado.

Com o objeto colocado no referencial positivo indicado na imagem, criando boas condições para tal²⁴, é possível dar início à digitalização do objeto com o *Vuforia Object Scanner*. O processo de digitalização de uma rocha é ilustrado na Figura 16.

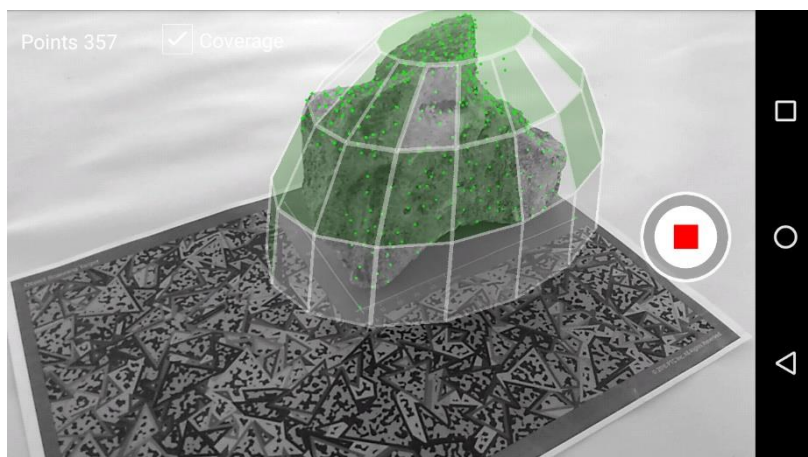


Figura 16 – Digitalização de um objeto (uma rocha) com o *Vuforia Object Scanner*. Os polígonos representados a verde correspondem à identificação de pontos característicos suficientes para reconhecimento nessa zona do objeto.

Após digitalização do objeto, pode-se verificar se o objeto real é reconhecido quando comparado com o modelo virtual gerado. Esta verificação é bem-sucedida quando uma barra translúcida for sobreposta sobre o objeto real, tal como ilustrado na Figura 17.



Figura 17 – A barra verde translúcida indica-nos que o objeto foi corretamente reconhecido e a posição da barra corresponde ao centro do referencial do *Object Scanning Target*.

Cada modelo virtual gerado, de modo a ser utilizado como *target* da aplicação de RA, deve ser carregado como objeto 3D (*object target*) na base de dados no *portal Vuforia Developer* na secção de *Target Manager*. Cada base de dados pode conter até 20 *object targets*. Após carregar

²⁴ As condições ótimas para digitalizar um objeto com o *Vuforia Object Scanner*, encontram-se especificadas no seguinte endereço: library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide.

os modelos necessários para a experiência, a base de dados é descarregada para ser importada como *package* num projeto *Unity*, onde será implementado o sistema de RA.

Reconhecimento de Imagens 2D

Se aplicação a ser desenvolvida recorre a imagens planas para a primeira etapa do sistema de RA, as imagens a serem utilizadas como marca (*targets*), devem ser carregadas no portal de *developer* do *Vuforia*, na secção de gestão de imagens que são utilizadas como marcas para a experiência de RA (*Target Manager*). Nesta secção, podem ser adicionadas várias bases de dados, em que cada uma pode conter até 100 *targets* (imagens).

Assim, para o protótipo deste projeto, foi criada uma base de dados, denominada por *DinofelisAR_thesis*. Nesta base de dados foram adicionadas 3 imagens, referidas anteriormente neste documento. Cada imagem carregada, aceite nos formatos *.jpg* ou *.png*, não deve ter uma largura inferior a 320 pixels e, para ser viável como marca para reconhecimento, deverá obedecer às regras de criação de uma boa marca propostas pelo *Vuforia*²⁵.

Após o carregamento das imagens, é possível consultar a taxa de pontos identificados para o reconhecimento de imagem e é exibida uma avaliação até um máximo de 5 estrelas²⁶. Quanto mais estrelas, mais pontos de reconhecimento foram identificados pelo *Vuforia* e melhor é a imagem para a fase de aquisição de imagem e posterior *tracking*. Um exemplo de uma imagem e respetiva taxa de avaliação, é exibida na Figura 18.

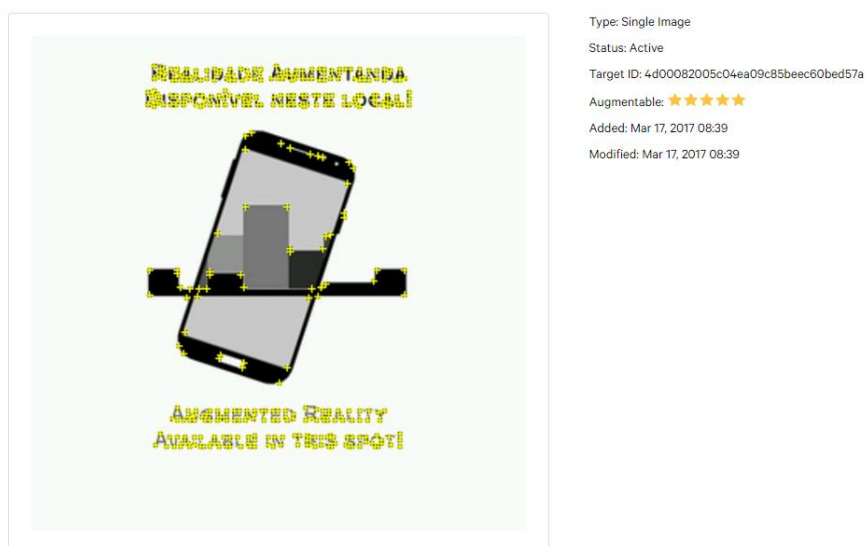


Figura 18 – Imagem utilizada como *target* com uma avaliação de 5 estrelas. A amarelo é possível observar os pontos característicos da imagem que facilitam o seu reconhecimento.

²⁵ Os atributos ideais de uma imagem a ser utilizada como *target* pelo *Vuforia* estão descritos no seguinte endereço: library.vuforia.com/articles/Best_Practices/Attributes-of-an-Ideal-Image-Target.

²⁶ A taxa de cada imagem pode ser analisada com mais detalhe no seguinte endereço: library.vuforia.com/articles/Solution/Natural-Features-and-Ratings.

Após todas as imagens serem carregadas para a base de dados no *Target Manager* do portal do *Vuforia*, esta base de dados é passível de ser descarregada através de um ficheiro do tipo *.unitypackage*, com o intuito de ser importado num projeto *Unity*.

Implementação em *Unity*

O procedimento adotado para a implementação desta aplicação de realidade aumentada utilizando o *Unity* e o *Vuforia SDK*, de uma forma generalista, foi o seguinte:

1. Criação de um novo projeto e de uma nova cena (*scene*) no *Unity*;
2. Importação do *package* fornecido pelo *Vuforia* correspondente ao SDK compatível para *Unity* (versão 6.2.10, disponibilizado a 20 de dezembro de 2016) onde se encontram os *scripts*²⁷ e todos os *prefabs*²⁸ necessários à implementação do sistema;
3. Atribuição da licença gerada no portal do *Vuforia*, na secção *Licence Manager* à “AR Camera” – *prefab*, correspondente à câmara virtual utilizada no trabalho;
4. Importação do *package* correspondente à base de dados do *Target Manager* – sejam imagens 2D ou objetos 3D;
 - a. Os *prefabs* utilizados dependem do tipo de marca utilizado (“*image target*” para as imagens 2D ou “*object target*” para os objetos 3D);
5. Inclusão dos modelos virtuais 3D a serem exibidos na sobreposição com o modelo real;
6. Criação de um *script* para apresentar o *frame rate* da aplicação – para verificar a velocidade do desempenho desta;
7. Ativação da opção de *extended tracking*. Esta opção permite continuar a fazer o *tracking* mesmo depois do *target* (imagem ou do objeto) já não se encontrar no campo de visão;
8. Exportação da aplicação para o sistema *Android*. A versão requerida nos *smartphones* para uso desta aplicação é a versão *Android 4.0.3 (Ice Cream Sandwich)* ou superior.

As configurações descritas abordam a implementação deste sistema de RA sem especificidades, havendo outras configurações mais minuciosas que, por serem demasiado exaustivas, se optou por suprimir.

Na Figura 19 é possível observar a experiência de RA resultante da implementação com recurso ao *Vuforia SDK*.

²⁷ Os *scripts* são ficheiros cujo conteúdo, em código, são instruções que permitem definir comportamentos aos elementos aos quais forem associados.

²⁸ *Prefabs* são elementos pré-configurados no *Unity*.



Figura 19 – Ilustração de uma experiência de RA com o protótipo implementado com o *Vuforia* SDK.

Na imagem anterior, podemos observar a sobreposição do modelo virtual *Domus* sobre o *target* identificado por *Ar_spot*.

3.1.3 Protótipo Baseado no SDK Kudan

O *Kudan* é uma tecnologia anglo-japonesa de realidade aumentada móvel fundada em 2011 em Bristol, Inglaterra²⁹. Esta tecnologia tem vindo a ser utilizada em campanhas publicitárias de marcas como a *Ford*, *Sayduck*, *Karndean*, *DHL* e *Liesje Reyskens*. O *Kudan AR* foi também utilizado em filmes, cinema e teatro para narrativas interativas³⁰.

A tecnologia *Kudan AR* permite aquisição de imagem baseada em imagens 2D ou em objetos 3D. Tem implementada a técnica de *Visual SLAM* ao qual designaram por *Kudan Visual SLAM Engine*.

Para este trabalho é descrito o processo, implementado com recurso a imagens 2D, já que, como será abordado mais à frente neste documento, a utilização de objetos 3D, se evidenciou defetível para utilização em exterior.

Reconhecimento de Imagens 2D

Para que seja possível a utilização de imagens para o momento de aquisição de imagem na experiência de RA, é necessário que estas imagens estejam incluídas num ficheiro do tipo *.KARMarker*. Para o efeito, o *Kudan* disponibiliza uma ferramenta específica para inserir imagens personalizadas e, posteriormente, obter um ficheiro no formato em questão: o *Kudan AR Toolkit* (Figura 20).

²⁹ Informações obtidas através da plataforma www.owler.com.

³⁰ Mais informações no endereço: www.kudan.eu/kudan-news/kudanar-augmented-reality-film-tv-theatre. Consultado em fevereiro de 2017.

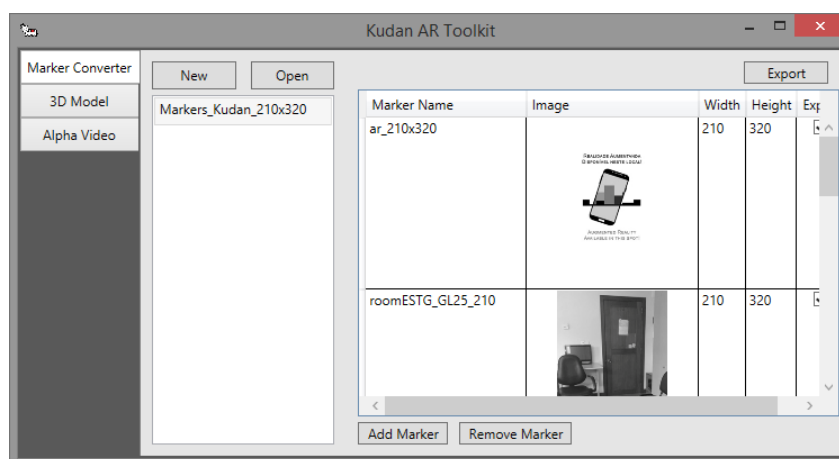


Figura 20 – Apresentação do *Kudan AR Toolkit*, para inclusão de imagens 2D que são utilizadas para o momento de aquisição de imagem na experiência de RA.

A exportação de todas as imagens inseridas neste *software* foi feita num único *set* (identificado na Figura 20 por *Markers_Kudan_210x320*, pelo que são exportadas num único ficheiro *.KARMarker*. Cada *set* suporta até 500 imagens, sendo depois possível adicionar novos *sets*. O ficheiro resultante da exportação deste *toolkit* é posteriormente importando no *Unity* para que, todas as imagens incluídas para o efeito, possam ser utilizadas como *target*.

Na avaliação deste sistema, foram adicionadas as 3 imagens referidas anteriormente neste documento. Cada imagem carregada, aceite nos formatos *.jpg* ou *.png*, tem a resolução sugerida pela ferramenta em estudo: 210x320 px.

Implementação em *Unity*

O procedimento adotado para a implementação desta aplicação de realidade aumentada utilizando o *Unity* e o *Kudan SDK*, de uma forma generalista, foi o seguinte:

1. Criação de um novo projeto e de uma nova cena (*scene*) no *Unity*;
2. Importação do *package* fornecido pelo *Kudan* correspondente ao SDK compatível para *Unity* (versão 1.5, disponibilizada a 9 de março de 2017), onde estão os *scripts* e todos os *prefabs* necessários;
3. Atribuição da licença gerada no portal do *Kudan*, na secção *Licence Manager*, ao *prefab AR Camera* – a câmara virtual utilizada no trabalho;
4. Inserção das imagens para serem utilizadas como marcas através da opção *add KARMarker asset* e depois associar este *asset* às marcas do elemento *MarkerTracker*, que vem incluído no *package* fornecido pelo *Kudan*. Outros aspetos mais minuciosos como identificação das imagens (*markers*) têm de ser igualmente alterados para que, após o reconhecimento da imagem, a experiência de RA aconteça com sucesso;

5. Criação de um *script* para mostrar o *frame rate* da aplicação – para verificar a velocidade do desempenho desta;
6. Inclusão dos modelos virtuais 3D a serem exibidos na sobreposição com o modelo real;
7. Ativação da opção de *extended tracking*. Esta opção permite registar pontos no espaço real, envolvente à imagem que serve de *target*, para que o reconhecimento da imagem seja feito a distâncias maiores e mais rapidamente quando a marca sai do campo de visão e volta a entrar;
8. Exportação da aplicação para o sistema *Android*. A versão requerida nos *smartphones* para uso desta aplicação é a versão *Android 4.0.3 (Ice Cream Sandwich)* ou superior.

As configurações descritas abordam a implementação deste sistema de RA sem especificidades, havendo outras configurações mais detalhadas que, por se considerarem demasiado exaustivas, se optou por suprimir.

Na Figura 21 é possível observar a experiência de RA resultante da implementação com recurso ao *Kudan SDK*.



Figura 21 – Experiência de RA com o protótipo implementado com o *Kudan SDK*.

Na imagem anterior, podemos observar a sobreposição do modelo virtual *Domus* sobre o *target* identificado por *Ar_spot*.

3.1.4 Protótipo Baseado no SDK Wikitude

O *Wikitude* é uma tecnologia de realidade aumentada fundada em 2009, com sede em Salzburg (Áustria)³¹.

Trata-se de uma solução comercial em que a versão *trial* apresenta algumas limitações do ponto de vista do desenvolvedor, *e.g.*, apenas permite explorar *tracking* 2D, a licença atribuída tem a duração de 30 dias, a marca de água ocupa todo o ecrã.

Reconhecimento de Imagens 2D

Para que a aquisição de imagem e respetivo *tracking* funcione com base em imagens planas, estas devem ser carregadas no portal *developer* do *Wikitude*, mais concretamente, na secção de *Target Manager*. Aqui, podem ser criados projetos em que, cada projeto, pode incluir diversas imagens para usar como *target*. Foi criado o projeto *Dinofelis_thesis* e foram adicionadas as 3 imagens referidas anteriormente neste documento. Para cada imagem carregada, aceite nos formatos *.jpg* ou *.png* (sem transparência), são sugeridas dimensões situadas entre os 500 e os 1000 *pixels*. Para a imagem ser viável como marca para o reconhecimento desta, deverá obedecer às regras de criação de uma boa marca propostas pelo *Wikitude*³².

Após carregamento das imagens, é possível observar uma avaliação que vai de zero a três estrelas, atribuída pelo *Wikitude* para classificar a qualidade daquela imagem enquanto marca. Quanto mais estrelas, mais pontos de reconhecimento foram identificados pelo *Wikitude* e melhor é a imagem para a fase de aquisição de imagem e posterior *tracking*.

Após todas as imagens serem carregadas no portal, procede-se ao *download* de um ficheiro no formato *.wtc* que será, posteriormente, utilizado pelo *Unity* para utilização dessas imagens como *targets*.

Implementação em *Unity*

O procedimento adotado para a implementação desta aplicação de realidade aumentada utilizando o *Unity* e o *Wikitude* SDK, de uma forma genérica, foi o seguinte:

1. Criação de um novo projeto e de uma nova cena (*scene*) no *Unity*;
2. Importação do *package* fornecido pelo *Wikitude* correspondente ao SDK compatível para *Unity* (versão 2.1.0, disponibilizada a 3 de março de 2017) onde estão os *scripts* e todos os *prefabs* necessários;

³¹ Informações obtidas através da plataforma www.owler.com.

³² O *Wikitude* fornece dicas para a utilização de imagens que sejam boas marcas que podem ser consultadas no seguinte endereço: www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/studio/targetguide.html.

3. Atribuição da licença gerada no portal do *Wikitude*, na secção *Licences* ao *prefab WikitudeCamera* – câmara virtual utilizada no trabalho;
4. Inserção das imagens para serem utilizadas com recurso ao ficheiro *.wtc* descarregado anteriormente do portal *developer* do *Wikitude*;
5. Inclusão dos modelos virtuais 3D a serem exibidos na sobreposição com o modelo real;
6. Criação de um *script* para apresentar o *frame rate* da aplicação – para verificar a velocidade do desempenho desta;
7. Ativação da opção de *extended tracking*. Esta opção permite registar pontos no espaço real envolvente à imagem que serve de *target* para que, o reconhecimento da imagem, seja feito a distâncias maiores e mais rapidamente quando a marca sai do campo de visão e volta a entrar;
8. Exportação da aplicação para o sistema *Android*. A versão requerida nos *smartphones* para uso desta aplicação é a versão *Android 4.0.3 (Ice Cream Sandwich)* ou superior.

Estas foram as configurações efetuadas, sem especificidades. Na Figura 22 é possível observar a experiência de RA resultante da implementação com recurso ao *Wikitude SDK*.

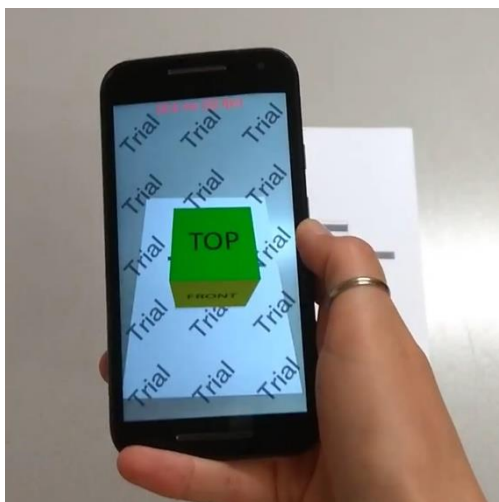


Figura 22 – Ilustração de uma experiência de RA com o protótipo implementado com o *Wikitude SDK*.

Na imagem anterior, podemos observar a sobreposição do modelo virtual (cubo) sobre o *target* identificado por *Milimeter*. É também possível observar a marca de água a ocupar todo o ecrã do telemóvel.

3.1.5 Resultados dos Protótipos Implementados

Os protótipos descritos no ponto anterior, foram avaliados quanto ao seu desempenho no sentido de obter resultados relevantes na seleção de uma solução para a implementação do protótipo final. Todos os testes foram efetuados com recurso ao mesmo dispositivo móvel, um Motorola 3ª geração 5.0” (*Quad-core 1.4 GHz Cortex-A53, 1 GB RAM, câmara de 13 MP, f/2.0*).

Para a avaliação dos protótipos, foram identificados os parâmetros a analisar neste trabalho. Assim, pretende-se estudar o desempenho de cada protótipo nos seguintes parâmetros de avaliação:

- Sucesso ao iniciar a experiência – devendo ter uma taxa de sucesso total (100%);
- Velocidade de resposta ao iniciar a experiência – a aplicação deverá responder em menos de 1 segundo (de forma a garantir que o fluxo da utilização da aplicação, por parte do utilizador, se mantenha interrupto (J. Nielsen, 1993));
- Oscilação do modelo virtual – poderá ser aceite apenas nos casos em que ocorra ligeiramente³³;
- Alteração da posição do modelo virtual relativamente ao elemento real a sobrepor – alteração de posição poderá ser aceite apenas nos casos em que se verifique ligeiramente;
- Distância mínima para aquisição de imagem – esta distância deverá permitir explorar o espaço virtual.

O comportamento do modelo virtual, quanto à oscilação e alteração de posição ao longo da navegação com o dispositivo, é avaliado numa escala de 4 valores, que varia entre “Não se verifica” e “Verifica-se violentamente”. O valor da escala atribuído para alteração de posição é efetuado com base num alvo implementado para o efeito (Figura 23), com formato quadrangular, para realizar essa avaliação.

³³ A classificação deste parâmetro é obtida através da seguinte escala: “Não se verifica”, “Verifica-se ligeiramente”, “Verifica-se moderadamente” e “Verifica-se violentamente”.

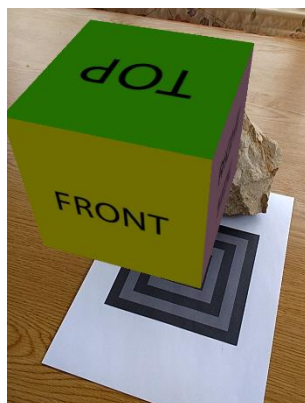


Figura 23 – Procedimento adotado para avaliação da escala de alteração de posição.

Com base na Figura 23, na imagem com as formas quadrangulares, é possível observar os diferentes níveis atribuídos para avaliação da alteração de posição. Para a classificação deste parâmetro, por cada novo nível que o modelo virtual se desloque ao longo da navegação, é-lhe somado um ponto na escala. Se somar 1 ponto, é classificado por “verifica-se ligeiramente”; se somar dois, é classificado por “verifica-se moderadamente”; caso exceda três pontos, é-lhe atribuída a classificação de “verifica-se violentamente”; neste caso, é considerado inviável para implementação do protótipo final.

Devido ao facto deste estudo incidir numa solução de RA para ser aplicada em ambientes exteriores, os parâmetros de avaliação identificados anteriormente são sujeitos a alterações de luminosidade e reavaliados, com vista à análise do sucesso da experiência aquando dessas alterações de luminosidade. A fase de testes, em ambiente controlado, permitiu avaliar o sucesso da aplicação após alterações de luminosidade. Este procedimento é fundamental para o protótipo final que será implementado para utilização em ambiente exterior – onde a luminosidade sofre alterações e não é controlada. Nesta avaliação, é igualmente medida a distância mínima necessária em relação ao *target* para que a experiência de RA decorra com alguma liberdade para o utilizador. Procede-se ainda a uma avaliação de comportamento da aplicação no desenrolar da experiência – nomeadamente, a nível de oscilações do modelo virtual e da eventual alteração de posição deste em relação ao alinhamento feito inicialmente – que, considerando o protótipo final, corresponderá ao alinhamento do modelo virtual em relação às ruínas do local.

O objetivo desta avaliação é identificar a técnica, e respetiva ferramenta, que apresenta resultados mais viáveis para a implementação do protótipo final – uma aplicação de realidade aumentada que exhibe, no local de Conimbriga, o modelo virtual do *Forum* sobre as suas ruínas. Tendo em consideração que todos os protótipos apresentaram uma velocidade de resposta inferior a um segundo, seguidamente são abordados os resultados da avaliação dos restantes parâmetros de avaliação que diferiram entre os protótipos testados.

Comparação de marcas: objeto 3D e imagem 2D

Já foi referido neste documento que para a aquisição de imagem e para o *tracking*, entre outras opções, existe a possibilidade de utilizar uma imagem ou um objeto real 3D. Com vista a escolher o tipo de marca a ser utilizado no espaço, foram implementados dois protótipos: 1) um com base em objetos 3D – rochas e 2) outro com base em imagens 2D.

O sucesso destes protótipos com a luminosidade ideal – luminosidade constante e controlada – trouxe resultados que favoreceram o sistema que utiliza o modelo 3D como marca para a experiência de RA. Apesar da distância média mínima necessária para iniciar a experiência de RA ser inferior no reconhecimento do modelo físico 3D (a uma distância de um metro já é possível reconhecer a imagem 2D enquanto que, para reconhecer o objeto 3D, é necessário estar a uma distância média de 69 centímetros), o comportamento da aplicação relativamente à oscilação e à alteração de posição do modelo virtual evidenciou-se mais estável quando utilizado o objeto 3D. A Figura 24 ilustra esse comportamento.

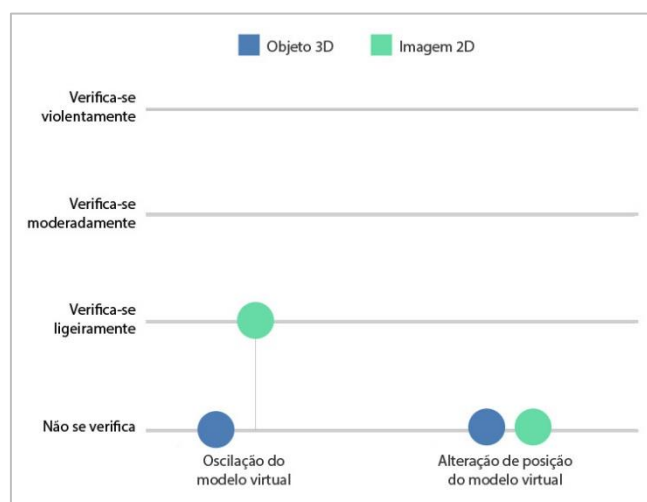


Figura 24 – Representação gráfica referente à oscilação e alteração de posição do modelo virtual, utilizando como marca o objeto 3D e a imagem 2D.

Na representação gráfica apresentada, é possível observar algumas alterações de comportamento nomeadamente:

- Numa escala de 4 posições possíveis, na aplicação que usa o objeto 3D, não se verifica oscilação do modelo virtual nem alteração do mesmo à medida que se navega em torno desta marca;
- Na utilização da imagem 2D, existe uma ligeira oscilação do modelo virtual. Contudo, durante a navegação, não se verifica alteração de posição do modelo virtual.

Na avaliação feita com luminosidade condicionada, a aplicação que utiliza o objeto 3D, deixa de ter sucesso a reconhecer o objeto, não sendo possível experienciar a aplicação de RA. A aplicação que recorre à imagem 2D para iniciar a experiência, por sua vez, não regista

qualquer falha, mantendo a taxa de sucesso nos 100%. Desta forma, a utilização do objeto 3D deixa de ser viável para este trabalho devido à sua aplicação em ambiente exterior onde a luminosidade não é, de todo, controlável.

Comparação de Marcas: Imagem Real e Imagem Sintetizada

Para comparar os resultados entre a utilização de uma imagem capturada do mundo real como marca e a utilização de uma imagem sintetizada por computador para o efeito, foram desenvolvidos três protótipos cujo método de implementação depende do SDK utilizado: *Vuforia* SDK, *Kudan* SDK e *Wikitude* SDK.

Os três protótipos desenvolvidos apresentam uma taxa de sucesso, ao iniciar a experiência, de 100%. Quando avaliados quanto à oscilação e à alteração de posição do modelo virtual, a imagem sintetizada apresenta maior estabilidade (Figura 25).

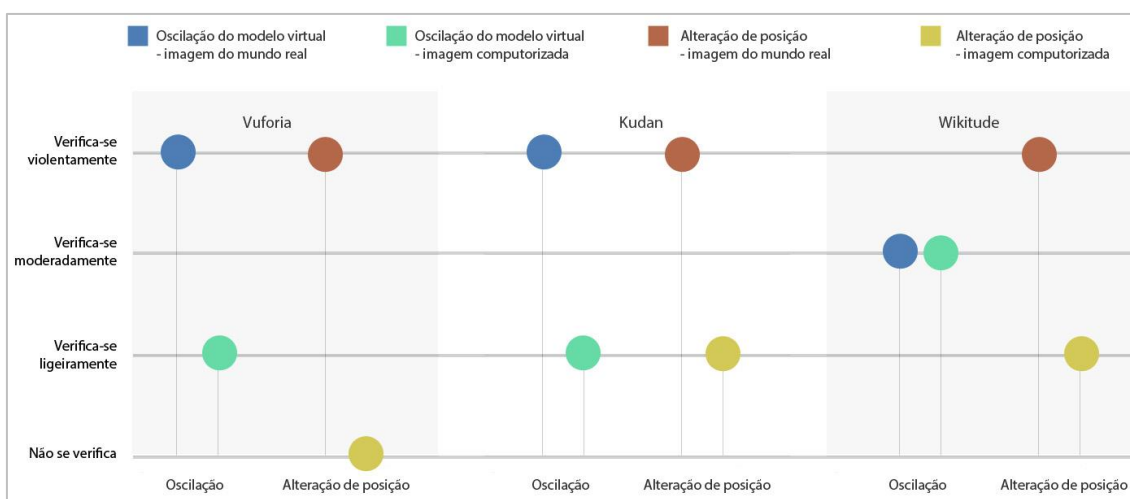


Figura 25 – Comparação dos protótipos usando os três SDKs para comparar a oscilação e alteração de posição do modelo virtual quando utilizada como marca uma imagem capturada do ambiente real e uma imagem sintetizada por computador.

Na representação gráfica apresentada observa-se que, apesar do SDK *Wikitude* apresentar valores menos instáveis no que à oscilação do modelo virtual diz respeito (representado pelo círculo azul), a posição fica totalmente alterada, (círculo vermelho). Observando a avaliação feita com a imagem sintetizada por computador, detetam-se oscilações mais ligeiras nos SDKs *Vuforia* e *Kudan*, sendo que, a alteração de posição com o *Vuforia* não se verifica, mantendo a posição intacta do modelo virtual aquando da navegação em torno da marca. De uma forma geral, é visível a instabilidade da experiência de RA com recurso a uma imagem capturada do mundo real.

Comparação dos SDKs

Em face dos resultados anteriores, optou-se pela marca baseada em imagem sintetizada para os testes seguintes. Nesta fase de testes pretende-se efetuar uma comparação entre as três ferramentas.

Nesse sentido, esta avaliação, que compara o *Vuforia*, o *Kudan* e o *Wikitude*, avalia parâmetros relacionados com a distância mínima para aquisição de imagem; regista oscilações e erros de posicionamento do modelo virtual; avalia ainda o comportamento das aplicações quando a marca sai fora do campo de visão, aferindo se o modelo virtual continua visível ou não. Estes parâmetros são avaliados sob condições de luminosidade ideal e luminosidade condicionada. Relativamente à velocidade de resposta da experiência de RA, todos os protótipos foram avaliados e corresponderam de forma positiva, demorando sempre menos de um segundo desde o momento em que o ecrã aponta para a imagem até à sobreposição do modelo virtual no ecrã do telemóvel.

No que à distância mínima para aquisição de imagem diz respeito, o protótipo implementado com recurso ao *Kudan*, foi o que mais longe detetou a marca, como ilustra a Figura 26.

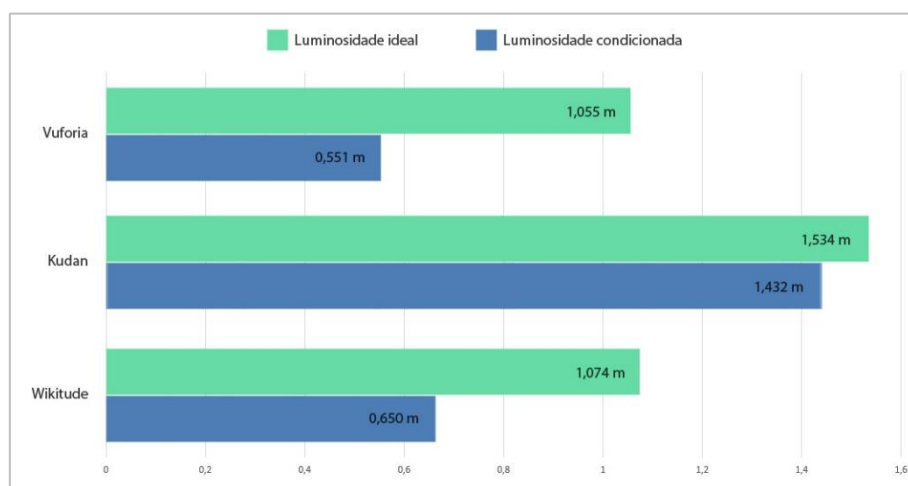


Figura 26 – Representação da distância mínima para detetar a marca e, consequentemente, iniciar a experiência de RA, nas diferentes aplicações implementadas.

Com base na Figura 26, observa-se que o protótipo implementado com o *Kudan*, em média, é o que identifica o seu *target* a uma distância superior, seja com luminosidade ideal ou condicionada. Considerando a luminosidade ideal, basta estar a, aproximadamente, 1,50 metros para detetar o *target* e iniciar, assim, a experiência de RA. Já o *Vuforia* ou o *Wikitude*, com condições de luminosidade ideal, necessitam de estar a uma distância média aproximada de cerca de 1 metro, diminuindo consideravelmente nas situações de luminosidade condicionada.

Analisando o comportamento do modelo virtual a nível de oscilações e erros de posicionamento, verifica-se mais estabilidade dos resultados recolhidos com a utilização do

Vuforia. Na Figura 27 está representada essa análise, considerando igualmente as alterações de luminosidade.

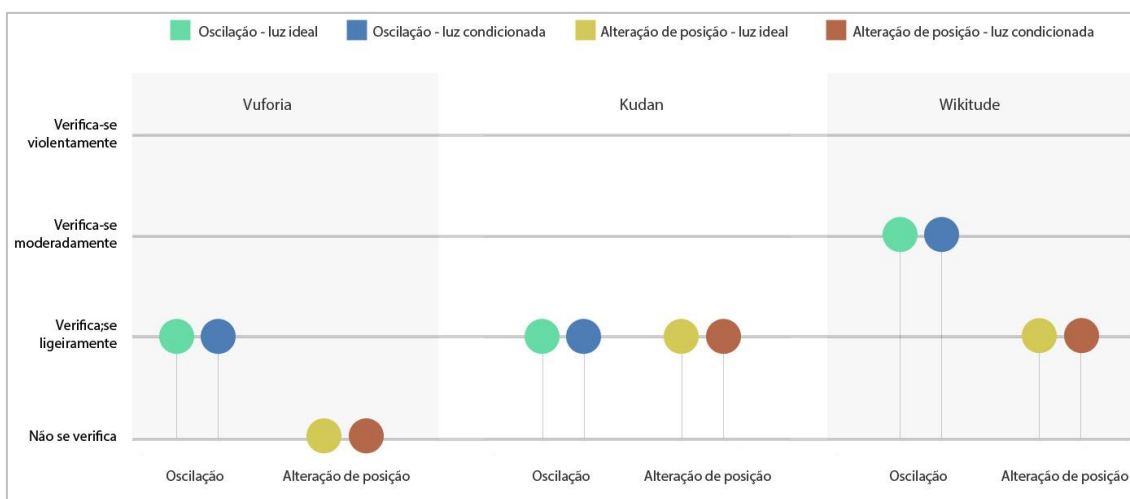


Figura 27 – Avaliação do comportamento do modelo virtual quanto à sua oscilação e alteração de posição nos diferentes protótipos implementados. Esta avaliação foi feita com luminosidade ideal e condicionada.

Tendo em conta as condições com que os protótipos foram testados, verifica-se que, com o *Vuforia*, o modelo virtual não apresenta erros de posicionamento à medida que se navega em torno da marca. Quanto à avaliação relativa às oscilações do modelo virtual, todos os protótipos admitiram, de alguma forma, este comportamento. Neste parâmetro de avaliação, o protótipo implementado com o *Wikitude*, foi onde mais se verificou essa oscilação. Nesta representação gráfica observa-se que a alteração de luminosidade não altera o comportamento das aplicações quando comparado com os testes realizados sob condições de luminosidade ideal.

Tracking Baseado em Características Naturais do Espaço

De forma a que, aquando da exploração do elemento virtual na experiência de RA, seja possível afastar-se da marca visual, de tal forma que esta possa sair do campo de visão, foi testada, nas ferramentas utilizadas, a possibilidade de implementar esta opção. Designada frequentemente por *extended tracking*, esta funcionalidade, quando testada no *Kudan* e no *Wikitude*, permite apenas afastar-se da marca em questão, não admitindo a total ausência do *target*, ou seja, assim que a marca deixa de estar visível no ecrã, o modelo virtual desaparece. A opção de *extended tracking* do *Vuforia* admite essa funcionalidade na íntegra pois, quando a marca fica fora do campo de visão, o *tracking* passa a ser feito com base nas características naturais do espaço. A Figura 28 apresenta os resultados obtidos com o protótipo *Vuforia* em diferentes condições de iluminação.

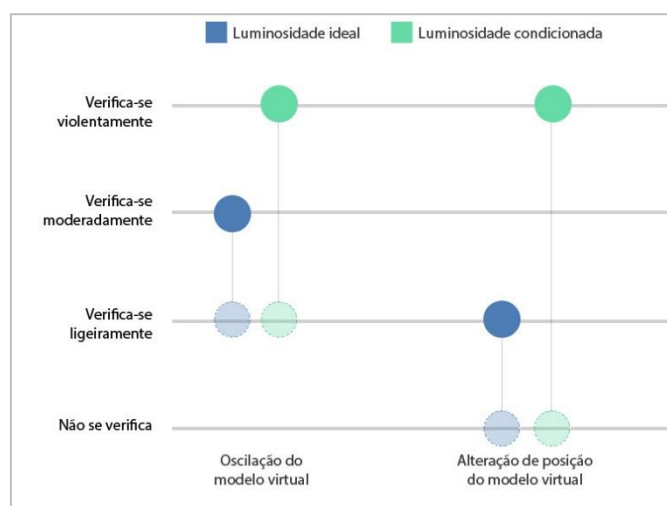


Figura 28 – Comportamento da aplicação usando o *extended tracking* do *Vuforia*, com luminosidade ideal e condicionada.

Nesta avaliação, onde os círculos semitransparentes, representam o comportamento da mesma aplicação tendo o *target* visível no campo de visão, verifica-se que, sem o *target* no campo de visão, a oscilação do modelo virtual passou a verificar-se com maior intensidade – subindo na escala de, ligeiramente, para moderadamente – e, quando testado em ambiente de luz condicionada, intensificou-se ao verificar-se violentamente. Quanto ao erro de posicionamento do modelo virtual, navegando através do *extended tracking*, verificou-se ligeiramente em condições de luminosidade ideal, mas quando testado com luminosidade condicionada, esta posição alterou-se violentamente. Importa salientar que, este tipo de *tracking*, que usa as características naturais, depende em grande medida do cenário onde está a decorrer a simulação. Os testes foram elaborados num ambiente com alguma complexidade geométrica. Deve ter-se em conta que, em ambientes mais vazios e amplos, como é o caso do espaço de ruínas de Conimbriga, estes resultados tendem a sofrer alterações consideráveis.

3.1.6 Discussão dos Resultados Obtidos

O modelo 3D é o mais estável a nível de ausência de registo de oscilação do modelo virtual, mas é extremamente sensível a alterações de luminosidade pelo que se torna inviável enquanto solução para implementar em ambiente exterior, onde a luminosidade do espaço não é controlável e varia ao longo do dia.

A utilização de imagens 2D, apesar de apresentarem ligeiras oscilações, mantêm uma taxa de sucesso absoluto no momento de iniciar a experiência, mesmo com condições de luminosidade menos favoráveis. Por este motivo, este tipo de marca foi explorado para os protótipos seguintes com vista a identificar o procedimento mais adequado à implementação do protótipo final. Foi testada a possibilidade de utilização de imagens capturadas do mundo real para abolir a necessidade de adicionar uma imagem estranha ao espaço. O *Wikitude* é o que

apresenta melhores resultados neste tipo de *target* mas, os testes mostraram que, em todas as ferramentas, o modelo virtual sofre violentas alterações de posição.

Considerando as imagens sintetizadas por computador, o *Vuforia* e o *Kudan* são os que apresentam melhores resultados na oscilação e alteração de posição do modelo virtual. O *Kudan* apresenta melhores resultados relativamente à distância necessária para a aquisição de imagem, sendo o que mais longe consegue reconhecer as imagens quando comparado ao *Vuforia* e ao *Wikitude*.

O *Vuforia*, é a única ferramenta que permite *extended tracking*, possibilitando experimentar RA sem haver obrigatoriedade de ter a imagem presente no campo de visão.

Para este caso em particular, dada a importância dos elementos avaliados, e apesar de todos os SDKs testados apresentarem resultados satisfatórios para determinados elementos de avaliação, o *Vuforia* evidenciou-se como sendo o mais estável com utilização de uma imagem 2D sintetizada por computador para a aquisição de imagem. O facto de possibilitar *extended tracking* torna igualmente este SDK mais flexível para ser utilizado pelo público geral.

3.2 *DinofelisAR*: Implementação do Protótipo Final

A aplicação final a ser testada pelos participantes foi implementada com base nos resultados obtidos e apresentados anteriormente, com recurso ao *Vuforia* SDK. O nome escolhido para identificar este protótipo de RA foi “*DinofelisAR*”³⁴. Informações sobre a nomenclatura desta aplicação podem ser consultadas no [Anexo C](#) deste documento. Esta aplicação foi, após implementação, instalada em dois dispositivos *Android*: 1) Motorola 3^a geração 5.0” (*Quad-core* 1.4 GHz *Cortex-A53*, 1 GB RAM, câmara de 13 MP, f/2.0); 2) Motorola 5^a geração 5.0” (*Octa-core* 1.4 GHz *Cortex-A53*, 3 GB RAM, câmara de 13 MP, f/2.0).

Seguidamente, são os requisitos usados na implementação desta aplicação, que foi elaborada com vista a possibilitar a visualização do modelo virtual do *Forum* da cidade de Conimbriga *in loco*.

3.2.1 O Modelo Virtual - *Forum*

Tal como sugerido pela direção do Museu Monográfico de Conimbriga, o local escolhido para a realização dos testes foi o *Forum*, pelo que o modelo a exibir deveria ser uma réplica virtual do *Forum* Flaviano da cidade romana de Conimbriga.

³⁴ O nome *DinofelisAR* atribuído a este protótipo foi inspirado no nome de um animal já extinto: *Dinofelis*. A alusão a um animal extinto para o nome deste projeto pretende fazer a analogia com o antigo império e respetiva civilização romana. Mais informações relativamente à nomenclatura adotada neste trabalho pode ser consultada na secção dos anexos.

A modelação virtual deste monumento, inicialmente elaborada em VRML³⁵ (Gonçalves, 2002), foi colorido e convertido num ficheiro do tipo *.obj*. No entanto, o modelo não estava completo e foi necessário acrescentar alguma da geometria em falta. O modelo *.obj* foi importado para o *Unity*, onde foram modelados os elementos que estavam em falta e que eram relevantes para a experiência de realidade aumentada.

O modelo contém diversos elementos repetidos que podem ser instanciados, em vez de serem objetos únicos e, desse modo, duplicarem a sua geometria no modelo final. Por forma a consumir menos recursos, nos elementos que se repetem, como é o caso, por exemplo, das colunas e das cimalthas, foram criados *prefabs* de forma a poder instanciar estes objetos.

O modelo inicial pode ser observado na Figura 29 e, o modelo do *Forum*, após inclusão dos elementos em falta e com aplicação de texturas, pode ser observado na Figura 30.

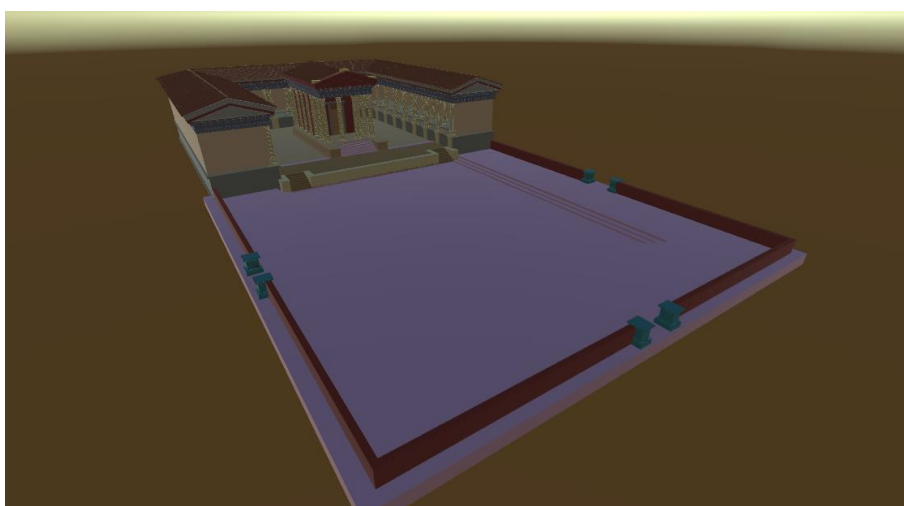


Figura 29 – Modelo virtual do *Forum* inicial, importado no *Unity* através do formato de ficheiro *.obj*.

Na Figura 29, todos os objetos são únicos, não havendo qualquer tipo de instanciação entre eles, tornando este modelo excessivamente pesado para poder ser visualizado e explorado com recurso a dispositivos móveis.

³⁵ *Virtual Reality Modeling Language* é um formato (descontinuado) de ficheiros para realidade virtual utilizado, tanto para a Internet como para ambientes *desktop*.

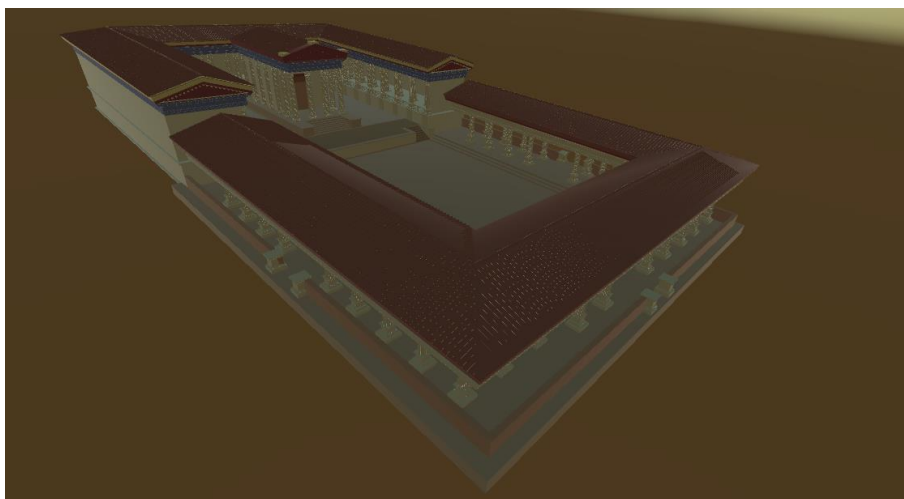


Figura 30 – Adaptação do modelo virtual no *Unity*: utilização de instâncias para objetos repetidos; conclusão dos elementos que faltavam no modelo inicial e aplicação de cores e texturas.

Na Figura 30, observa-se que a construção do *Forum* inclui colunas em volta de toda a praça. O modelo apresentado incluía as telhas do edifício, estando a sobrecarregar esta representação. Tendo em conta que a navegação será realizada no centro da praça do *Forum*, estes elementos podem ser abolidos, simplificando o modelo sem prejudicar a experiência (Figura 31).

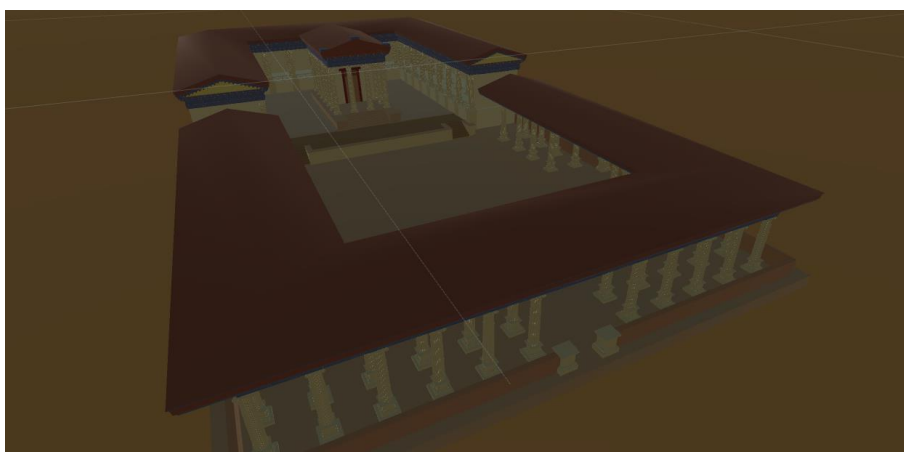


Figura 31 – Adaptação do modelo virtual no *Unity*: simplificação dos telhados.

Após a reconstrução de todos os elementos e devida validação por parte da direção do Museu Monográfico de Conimbriga, este projeto *Unity* foi exportado para um *package* de forma a ser importado noutros projetos, nomeadamente no projeto onde a implementação da aplicação de RA foi elaborada.

3.2.2 Visualização do Modelo Virtual *in-situ*

Pretende-se com este protótipo de RA exibir o modelo virtual do *Forum* corretamente alinhado sobre as suas ruínas, cujo alinhamento e posterior seguimento, tem como base uma imagem 2D.

Os procedimentos gerais adotados para implementação deste protótipo de RA, foram semelhantes à descrição feita neste documento para o protótipo baseado no SDK *Vuforia* com recurso a imagens sintetizadas por computador.

Foi utilizada apenas uma imagem como *target* da aplicação (Figura 32), cuja representação serve de marca para o funcionamento da aplicação e de indicação para a experiência.



Figura 32 – Imagem utilizada como marca na aplicação final de RA para testar com utilizadores.

Esta imagem foi impressa no tamanho A4 cujas dimensões haviam sido consideradas, aquando da sua elaboração, com recuso à ferramenta de edição de imagem *Adobe Photoshop*³⁶, para corresponder às dimensões deste formato. Esta imagem foi posicionada no centro da praça do *Forum*, suspensa sobre um tripé (Figura 35).

Numa primeira fase, foi definido o local exato onde a experiência iria decorrer. Foi escolhido o centro da praça (Figura 33) de forma a que os participantes pudessem visualizar todo o *Forum* daquela perspetiva.

³⁶ Mais informação sobre este *software* disponível no endereço www.adobe.com/pt/products/photoshop.html (consultado em junho de 2017).



Figura 33 – Vista panorâmica sobre a praça do *Forum*, local escolhido para a realização da experiência.

Posteriormente, o alinhamento modelo virtual do *Forum* sobre as suas ruínas, foi efetuado no *Unity*.

Após implementação deste protótipo, ao lançar a aplicação *DinofelisAR*, é possível visualizar o ambiente envolvente através da câmara que é ativada assim que a aplicação é iniciada. Não existem quaisquer passos intermédios necessários para poder despoletar a experiência de RA, bastando navegar no espaço e apontar a câmara do telemóvel para a imagem definida como *target* para a experiência. Assim que a imagem é reconhecida, é sobreposto um cubo virtual sobre essa imagem. Este cubo serve de guia para indicar que o reconhecimento foi corretamente realizado, dado que, naquela perspetiva e devido à proximidade da imagem, apenas o cubo seja visível. A partir deste momento, é possível visualizar a reconstrução virtual do *Forum* ao explorar o local atual das ruínas com o telemóvel.

4. Recolha de Resultados *In-Situ*

Após implementação do protótipo final, este foi testado *in-situ* com o intuito de recolher resultados junto do público geral que visita o espaço arqueológico em causa neste estudo – as Ruínas de Conimbriga.

Neste capítulo, faz-se uma contextualização do espaço onde decorreu a experiência, apresentam-se os testes realizados e, posteriormente, são apresentados os resultados recolhidos com respetiva discussão.

4.1 Sobre o Local

Conimbriga é uma cidade romana provincial abandonada ao longo da idade média tendo sido escavada desde 1899, é um local notável na arqueologia do Império. Segundo as evidências arqueológicas, Conimbriga foi habitada, pelo menos, entre o século IX a.C. (época final do Bronze) e os séculos VII-VIII d.C. (em que, em plena época Medieval, este local terá sido, definitivamente, abandonado). Conimbriga corresponde a uma área consagrada como monumento nacional, definida por decreto em 1910 (Correia, 2013; Museu Monográfico de Conimbriga, 2017). O museu Monográfico de Conimbriga foi fundado em 1962 e tutela as ruínas da cidade romana (abertas ao público desde 1930).

O local onde a experiência de RA decorreu, corresponde ao *Forum* – monumento público de grandes dimensões cuja arquitetura foi reconstruída virtualmente –, localizando-se no centro do que foi, em tempos, o espaço urbano da cidade (Figura 34). A dimensão do *Forum*, baseada em triângulos pitagóricos, a partir de um módulo de pés romanos (equivalente a 2,96m), é de 15,5 módulos de comprimento por 8 de largo, correspondendo a um valor aproximado de 96 x 48 metros. Do comprimento, 7 módulos são reservados à zona do templo, sendo que a praça ocupa o resto. O templo teria uma altura equivalente a 3 módulos: sobre uma largura de 8 módulos, a zona central do alçado do *Forum* era desenhada sobre 2 triângulos retângulos correspondentes à proporção pitagórica de 3/4/5 (Museu Monográfico de Conimbriga, 2017).

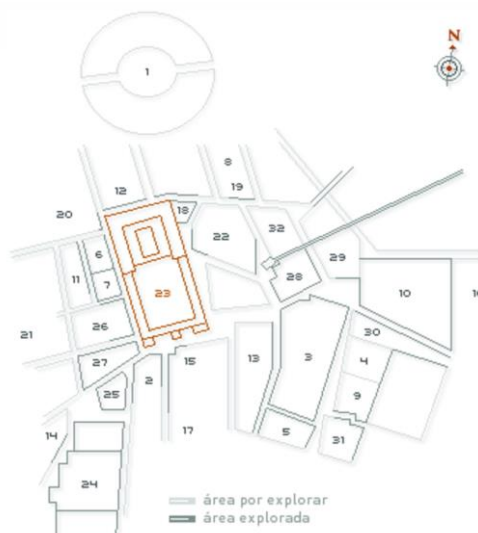


Figura 34 – Destacado a vermelho, com a identificação do número 23, está o *Forum* enquadrado com a envolvente da cidade romana (imagem retirada de www.conimbriga.pt).

A experiência decorreu numa zona central deste espaço. A imagem utilizada como *target* da aplicação de RA foi colocada no centro da praça, como é possível observar na Figura 35.



Figura 35 – Identificação da posição central do *Forum* onde a experiência decorreu. O círculo indica o local onde um tripé sustém a folha com a imagem que foi utilizada para testar a aplicação *DinofelisAR*.

Na imagem está identificado, através do círculo, o local onde a experiência decorreu. Sobre o lado esquerdo deste local, é possível observar uma tenda com uma mesa e algumas cadeiras, utilizada pelos voluntários que aceitaram participar nesta experiência, para preencherem os questionários relativos à avaliação da sua experiência com a aplicação desenvolvida no decorrer deste trabalho.

4.2 Testes Efetuados

Antes de implementar o processo experimental com os participantes que fariam parte deste estudo, foram consideradas algumas estatísticas sobre os visitantes do espaço de Conimbriga

para melhor conhecer o potencial grupo de participantes. Segundo um relatório sobre a satisfação dos visitantes de Conimbriga (Madrid, 2016), com dados recolhidos entre 12 de março de 2016 e 23 de junho do mesmo ano, numa amostra total de 469 visitantes, 55% foram visitantes nacionais e 45% visitantes internacionais. A maioria dos visitantes possuem um nível de escolaridade superior (58% nos visitantes nacionais e 86% nos internacionais). A maioria dos visitantes (aproximadamente 80%), despende entre 1 e 3 horas para fazer a visita ao espaço.

Uma vez que os testes experimentais deste estudo decorreram em maio de 2017, foram igualmente analisadas visitas que aconteceram no espaço de Conimbriga, nesse mesmo mês de 2016: cerca de 53% de visitantes estrangeiros e 47% de visitantes portugueses³⁷. Num total de 8378 visitantes, 29% pertenceram a visitas de estudo escolares.

Com base nestes dados, traçaram-se os perfis dos participantes que, eventualmente, poderiam fazer parte da experiência e procedeu-se à realização de testes-piloto com voluntários cujo perfil se enquadrava nesta amostra.

4.2.1 Testes-Piloto

Tendo em conta a caracterização dos visitantes do espaço de Conimbriga, de forma a testar e validar todo o processo experimental antes de “ir para o terreno”, foram feitos testes-piloto com cinco voluntários: dois de nacionalidade inglesa, um com 55 anos (sexo masculino) e outro com 49 anos (sexo feminino); um com nacionalidade luso-francesa com 29 anos (sexo feminino) e dois com nacionalidade portuguesa com 16 anos (sexo feminino). A escolha destes utilizadores foi feita tendo em conta o público que frequenta o espaço das Ruínas de Conimbriga onde são incluídos estrangeiros e portugueses (público no geral e escolas). Os testes decorreram em casa dos participantes, em espaço exterior.

Estes testes, que incluíram a utilização da aplicação e o preenchimento dos questionários, permitiram verificar e adaptar as instruções necessárias a transmitir aos participantes para que estas fossem perceptíveis e bem compreendidas. Estes testes-piloto levaram também à adaptação de alguns conceitos nos enunciados dos questionários (tanto na versão portuguesa como na versão inglesa), de forma a que a sua interpretação se tornasse mais clara e simples. Foi ainda possível fazer uma estimativa do tempo de duração de cada experiência levava: a experiência com a aplicação durou, em média, 1 minuto e 32 segundos e a resposta aos questionários durou, em média, 2 minutos.

³⁷ Estatísticas mensais, desde 2009 até 2016, realizadas pelo Museu Monográfico de Conimbriga.

4.2.2 Testes com Utilizadores *In-Situ*

Já no local onde a aplicação foi testada, os visitantes que aceitaram participar nesta experiência foram encaminhados até ao local onde a imagem se encontrava. Foi-lhes fornecido um *smartphone*, com a aplicação instalada, e foi-lhes explicado, de forma muito breve, como funciona a tecnologia. Cada participante foi, assim, convidado a seguir os seguintes passos:

1. Lançar a aplicação;
2. Apontar a câmara do *smartphone* em direção à marca, até visualizar o cubo virtual que servia de indicador de que a imagem foi corretamente reconhecida (Figura 36);

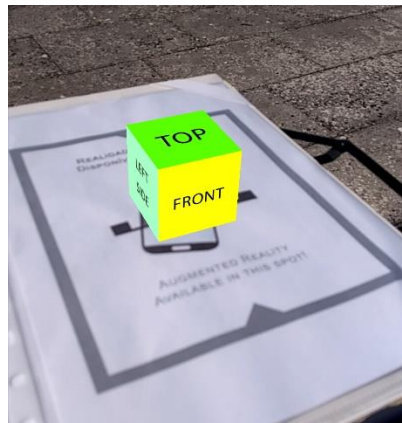


Figura 36 – Momento em que a aplicação reconhece a imagem em causa e sobrepõe um cubo virtual sobre a imagem reproduzida no ecrã.

3. Deslocar o telemóvel para cima (em direção às ruínas do *Forum*) e explorar o ambiente virtual envolvente, que inclui a sobreposição do modelo virtual do *Forum* sobre as imagens reais (Figura 37). A navegação com o telemóvel era feita da forma que considerassem mais confortável, cujo objetivo era conseguirem visualizar o *Forum* em toda a sua extensão, num ângulo de 360°.

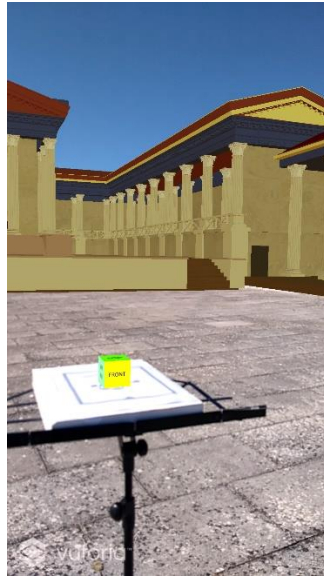


Figura 37 – Visualização do modelo virtual correspondente ao *Forum* através da aplicação *DinofelisAR*.

Alguns participantes optaram por navegar livremente no espaço físico; desta forma, o *tracking* era feito com base em características naturais do ambiente – *extended tracking* – pois a imagem utilizada como marca deixava de estar no campo de visão da câmara. . Nestes casos, o modelo virtual tem tendência a apresentar uma maior oscilação e a sofrer erros de posicionamento ao longo do *tracking*, tal como foi descrito no capítulo 3 deste documento. Outros, mantiveram sempre visível no ecrã do telemóvel a imagem utilizada como marca para que o *tracking* fosse efetuado adequadamente. Para tal, os participantes exploravam o modelo virtual circulando em torno do tripé, de forma a manter o *target* presente no campo de visão. Desta forma, o modelo virtual mantinha-se mais estável e sem alterações de posição.

Na imagem seguinte é possível observar um participante a testar a aplicação.



Figura 38 – Momento capturado aquando de uma experiência com a aplicação *DinofelisAR*.

Depois de testarem a aplicação, os participantes que aceitaram colaborar neste estudo assinaram uma declaração de consentimento informado e preencheram um questionário relativo

à experiência de RA – disponível nos idiomas português e inglês. Esta documentação pode ser consultada no [Anexo D](#) deste documento.

4.2.3 Os Participantes

Fizeram parte desta experiência todos os visitantes que passaram pelo *Forum* das ruínas de Conimbriga que, quando convidados a participar nesta experiência, aceitaram o desafio de experimentar a aplicação *DinofelisAR* e, conseqüentemente, preencheram o questionário relativo à experiência. A aceitação dos visitantes para participarem nesta experiência foi geral: em 104 pessoas convidadas a participar na experiência, apenas 6 rejeitaram experimentar a tecnologia (alegando falta de tempo). Houve 8 que experimentaram a tecnologia, mas não preencheram os questionários (3 alegaram falta de tempo para os preencherem e 5 não foram inquiridos devido à barreira linguística – estes não estavam à vontade em nenhum dos idiomas disponíveis nos questionários).

Esta fase de testes decorreu entre os dias 17 e 19 de maio de 2017 e juntou um total de 90 participantes (51% do sexo feminino e 49% do sexo masculino). Destes, 44% tinham idade superior a 55 anos, 19% com idades compreendidas entre os 40 e os 55 anos, 21% com idades compreendidas entre os 25 e os 39 anos, 9% com idades compreendidas entre os 18 e os 24 anos e, 7% com idade inferior a 18 anos. Na Figura 39 é possível observar esta distribuição.

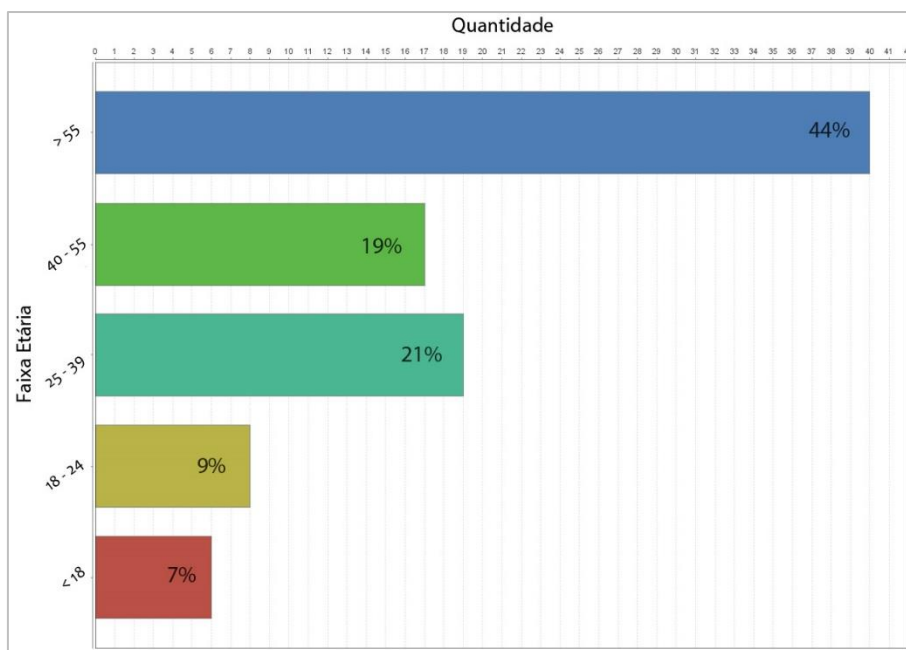


Figura 39 – Distribuição de participantes organizados por faixa etária.

Através do gráfico de barras apresentado, é possível observar que a maioria dos participantes se encontra numa faixa etária superior aos 55 anos. O grupo menos representado neste estudo foi a faixa etária correspondente a idades inferiores a 18 anos.

Ainda na caracterização dos participantes envolvidos nesta experiência, 73% possuem um nível de escolaridade correspondente ao ensino superior, 18% possuem escolaridade até ao ensino secundário e pós-secundário, 8% têm escolaridade até ao ensino básico e 1% não respondeu. Na Figura 40 é possível analisar de forma mais imediata estes dados.

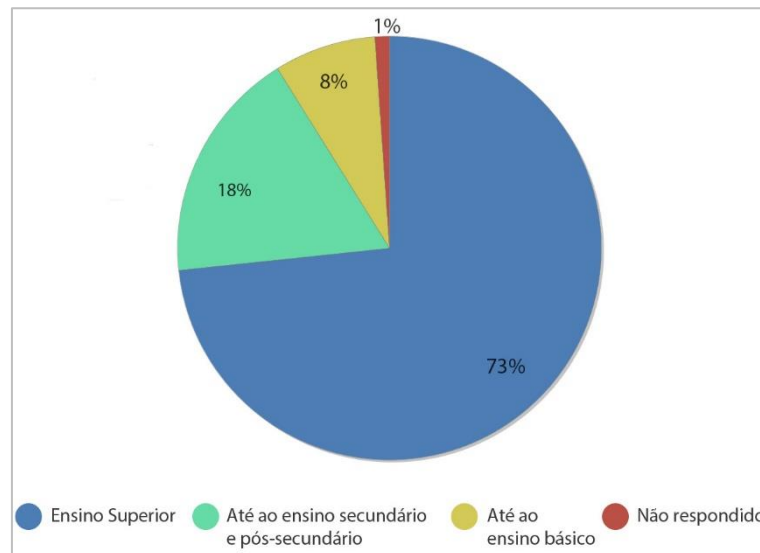


Figura 40 – Representação gráfica referente ao nível de escolaridade dos participantes.

É possível observar, no gráfico circular apresentado, que a grande maioria dos participantes possuem um nível de escolaridade referente ao ensino superior. Não foram registados quaisquer participantes sem nível de escolaridade.

4.3 Resultados do Processo Experimental

Nesta seção, apresentam-se os resultados relacionados com a experiência *in-situ* realizada junto dos visitantes das ruínas de Conimbriga. Os participantes responderam a questões relacionadas com o seu interesse quando confrontados com a utilização de RA em contextos de herança cultural, como é o caso do Museu Monográfico de Conimbriga, e a questões mais direcionadas para o desempenho tecnológico do protótipo testado.

4.3.1 Resultados Afetos ao Interesse dos Participantes

Os participantes envolvidos neste processo experimental, num total de 90 voluntários, aceitaram participar neste estudo, maioritariamente por considerarem que a realidade aumentada é uma atividade interessante no contexto arqueológico em questão. Como pode ser observado na Figura 41, existe igualmente uma percentagem significativa de pessoas que não conheciam a tecnologia, ficando com curiosidade em testar aquando do convite feito para a experiência.

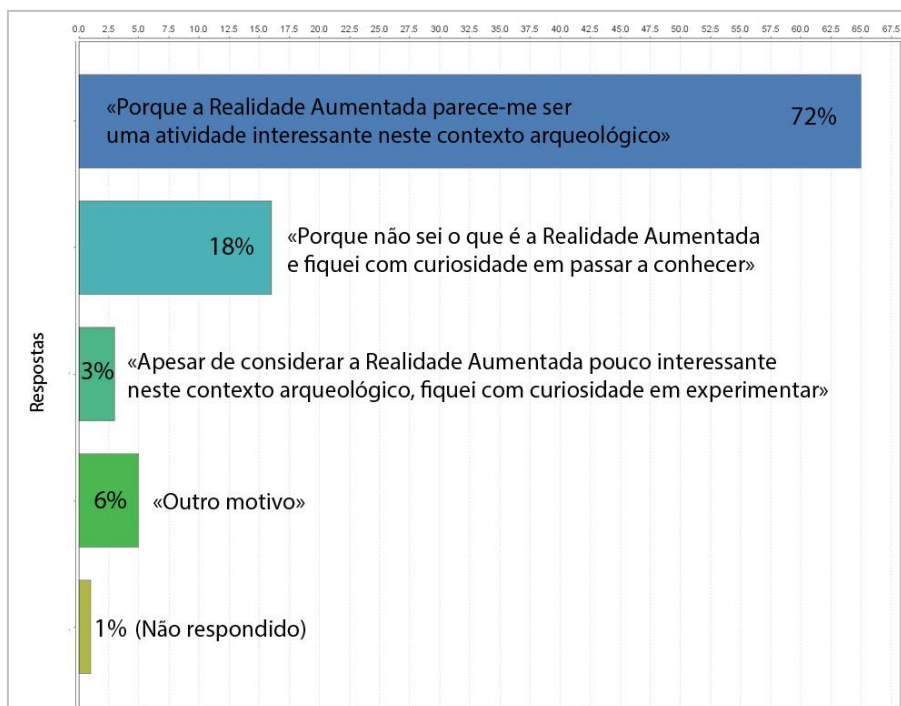


Figura 41 – Representação gráfica das respostas dos participantes quando questionados sobre o motivo principal que os motivou a aceitarem participar na experiência

Observando o gráfico apresentado, verifica-se que a RA aplicada em contextos arqueológicos é vista com interesse por parte destes visitantes que aceitaram participar na experiência. 72% afirma que esse foi o principal motivo, ao invés de 3% que, numa posição antagónica, consideram pouco interessante, mas que, ainda assim, ficaram curiosos em testar. Os participantes que afirmam não saber o que é a realidade aumentada, situam-se nos 18%. 6% respondeu a esta questão apresentando outro motivo, entre os quais se identificaram motivos como “ajudar/contribuir com o projeto de investigação em causa” ou “gosto sempre de participar em experiências de realidade aumentada”. Dos inquiridos, 1% preferiu não responder a esta questão.

Quando questionados sobre o seu nível de interesse em instalar uma aplicação de realidade aumentada nos seus dispositivos móveis, para que pudessem utilizá-la ao longo da visita às ruínas de Conimbriga (avaliação feita através de uma escala de *Likert*³⁸), os participantes, na sua maioria, manifestaram interesse – 85% mostraram-se totalmente ou parcialmente interessados. Distribuindo este nível de interesse por faixa etária, observamos na Figura 42 que, os participantes que adotaram uma posição mais neutral relativamente a esta questão (12%), são maioritariamente os que se encontram numa faixa etária superior a 55 anos.

³⁸ Nesta escala os participantes deveriam indicar o seu nível de interesse classificado numa escala que varia entre totalmente interessado e totalmente desinteressado, num total de cinco valores possíveis.

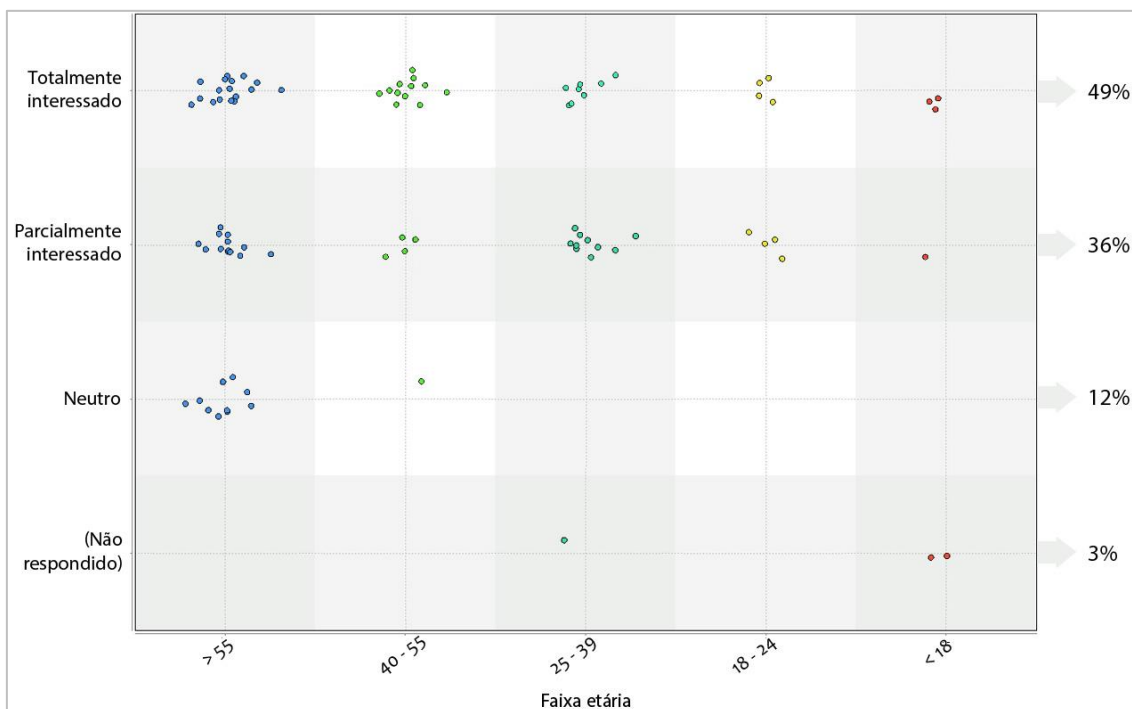


Figura 42 – Representação gráfica relativa ao nível de interesse manifestado pelos participantes em instalar uma aplicação de RA para utilizar na visita às ruínas (eixo vertical), cujas respostas se encontram distribuídas por faixa etária (eixo horizontal).

Na representação gráfica anterior, observa-se que as respostas dos participantes se situaram entre o “Totalmente interessado” e o “Neutro”, não havendo qualquer registo de “Parcialmente desinteressado” nem “Totalmente desinteressado”.

Ainda relativamente à aplicação de RA em contextos de herança cultural, como é o caso das ruínas de Conimbriga, existe um elevando nível de concordância com as afirmações que apontam a RA como um contributo para o enriquecimento cultural dos visitantes do espaço e que pode ser um fator potenciador para um maior número de visitantes. Observe-se as duas figuras seguintes, onde esta informação é evidenciada.

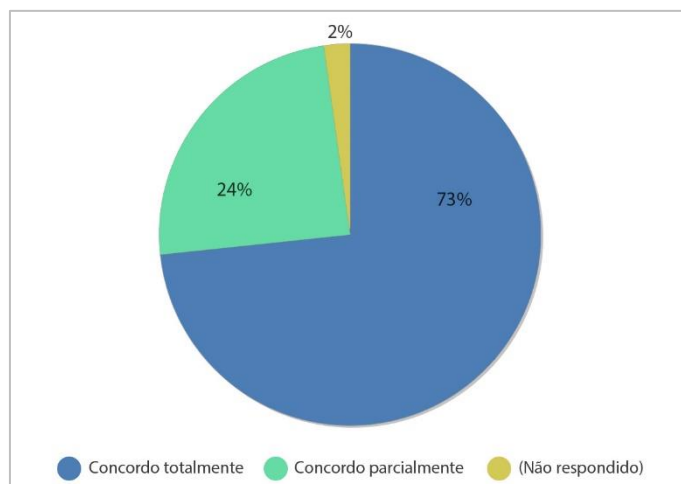


Figura 43 – Representação percentual da concordância, por parte dos participantes, relativamente ao enriquecimento cultural que as aplicações de RA podem trazer a Conimbriga.

Na Figura 43 observamos que todas as respostas dadas consideram que a utilização de aplicações de realidade aumentada neste contexto pode contribuir para um enriquecimento cultural dos visitantes de Conimbriga.

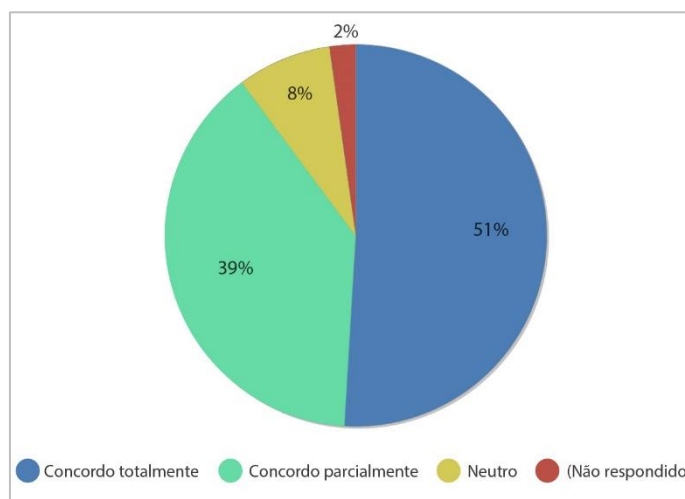


Figura 44 – Representação percentual da concordância, por parte dos participantes, relativamente à possibilidade de aplicações de RA poderem contribuir para um maior número de visitantes às ruínas de Conimbriga.

Na Figura 44, observa-se que a grande maioria dos participantes (90%) toma uma posição favorável à afirmação que considera que a disponibilização de aplicações de RA, podem levar a um aumento do número de visitantes ao espaço. 8% dos inquiridos optou por adotar uma posição neutra, não concordando nem discordando da afirmação. Não houve quaisquer registos que discordância com a afirmação.

4.3.2 Resultados Afetos ao Desempenho da Tecnologia

Os participantes que responderam aos questionários, após testarem o protótipo desenvolvido, manifestaram elevados níveis de concordância quando confrontados com afirmações relacionadas com o sentimento de presença na experiência. Nomeadamente, em afirmações que consideram que a visita ao *Forum* se havia tornado mais dinâmica e ativa (94% concordaram), mais divertida (igualmente 94%), 91% ficaram com uma noção mais exata sobre as características do *Forum* – *e.g.*, dimensão, cores, arquitetura – e 92% sentiram-se mais envolvidos com o espaço de visita.

Quanto ao manuseamento da tecnologia, os participantes adotaram uma posição de concordância geral relativamente à facilidade da sua utilização (96%) e que, ao fim de poucos momentos de utilização, estavam já à vontade com a mesma, compreendendo bem como utilizá-la (88%). Os participantes que se sentiram perdidos durante a experiência, sem saber para onde apontar o telemóvel para visualizar o modelo virtual, correspondem a uma percentagem de 3%, contra os 84% que discordaram da afirmação.

Mesmo os utilizadores que afirmaram nunca ter experimentado a tecnologia de RA antes desta experiência ou que não sabiam o que era, evidenciaram um elevado grau de concordância com a facilidade de utilização desta tecnologia (Figura 45).

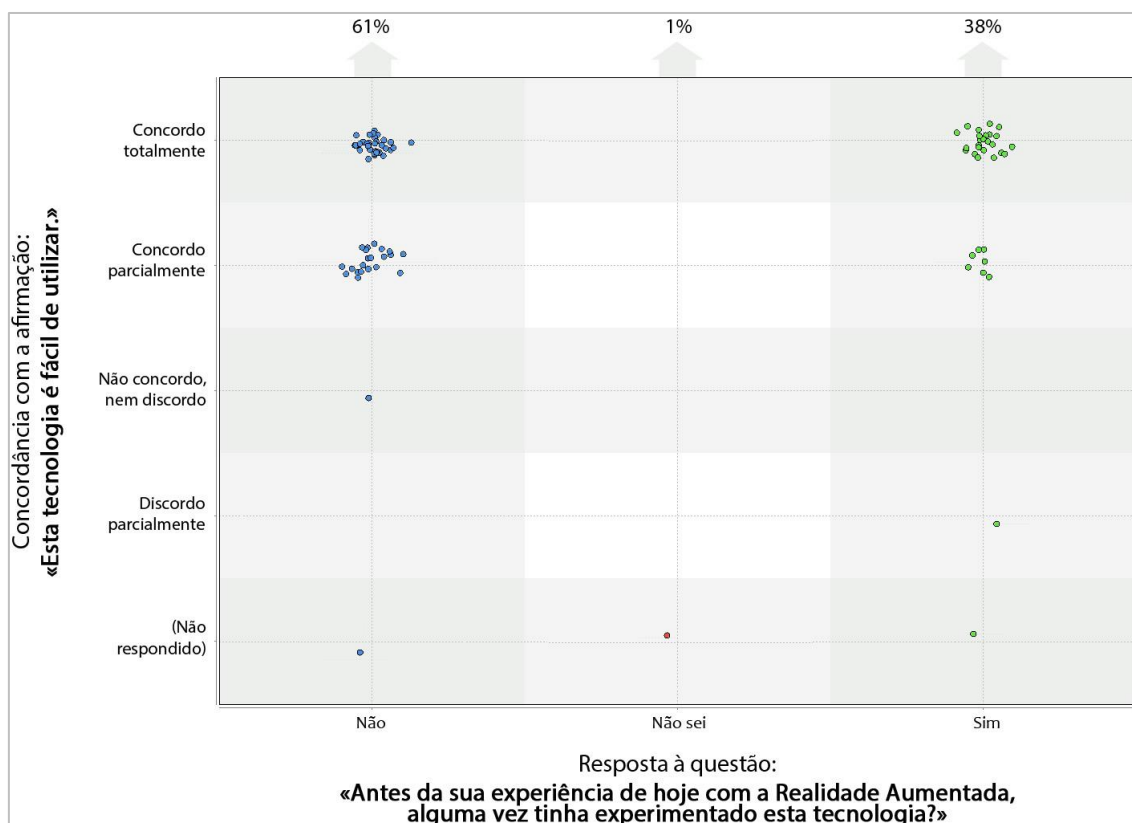


Figura 45 – Comparação das respostas dos participantes relativamente à sua experiência com a tecnologia de RA (eixo horizontal), conjugadas com o nível de concordância com a afirmação de que a referida tecnologia é fácil de utilizar (eixo vertical).

O gráfico da Figura 45, ajuda a compreender que a maioria dos participantes deste estudo afirmaram nunca ter tido contacto a tecnologia de RA (61%) e que consideram que a consideram fácil de utilizar – não houve qualquer registo de discordância neste grupo de participantes, havendo apenas um que manteve uma posição de não condordância nem discordância e outro que não respondeu. Os participantes cuja experiência de RA não foi totalmente nova (38%), também concordaram, na sua grande maioria, que a tecnologia era de fácil utilização, havendo apenas um participante que discordou parcialmente e um outro que não respondeu à questão.

Do ponto de vista do desempenho da tecnologia, foram apresentadas afirmações que evidenciavam possíveis problemas detetados durante o teste com o protótipo disponibilizado. Os participantes, na sua maioria, discordaram com as afirmações colocadas. No entanto, alguns participantes concordaram com as afirmações, pelo que, se torna relevante observar as suas respostas (Figura 46).

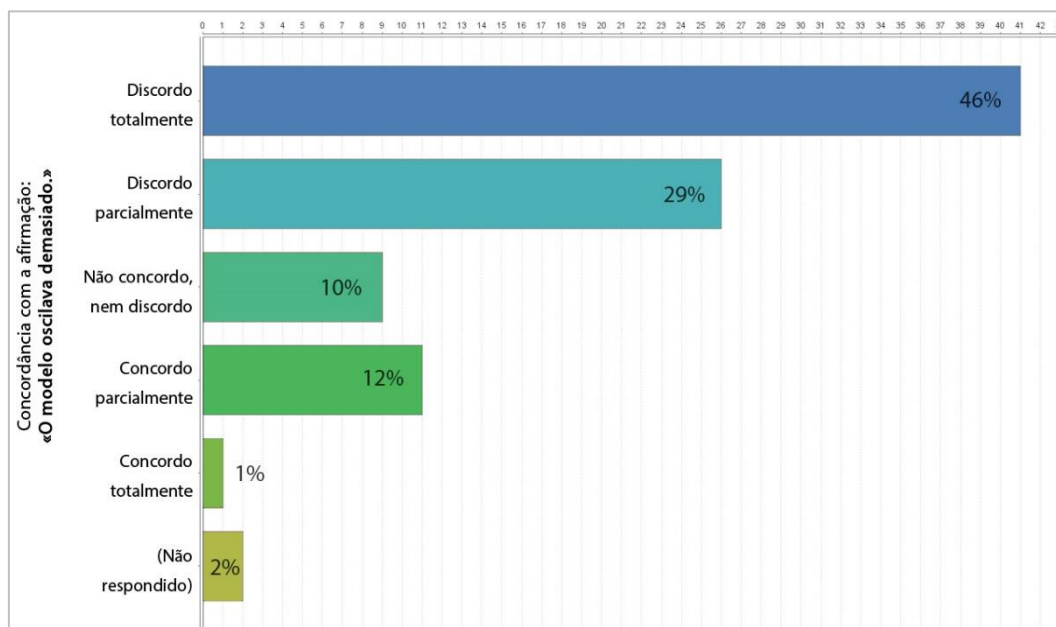


Figura 46 – Representação das respostas dos participantes relativamente à oscilação do modelo virtual.

Na Figura 46, cuja representação é relativa às respostas dos participantes quanto ao seu nível de concordância com a afirmação que refere uma oscilação do modelo virtual em demasia, mesmo quando o *smartphone* estava firme numa determinada posição, observamos que existe uma larga percentagem de participantes que não consideraram demasiada a oscilação do modelo virtual em relação ao cenário real (75%). Contudo, alguns concordaram com essa afirmação (13%) e cerca de 10% preferiu optar pelo valor intermédio da escala, correspondente à opção de não condordância nem discordância.

Estas percentagens assemelham-se às que correspondem ao nível de concordância com a afirmação de que foi difícil ter uma perceção sobre a posição do modelo virtual em relação às

suas ruínas, devido aos erros de posicionamento que este apresentava à medida que o ambiente envolvente era explorado (Figura 47).

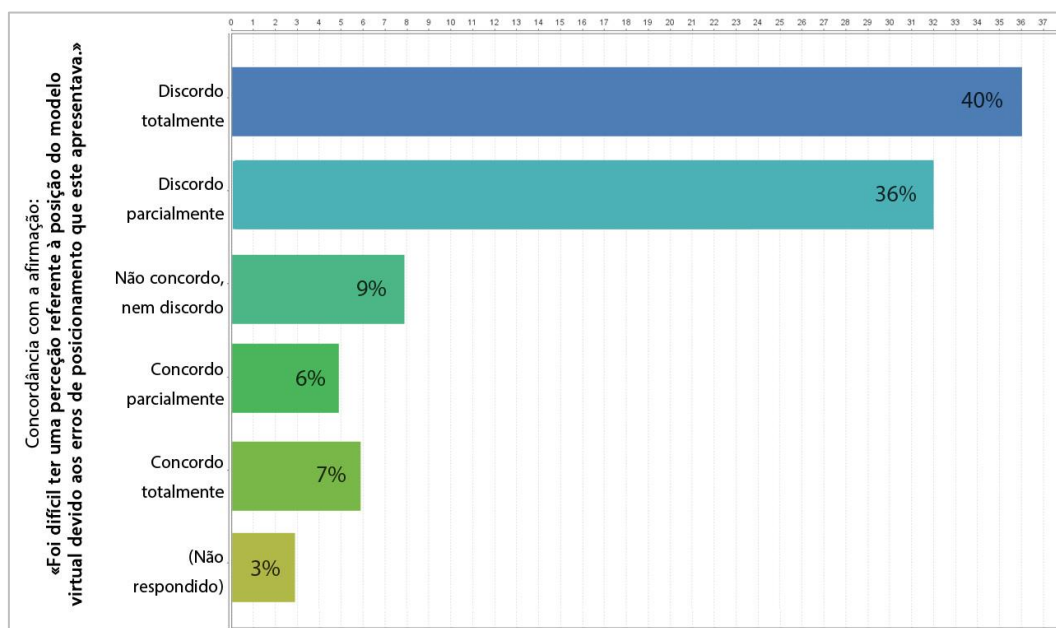


Figura 47 – Representação das respostas dos participantes relativamente à percepção da posição do modelo virtual, considerando erros de posicionamento.

Com base na Figura 47, onde são representadas as respostas dos participantes relativamente ao nível de concordância com a afirmação de que os erros de posicionamento do modelo virtual dificultavam a percepção da posição deste em relação ao ambiente real, observa-se que discordaram cerca de 76% enquanto que 13% concordaram. 9% optaram por não concordar nem discordar da afirmação e 3% preferiram não responder.

O facto de os participantes necessitarem de se manter próximos da folha de papel (utilizada como marca e que facilitava o *tracking*), limitou a experiência a cerca de 31% dos participantes. Contudo, 45% afirmaram não se ter sentido limitados com essa situação, 17% adotaram uma posição neutra (não concordaram, nem discordaram da afirmação) e 7% optou por não responder.

Esta última análise leva-nos aos problemas identificados pelos utilizadores no decorrer da experiência em que, apesar da maioria (31%) ter afirmado que não detetou nenhum problema e 36% não ter respondido a esta questão de resposta aberta, houve 33% dos participantes que apontaram, no total, 30 registos. Tendo como amostra estas 30 ocorrências, encontramos 37% dos participantes que apontaram como problema da experiência, o facto de terem que se deslocar apenas perto da zona da marca, limitando a sua experiência, conclusão esta que vai de encontro à análise do parágrafo anterior. O problema mais frequentemente detetado pelos participantes (43%), foi o facto de a luz solar interferir com a imagem do ecrã do telemóvel, dificultando a visualização do modelo virtual.

Quanto às sugestões relacionadas com a tecnologia em questão, esta igualmente de resposta aberta, apresentadas pelos participantes, houve um total de 46 sugestões. No topo dessas sugestões contabiliza-se a extensão desta tecnologia a outros locais das ruínas para explorarem outros locais (além do *Forum*), com 15 registos (correspondendo a um valor percentual de 32%) e a possibilidade de navegarem no espaço sem estarem condicionados pela marca onde iniciaram a experiência (referida 13 vezes, totalizando um valor percentual de 28%). As sugestões mais frequentemente referidas pelos participantes podem ser observadas na Figura 48.

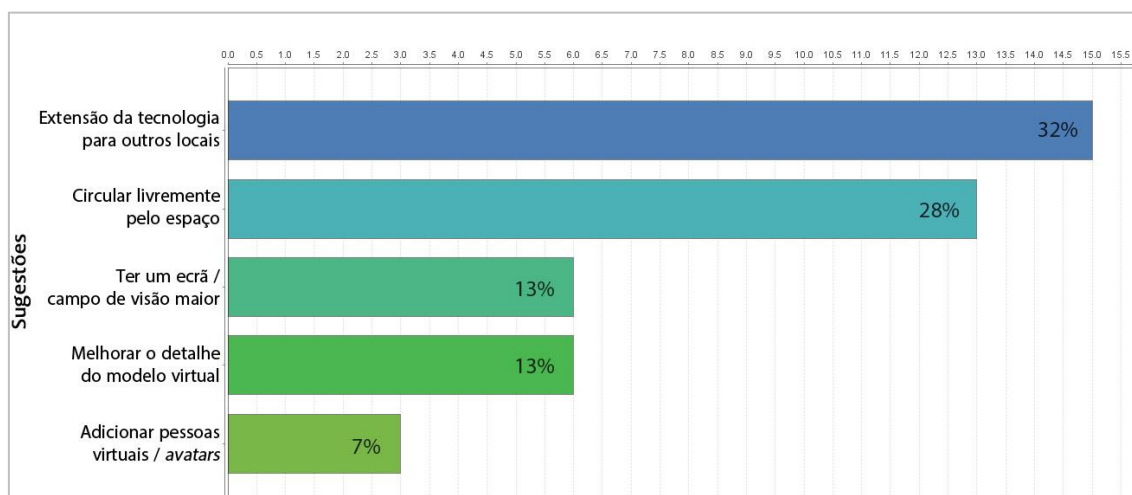


Figura 48 – Esquemática das sugestões mais frequentemente referidas pelos participantes, num total de 46 sugestões efetuadas.

No gráfico de barras apresentado anteriormente, é possível observar as sugestões efetuadas pelos participantes deste estudo, sugestões estas elaboradas com vista a um *upgrade* do protótipo apresentado. As sugestões mais assinaladas pelos participantes são a possibilidade de utilizar esta tecnologia noutros locais e a possibilidade de circular livremente pelo espaço. Outras sugestões apontadas de forma representativa foram a utilização de ecrãs de maior dimensão ou com um campo de visão maior – de notar que esta sugestão, num total de 6 referências, foi mencionada 5 vezes por pessoas com idade superior a 55 anos; o melhoramento do modelo virtual apresentado, com vista tornar mais realista o modelo a nível de cores e de geometria; e a inclusão de avatares ao espaço virtual, de forma a conseguir compreender melhor a dimensão do modelo virtual do *Forum* apresentado. Outras sugestões menos referidas (havendo apenas uma menção para cada), não discriminadas no gráfico apresentado, foram a utilização de sons com recurso a *headphones*; permitir o zoom para observar com mais detalhe alguns pormenores do modelo virtual; colocar um *drone*³⁹ no local para que fosse possível sobrevoar o local das ruínas e, assim, ter uma vista aérea do espaço.

³⁹ Um *drone* é um dispositivo eletrónico aéreo, não tripulado, controlado remotamente, que, entre outras tarefas, podem ser usados para capturar imagens aéreas.

4.4 Discussão dos Resultados

O processo experimental descrito ao longo deste capítulo, permitiu colocar à prova o protótipo desenvolvido para avaliação de utilização de RA em dispositivos móveis num contexto de herança cultural – o Museu Monográfico de Conimbriga.

Os resultados obtidos permitiram concluir que esta aplicação tem uma considerável aceitação junto do público geral. Na sua grande maioria, os participantes apontaram diversas vantagens na sua utilização em contextos de herança cultural, nomeadamente, ao tornar as visitas mais dinâmicas, ativas e divertidas, providenciando mais informações relativamente ao espaço real em si – neste caso particular, o *Forum*. Afirmando que se sentiram mais envolvidos, na sua maioria, os participantes evidenciam igualmente interesse em utilizar este tipo de aplicações nestes contextos, considerando a RA como um contributo para o seu enriquecimento cultural, podendo esta ser uma oportunidade para cativar mais visitantes ao espaço de visita.

A nível de desempenho da tecnologia, apesar da maioria dos utilizadores não ter sentido problemas de maior, existem algumas referências para a instabilidade do modelo virtual relativamente ao cenário real (oscilação e alteração de posição), principalmente nos casos em que os participantes navegavam de forma livre, fazendo uso das facilidades de *extended tracking*. Os problemas mais reconhecidos neste estudo, foram a interferência da luz solar no ecrã do *smartphone* e a necessidade dos utilizadores se manterem perto do local onde iniciaram a experiência pelo que, numa aplicação futura, estes temas devem ser explorados com o objetivo de obter uma aplicação que seja mais eficaz, no sentido de ir de encontro às expectativas dos utilizadores.

O sucesso que este protótipo teve junto dos participantes, onde houve um elevado número de menções apelando à extensão desta tecnologia a outros locais de visita, leva-nos a concluir que a mesma traz consigo diversas vantagens na sua utilização pelo que é, manifestamente, uma mais-valia para Conimbriga e o seu legado histórico.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

As diferentes tecnologias disponíveis atualmente para implementação de sistemas de realidade aumentada têm possibilitado a sua difusão na sociedade, seja a nível de desenvolvimento de aplicações mais diversificadas, seja a nível de uma disseminação da sua utilização por parte do utilizador comum. Contudo, esta diversidade de tecnologias disponíveis para implementar aplicações de RA, inerentemente aflora questões relacionadas com a adequação de cada tipo de implementação ao propósito de cada projeto.

O presente trabalho de investigação consistiu em explorar as soluções tecnológicas de realidade aumentada, para dispositivos móveis, com vista ao desenvolvimento de uma aplicação de RA que permitisse visualizar edifícios virtuais em ambiente exterior, mais especificamente, nas ruínas do Museu Monográfico de Conimbriga. O sentido de oportunidade deste trabalho incide sobre a possibilidade providenciar, através da RA, novas formas de transmitir aos visitantes de um espaço museológico um conhecimento mais alargado sobre o mesmo, no caso vertente, sobre a civilização Romana de Conimbriga.

5.1 Cumprimento dos Objetivos

Dadas as diferentes possibilidades existentes para implementar sistemas de RA e o objetivo do trabalho em causa, este estudo passou por identificar as técnicas de RA com potencial de serem utilizadas para contextos de herança cultural em ambientes exteriores.

Entre as diferentes técnicas para aquisição de imagem (a primeira fase de um sistema de RA) analisadas, as que se evidenciaram, por questões de logística e pelos resultados encontrados na revisão de literatura, mais adequadas para implementar num contexto exterior de herança cultural, foram as técnicas que recorrem a um elemento físico de referência – uma imagem 2D ou um objeto 3D – colocado no cenário físico. Assim, foram desenvolvidas aplicações de RA cujo *target* para aquisição de imagem eram objetos 3D (foram utilizadas rochas para que o espaço arqueológico não fosse invadido com artefactos estranhos ao local), imagens capturadas do mundo real (sem a necessidade de existir qualquer marca no espaço) e imagens criadas para

o efeito, podendo estas, servir igualmente para informar o visitante que no local em causa existe a possibilidade de explorar o meio envolvente através da realidade aumentada.

O presente estudo passou por reconhecer os SDKs existentes, analisando as suas características e funcionalidades, de forma a selecionar as soluções mais adequadas.

Nesse sentido, os SDKs disponíveis na atualidade foram investigados e, de acordo com uma lista de requisitos afetos ao trabalho em causa, foram selecionados os que, dado os requisitos, teriam o potencial de uma implementação eficaz e profícua. Perante alguma incerteza sobre qual seria a melhor escolha para implementar a aplicação final a testar *in-situ*, o desenvolvimento deste trabalho evidenciou, logo no seu início, a necessidade de implementação e teste de diversos protótipos de RA, no sentido de conduzirem à seleção de um SDK para desenvolver o protótipo final a testar com os utilizadores *in-situ*.

Os protótipos implementados, para teste das três tecnologias selecionadas – *Vuforia* SDK, *Kudan* SDK e *Wikitude* SDK –, foram desenvolvidos para sistemas *Android*. A avaliação dos mesmos foi feita mediante o tipo de *target* utilizado e de acordo com a tecnologia utilizada. Esta análise incidiu por, numa primeira fase, averiguar o sucesso ao iniciar a experiência, de forma a garantir a sua fiabilidade quando testada com os utilizadores. Foi, posteriormente, medida a velocidade de resposta da aplicação e a distância mínima necessária do dispositivo utilizado em relação ao local de experimentação da aplicação de RA. Durante o uso desta tecnologia, o seu comportamento foi avaliado com base na avaliação de parâmetros, tais como a oscilação do modelo virtual e a repetitiva alteração de posição em relação ao alinhamento feito inicialmente. Esta avaliação permitiu recolher resultados que levaram à seleção de uma solução para implementação da aplicação de RA final, a qual foi designada por *DinofelisAR*. A solução adotada, implementada em *Unity 3D*, incluiu a utilização de uma imagem sintetizada como marca (o *target* para aquisição de imagem no sistema de RA), com auxílio da ferramenta *Vuforia* SDK.

O protótipo *DinofelisAR* é uma aplicação de RA desenvolvida para sistemas *Android* (versão 4.0.3 ou superior) que permite, ao direcionar a câmara para o *target* (representada anteriormente, na Figura 32), visualizar o modelo virtual de um edifício Romano, designadamente, o *Forum Flaviano* de Conimbriga. Nesta fase, o utilizador tem a possibilidade de explorar o modelo virtual com o *smartphone*, em tempo real, enquanto percebe, simultaneamente, o ambiente real que o envolve. À medida que o utilizador vai deslocando o equipamento, a posição e orientação do modelo virtual é atualizada de forma a manter o edifício virtual corretamente alinhado em relação às ruínas reais correspondentes. O *tracking* é implementado com base na imagem referida ou, no caso desta sair do campo de visão, assegurado com base nas características naturais do ambiente (através de *extended tracking*). Este tipo de *tracking*, apesar de conferir mais liberdade ao utilizador, é potenciador de gerar alguma instabilidade na representação do modelo virtual – a nível de oscilação e alteração de posição.

Os testes da aplicação *DinofelisAR* com utilizadores, foram realizados na praça do *Forum* das ruínas do Museu Monográfico de Conimbriga, num universo de 90 pessoas. Estes participantes eram os visitantes do referido espaço que, ao circularem pela praça do *Forum*, foram convidados a participar na experiência. A aceitação foi geral, tendo esta tecnologia sido bem-recebida quando aplicada ao contexto de herança cultural em causa, seja pelo interesse manifestado pelos visitantes, seja pela curiosidade em experienciar RA no local. A participação na experiência incluiu, após uma breve apresentação do protótipo *DinofelisAR*, a sua utilização, com recurso ao *smartphone* disponibilizado para o efeito, de forma autónoma durante um período de tempo não especificado. Após a experiência de RA, os utilizadores concluíam a sua participação no estudo preenchendo um questionário. Ao analisar os resultados obtidos, facilmente se constata que, os participantes neste estudo, são fortemente a favor do uso da tecnologia de RA em contextos de herança cultural. Desta forma, concluímos que a RA é uma mais-valia que deve continuar a ser explorada, reforçando assim o sentido de oportunidade e motivação para que esta tecnologia seja mantida como alvo de investigação e desenvolvimento, de forma a ser apresentada como uma solução a ser estendida a outros espaços de herança cultural.

Com base na informação apresentada, somos a concluir que o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação cumpre, com sucesso, os objetivos propostos inicialmente, pois todas as metas perspetivadas foram atingidas, tendo sido desenvolvida uma aplicação de realidade aumentada móvel, funcional, para utilização (exterior) em contexto de herança cultural, cuja avaliação realizada por parte do público geral, foi extremamente positiva.

5.2 Trabalho Futuro

Como consequência da presente investigação, consideramos que a RA tem potencial para motivar novas linhas de investigação oportunas e úteis, tanto para a comunidade científica, como para a sociedade.

Como trabalho futuro, no que à investigação diz respeito, identificamos alguns fatores que visam o aprimoramento do protótipo implementado e testado junto dos utilizadores. Deverá ser considerada a possibilidade de conseguir identificar uma solução que permita ao utilizador navegar livremente pelo local, sem prejudicar a estabilidade do modelo virtual sobreposto sobre as ruínas, tendo em consideração as limitações que o espaço apresenta a nível de recursos e de preservação dos artefactos e da paisagem. Ou seja, deverão ser estudadas soluções que não tornem necessária a inclusão de objetos 2D ou 3D, “estranhos” ao ambiente onde a experiência se enquadra. Revela-se igualmente útil nesta área de investigação, a procura de soluções que sejam mais independentes das condições de iluminação.

A nível de desenvolvimento, consideramos futuramente oportuno a produção de mais conteúdos a incluir na aplicação de RA. Nomeadamente, a reconstrução virtual de mais edifícios correspondentes às ruínas de Conimbriga, a inclusão de personagens e animação destas e a inclusão de elementos sonoros, passíveis de serem percecionados com recurso a *headphones*. Esta última opção permitirá aos utilizadores percecionar auditivamente a paisagem sonora desses locais reconstruídos virtualmente. O desenvolvimento deste tipo de trabalho deverá igualmente incluir a compatibilidade com os sistemas móveis iOS de modo a aumentar o universo de potenciais utilizadores desta experiência única e inolvidável.

6. Referências

- Amin, D., & Govilkar, S. (2015). Comparative Study of Augmented Reality SDK's. *International Journal on Computational Sciences & Applications*, 5(1), 11–26.
- Augment. (2016). *Augment's essencial guide Augmented Reality*. www.augment.com.
- Azuma, R. (1993). Tracking Requirements for Augmented Reality. *Communications of the ACM*, 50–51.
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1.1.30.4999>
- Azuma, R., Bailiot, Y., Feiner, S., Julier, S., Behringer, R., & Macintyre, B. (2001). Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics And Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.4061/2011/908468>
- Bae, H., Golparvar-Fard, M., & White, J. (2013). High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications. *Visualization in Engineering*, 1(3). <https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-3>
- Bae, H., Walker, M., White, J., Sun, Y., & Golparvar-Fard, M. (2016). Fast and scalable structure-from-motion based localization for high-precision mobile augmented reality systems. *mUX: The Journal of Mobile User Experience*, 5(4). <https://doi.org/10.1186/s13678-016-0005-0>
- Bajura, M., Fuchs, H., & Ohbuchi, R. (1992). Merging Virtual Objects with the Real World : Seeing Ultrasound Imagery within the Patient. *Computer Graphics*, 26(2), 203–210. <https://doi.org/10.1145/142920.134061>
- Barandiaran, I., Paloc, C., & Graña, M. (2009). Real-time optical markerless tracking for augmented reality applications. *Journal of Real-Time Image Processing*, 5(2), 129–138. <https://doi.org/10.1007/s11554-009-0140-2>
- Baratoff, G., Wilke, W., Artificial, H., & Engineering, J. C. (2005). Augmented Reality Projects in Automotive and Aerospace Industry. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(6), 58–56. <https://doi.org/10.1109/MCG.2005.124>
- Behzadan, A. H., Aziz, Z., Anumba, C. J., & Kamat, V. R. (2008). Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites. *Automation in Construction*, 17(6), 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.02.002>
- Billingham, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2–3), 73–272. <https://doi.org/10.1561/1100000049>

- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001a). MagicBook: Transitioning between Reality and Virtuality. In *Proceeding of CHI EA '01 CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 25–26). Washington, USA. <https://doi.org/10.1145/634067.634087>
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001b). The MagicBook - moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(3), 6–8.
- Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. A K Peters.
- Brondi, R., Carrozzino, M., Tecchia, F., & Bergamasco, M. (2012). Mobile Augmented Reality for cultural dissemination. In *Proceedings of 1st International Conference on Information Technologies for Performing Arts, Media Access and Entertainment* (pp. 113–117). Firenze, Italy.
- Buzz, G. (2017). Art, Museums, And Augmented Reality. Retrieved May 1, 2017, from <http://greenbuzzagency.com/art-museums-augmented-reality/>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Casella, G., & Coelho, M. (2013). Augmented Heritage - situating Augmented Reality Mobile Apps in Cultural Heritage Communication. In *ISDOC '13 Proceedings of the 2013 International Conference on Information Systems and Design of Communication* (pp. 138–140). Lisboa, Portugal. <https://doi.org/10.1145/2503859.2503883>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Twenty-Fifth Hawaii International Conference*. Kauai, USA.
- Chang, K. E., Chang, C. T., Hou, H. T., Sung, Y. T., Chao, H. L., & Lee, C. M. (2014). Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum. *Computers and Education*, 71, 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.022>
- Cities, E. H. (2017). England's Historic Cities. Retrieved July 20, 2005, from www.heritagecities.com/stories/explore
- Correia, V. H. (2013). *A Arquitectura Doméstica de Conimbriga e as Estruturas Económicas e sociais da Cidade Romana*. Simões & Linhares Lda.
- Cruz-Cunha, M. M., Reis, M., Peres, E., Varajão, J., Bessa, M., Magalhães, L., ... Barreira, J. (2010). Realidade Aumentada e Ubiquidade na Educação. *IEEE - RITA*, 5(4), 167–174. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/39d8/ae0523003d7dff892fed7bf5a7a0d84de66.pdf>
- Davis, L., Rolland, J., Hamza-Lup, F., Ha, Y., Norfleet, J., Pettitt, B., & Imielinska, C. (2003). Enabling a continuum of virtual environment experiences. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23(2), 10–12.
- Dünser, A., Grasset, R., & Billinghurst, M. (2008). *A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies*. *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 courses*. <https://doi.org/10.1145/1508044.1508049>
- Esther, S. Y. T., Obeidy, W. K., & Arshad, H. (2014). Car Advertisement for Android Application in Augmented Reality. In *Information Systems and Engineering* (pp. 80–91).
- Foley, J. D., Dam, A. Van, Phillips, R. L., Hughes, J. F., & Feiner, S. (1993). *Introduction To Computer Graphics*. Addison-Wesley Professional.
- Fong, W. T., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2008). A differential GPS carrier phase technique for

- precision outdoor AR tracking. In *ISMAR '08 Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality Pages 25-28* (pp. 25–28). Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637319>
- Gabbard, J. L., & Swan Ii, J. E. (2008). Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-based Studies to Inform Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *14*(3), 513–525. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2008.24>
- Garrett, W. F., Fuchs, H., Whitton, M. C., & State, A. (1996). Real-time incremental visualization of dynamic ultrasound volumes using parallel BSP trees. In *VIS '96 Proceedings of the 7th conference on Visualization '96* (pp. 235–240). San Francisco, USA. <https://doi.org/10.1109/VISUAL.1996.568114>
- Gleue, T., & Dähne, P. (2001). Design and Implementation of a Mobile Device for Outdoor Augmented Reality in the ARCHEOGUIDE Project. In *VAST '01 Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage* (pp. 161–168). Glyfada, Greece. <https://doi.org/10.1145/584993.585018>
- Gonçalves, A. (2002). *Reconstrução de Ambientes Históricos Utilizando VRML: o Caso do Fórum Flaviano de Conimbriga*. Universidade de Coimbra.
- Gotow, J. B., Zienkiewicz, K., White, J., & Schmidt, D. C. (2010). Addressing Challenges with Augmented Reality Applications on Smartphones. In *Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications - Third International Conference, Mobilware 2010* (pp. 129–143). Chicago, USA. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17758-3_10
- Guardian, T. (2017). Tell me a story: augmented reality technology in museums. Retrieved May 1, 2017, from <https://www.theguardian.com/culture-professionals-network/culture-professionals-blog/2014/apr/04/story-augmented-reality-technology-museums>
- Hagbi, N., Bergig, O., El-Sana, J., & Billingham, M. (2011). Shape Recognition and Pose Estimation for Mobile Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *17*(10), 1369–1379.
- Hamasaki, M., Takeda, H., & Nishimura, T. (2008). Network analysis of massively collaborative creation of multimedia contents. In *UXTV '08 Proceedings of the 1st international conference on Designing interactive user experiences for TV and video* (pp. 165–168). Silicon Valley, USA. <https://doi.org/10.1145/1453805.1453838>
- Hilken, T., Ruyter, K. De, Chylinski, M., Mahr, D., & Keeling, D. I. (2017). Augmenting the Eye of the Beholder: Exploring the Strategic Potential of Augmented Reality to Enhance Online Service Experiences. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11747-017-0541-x>
- Höllner, T., Feiner, S., Terauchi, T., Rashid, G., & Hallaway, D. (1999). Exploring MARS: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system. *Computers and Graphics (Pergamon)*, *23*(6), 779–785. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(99\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(99)00103-X)
- Karimi, H. A. (2004). *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services*. *Telegeoinformatics: Location-Based Computing and Services*. CRC Press. <https://doi.org/10.1145/1979742.1979927>
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. In *SIGGRAPH '02 ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications* (pp. 37–41). New York, USA. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(03\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(03)00028-1)
- Keil, J., Zöllner, M., Becker, M., Wientapper, F., Engelke, T., & Wuest, H. (2011). The House of Olbrich An Augmented Reality tour through architectural history. In *ISMAR-AMH '11 International Symposium on Mixed and Augmented Reality-Arts, Media, and Humanities* (pp. 15–18). Basel, Switzerland. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-AMH.2011.6093651>

- Kudan. (2016). What Makes a Good Marker? Retrieved November 1, 2016, from wiki.kudan.eu/What_Makes_a_Good_Marker%3F
- Li, J., & Fan, X. (2014). Outdoor Augmented Reality Tracking Using 3D City Models and Game Engine. In *7th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)* (pp. 104–108). Dalian, China. <https://doi.org/10.1109/CISP.2014.7003758>
- Liu, H., Zhang, G., & Bao, H. (2016). Robust Keyframe-based Monocular SLAM for Augmented Reality. In *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. Merida, Mexico: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2016.24>
- Lowney, M., & Raj, A. S. (2016). *Model Based Tracking for Augmented Reality on Mobile Devices*.
- Lyu, M. R., King, I., Wong, T. T., Yau, E., & Chan, P. W. (2005). ARCADE: Augmented reality computing Arena for Digital Entertainment. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2005*. <https://doi.org/10.1109/AERO.2005.1559626>
- Madrid, S. C.-U. C. de. (2016). *CONIMBRIGA'S VISITOR SATISFACTION*.
- Marshall University. (2017). Clío. Retrieved July 20, 2005, from www.theclio.com
- Marto, A. G. R., Sousa, A. A. de, & Gonçalves, A. (2017). DinofelisAR Demo Augmented Reality Based on Natural Features. *12ª Conferência Ibérica de Sistemas E Tecnologias de Informação, Lisboa, 64*, 852–861. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.638>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *SPIE - The International Society for Optical Engineering* (pp. 282–292). <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mourcou, Q., Fleury, A., Franco, C., Klopčič, F., & Vuillerme, N. (2015). Performance evaluation of smartphone inertial sensors measurement for range of motion. *Sensors (Switzerland)*, *15*(9), 23168–23187. <https://doi.org/10.3390/s150923168>
- Museu Monográfico de Conimbriga. (2017). Conimbriga. Retrieved March 1, 2017, from <http://www.conimbriga.pt/portugues/ruinas.html>
- Narciso, D., Pádua, L., Adão, T., Peres, E., & Magalhães, L. (2015). MixAR Mobile Prototype: Visualizing Virtually Reconstructed Ancient Structures In Situ. *Procedia Computer Science*, *64*, 852–861.
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *61*(2), 657–679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
- Neumann, U., & You, S. (1999). Natural Feature Tracking for Augmented-Reality. *IEEE Transactions on Multimedia*, *1*(1), 53–64. <https://doi.org/10.1109/6046.748171>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Inc., Morgan Kaufmann Publishers.
- Nielsen, K. B. (2016). Beacon tracking and Augmented Reality in a Historical Context. Retrieved April 1, 2017, from intertisement.com/cases/ribe-museum
- Pádua, L., Narciso, D., Adão, T., Cunha, A., Peres, E., & Magalhães, L. (2015). Cost-effective and Lightweight Mobile Units for MixAR: A Comparative Trial among Different Setups. *Procedia Computer Science*, *64*, 870–878. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.597>
- Pagani, A., Henriques, J., & Stricker, D. (2016). Sensors for Location-Based Augmented Reality the Example of GALILEO and EGNOS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI*(July), 1173–1177. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1173-2016>
- Pendit, U. C., Zaibon, S. B., & Bakar, J. A. A. (2016). Measuring enjoyable informal learning using augmented reality at cultural heritage site. *Journal of Telecommunication, Electronic*

- and Computer Engineering*, 8(10), 13–21. <https://doi.org/10.1063/1.4960927>
- Piekarski, W., & Thomas, B. (2002). ARQuake: the outdoor augmented reality gaming system. *Communications of the ACM*, 45(1), 36–38. <https://doi.org/10.1145/502269.502291>
- Qualcomm. (2016). Enhancing augmented reality with advanced object detection techniques. Retrieved November 1, 2016, from www.qualcomm.com/invention/research/projects/computer-vision/3d-object-detection
- Regazzoni, D., Vecchi, G. di, & Rizzi, C. (2014). RGB cams vs RGB-D sensors: Low cost motion capture technologies performances and limitations. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 719–728. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.07.011>
- Schavemaker, M., & Wils, H. (2011). Augmented Reality and the Museum Experience. In *Museums and the Web 2011*. Toronto, Canada.
- Smithsonian, N. M. of N. H. (2017). A Hall Through New Eyes: Skin & Bones. Retrieved May 1, 2017, from naturalhistory.si.edu/exhibits/bone-hall
- Specht, M., Ternier, S., & Greller, W. (2011). Dimensions of Mobile Augmented Reality for Learning: A First Inventory. *Research for Educational Technology (RCET)*, 7(1), 117–127.
- Stapleton, C., Hughes, C., Moshell, M., Micikevicius, P., & Altman, M. (2002). Applying Mixed Reality to Entertainment. *Journal Computer*, 35(12), 122–124.
- State, A., Livingston, M. A., Garrett, W. F., Hirota, G., Whitton, M. C., Pisano, E. D., & Fuchs, H. (1996). Technologies for Augmented Reality Systems: Realizing Ultrasound-Guided Needle Biopsies. In *SIGGRAPH '96 Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 439–446). New Orleans, USA. <https://doi.org/10.1145/237170.237283>
- Štrélák, D., Škola, F., & Liarokapis, F. (2016). Examining User Experiences in a Mobile Augmented Reality Tourist Guide. In *PETRA '16 Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. Corfu, Greece. <https://doi.org/10.1145/2910674.2935835>
- Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. In *IFIP Congress* (pp. 506–508). London, UK. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.274>
- Swan II, J. E., & Gabbard, J. L. (2005). Survey of User-Based Experimentation in Augmented Reality. In *1st International Conference on Virtual Reality* (pp. 1–9). Las Vegas, USA. <https://doi.org/10.1.1.527.6345>
- Tsotros, M. (2002). Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites. *Computer Graphics in Art History and Archaeology*, 22(5), 52–60. <https://doi.org/10.1109/MCG.2002.1028726>
- Vacchetti, L., Lepetit, V., & Fua, P. (2004). Stable Real-Time 3D Tracking Using Online and Offline Information. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(10), 1385–1391. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2004.92>
- Vallino, J. R. (1998). *Interactive Augmented Reality. Technical Report Interactive Augmented Reality*. Now York, USA. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2011.00603.x>
- Vlahakis, V., Ioannidis, N., Karigiannis, J., Tsotros, M., Gounaris, M., Almeida, L., ... Carlucci, R. (2001). Archeoguide: First results of an Augmented Reality, Mobile Computing System in Cultural Heritage Sites. In *VAST '01 Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage* (pp. 131–140). Glyfada, Greece. <https://doi.org/10.1145/584993.585015>
- Vuforia. (2017). How To Evaluate a Target Image in Grayscale. Retrieved November 1, 2016, from <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Image-Target-Enhancement-Grayscale->

Histogram-Quality-Indicator

- Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T., & Schmalstieg, D. (2008). Pose tracking from natural features on mobile phones. In *ISMAR '08 Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 125–134). Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637338>
- Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T., & Schmalstieg, D. (2010). Real-time detection and tracking for augmented reality on mobile phones. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3), 355–368. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.99>
- Wagner, D., & Schmalstieg, D. (2003). First Steps Towards Handheld Augmented Reality. In *7th IEEE International Symposium on Wearable Computers* (pp. 127–135). White Plains, USA. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2003.1241402>
- Walczak, K., White, M., & Cellary, W. (2004). Building Virtual and Augmented Reality Museum Exhibitions. In *Web3D '04 Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology* (pp. 135–145). California, USA.
- Werdelin, L., & Lewis, M. E. (2001). A Revision of the Genus *Dinofelis* (Mammalia, Felidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 132(2), 147–258. <https://doi.org/10.1006/zjls.2000.0260>
- White, M., Mourkoussis, N., Darcy, J., Petridis, P., Liarokapis, F., Lister, P., ... Gaspard, F. (2004). ARCO: An Architecture for Digitization, Management and Presentation of Virtual Exhibitions. In *CGI '04 Proceedings of the Computer Graphics International* (pp. 622–625). Crete, Greece.
- Wikitude. (2017). Best practice for target images. Retrieved March 1, 2017, from <http://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/studio/targetguide.html>
- Yuen, S. C., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development & Exchange*, 4(1), 119–140. <https://doi.org/Article>

Anexos

Anexo A

Aperfeiçoamento de Sistemas SLAM

Uma compilação de sistemas SLAM desenvolvidos com vista a solucionar alguns problemas detetados nesta técnica, foram apresentados por Liu *et al.* (2016) (Liu *et al.*, 2016). Na Tabela 4, de forma generalista, aparece resumida esta evolução.

Tabela 4 – Resumo do trabalho desenvolvido no melhoramento de sistemas SLAM

<i>Designação</i>	<i>Método</i>	<i>Inovação</i>	<i>Limitação</i>
MonoSLAM	<i>Filtering-based</i>	O movimento da câmara e os pontos 3D são representados de forma probabilística.	Utilização em espaços de baixa escala
PTAM	<i>Key-frame-based</i>	<i>Framework</i> de <i>tracking</i> e mapeamento paralelo. Utilização em grande escala é conseguida.	
RDSLAM	<i>Key-frame-based</i>	Deteta alterações de aparência e de estrutura da cena suportando assim cenas dinâmicas.	
ORB-SLAM	<i>Key-frame-based</i>	Deteta localizações repetidas e <i>loop</i> de cenas terminados pela otimização <i>pose graph</i> .	Robustez em relação ao movimento do dispositivo utilizado Cenas com texturas pouco evidentes ou com muitas texturas/estruturas repetidas
LSD-SLAM	<i>Key-frame-based</i>	Através de um mapa de profundidade onde se torna possível recuperar em tempo real. O <i>framerate</i> conseguido é bastante elevado.	
RKSLAM	<i>Key-frame-based</i>	Suporta alterações bruscas de posição e rotação de câmara em tempo real em dispositivos móveis.	

Anexo B

Listagem de SDKs

Foi feita uma pesquisa das tecnologias disponíveis para implementar sistemas de realidade aumentada e respetivas características para identificar as que mais se enquadravam com os objetivos principais deste projeto.

Seguidamente, uma lista com essas tecnologias é apresentada juntamente com o endereço web correspondente.

Tabela 5 – Recolha dos SDKs disponíveis para implementação de sistemas de aumentada.

Tecnologia	Endereço web	Atividade recente encontrada ⁴⁰	Outros
ALVAR	virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar	2012 (v)	Folheto em anexo
AndAR	code.google.com/archive/p/andar	2010 (v)	
ARcrowd	arcrowd.com	2014 (m)	Plataforma Web
ARLab	www.arlab.com	2013 (m)	
AR-media	www.inglobetechnologies.com	2013 (v)	
ARMES	www.ames-tech.com (<i>offline</i> aquando consulta) alternativa: www.ini-novation.com/about-us/projects/ames	2011 (v)	Projeto académico
ARPA Solutions	www.arpa-solutions.net (<i>offline</i> aquando consulta) alternativa: www.crunchbase.com/organization/arpa-solutions-s-l#/entity1	2013 (m)	
ARToolKit	artoolkit.org	2016 (v)	
ArUco	www.uco.es/investiga/grupos/ava/node/26	2017 (v)	Projeto académico

⁴⁰ Esta atividade encontrada está relacionada com disponibilização de versões da tecnologia em causa – representado por (v). Na impossibilidade de identificação desta data, é indicado o ano referente à última publicação de notícias e/ou vídeos encontrados referentes à utilização da tecnologia em causa – representado por (m).

Augmented Pixels	augmentedpixels.com/usecase/vision-unit	2015 (m)	
Aurasma	www.aurasma.com	2016 (m)	
Awila AR	www.arcgis.com/home/item.html?id=e18d41678217435da32284b10589c0dd	2014 (m)	
BazAR	cvlab.epfl.ch/software/bazar/index.php	2014 (v)	
BeyondAR	www.beyondar.com	2017 (v)	
Catchoom	catchoom.com	2016 (v)	
DART	ael.gatech.edu/dart	2004 (v)	
DroidAR	bitstars.github.io/droidar	2014 (v)	
EasyAR	www.easyar.com	2016 (v)	
FLARToolKit	www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/en	2013 (v)	
Goblin XNA	goblinxna.codeplex.com	2012 (v)	
Holobuiler	landing.holobuilder.com/construction	2016 (m)	
Hoppala	www.hoppala-agency.com	2015 (m)	
IN2AR	www.beyondreality.nl/in2ar	2015 (v)	
InstantReality	www.instantreality.org	2016 (v)	
Kudan	www.kudan.eu	2017 (v)	
Luxand	www.luxand.com	2016 (v)	Apenas para <i>Face tracking</i>
MagicLens	www.magiclensapp.com	2016 (m)	
Maxst	maxst.com	2017 (v)	
Minerva	theminervaproject.wordpress.com	2012 (m)	
Mixare	www.mixare.org	2012 (v)	
MXR Toolkit	mxrtoolkit.sourceforge.net	2009 (v)	
NyARToolkit	nyatla.jp/nyartoolkit/wp	2016 (v)	
OsgART	osgart.org/index.php/Main_Page	2014 (v)	
PanicAR	github.com/vuframe/panicar	2014 (v) / 2017 (m)	
PRAugmentedReality	github.com/promet/PRAugmentedReality	2014 (v)	
PTAM	www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM	2013 (v)	Projeto académico

Robocortex	www.robocortex.com	2015 (m)	Folheto em anexo
Seac02	www.seac02.it	2013 (m)	
SLARToolkit	slartoolkit.codeplex.com	2010 (v)	
SSTT	technotecture.com/augmentedrealit	2014 (v)	Projeto académico
Studierstube Tracker	studierstube.icg.tugraz.at/handheld_ar/stbtracker.php	2008 (v)	
TinEye	services.tineye.com	2017 (v)	
Total Immersion	www.t-immersion.com	2014 (m)	
UART	research.cc.gatech.edu/uart	2015 (v)	
Vidinoti	www.vidinoti.com	2017 (m)	Plataforma Web
Vuforia	developer.vuforia.com	2016 (v)	
Wikitude	www.wikitude.com	2017 (v)	
Xloundia	www.xloundia.com	2016 (m)	
XZIMG	www.xzimg.com	2017 (v)	
Outras tecnologias			
Metaio	Adquirido pela Apple		
String	Descontinuado		
Viewdle	Adquirido pela Motorola		
Yvision	Descontinuado		

Na tabela 4, é possível observar um vasto conjunto de SDKs que podem ser utilizados para implementar sistemas de realidade aumentada. Outros SDKs que possam existir não fazem parte desta listagem devido ao facto de não existir disponível informação suficiente sobre os mesmos.

Anexo C

Nomenclatura do Protótipo

O nome adotado para identificar este projeto, *DinofelisAR*, foi inspirado no nome de um animal já extinto chamado *Dinofelis*. Também conhecido por “o gato terrível”, com a anatomia semelhante a um jaguar, do tamanho de um puma com dentes longos, era um predador de humanoides. Foi diversas vezes referido como tigre de dentes de sabre, outras vezes como tigre de dentes cónicos (felinos modernos), e outras vezes foi referido como estando entre os dois. Estes felinos habitaram na *Eurasia*, *Ásia* e *África*, há um período de tempo compreendido entre os 5 e os 1.2 milhões de anos atrás (Werdelin & Lewis, 2001).

Uma vez que as cidades romanas existentes em Portugal se encontram extintas ou, nos casos mais favoráveis, em ruínas, este projeto faz uma alusão a um animal que era caracterizado como sendo forte e bem-adaptado, mas extinto, numa analogia aos extintos edifícios da imponente civilização romana.

A imagem escolhida para este projeto teve como base a anatomia deste “gato terrível” (Figura 49) e o ícone criado para simbolizar a aplicação no smartphone, foi uma adaptação da imagem original criada, escolhendo a letra inicial “D” e a inclusão apenas da cabeça do animal (Figura 50).

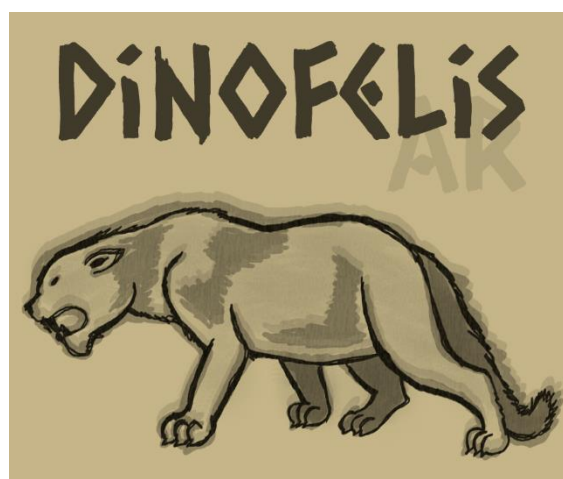


Figura 49 – Imagem gerada para o protótipo que acompanhou esta investigação.



Figura 50 – Ícone criado para representar a aplicação no *smartphone*.

Anexo D

Documentação Afeta aos Testes com Utilizadores

Para recolher resultados juntos dos utilizadores, foram elaborados questionários (versão portuguesa e versão inglesa) assim como as respetivas declarações de consentimento informado (também disponível nas versões portuguesa e inglesa).

Questionários

A versão portuguesa do questionário encontra-se representada abaixo.

QUESTIONÁRIO

REALIDADE AUMENTADA MÓVEL EM CONTEXTOS DE HERANÇA CULTURAL

Caro participante,

Este questionário faz parte de um estudo relacionado com utilização de Realidade Aumentada móvel em contextos de herança cultural. Garantimos o anonimato das suas respostas e estas serão tratadas apenas para efeitos estatísticos no âmbito deste estudo.

A duração prevista para responder a este questionário é de 2 minutos.

Agradecemos desde já a sua colaboração.

1. Sexo:

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

Feminino

Masculino

2. Idade:

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

< 18

18 - 24

25 - 39

40 - 55

> 55

3. Nível de escolaridade:

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

Sem nível de escolaridade

Até ao ensino básico (até 3.º ciclo)

Até ao ensino secundário e pós-secundário

Ensino superior

4. Antes da sua experiência de hoje com a Realidade Aumentada, alguma vez tinha experimentado esta tecnologia?

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

Sim

Não

Não sei

Questionário sobre Realidade Aumentada Móvel em Contextos de Herança Cultural

Mestrado em Multimédia

5. Qual o principal motivo que o levou a aceitar participar nesta experiência?

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

- Porque não sei o que é a Realidade Aumentada e fiquei com curiosidade em passar a conhecer
- Porque a Realidade Aumentada parece-me ser uma atividade interessante neste contexto arqueológico
- Apesar de considerar a Realidade Aumentada pouco interessante neste contexto arqueológico, fiquei com curiosidade em experimentar
- Outro motivo: _____

6. Durante a sua experiência com a Realidade Aumentada, conseguiu visualizar o modelo virtual (o Forum) através do ecrã do telemóvel?

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

- Sim, próximo do local das ruínas Sim, mas num local muito afastado em relação às ruínas Não

Atenção: Se respondeu «Não» a esta questão, passe diretamente para a questão 10 deste questionário.

7. Durante a sua experiência com a Realidade Aumentada, conseguiu navegar no terreno para ver o modelo virtual ao seu redor?

(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

- Sim Não Não sei

8. Com base na sua experiência de hoje com a Realidade Aumentada, classifique o seu nível de concordância com as seguintes afirmações:

(Para cada tópico listado, assinale apenas uma opção da escala)

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
Sobre o sentimento de presença:					
1. A minha visita ao <i>Forum</i> tornou-se mais dinâmica e ativa.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. A minha visita ao <i>Forum</i> tornou-se mais divertida.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Fiquei com uma noção mais exata sobre as características do <i>Forum</i> (dimensão, cores, arquitetura, etc.).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Senti-me mais envolvido com este espaço de visita.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sobre a experiência tecnológica:					
5. Durante a experiência, senti-me totalmente perdido sem saber para onde apontar o telemóvel.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Ao fim de alguns minutos de utilização, já estava à vontade com a tecnologia e compreendia bem como utilizá-la.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Esta tecnologia é fácil de utilizar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Página 2 de 4

Questionário sobre Realidade Aumentada Móvel em Contextos de Herança Cultural Mestrado em Multimédia

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo, nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
<i>Sobre o desempenho da tecnologia:</i>					
8. O modelo virtual oscilava demasiado, mesmo quando eu tinha o telemóvel firme em determinada posição.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Foi difícil ter uma perceção sobre a posição do modelo virtual em relação às suas ruínas pois este mudava de posição à medida que eu explorava o ambiente envolvente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. O facto de eu necessitar de estar próximo da folha de papel limitou a minha experiência.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Com base na sua experiência de hoje, qual o seu nível de interesse em instalar uma aplicação de Realidade Aumentada no seu telemóvel para que pudesse utilizá-la ao longo de toda a sua visita às ruínas de Conimbriga?
(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

Totalmente desinteressado Parcialmente desinteressado Indiferente Parcialmente interessado Totalmente interessado

10. Considera que aplicações de Realidade Aumentada no Museu Monográfico de Conimbriga podem contribuir para um maior enriquecimento cultural dos visitantes do espaço?
(Assinale apenas uma das opções apresentadas)

Discordo totalmente Discordo parcialmente Não concordo, nem discordo Concordo parcialmente Concordo totalmente

11. Considera a disponibilização de aplicações de Realidade Aumentada no Museu Monográfico de Conimbriga, podem levar a um maior número de visitantes ao espaço?
(Selecione apenas uma das opções apresentadas)

Discordo totalmente Discordo parcialmente Não concordo, nem discordo Concordo parcialmente Concordo totalmente

12. Quais foram os principais problemas que encontrou no decorrer desta experiência?

Página 3 de 4

Questionário sobre Realidade Aumentada Móvel em Contextos de Herança Cultural

Mestrado em Multimédia

13. Usando esta tecnologia, gostaria de fazer alguma sugestão de modo a melhorar a envolvência com o espaço apresentado.

Estamos-lhe muito gratos pela sua colaboração. Um bem-haja! 😊

Outras informações:

Este projeto, inserido no âmbito do Mestrado em Multimédia pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, está a ser desenvolvido pela mestranda Anabela G. Marto sob a orientação do Professor A. Augusto de Sousa (FEUP) e coorientação do Professor Alexandrino Gonçalves (ESTG - IPL).

Conimbriga, maio de 2017

Página 4 de 4

A versão inglesa do questionário encontra-se representada abaixo.

SURVEY

MOBILE AUGMENTED REALITY APPLIED TO CULTURAL HERITAGE

Dear Participant,

The present survey, relates to mobile Augmented Reality applied in cultural heritage contexts.

In this survey, we guarantee anonymity of your answers and these will be used only for statistical purposes.

We predict that 2 minutes should be enough time to answer the entire survey.

Thank you in advance for your collaboration.

1. **Gender:**
(Tick only one option)
 Female Male

2. **Age:**
(Tick only one option)
 < 18
 18 - 24
 25 - 39
 40 - 55
 > 55

3. **Level of education:**
(Tick only one option)
 None
 Up to basic education
 Up to secondary and post-secondary education
 Higher education

4. **Before your experience from today using Augmented Reality, have you ever tried it before?**
(Tick only one option)
 Yes No I don't know

5. Why did you decide to agree to be part of this experiment?

(Tick only one option)

- Because I don't know what Augmented Reality is and I would like to get to know it more
- Because I look at Augmented Reality as an interesting activity to be applied to an archaeological context
- Even considering that Augmented Reality it's not very interesting applied to archaeological context, I got curious and I wanted to try it
- Other reason: _____

6. During this experience with Augmented Reality, did you succeed viewing the virtual model (Forum) through the smartphone's screen?

(Tick only one option)

- Yes, near the ruins
- Yes, but lagged on its position when related to the ruins
- No

Attention: If your answer to this question was «No», skip to the question number 10 of this survey.

7. During this experience with Augmented Reality, did you accomplish the tracking navigation along the virtual building?

(Tick only one option)

- Yes
- No
- I don't know

8. Based on you experience from today with Augmented Reality, classify your level of agreement with the following statements:

(For each statement, tick only one option)

	Strongly disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly agree
Feelings in the experiment:					
1. This visit to the <i>Forum</i> has become more dynamic and active.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. This visit to the <i>Forum</i> has become more pleasant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. I'm now able to best describe the <i>Forum</i> characteristic (size, colours, architecture, etc.).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. I felt more involved in this visit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technological issues:					
5. I felt like I was totally lost in space, not knowing where to point the smartphone's camera at all.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. After some moments using this technology, I already was comfortable using it and understanding how to use it correctly.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. This technology is easy to use.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Survey: Mobile Augmented Reality Applied to Cultural Heritage

Master in Multimedia

Techonological performance:	Strongly disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly agree
8. The virtual model was swinging violently, even when I was standing still the smartphone.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. The virtual model changed position as far as I was exploring the surroundings, hampering my perception of its position when related to the ruins.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. The fact that I needed to be near to the sheet of paper restricted my experience.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Based on you experience from today, classify your level of desire about installing it in your smartphone and use it during your visit to Conimbriga's ruins.
(Tick only one option)

Very undesirable Undesirable Neutral Desirable Very desirable

10. Do you think that Augmented Reality applications in cultural heritage contexts, like Conimbriga's ruins, may be a good contribution for visitor's cultural enrichment?
(Tick only one option)

Strongly disagree Disagree Undecided Agree Strongly agree

11. Do you look at Augmented Reality applications in cultural heritage contexts, like Conimbriga's ruins, as an opportunity for increase the amount of visitors?
(Tick only one option)

Strongly disagree Disagree Undecided Agree Strongly agree

12. What are the mains problems encountered during your experiment?

13. Based in this technology, would you like to make some suggestions in order to improve the involvement with the presented space.

Thank you very much for your cooperation! 😊

Further information:

The development of this project, as part of the scope of a Master in Multimedia, by Faculty of Engineering of the University of Porto, is being undertaken by the master student Anabela Marto, under the orientation of Professor A. Augusto Sousa (FEUP) and co-orientation of Professor Alexandrino Gonçalves (ESTG - IPL).

Conimbriga, May of 2017

Declarações de Consentimento Informado

A versão portuguesa da declaração de consentimento informado encontra-se representada abaixo.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

INVESTIGADORES:
Anabela Marto, mestranda do Mestrado em Multimédia na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

OBJETIVO:
Os objetivos desta experiência não podem, no momento, ser revelados pois, tal conhecimento poderia influenciar os resultados. Após o término da mesma, todos os resultados serão divulgados.

PARTICIPANTES:
Todos os participantes nesta experiência são voluntários que concordaram com a realização da mesma.

CONFIDENCIALIDADE:
Os dados recolhidos serão tratados de forma anónima e as respostas individuais serão confidenciais.

PROCEDIMENTO:
O procedimento nesta experiência pode variar em que receberá instruções detalhadas durante o processo.

PROVEITOS:
Os participantes não receberão nenhum benefício direto ao participar nesta experiência.

RISCOS:
Os procedimentos com a realização desta experiência são inofensivos e já foram usados em experiências anteriores.

DESISTÊNCIA:
Nenhum dos voluntários nesta experiência é obrigado a finalizar a mesma. Podem terminar a sua participação, por sua iniciativa, em qualquer momento.

QUESTÕES ADICIONAIS:
Caso pretenda informações adicionais sobre os objetivos, procedimentos ou quaisquer outros aspetos relativos a esta experiência, pode contactar o investigador em causa (anabela.marto@ipleiria.pt).

DECLARAÇÃO:
Li os termos e autorizo a minha participação nesta experiência. Reservo o direito de, em qualquer momento, poder desistir e solicitar que todos os dados resultantes da minha participação ou os meus dados pessoais sejam destruídos.

Assinatura: _____

Idade: ____ Data: __ / __ / 2017

A versão inglesa da declaração de consentimento informado encontra-se representada abaixo.

INFORMED CONSENT FORM

INVESTIGATOR
Anabela Marto, undertaken a master degree in Multimedia, Faculty of Engineering of the University of Porto.

PURPOSE
Specific hypotheses and predictions cannot be revealed until after the experiments. Such knowledge could influence the results. After the experiments are completed, a detailed debriefing will be provided.

SELECTION OF PARTICIPANTS
Participants are volunteers who have agreed to take part.

CONFIDENTIALITY
Your data are recorded with no identifier and the answers are confidential.

PROCEDURE
Procedures vary from experiment to experiment. You will be given detailed instructions.

BENEFITS
Participants will receive no direct benefit from this research.

RISKS
The procedures used in the experiments are harmless and have been used in prior researches.

WITHDRAWAL
Participation in this research is voluntary. Volunteers are under no obligation to complete the study and can cease participation at any time.

FURTHER QUESTIONS
If you have any questions regarding the purpose, procedure or other aspects of the experiments, please feel free to send an e-mail message to the investigator (anabela.marto@ipleiria.pt).

Name: _____
Age: ____

DECLARATION:
I have been informed about the aims and procedures involved in the experiments. I reserve the right to withdraw at any stage in the proceedings, and information that I provide as part of the study will be destroyed or my identity removed unless I agree otherwise.

Signed: _____ Date: __ / __ / 2017