

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Sistemas de Informação

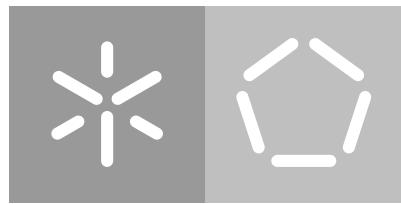
José Pedro de Castro Rocha

**XRBook: Aplicação de Realidade
Aumentada para enriquecer
o conteúdo dos livros**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e
Gestão de Sistemas de Informação

Orientador
Luís Gonzaga Mendes Magalhães

Setembro 2019



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Sistemas de Informação

José Pedro de Castro Rocha

**XRBook: Aplicação de Realidade
Aumentada para enriquecer
o conteúdo dos livros**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e
Gestão de Sistemas de Informação

Orientador
Luís Gonzaga Mendes Magalhães

Setembro 2019

AGRADECIMENTOS

A realização de uma dissertação de mestrado é uma viagem repleta de desafios, alegrias, incertezas e percalços. Há por isso que agradecer a todos os intervenientes envolvidos neste processo, que de alguma forma contribuíram para a concretização deste projeto, auxiliando na tomada de decisão em cada momento desta viagem. Agradeço profundamente, por isso, ao Professor Luís Magalhães que começou por me dar a oportunidade de poder desenvolver um projeto ambicioso de final de curso. Agradeço pela orientação exemplar prestada, caracterizada pelo seu interesse genuíno e profundo sobre o tema, a sua visão crítica e rigor científico, que constantemente me motivou e me permitiu enriquecer, passo a passo, todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado. Deixo aqui também o meu sincero agradecimento a todos os colaboradores do Centro de Computação Gráfica da Universidade do Minho (CCG) que se envolveram neste projeto, nomeadamente ao Nelson Alves (Gestor de projetos do CCG) que contribuiu com material, críticas e ideias para o desenrolar do mesmo, assim como ao Luís Evangelista (técnico de desenvolvimento) que ajudou no desenvolvimento dos modelos 3D utilizados na demo de Realidade Aumentada criada para demonstrar as funcionalidades e capacidades do sistema.

Por fim, resta-me agradecer a todos os meus familiares e amigos que me suportaram e me motivaram para a realização deste estudo, que me estimulou intensamente e me preparou para uma possível carreira de investigação e desenvolvimento na área de Realidade Aumentada.

RESUMO

A indústria do livro depara-se com grandes desafios nas áreas comunicacionais, fruto do rápido desenvolvimento tecnológico que nos tem vindo a disponibilizar variadas formas de interagir com a informação.

A **Realidade Aumentada (RA)** é uma tecnologia que permite representar e interagir com informação virtual representada sobre o ambiente do mundo real. Nos últimos anos esta tecnologia tem sido fortemente explorada em várias vertentes, fruto do seu vasto leque de aplicações. A aplicação de **RA** a livros traduz-se na introdução nestes de propriedades interativas e imersivas, transformando a atividade de leitura numa experiência única. Os livros aumentados têm a capacidade de ajudar a indústria do livro, podendo estes ser concebidos de forma a melhorar a experiência concedida pelos livros físicos. Estes artefactos são também, atualmente, a principal aplicação da **RA** na educação, ajudando os alunos na compreensão de matérias mais complexas, e proporcionando aos mesmos uma aprendizagem imersiva, e interativa, que resulta no aumento da motivação e participação destes.

Múltiplos autores apresentaram, ao longo das duas últimas décadas, diferentes técnicas de aplicação de **RA** a livros, que variam em termos de tecnologias, dispositivos e funcionalidades adotadas.

Esta dissertação surge com o intuito de explorar diversas estratégias para fornecer conteúdo adicional ao livro impresso, prestando especial atenção aos livros aumentados que mantêm as características/benefícios do livro em papel. No final, será proposta uma aplicação de **RA** genérica, capaz de descargar e executar diferentes experiências **RA** para qualquer livro físico existente.

Um modelo de especificação de experiências de **RA** foi definido para caracterizar as experiências de **RA**. Nesta especificação, são definidos todos os elementos que compõem uma experiência de **RA**, nomeadamente os marcadores, conteudos, interações do utilizador e outros eventos, assim como toda a lógica entre estes.

A aplicação proposta tem a capacidade de reconhecer um livro, fazer *download* de um servidor do ficheiro de especificação de experiências **RA** associado ao livro em questão e construir e executar essas experiências de **RA**. A abordagem utilizada vem permitir transformar os livros em fontes dinâmicas de informação, adicionando-lhes valor.

Uma demonstração exemplo foi construída no sentido de avaliar as capacidades e funcionalidades do sistema, dando enfase à visualização de objetos 3D, reprodução de videos e sons, e interações disponíveis ao utilizador.

Palavras-Chave: Livros Aumentados, Realidade Aumentada (RA), Aplicação Móvel de RA, Experiências de RA

ABSTRACT

As a consequence of the huge technological development that we face today, which has provided various ways of interacting with information, the book industry faces great challenges in the communications area.

Augmented Reality (AR) is a technology that enables visualization and interaction with virtual information overlaid with the real world environment. In recent years, this technology has been heavily explored in various contexts, due to its wide range of applications.

AR books techniques consist of adding interactive and immersive properties to books, transforming the reading activity into a unique experience. Augmented books can help the book industry as they can be designed to improve the experience given by the physical books. These artifacts are also currently the main application of AR in education, helping students to understand more complex subjects and providing them with immersive interactive learning activities, resulting in increased motivation and participation.

Over the last two decades, multiple authors have presented different ways of adding AR to books, which vary in terms of technologies, devices and features adopted.

This dissertation aims to explore various strategies for providing additional content to physical books, with focus on augmented books approaches that retain the book's characteristics and the benefits of the paper. At the end, a generic AR application will be presented, capable of downloading and running different AR experiments for any existing book.

An AR experiences specification model has been defined to create AR experiences. In this specification, all the elements that compose an AR experience are identified, such as markers, contents, user interactions and other events, as well as all the logic between them.

The proposed application has the ability to recognize a book, download an AR experience specification file associated with it from a server, and build and run the AR experiences accordingly with this specification. This approach allows to transform books into dynamic sources of information, increasing their value.

An example demo was built to evaluate the capabilities and the functionality of the system, with emphasis on the visualizations (3D objects, video, sounds) and user interactions.

Keywords: Augmented Books, Augmented Reality (AR), AR Mobile Application, AR Experiences

CONTEÚDO

| | |
|--|-----------|
| Resumo | ii |
| Abstract | iii |
| Lista de Figuras | v |
| Lista de Tabelas | vii |
| Acrónimos | viii |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Enquadramento e motivação | 1 |
| 1.2 Objetivos e metodologia | 2 |
| 1.3 Organização do documento | 5 |
| 2 ESTADO DA ARTE | 7 |
| 2.1 Realidade Aumentada | 7 |
| 2.1.1 Tecnologias para Sistemas de Realidade Aumentada | 9 |
| 2.1.2 Arquitetura de um Sistema de Realidade Aumentada | 12 |
| 2.1.3 Técnicas de Rastreamento Ótico | 14 |
| 2.1.4 Softwares de Realidade Aumentada | 16 |
| 2.2 Realidade Aumentada na educação | 19 |
| 2.3 Livros Aumentados | 21 |
| 3 XRBOOK - UMA PROPOSTA DE LIVRO AUMENTADO | 28 |
| 3.1 Conceito | 28 |
| 3.2 Definição das experiências de RA | 29 |
| 3.3 Requisitos funcionais | 31 |
| 3.4 Requisitos não funcionais | 34 |
| 4 IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO | 35 |
| 4.1 Ferramentas de desenvolvimento adotadas | 35 |
| 4.2 Arquitetura de implementação | 40 |
| 4.3 Estrutura da aplicação | 42 |
| 4.4 Funcionamento da aplicação | 57 |
| 5 TESTES | 61 |
| 6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO | 67 |
| Bibliografia | 74 |
| A ESPECIFICAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE RA | 75 |
| A.1 Experiência Guarda Rios | 75 |
| A.2 Experiência Arca de Noé | 92 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Representação do Contínuo Virtual | 7 |
| 2 | Evolução dos dispositivos de RA | 9 |
| 3 | Sistema típico de RA | 13 |
| 4 | Técnicas de rastreamento (marker-less) | 15 |
| 5 | Interesse em diferentes tecnologias de RA | 17 |
| 6 | Padrões de RA na Educação | 20 |
| 7 | The Physicality Continuum | 22 |
| 8 | Arquitetura conceitual | 28 |
| 9 | Modelo de especificação de experiências de RA | 29 |
| 10 | Diagrama de Casos de Uso da aplicação | 31 |
| 11 | UC{1} Adicionar livro à biblioteca | 32 |
| 12 | UC{2} Carregar livro | 33 |
| 13 | UC{3} Carregar experiência | 33 |
| 14 | Primeira versão utilizando ARCore | 38 |
| 15 | Limitação do ARCore (versão pré 1.9) | 39 |
| 16 | Arquitetura de implementação | 40 |
| 17 | Principais blocos funcionais da aplicação | 42 |
| 18 | Erros na comunicação com o servidor | 45 |
| 19 | Hierarquia de diretorias resultante da descarga de uma experiência de RA | 50 |
| 20 | Resolução de referência aplicada a todos os painéis | 50 |
| 21 | Book prefab | 52 |
| 22 | Vuforia Target Manager | 53 |
| 23 | Workflow de utilização | 57 |
| 24 | Seleção da capa do livro | 57 |
| 25 | Biblioteca de livros (à esquerda), detalhes do livro (à direita) | 58 |
| 26 | Lista de experiências relativas a um livro | 59 |
| 27 | Exemplo de conteúdo de uma experiência | 60 |
| 28 | Verificação de atualizações | 60 |
| 29 | Livros utilizados e demos desenvolvidas | 61 |
| 30 | Objeto 3D animado | 62 |
| 31 | Botão 3D que reproduz o poema de saudação | 62 |
| 32 | Botões 3D que reencaminham para as redes sociais do autor | 63 |
| 33 | Objeto 3D animado, receptível a <i>clicks</i> do utilizador | 63 |
| 34 | Painel com informações complementares sobre a espécie | 64 |
| 35 | Botões que realçam a distribuição da espécie em Portugal | 64 |

| | | |
|----|---|----|
| 36 | Reprodução de um vídeo num objeto 3D | 65 |
| 37 | Tracking de um plano para instanciar um modelo em Extended Tracking | 65 |
| 38 | Cenário de Extended Tracking (1) | 66 |
| 39 | Cenário de Extended Tracking (2) | 66 |
| 40 | Cenário de Extended Tracking (3) | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Análise de diferentes softwares de RA | 18 |
| 2 | Lista de livros aumentados | 25 |
| 3 | Ferramentas de desenvolvimento adotadas | 37 |

ACRÓNIMOS

API *Application Programming Interface.*

BD Base de Dados.

CMS *Content Management System.*

FOV *Field of View.*

HMD *Head Mounted Display.*

HTTP *Hypertext Transfer Protocol.*

IDE *Integrated Development Environment.*

OCR *Optical Character Recognition.*

RA Realidade Aumentada.

RM Realidade Mista.

RV Realidade Virtual.

SDK *Software Development Kit.*

SO Sistema Operativo.

TSI Tecnologias de Sistemas de Informação.

UI *User Interface.*

URL *Uniform Resource Locator.*

XML *Extensible Markup Language.*

I

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos têm surgido várias propostas de soluções tecnológicas que tentam de alguma forma enriquecer o livro impresso, com intuito de aumentar o seu potencial, através da inclusão de elementos eletrónicos ou a associação de dispositivos externos ou plataformas eletrónicas que fornecem conteúdos multimédia.

Tanto os livros físicos como os digitais apresentam vantagens únicas que, combinadas, proporcionam ao leitor uma melhor experiência, mais imersiva e interativa. Enquanto o livro físico proporciona feedback táctil e cinestésico, os media digitais integram recursos audiovisuais interativos (Steimle, 2012). O ato de leitura contemporâneo, faz-se frequentemente em ambientes digitais interativos que combinam imagens, vídeos e música, e não exclusivamente através do folheamento tátil de páginas impressas, exigindo interações como toques, cliques, gestos e navegação (Mangen, 2001; Hillesund, 2010).

O processo de enriquecimento do livro e a sua integração com conteúdos digitais e com novas formas de interação e leitura pode ser feito com recurso à inserção de eletrónica no próprio livro e/ou pela utilização de dispositivos externos (inteligentes), dotados de técnicas de **Realidade Aumentada (RA)**, capazes de interpretar as características apresentadas pelo livro e apresentar informação digital, numa tentativa de aumentar a imersão, interação e imaginação do utilizador.

A **RA** caracteriza-se como sendo um sistema que utiliza a interface do ambiente real, ajustada, de modo a permitir ao utilizador, através de um dispositivo tecnológico, visualizar e manipular objetos/informação real e virtual, em tempo real (Azuma et al., 2001; Kisielnicki et al., 2008).

A **Realidade Aumentada (RA)** e a **Realidade Virtual (RV)** são das **Tecnologias de Sistemas de Informação (TSI)** que nos últimos anos mais interesse têm suscitado, devido ao seu potencial de aplicação em variadas áreas de conhecimento, sendo uma das mais rentáveis o setor de entretenimento. Na área dos jogos, aplicações como o *ARQuake*, *PokemonGO*, e *Jurassic World*, utilizam técnicas de **RA** para projetar monstros no ambiente envolvente do utilizador. Na indústria cinematográfica, a **RA** está a ser utilizada para tonar mais rentável o desenvolvimento de filmes, onde técnicas de realidade são aliadas a técnicas de produção de cenas cinematográficas tradicionais. Já no setor da medicina, o uso de dispositivos como *Google Glass* e *Microsoft HoloLens* permitem aos médicos efetuar ensaios

e simulações, reduzindo drasticamente o risco de uma operação. No setor de arquitetura e da engenharia, técnicas de RA permitem visualizar o projeto a ser construído ou verificar interactivamente a conformidade do construído com o projetado.

O uso da RA na educação pode suportar a aprendizagem desde um nível especial (crianças com deficiências), passando pelo ensino básico, até ao ensino superior. A RA permite captar mais facilmente a atenção dos alunos através de uma experiência de aprendizagem mais imersiva e interativa, que os motiva a estudar. A adição de dados extra, como uma pequena biografia, curiosidades ou dados históricos, e a capacidade de mostrar ao utilizador objetos 3D, fornece aos alunos uma compreensão mais alargada do assunto, facilita a compreensão de conteúdo abstrato, e permite o desenvolvimento mais aprofundado de metodologias mais práticas, culminando num aumento da motivação e participação dos mesmos. Os livros aumentados têm especial interesse por parte de investigadores, professores e empresas da indústria do livro. Na verdade, estes são uma das áreas mais notórias do uso da RA na educação. A aplicação de técnicas de RA a livros proporciona aos alunos uma aprendizagem construtiva, suportando-os no desenvolvimento autónomo e na compreensão de conceitos, numa estratégia de aprendizagem autodirigida (Tobias and Duffy, 2009), através de experiências visuais e interativas (Shelton and Hedley, 2004).

A banalização da utilização dos dispositivos móveis e o aumento das suas capacidades gráficas e de processamento, tem potenciado a utilização de técnicas de RA, permitindo visualizar informação digital adicional ao mundo real, em qualquer lugar, sem necessidade de utilizar um equipamento especificamente desenvolvido para o efeito. Nas lojas de aplicativos do iOS e do Android estão disponíveis inúmeras aplicações de RA para variadas áreas do saber, como química, geometria, zoologia, gramática e até programação. A título de exemplo, livro aumentado “Alfa – Histórias de 5 Minutos” da Porto Editora, que é suportado por uma aplicação de RA, denominada *Porto Editora Kids*. Esta aplicação que permite explorar o livro através de um dispositivo móvel, apresenta como funcionalidades a capacidade de narrar a história do livro página por página, interagir com várias as personagens (controlar movimentos, desencadear reações, ...) e visualizar animações 3D da personagem e de algumas páginas do livro.

1.2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

A realização da presente dissertação iniciou-se com o estudo do “estado da arte” da RA, com intuito de aprofundar o conhecimento sobre a temática e definir o estado atual da mesma. Neste sentido, começou-se pela realização de uma revisão de trabalhos de investigação, através de pesquisas utilizando palavras-chave da área, em portais de conteúdo científicos como Scopus, Web of Knowledge, Google Scholar, Research Gate, IEEE Xplore Digital Library, Springer, Mendley, Science Direct e Semantic Scholar. As pesquisas foram realizadas com recuso à Língua Portuguesa e ao Inglês, de forma a aumentar a quantidade de artigos encontrados. De seguida é apresentado o conjunto de palavras-chave utilizadas:

- *Augmented Reality*
- *Augmented Reality Books*
- *Augmented Reality in Education*
- *Augmented Reality Systems*
- *Augmented Reality Technologies*

Na análise dos artigos encontrados, começou-se por selecionar aqueles em que o título e o respetivo *abstract* abordavam um dos tópicos de pesquisa. Depois, houve a necessidade de organizar os documentos por ordem de relevância de acordo com o ano de publicação, número de citações e autor. Desta forma, a informação mais importante foi cuidadosamente selecionada e utilizada de acordo com a sua relevância para o presente estudo.

Numa primeira análise ao conteúdo dos artigos encontrados, ficou claro que o primeiro passo seria a definição do termo "Realidade Aumentada". Assim, recorreu-se a citações dos autores mais importantes da história da RA, com o intuito de apresentar as diferentes definições e perspetivas do termo. No desenrolar desta tarefa, verificou-se que vários artigos encontrados refletiam estudos da RA em contextos educacionais, resultando no desenvolvimento de uma secção específica no presente relatório (de forma a caracterizar a utilização da RA na educação), onde é apresentada uma proposta que identifica situações específicas de utilização da RA em ambientes educacionais, referindo o impacto desta tecnologia no comportamento dos alunos.

Concluída a caracterização teórica do termo, iniciou-se a caracterização da componente tecnológica da RA. Vários autores fazem a definição de um sistema típico de RA, o que levou à apresentação e caracterização da arquitetura típica de RA segundo uma taxonomia selecionada, que se revelou ser a definição mais completa e atualizada. Aquando do desenvolvimento desta tarefa, surgiu a necessidade de caracterizar as tecnologias de RA, sejam estas dispositivos ou *softwares*. Neste sentido, começou-se com a apresentação de uma perspetiva histórica, onde são refletidos os marcos mais importantes no desenvolvimento de dispositivos de RA. Depois, foi levada a cabo uma nova etapa de pesquisa, com o intuito de identificar e caracterizar técnicas e *softwares* de rastreamento atuais, uma vez que actualmente existe um vasto leque de softwares que suportam o desenvolvimento de aplicações de RA pela utilização de técnicas de rastreamento, sendo que acada uma destes softwares apresenta as suas vantagens e desvantagens. Esta análise consistiu em:

- caracterização de diferentes técnicas de rastreamento: é apresentada uma taxonomia atual que distingue diferentes técnicas de rastreamento ótico;
- identificação dos *softwares* de RA que suportam técnicas de rastreamento: uma nova fase de pesquisas na web é iniciada com o intuito de identificar os *softwares* de rastreamento existentes. Depois de identificados, é feita uma análise no *Google Trends*, no sentido de perceber quais os mais utilizados na actualidade. Esta tarefa termina

com o registo das diferentes funcionalidades de cada *software*, no sentido de permitir uma análise comparativa que servirá de suporte à escolha dos *softwares* de RA para o desenrolar da presente dissertação.

A caracterização dos softwares de RA foi suportada com o desenvolvimento de pequenas aplicações de teste, que permitiram perceber o funcionamento dos mesmos. Tendo por base a descrição detalhada dos softwares de RA levada a cabo, será feita a escolha, apresentação e caracterização das ferramentas de desenvolvimento que apresentem mais vantagens e as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento da aplicação.

O último passo da análise do “estado da arte” da RA foi caracterização dos livros aumentados. De acordo com a informação encontrada, revelou-se necessário desenvolver os seguintes aspetos:

- problemas atuais da indústria do livro e problemas do próprio livro;
- vantagens dos livros físicos e vantagens dos livros eletrónicos;
- benefícios da aplicação de técnicas de RA a livros;
- diferentes abordagens que resultam em diferentes tipos de livros aumentados: aqui, é apresentada uma proposta recente, que segue por base uma das taxonomias referenciadas no presente documento;
- exemplos de livros no contexto educacional: apresentação de um estudo recente que identifica caracteriza diferentes tipos de livros aumentados no contexto académico.

Depois da caracterização precisa do “estado da arte” da RA, das tecnologias e softwares inerentes à mesma e da apresentação de variadas abordagens de livros aumentados, inicia-se a especificação da solução a desenvolver, e posterior construção mesma, solução esta que deve permitir enriquecer o conteúdo fornecido por qualquer livro e, dessa forma, aumentar o seu valor. Esta tarefa será iniciada com a apresentação do conceito em termos globais, onde será demonstrado as principais funcionalidades da aplicação, assim como a toda a lógica que suportou o desenvolvimento da mesma. É apresentado um modelo de especificação de experiências de RA que dá vida às experiências de RA, onde são definidos todos os elementos que compõem uma experiência de RA, nomeadamente os marcadores, conteudos, interações do utilizador e outros eventos, assim como toda a lógica entre estes. Ainda nesta linha de pensamento, será especificado, com recurso à linguagem de modelação UML (*Unified Modeling Language*), sob a forma de Casos de Uso, todas as formas que o utilizador tem de interagir com o sistema, e serão ainda apresentados as principais propriedades e restrições do sistema.

As tarefas de especificação da solução, a identificação das funcionalidades a implementar e a escolha das tecnologias, é acompanhada com o desenvolvimento da solução tecnológica propriamente dita. Uma arquitetura de implementação será especificada, onde será feita

a ligação entre as ferramentas, as funcionalidades a implementar e a arquitetura típica de um sistema de RA (tal como apresentado na secção "estado da arte").

Uma tarefa de identificação dos principais blocos funcionais que compõe a aplicação será executada, sendo descrito o processo tecnológico inerente ao desenvolvimento destes blocos funcionais e identificado as dependências entre estes.

No final, será ainda descrito o modo de funcionamento da aplicação, onde será apresentado um workflow de utilização composto por todas as etapas subjacentes à utilização da aplicação, desde o reconhecimento do livro à execução da experiência de RA.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, sendo eles:

- Introdução: inicia com uma pequena descrição do tema, onde são apontadas as diferenças entre livros físicos e livros digitais, assim como uma pequena definição do termo e o potencial de aplicação da RA em várias áreas do conhecimento, focando no uso desta na educação. É apresentada a metodologia utilizada para a realização da presente dissertação, onde são apresentados os repositórios, termos de pesquisa e método de seleção e filtragem de conteúdos utilizado. Ao longo desta secção é feita uma pequena introdução ao conteúdo e estrutura do documento, explicando a sequência de etapas levadas que culminaram no desenvolvimento da aplicação;
- Estado da Arte: inicia com uma definição detalhada do termo **Realidade Aumentada (RA)**, tendo por base os autores que mais contribuíram para as *milestones* mais importantes da história da RA. Terminada esta extensa caracterização do termo, são apresentadas diferentes tecnologias e dispositivos para sistemas de RA (sob a forma de perspectiva histórica), assim como a arquitetura típica de um sistema de RA segundo definições elaboradas por autores em anos anteriores (onde são apresentados os diferentes subsistemas que compõem um sistema de RA), é feita a distinção entre as diferentes técnicas de rastreamento ótico, e são ainda apresentados os diferentes softwares utilizados atualmente que permitem o desenvolvimento de sistemas de RA, sendo feita uma análise criteriosa sobre estes. Neste capítulo são ainda apresentadas as aplicações de RA na educação, nomeadamente as suas vantagens e as suas áreas de aplicação, tendo por base o conhecimento disponibilizado por diferentes autores. Esta secção termina com a definição e caracterização de Livros Aumentados, sendo apresentadas diferentes vantagens destes relativamente aos tradicionais livros físicos, diferentes tipos de livros aumentados, diferentes técnicas utilizadas para o desenvolvimento de livros aumentados e uma extensa lista de livros aumentados desenvolvidos ao longo das duas últimas décadas por diversos autores;
- XRBook - Uma Proposta de Livro Aumentado: inicia com a apresentação do conceito de forma genérica, onde é descrita a arquitetura conceptual da aplicação, assim como

as grandes vantagens da mesma. Depois, é apresentada e cuidadosamente detalhada a estrutura da especificação das experiências de RA, dando a conhecer ao leitor a lógica entre marcadores, conteúdos e eventos por trás da mesma. Esta secção termina com a apresentação detalhada dos requisitos funcionais, onde são apresentadas as diferentes interações do utilizador com o sistema, e dos requisitos não funcionais, onde são apresentadas as principais propriedades e restrições da aplicação;

- Implementação da Aplicação: inicia com a apresentação e caracterização de todas as ferramentas de desenvolvimento adotadas. Depois, é apresentada a arquitetura de implementação, onde são detalhadas as vantagens da mesma, assim como os diferentes motores que a compõem, sendo feito o alinhamento com a arquitetura típica de um sistema de RA que é apresentado na secção do "estado da arte". Terminada a caracterização da arquitetura implementada, inicia-se a descrição do desenvolvimento da aplicação, onde são tecnicamente explicados os principais blocos funcionais da aplicação, sendo estes o módulo do interface, de comunicação, de descarga e instanciação de conteúdos e de armazenamento e persistência de dados. Esta secção termina com a descrição do funcionamento da aplicação, do ponto de vista de utilização;
- Testes: são apresentados os casos práticos, ou *demos*, (experiências de RA) construídos com o intuito de demonstrar as capacidades e funcionalidades do sistema e que suportaram também o desenvolvimento do próprio sistema;
- Conclusões e Trabalho Futuro: são apresentadas as conclusões a que se chegou com a elaboração deste projeto, as restrições do sistema desenvolvido e é também feita uma reflexão com intuito de apresentar trabalhos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 REALIDADE AUMENTADA

Nesta secção será caracterizado o “estado da arte” da RA, nomeadamente da sua utilização na educação e em livros, assim como a arquitetura típica de um sistema RA e as tecnologias inerentes ao mesmo.

O termo Realidade Aumentada (RA) foi definido de diversas formas por diferentes investigadores da Ciéncia da Computação. Uma das primeiras definições surgiu numa taxonomia criada por Milgram et al. (1994), intitulada *Taxonomy of Mixed Reality Visual*, dividindo RA em duas abordagens: abordagem ampla, que define RA como o aumento do *feedback* do mundo real com informação simulada, e abordagem restrita, definida como uma forma de realidade virtual em que o utilizador recorre a um *Head Mounted Display* (HMD), que permite a visão clara do mundo real. Ainda neste artigo, os autores propuseram um *Virtuality Continuum* (Contínuo de Virtualidade), onde os extremos são os dois diferentes mundos (real e virtual), e a junção destes o que eles intitularam de Realidade Mista (RM). Acrescentando, os autores definiram ainda que, quando existe predominância do virtual sobre o real, denomina-se Virtualidade Aumentada (VA) e, inversamente, quando predomina o real sobre o virtual, denomina-se Realidade Aumentada (RA), existindo na verdade uma linha muito ténue que separa estas duas últimas formas aumentadas.

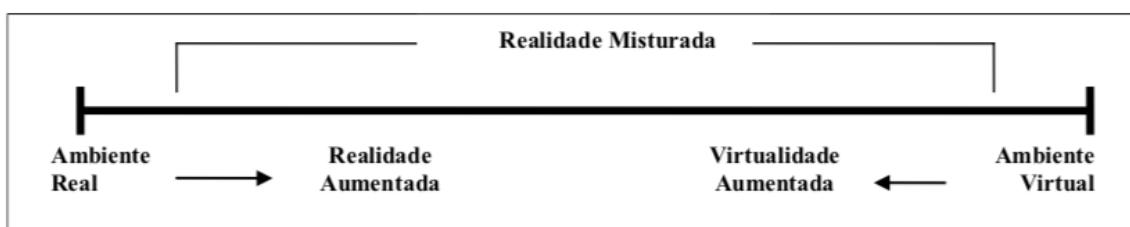


Figura 1.: Representação do Contínuo Virtual (adaptado de Milgram et al., 1994)

A definição de RA mais amplamente aceite foi proposta por Azuma num artigo em 1997, onde o autor define Realidade Aumentada (RA) como objetos virtuais 3D integrados num ambiente real, em tempo real (Azuma, 1997). Já num artigo publicado por Azuma et al. (2001), os autores atualizaram esta definição, reduzindo o ênfase em objetos gráficos e iden-

tificando três propriedades essenciais da **RA**: combinar objetos reais e virtuais no ambiente real, alinhar objetos reais e virtuais entre si e operar interactivamente e em tempo real. Nesta definição está implícito que a **RA** pode ser utilizada numa estratégia de Realidade Diminuída (remoção de objetos reais da cena visual), não se limita ao uso de determinado equipamento tecnológico (como os **HMDs**), nem é restrita ao sentido da visão, podendo ser aplicada a todos os sentidos.

Distintamente da Realidade Virtual (**VR**) que transporta um jogador para dentro de um ambiente totalmente gerado por computador, a **RA** tem como objetivo apresentar informação que complementa o ambiente real envolvente, fazendo a ponte entre o mundo virtual e real. A **RA** é uma técnica de computação *context-aware* que tem como objetivo aprimorar a interação dos utilizadores com ambos os mundos, fornecendo ao utilizador informações em tempo real, baseadas numa localização e contexto (Specht et al., 2011). A informação utilizada para aumentar a fornecida pelo mundo real deve ser rigorosamente selecionada, recorrendo apenas a informação contextualmente relevante para situações específicas.

Em 2002, Feiner define **RA** como monitores que adicionam informação virtual às percepções sensoriais do utilizador. O autor defende que o conceito básico da **RA** é sobrepor a informação digital diretamente na percepção sensorial do utilizador, contrariamente à **RV** que gera um novo ambiente para o utilizador (Feiner, 2002).

No mesmo ano, Billinghurst num artigo intitulado *Augmented Reality in Education*, define **RA** como sendo interfaces que permitem ao utilizador ver o mundo real com informação digital anexada a localizações e objetos reais. O autor afirma ainda que a **RA** é uma tecnologia que oferece uma experiência realista baseada em informação multissensorial que permitem mover o utilizador no *Virtual Continuum*, através de uma interação perfeita do mundo real e virtual (Billinghurst, 2002). Heim (2007) afirma mesmo que o objetivo da **RA** é criar uma integração perfeita entre os objetos reais e virtuais, com o intuito de aumentar a percepção e a experiência do utilizador, e demonstra ainda a importância do alinhamento da informação virtual com o ambiente do mundo real, caso contrário, o utilizador pode ficar confuso e desorientado. As tecnologias de **RA** e **RV** recorrem ao mesmo hardware, sendo a funcionalidade referida anteriormente responsável pela diferenciação do *software* utilizado, resultando em *softwares* mais complexos para o desenvolvimento de aplicações de **RA**.

Suplementando as definições já apresentadas, de seguida são apresentadas mais algumas definições encontradas artigos um pouco mais recentes. El Sayed et al. (2011) referem que a **RA** permite a visualização de informações perdidas no mundo real, pela adição de objetos virtuais a cenas reais. Mais ainda, Cuendet et al. (2013) afirmam que a **RA** é composta por tecnologias que projetam informações digitais em objetos do mundo real.

Estas definições são baseadas em uma das características da **RA** que é a possibilidade de sobrepor informações virtuais em objetos reais. Vários autores definem esta tecnologia como uma extensão da realidade virtual com vantagens sobre a esta, na medida em que a **RA** faz a utilização do ambiente do mundo real em junção com objetos do mundo virtual, como texto, gráficos, som, vídeo, animações, simulações, ... (Pérez-López and Contero, 2013; Zarzuela et al., 2013; Wojciechowski and Cellary, 2013; Delello, 2014). De forma ainda

mais ampla, Van Krevelen and Poelman (2010) argumentam que a RA permite ampliar quase todos os sentidos do ser humano. O fortalecimento da realidade percebida pelos órgãos sensoriais do ser humano, com a adição de dados sintetizados, é a característica proeminente da RA, podendo esta vir a tornar-se o sexto sentido do ser humano, se o desenvolvimento tecnológico assim o permitir (Sirakaya and Seferoglu, 2016).

2.1.1. Tecnologias para Sistemas de Realidade Aumentada

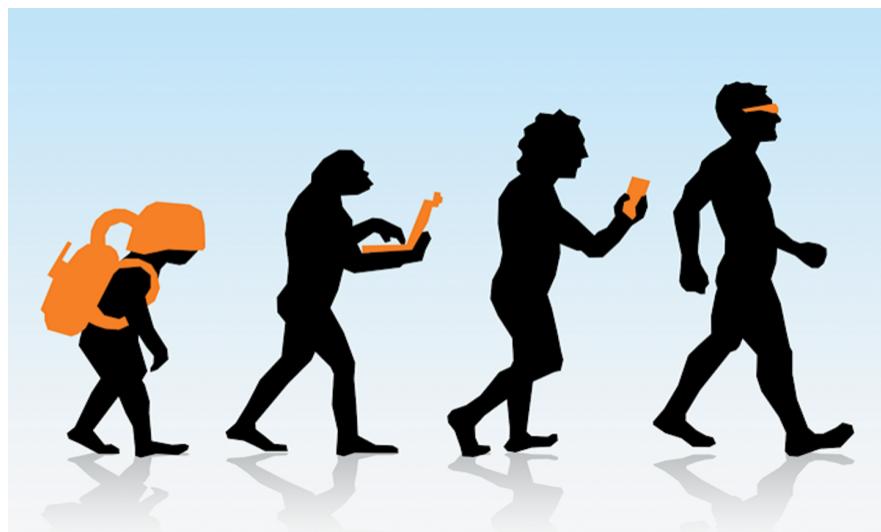


Figura 2.: Evolução dos dispositivos de RA (reproduzido de Sutori, 2018)

Sutherland (1968), cientista da computação americano, pioneiro da Internet, num artigo intitulado *A head-mounted three dimensional display*, afirmou que a ideia fundamental por trás da exibição tridimensional é apresentar ao utilizador uma imagem em perspetiva, que se altera à medida que este se move (Sutherland, 1968). Neste mesmo ano, em conjunto com um aluno (Bob Sproull), na Universidade de Utah, construíram o primeiro sistema de RA ao qual atribuiram o nome de **HMD**. Este dispositivo estava conectado a um computador (responsável pela geração de gráficos) e a algumas câmaras, sendo tão pesado que foi construído pendurado no teto, ficando assim conhecido como *Sword of Damocles*. O sistema era muito primitivo em termos de interface, realismo, e claro, mobilidade.

Existem muitos autores a fazer as suas definições de dispositivos **HMDs**, sendo todas similares. Mostrom (1975) refere que um **HMD** é um capacete com um visor parabolóide e um dispositivo de projeção. Por meio de uma configuração específica de superfícies reflexivas, os objetos virtuais são reproduzidos dentro do campo de visão do utilizador (Mostrom, 1975). Desta forma, os **HMDs** proporcionam ao utilizador uma visão aprimorada do ambiente real, ao serem sobrepostos objetos 3D (gerados por computador) à visão do ambiente real (Rolland and Fuchs, 2000).

Em 1997, Azuma distingue entre **HMDs optical see-through** e **HMDs vídeo see-through** (Azuma, 1997). **HMDs optical see-through** são baseados numa configuração de combina-

dores ópticos (espelhos) semitransparentes, dispostos na frente dos olhos do utilizador. A imagem proveniente dos head-mounted monitors é refletida pelos combinadores ópticos que são semitransparentes, permitindo ao utilizador visualizar informação digital sobre o mundo real. Em oposição, os HMDs *vídeo see-through* capturam a visão de mundo real a partir de câmaras. Depois, o vídeo captado é combinado com imagens gráficas criadas pelo gerador de cenas, dando-se a mistura do real e do virtual. No final, o resultado é enviado para os monitores que se encontram na frente dos olhos do utilizador (Azuma, 1997).

Depois do trabalho inovador de Sutherland, os HMDs foram sendo desenvolvidos por várias entidades. O exército norte americano, em 1985, anunciou o seu HMD que permitia visão/navegação noturna e controlo de sensores e armas (E. Rash et al., 2009). Outro milestone na história dos HMDs foi o lançamento do EyeTap, um HMD desenvolvido por Steve Mann (MIT) em 1994, onde as imagens captadas pela câmara eram enviadas para uma estação remota que devolvia a combinação destas imagens com gráficos gerados por um computador, sendo apresentada ao utilizador no visor do HMD (Mann, 2001).

Ao longo das duas últimas décadas, diferentes empresas têm desenvolvido os seus HMDs inovadores que tentam trazer melhores formas de interação, realismo e portabilidade. Um marco importante na história dos HMDs foi o anúncio do Google Glass em 2012 e posterior lançamento em 2014. Este dispositivo era semelhante a um par de óculos, mas em vez das típicas lentes ele tinha apenas um pequeno visor que ficava por cima do olho direito, dentro do campo de visão do utilizador, que permitia visualizar opções de música, previsão do tempo, rotas de mapas, chamadas de vídeo e fotos. Os Google Glass estiveram disponíveis ao público por um espaço de tempo muito limitado e o *Glass Explorer Program* acabou por ser encerrado em Janeiro de 2016. No entanto, em Julho de 2017 a Google anunciou uma nova e redesenhada versão, os *Glass Enterprise Edition - Google X*, com características muito superiores ao seu precedente (Tudocelular, 2017; X-Development, 2017).

Em Março de 2016, a Microsoft revelou o seu HMDs ao mundo, intitulado de *HoloLens*, sendo ainda hoje uns dos melhores HMDs no mercado. Este dispositivo é composto por um conjunto de sensores e câmaras que lhe permite fazer o *spatial mapping* (mapeamento espacial), de forma contínua, do ambiente envolvente do utilizador, sendo criada uma *3D Mesh* com as informações detalhadas das superfícies do mundo real (Microsoft Docs, 2018). Desta forma, e aplicando leis da física e comportamentos do mundo real aos objetos virtuais, estes podem colidir com as superfícies reais. Os mecanismos de input suportados pelos Microsoft HoloLens são os gestos e comandos de voz, sendo também possível a conexão de periféricos como teclados e comandos de jogos, fruto do seu Sistema Operativo, o *Windows Mixed Reality*, que tem como base o *Windows 10*. Desta forma, a Microsoft conseguiu com sucesso criar todo um ecossistema, existindo atualmente na *Windows Store* uma coleção de software robustos para o Microsoft HoloLens. Contudo, este dispositivo apresenta dois problemas: o peso do próprio equipamento, que se traduz numa experiência cansativa ao fim de algum tempo de utilização, e o *Field of View (FOV)* limitado, fruto do formato do visor

(Next Reality, 2018). Outro HMD muito antecipado foi o *Meta 2*, sucessor do HMD *Meta* que tinha sido anunciado no final de 2014. O *Meta 2* foi revelado em Fevereiro de 2016 mas só começaram a ser comercializados em finais de 2017 e, infelizmente, a empresa declarou insolvência a 3 de Janeiro 2019 (Next Reality, 2019). Este dispositivo tinha de ficar conectado a um computador tradicional, resultando numa grande desvantagem de mobilidade em comparação com outros HMDs e, para além disso, ele era também bastante pesado. No entanto, o seu FOV era três vezes maior que o *Microsoft HoloLens*, o que permitia uma experiência mais imersiva (Next Reality, 2018).

Em Janeiro de 2017, *Daqri* lançou os *Daqri Smart Glasses*, sucessores do *Daqri Smart Helmet*. Estes *smart glasses* são compostos por um pequeno computador externo, responsável pelo processamento dos dados e grafismos, permitindo ao utilizador mobilidade total e reduzindo o tamanho e o peso do HMD em si. O objetivo deste equipamento é melhorar *workflows* em empresas de consultoria, construção, manutenção e reparo, sendo por isso compatível com os *softwares* de empresas como *Autodesk*, *IBM*, *Oracle*, *Emerson* e ainda *Siemens*. Este dispositivo está dotado de sensores óticos como câmaras *wide-angle* e *depth-sensing* que permitem o mapeamento do meio, e tem ainda a capacidade de se conectar a outros dispositivos através de tecnologias como *Bluetooth*, *Wi-Fi* e *USB* (*Universal Serial Bus*) (VRFocus, 2018).

O *Magic Leap One* é o HMD que mais se tem falado atualmente. Da mesma forma que os *Daqri Smart Glasses*, estes *smart glasses*, disponível ao público desde Agosto de 2018, trazem consigo um pequeno computador que pode ser transportado na cintura do utilizador. O *Magic Leap One* possui uma funcionalidade inovadora designada “profundidade de campo” (*depth of field*): as lentes deste dispositivo (desenvolvidas de forma muito precisa) são do tipo *waveguides*, ou seja, manipulam a luz (objetos virtuais) proveniente de pequenos projetores, aumentando e orientando a informação digital aos olhos do utilizador (CNBC, 2018a; Microsoft Docs, 2018b). Esta tecnologia possui os mesmos sensores que o *Microsoft HoloLens*, com incremento de sensores *eye-tracking* que permitem mais formas de interagir com o ambiente, e um FOV muito superior, que resulta numa maior sensação de imersão (TechRadar, 2019).

O elevado custo e a rápida evolução destes dispositivos são os grandes entraves à aquisição das mesmas por parte do público em geral. Ainda assim, são cada vez mais os utilizadores atraídos por estas tecnologias, que prometem ser o futuro da interação com os dois mundos.

Nos dias que correm, existe um vasto número de experiências de RA que podem ser exploradas nos smartphones, tablets e computadores portáteis, sendo estes, por isso, os dispositivos mais usados para aplicações de RA, fruto do grande número de dispositivos deste tipo existentes em todo o mundo, e da rápida evolução das potencialidades dos mesmos. Wagner and Supervisor Dieter Schmalstieg Referees Blair MacIntyre Mark Billinghurst (2007) define RA Mobile como sendo uma vertente da RA, onde o utilizador mantém o dispositivo móvelativamente na mão. Além do facto do smartphone ser um dispositivo leve e portátil (em contraste com os HMDs), o que resulta numa grande vanta-

gem de mobilidade, o monitor do smartphone está diretamente conectado ao dispositivo de entrada (câmara), o que poderá, à partida, permitir diminuir o desfasamento temporal entre o mundo real e o objeto virtual (Billinghurst and Henrysson, 2006).

Recentemente têm surgido várias técnicas que tentam melhorar a experiência da RA Mobile. A startup pioneira *Seebright* é especializada no desenvolvimento de ferramentas que suportam experiências de RM em smartphones, nomeadamente HMDs que transformam os smartphones em dispositivos *optical see-through*. Em 2005, a empresa revelou ao mundo o seu HMD, o *Seebright Wave*, com um sistema óptico único, composto por múltiplos espelhos que refletem a imagem proveniente do ecrã dos smartphones *Seebright* (2016b). Na descrição do produto, a empresa afirma que os objetos virtuais sofrem pouca distorção, resultando numa imagem de alta qualidade aos olhos do utilizador. A empresa disponibiliza ainda o seu próprio Software Development Kit (SDK) que é também suportado pelo Unity3D, de forma a permitir uma maior facilidade de desenvolvimento e ao mesmo tempo a possibilidade de desenvolvimento cross-platform. Para além disto, *Seebright* afirma no seu website que está em desenvolvimento um portal web onde os programadores poderão partilhar código, assets e aplicações. No site da empresa consta ainda o lançamento de um novo HMDs. O *Seebright Ripple 2*, sucessor do *Ripple*, é também um HMD que, para além do facto de ser um dispositivo relativamente barato em comparação com os HMDs apresentados anteriormente, permite usufruir das vantagens dos dispositivos *optical see-through*, utilizando o smartphone *Seebright* (2016a). Este HMD está preparado para ser utilizado em conjunto com outros dispositivos como sensores *Occipital Structure* (que permitem o mapeamento espacial), sensores *Leap Motion* (que permitem, por exemplo, o rastreamento das mãos) ou outros dispositivos *head-mounted* existentes no mercado.

2.1.2. Arquitetura de um Sistema de Realidade Aumentada

A definição de uma arquitetura de RA é uma tarefa bastante complicada devido à constante evolução e infinidade de dispositivos e aplicações existentes. Apesar disso, é possível identificar subsistemas essenciais, típicos de um sistema de RA. Genericamente, um sistema de RA deve ter especial atenção os seguintes aspectos:

- desfasamento temporal entre o mundo real e o objeto virtual (*latency*);
- desfasamento espacial entre o mundo real e o objeto virtual (*registration*);
- o facto de o ser humano distinguir facilmente o real do virtual, sendo que melhor desempenho de sistemas gráficos resulta em experiências muito mais realistas.

Na Figura 3 é apresentada uma arquitetura típica de um sistema de RA, reproduzida de uma taxonomia de Pereira and Pereira (2008), em concordância com Vallino and Brown (1998), sugerindo que sejam considerados seis subsistemas indispensáveis a qualquer sistema de RA. De forma genérica, os autores afirmam que nesses subsistemas são divididas as tarefas de captação da imagem real, obtenção da posição e orientação do subsistema de

captura da imagem real, geração de objetos virtuais e mistura de imagens e exibição da imagem de saída (Pereira and Pereira, 2008).

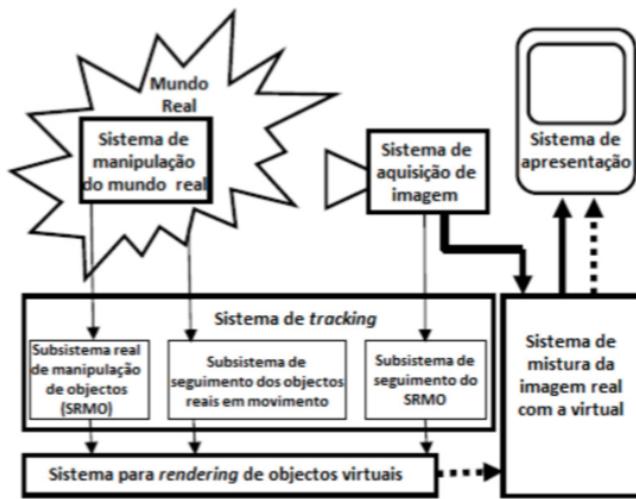


Figura 3.: Sistema típico de RA (reproduzido de Pereira and Pereira, 2008)

Detalhando cada um destes subsistemas:

- Sistema de Manipulação de Objetos: Composto por diferentes características de acordo com as tecnologias de interação háptica utilizadas, que permitem a manipulação de informação do mundo real e virtual (Pereira and Pereira, 2008). Como exemplos de dispositivos temos as *Virtual Reality Gloves*, *Robot Arms*, *Pointers*, ... Há ainda muito para explorar nesta área de forma a criar uma experiência tão realista que seja imperceptível para o utilizador.
- Sistema de Captação do Mundo Real: Composto por diferentes subsistemas que captam diferentes tipos de sinais provenientes do mundo para estimular os respetivos sentidos do utilizador (Pereira and Pereira, 2008), sendo o mais relevante no contexto desta dissertação, o Subsistema de Captação de Imagem. O dispositivo mais utilizado atualmente como Subsistema de Captação de Imagem são as próprias câmaras dos *smartphones*.
- Sistema de Rastreamento: Responsável pela obtenção da localização do utilizador e dos objetos reais, proveniente do Sistema de Captação do Mundo Real (Pereira and Pereira, 2008). Capta a posição, ações e movimentos do utilizador em momentos de interação. Azuma (1997) afirmou que um dos maiores obstáculos que impede a construção de sistemas de RA eficientes traduz-se nos requisitos quanto a Sistemas de Rastreamento (*tracking*), responsável pela obtenção com precisão da localização e posicionamento do utilizador e dos objetos reais e virtuais. Esta funcionalidade foi apontada como um dos caminhos mais notórios da evolução RA (Livingston and State, 1997; Azuma et al., 1999; Auer and Pinz, 1999), tendo ao longo das duas últimas décadas surgido sistemas de rastreamento óticos que recorrem a técnicas bastante complexas.

Por ser um tema de especial relevância para o presente estudo, desenvolveu-se com maior detalhe a caracterização das principais tecnologias utilizadas em Sistemas de Rastreamento Ótico, que se apresenta na [Subseção 2.1.3](#) abaixo.

- Sistema Gerador de Modelos Virtuais: Composto por diferentes subsistemas de acordo com os sentidos que o sistema de RA pretende estimular, sendo um destes o Subsistema de Processamento Gráfico ([Pereira and Pereira, 2008](#)). A relevância dada à caracterização da componente gráfica justifica-se pelo âmbito do presente dissertação. Este subsistema deve manter uma taxa de quadros superior a *30 frames* por segundo, de forma a não prejudicar a experiência do utilizador. Atualmente são usados *softwares* de desenvolvimento como o Unity e o Unreal Engine para fazer a geração do grafismo.
- Sistema de Mistura do Real com o Virtual: Responsável pela combinação da informação real com a virtual. É composto pelas tecnologias de mistura que podem ser ópticas ou electrónicas (pela utilização de um *software* de desenvolvimento como o *Unity3D* e o *Unreal Engine*).
- Sistema de Apresentação: Constituído por diversos subsistemas que podem ser dispositivos visuais, táteis e auditivos, com o intuito de proporcionar imersão e bloquear ruídos (estímulos indesejados provenientes do mundo real). Responsável pela reprodução da imagem misturada proveniente do Sistema Misturador de Realidades ([Pereira and Pereira, 2008](#)). Para a presente dissertação apenas é relevante apenas o Subsistema de Visualização. A tecnologia de visualização que pode ser usada consiste num dos seguintes dispositivos: **HMD** (óptico ou vídeo), monitor (computador, *tablet*, *smartphone*) ou projetor.

2.1.3. Técnicas de Rastreamento Ótico

Existem duas categorias de técnicas de rastreamento ótico:

- *marker-based*: esta técnica requer uma prévia configuração do *software*, de forma que a câmara esteja preparada para detetar determinados padrões artificiais (*image targets*). Esta abordagem foi já amplamente estudada e, apesar de ser rápida e robusta, o uso de marcadores não é a forma ideal de interligar o mundo real com o virtual ([Lowney and Raj, 2016](#));
- *marker-less*: esta técnica não necessita de configuração prévia dos padrões a identificar, pois esta usa padrões naturais do mundo real para calcular a posição da câmara em relação a estes, sendo uma abordagem muito mais complexa, que exige muitos mais recursos computacionais. Este tipo de técnicas têm sido exploradas afincadamente na última década ([Lowney and Raj, 2016](#)).

No que diz respeito a técnicas de rastreamento marker-less, Lowney and Raj (2016) apresentaram uma taxonomia intitulada *Model-based tracking methods for Augmented Reality* que apresenta as diferentes técnicas de rastreamento *marker-less* exploradas até ao momento.

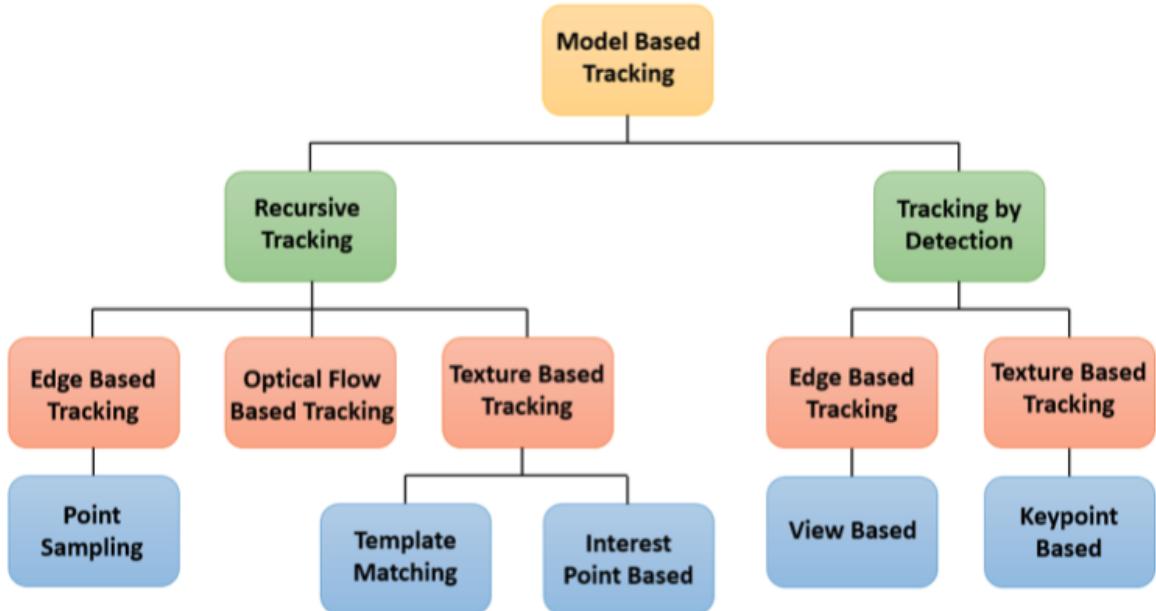


Figura 4.: Técnicas de rastreamento *marker-less* (retirado de Lowney and Raj, 2016)

O modelo apresentado classifica o rastreamento *marker-less* em duas subcategorias:

- rastreamento recursivo, em que a posição anterior da câmara é usada para calcular a posição atual da mesma (Wuest et al., 2005, citado em Lowney and Raj, 2016), o que implica baixa carga computacional;
- rastreamento por deteção, em que a posição da câmara é calculada sem conhecimento da posição anterior (Gordon and Lowe, 2004, citado em Lowney and Raj, 2016)(Skrypnyk & Lowe, 2004; citados em Raj & Lowney, 2016), exigindo mais recursos computacionais.

Atualmente existe um vasto leque de *softwares* que suportam o desenvolvimento de aplicações de **RA**, utilizando as técnicas de rastreamento apresentadas, possibilitando ao programador a escolha da tecnologia que apresenta as funcionalidades que este precisa. São tantas as possibilidades que começam a surgir web SDK platforms como o ViewAR™ (ViewAR, 2016) que, para além de possibilitar toda a criação e compilação da aplicação de **RA** no browser, permite ainda escolher um **SDK** para o Sistema de Rastreamento, de entre os vários **SDKs** de **RA** existentes no mercado (caracterizados na Subseção 2.1.3 abaixo).

2.1.4. Softwares de Realidade Aumentada

Esta secção tem como objetivo identificar e caracterizar sucintamente os principais *softwares* de desenvolvimento de **RA** e apresentar exemplos dos mesmos, terminando com uma pequena avaliação de forma a identificar as funcionalidades fornecidas por estes.

De seguida é apresentada uma sucinta caracterização de diferentes pacotes de *software* que permitem o desenvolvimento de aplicações de **RA**:

- *Integrated Development Environments (IDEs)* (*Integrated Development Environment*): ambientes de programação que servem de suporte aos programadores de forma a permitir/agilizar a escrita do código do programa, através da automatização de diversas tarefas úteis à programação, como *debugging*, *refactoring*, *multi-platform code generation*, ... Como exemplos de **IDEs** que suportam desenvolvimento de aplicações de **RA** destaca-se o *Unity3D* e o *Unreal Engine* (que são também motores de jogo, o que possibilita o desenvolvimento de jogos de **RA**), o *Xcode* e o *Android Studio* (para *iOS* e *Android*, respetivamente).
- Bibliotecas: blocos de código (normalmente *open-source*) com variadas funções que podem ser invocadas pelos programadores para lidar com tarefas comuns, aquando da escrita do código no **IDE**. O uso destas facilita o trabalho dos programadores na medida em que estes não têm o trabalho de escrever estas funções. Todas as linguagens de programação possuem bibliotecas para variadas tarefas como processamento de dados, análise de texto, cálculos matemáticos, ... Como exemplos de bibliotecas que suportam desenvolvimento de aplicações de **RA** temos o *ARToolKit* (agora disponível sobre o nome *ArTollkitX*), *ArUco*, entre outras;
- *Software Development Kits (SDKs)*: **SDKs** ou *Toolkits* são conjuntos de ferramentas que agilizam o desenvolvimento de *software*, adicionando variados recursos à aplicação. Estes pacotes podem ser compostos por Bibliotecas, *Application Programming Interfaces (APIs)*, Documentação, e até **IDEs** (como o *Android IDE* que é instalado juntamente com *Android Studio* e o *iOS SDK* que está incluído no *Xcode*), sendo por isso os mais utilizados para o desenvolvimento de aplicações de **RA**. Além disso, estes *softwares* permitem compilar aplicações para diferentes formatos/plataformas. Como exemplos de **SDKs** que suportam desenvolvimento de aplicações de **RA** destaca-se o *Vuforia*, *ARKit*, *ARCore*, *Wikitude*, *Maxst*, *Kudan*, *EasyAR*, *DeepAR* e o *Xzimg*;
- *Frameworks*: estruturas genéricas que fornecem modelos de arquiteturas que podem ser implementadas na aplicação a desenvolver. As camadas de abstração permitem que *design patterns* comuns sejam facilmente reutilizados, e ao mesmo tempo que os detalhes mais específicos sejam customizados pelos programadores. A reutilização destas estruturas genéricas permite facilmente encontrar soluções para problemas comuns no desenvolvimento do *software*. Por exemplo, o *Java Swing Framework* fornece a funcionalidade e a estrutura necessária para a programação do *User Interfaces (UIs)*

em Java. Como exemplos de **SDKs** que suportam desenvolvimento de aplicações de **RAs** destaca-se o *SimpleCV*, *A-Frame*, *ApertusVR*, *DroidAR*, entre outros.

Tal como apresentado anteriormente, os **SDKs** e os **IDEs** trazem consigo vantagens irrefutáveis. A utilização deste tipo de *softwares* tem inúmeras vantagens para os programadores, resultando num rápido e fácil desenvolvimento e implementação. No entanto, estas tecnologias trazem também algumas desvantagens no que diz respeito às funcionalidades fornecidas (limitações visuais, técnicas, liberdade de criação restrita, e os típicos problemas de desfasamento apresentadas no inicio da [Subseção 2.1.2](#)), o que levou ao aparecimento de um vasto leque de alternativas, cada uma delas com funcionalidades melhores ou piores consoante o foco da tecnologia em si.

Depois de uma pesquisa na web com o intuito de identificar os **SDKs** mais utilizados atualmente, foi levado a cabo uma nova análise realizada no *Google Trends*, apresentada na [Figura 5](#) abaixo, onde é possível visualizar o interesse ao longo do tempo (nos últimos 12 meses) em relação às tecnologias de desenvolvimento de *softwares* de **RA** mais utilizadas atualmente.

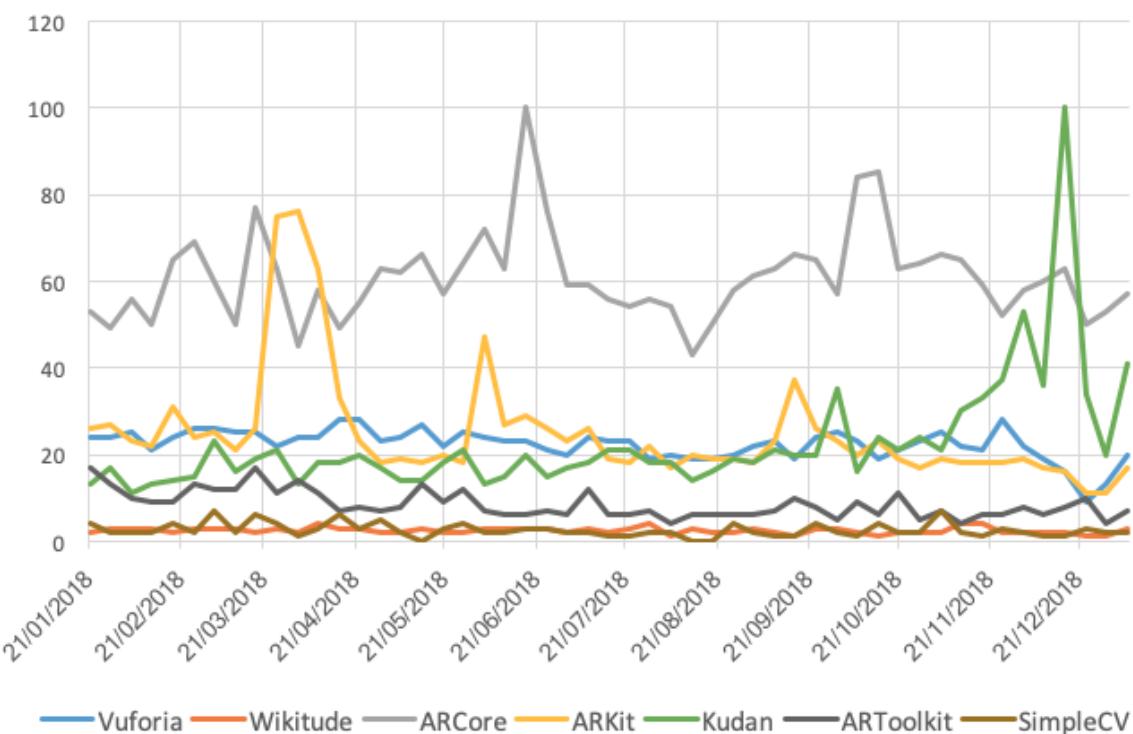


Figura 5.: Interesse em diferentes tecnologias de **RA** nos últimos 12 meses

Pela análise da [Figura 5](#), facilmente concluímos que o *ARCore* destaca-se bastante em comparação dos outros **SDKs**, possivelmente devido às funcionalidades e disponibilidade deste **SDK** ao público, bem como à quantidade de dispositivos *Android* existentes no mundo. De seguida foi elaborada uma nova pesquisa na web com o intuito de identificar de forma comparativa as diferentes funcionalidades dos *softwares* supracitados.

Na Tabela 1 é apresentado um resumo que caracteriza cada dos *softwares* mencionados anteriormente, de acordo com as funcionalidades que estes disponibilizam.

Tabela 1.: Análise comparativa de diferentes *softwares* de RA

| | Vuforia | Wikitude | ARCore | ARKit | Kudan | ARToolkit | SimpleCV |
|--|----------------------------|------------------------|-----------|------------------------|------------------------|--|------------------------------------|
| Tipo | SDK | SDK | IDE & SDK | IDE & SDK | SDK | Biblioteca | Framework |
| Licença | Gratuita/ Comercial | Gratuita/ Comercial | Gratuita | Gratuita/ Comercial | Gratuita/ Comercial | Open Source, atualmente com o nome ARTollkitX | Gratuita/C omercial (OpenCV) |
| Dispositivos Suportados | Android | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | iOS | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | PC | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | HMDs & Smart Glasses | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | / | ✓ |
| Unity3D suporte | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Unreal Engine suporte | / | x | ✓ | ✓ | x | ✓ | x |
| Cloud recognition | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x |
| 3D recognition | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ |
| Geolocation | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | x |
| SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [marker-less] | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | ✓ |
| CMS (Content Management System) | ✓ | ✓ | / | / | x | x | x |

LEGENDA: ✓ (Oficialmente suportado) / (Suportado por terceiros) X (Não suportado)

De realçar o facto de existirem projetos open-source em repositórios como o *GitHub* ou outros *websites*, que adicionam funcionalidades aos *softwares* apresentados, alterando algumas das propriedades identificadas nesta tabela. Estas funcionalidades passam por suporte de plataformas oficialmente não suportadas, sistemas de gestão de conteúdo (*CMSs*) de terceiros, etc. No entanto, estes projetos não são oficialmente suportados pelas empresas proprietárias do *software*, trazendo consigo alguns problemas.

O suporte ao *Unity3D* por parte destes *softwares* traduz-se no desenvolvimento de um produto *cross-platform*, resultado não só de *plugins* disponíveis no *GitHub*, como também do esforço das empresas em atingir este objetivo. Neste sentido, desde 2018 que o *Unity3D*

vem integrado com uma *layer* de compatibilidade, através de uma API (*AR Foundation*), que normaliza e facilita o desenvolvimento de aplicações de RA (Unity Blog, 2018). Esta API, até ao momento, suporta o desenvolvimento de aplicações de RA, no Unity, pela utilização tanto do ARCore SDK como do ARKit SDK. Apesar de ainda não conseguir disponibilizar aos programadores todas as funcionalidades dos dois SDKs mencionados, o AR Foundation tem sido atualizado com bastante frequência, com o objetivo de suportar a maioria dos SDKs disponíveis no mercado e todas as funcionalidades que estes disponibilizam. Chama-se ainda à atenção que a falta de um Content Management System (CMS) oficial não se traduz obrigatoriamente numa desvantagem, visto que os ambientes de desenvolvimento como o Unity3D dispõem de tudo o que programador precisa, funcionando estes próprios como CMSs.

2.2 REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO

Embora os tradicionais métodos de ensino funcionem com sucesso, as escolas têm a necessidade de acompanhar a evolução das tecnologias e de introduzir métodos de ensino mais produtivos, com intuito de proporcionar aos alunos experiências de aprendizagem mais interativas que ajudem na compreensão dos temas. Neste sentido, o aparecimento e expansão da Internet, da multimédia e das tecnologias de realidade virtual e aumentada, veio não só demonstrar as fragilidades dos tradicionais métodos de ensino como também potenciar o mesmo. Esta secção tem como objetivo estudar a aplicação de técnicas de RA na educação.

Nos últimos anos têm surgido diversos exemplos da aplicação de tecnologias de RA em diferentes domínios da educação como artes, história, biologia, astronomia, programação, entre outros. A RA tem a capacidade de auxiliar os alunos a obter uma compreensão mais profunda sobre o tema de estudo, pela exploração de conteúdos de aprendizagem sobrepostos ao mundo real através, numa combinação de informações multimédia, modelos 3D, imagens, informações textuais, vídeo, animações e som, de forma *user-friendly*. Na utilização de um sistema de RA o aluno pode mover-se pela imagem virtual tridimensional e visualizar a mesma a partir de diferentes perspetivas. A informação transmitida pelos objetos virtuais ajuda os utilizadores a realizar tarefas do mundo real. O uso de RA na educação permite não só aumentar o nível de empenho e colaboração dos alunos, como também facilita a compreensão de conteúdos mais complexos, por meio de conteúdos imersivos. Em comparação com as típicas e tradicionais técnicas em que se recorre à utilização de monitores, a RA permite aos alunos desenvolver habilidades espaciais e fortalecer habilidades cognitivas.

Em 2002, Shelton and Hedley referem que a utilização de conteúdos de aprendizagem aumentados proporciona aos alunos a compreensão de temas mais complexos e diminui a indução de erro (Shelton and Hedley, 2002). Shelton sugere ainda que a RA na educação

facilita a aprendizagem ativa, construtiva, intencional, prática e colaborativa (Shelton, 2002, 2003).

Na verdade, existe uma panóplia de estudos (McKenzie and Darnell, 2003; Dunleavy et al., 2009; Noh K, Ji H, 2010) que abordam os benefícios educacionais do conteúdo de RA no desempenho e no comportamento dos alunos, onde são discutidos conceitos como imersão, interação, satisfação, criatividade, curiosidade, motivação e interesse.

Uma abordagem desenvolvida por Specht et al. (2011), define “padrões” de utilização de RA na educação. Neste artigo, os autores apresentaram uma matriz que cruza objetivos educacionais, à esquerda, com “dimensões contextuais”, que representam informações de contexto. Estas dimensões tinham sido já definidas por Zimmermann et al. (2007).

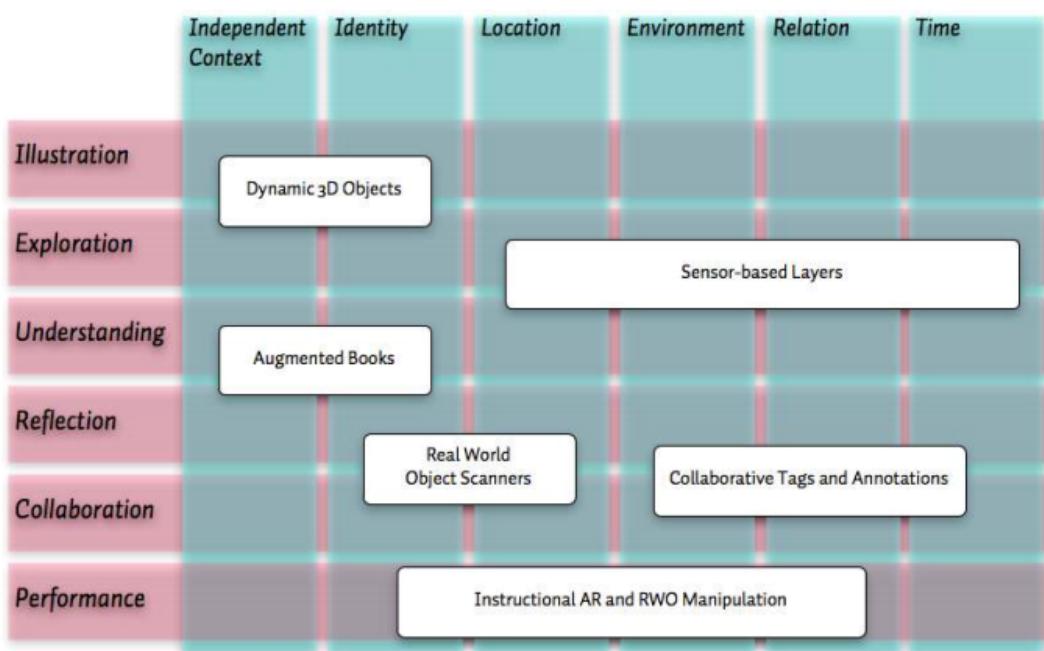


Figura 6.: Matriz de Classificação de cenários de aplicação de Mobile RA (reproduzido de Specht et al., 2011)

No artigo supracitado, os autores definem situações específicas de utilização de RA na educação, através de vários exemplos e descobertas associadas. Para cada um deles, os autores identificaram especificamente seu objetivo educacional, implementação e contexto, e são também apresentados exemplos e avaliações. Os autores referem que os livros aumentados ajudam no desenvolvimento de habilidades de ilustração e reflexão, possibilitando a visualização da informação de diferentes perspectivas (Specht et al., 2011).

Os livros aumentados são, atualmente, a principal aplicação da RA na educação. Estes artefactos podem usufruir de todas as vantagens da aplicação da RA na educação, servindo de suporte à aprendizagem imersiva que aumenta a motivação e a participação dos alunos, e por consequência a compreensão de assuntos mais complexos, fruto do empenho dos mesmos (McKenzie and Darnell, 2003). A aplicação de tecnologias RA em livros físicos

resulta numa influência positiva que motiva os alunos e promove a participação (Grasset et al., 2008).

A RA pode também ser usada para aprimorar tarefas colaborativas (“padrão” identificado na Figura 6 como *Collaborative Tags and Annotations*). Esta tecnologia permite a utilização de interfaces inovadoras que misturam os mundos virtual e real, e que permitem a colaboração de múltiplos utilizadores, estejam estes próximos ou geograficamente distantes. O uso de técnicas de RA que permitem a colaboração de múltiplos utilizadores contribui ativamente para a discussão de tópicos, resultando numa experiência de partilha de conhecimento que permite o desenvolvimento mais aprofundado do mesmo. Existem vários exemplos de sistemas de RA que suportam colaboração de múltiplos utilizadores. A título de exemplo destaca-se o sistema de RA de Poelman et al. (2012), que permite a especialistas colaborarem em conjunto remotamente. Este sistema foi desenvolvido para a área de investigação de crimes, e permite a um especialista remoto orientar e colaborar com o parceiro que se encontra cena do crime, através de anotações em objetos virtuais, ajudando na tarefa de deteção de evidências. Numa estratégia semelhante, Datcu et al. (2014) recorreu à RA para construir um sistema que permite a um especialista coordenar investigações policiais e combate a incêndios. Já o sistema *3DReMoTe* construído por (Huang and Alem, 2013; Huang et al., 2013), permite a um especialista interagir com as próprias mãos num espaço de trabalho remoto (visualizado por um HMD). Billinghurst and Thomas (2011), afirmam que a RA veio permitir a “co localização” e desta forma, possibilitar a interação de especialistas remotos com utilizadores, com o intuito de realizar tarefas em conjunto.

2.3 LIVROS AUMENTADOS

Em pleno desenvolvimento e aplicação do conceito de Indústria 4.0, as gráficas respiram de alívio ao vaticínio de “morte anunciada” que a proliferação da Internet e dos novos suportes digitais de armazenamento e partilha de conteúdos promoveram. As pessoas ainda preferem ler livros em vez de enfrentar telas de *leds*, e os livros didáticos ainda são amplamente usados. A indústria ainda depende muito do livro tradicional (que goza de estatuto de tradição, qualidade e durabilidade) no seu volume de negócios. Apesar do crescimento inicial de vendas de livros eletrónicos, nos últimos anos o seu mercado estabilizou ou decaiu e houve até um aumento de vendas dos livros tradicionais, o que até contraria a ideia generalizada que o livro em papel estaria condenado ao declínio gradual.

Os livros são um dos tipos importantes de produto editorial que a RA pode ajudar a inovar. Graças a esta, podemos imaginar formas completamente novas de agregar valor à imprensa tradicional. Na verdade, existe uma geração inteira de produtos e serviços da imprensa que, através da aplicação de técnicas de RA, possam gerar rendimentos. A RA atravessa os vários segmentos do setor editorial, podendo ser usada para acrescentar conteúdo multimédia interativo em variados produtos e serviços da imprensa tradicional, como livros, revistas, jornais, pósteres, entretenimento e publicidade.

O livro físico apresenta como principal vantagem o suporte de interações como o *feedback* táctil. Por outro lado, os livros digitais fazem a integração de recursos audiovisuais interativos. A combinação destes tem a capacidade de proporcionar ao utilizador uma experiência mais imersiva e interativa alinhada com o ato de leitura contemporâneo que exige interações como toques, cliques, gestos e navegação (Mangen, 2001; Hillesund, 2010).

O livro impresso tem vindo a perder importância especialmente nas gerações mais jovens, resultado da falta de tecnologia que confira interatividade e imersão. De acordo com um estudo promovido pela *National Literacy Trust*, ao qual responderam 35000 inquiridos entre os 8 e os 16 anos, 39% das crianças e dos jovens leem diariamente em dispositivos eletrónicos e 28% em meios impressos (BBC News, 2013).

Durante a última década têm surgiram várias abordagens que tentam de diferentes formas aprimorar o conteúdo dos livros usando conteúdo virtual. Os livros aumentados variam tanto quanto à implementação tecnológica, como à forma de interação; onde alguns livros seguem um enredo linear, outros permitem que os utilizadores criem a sua própria história com base em decisões tomadas ao longo do percurso. Investigadores têm explorado diferentes implementações tecnológicas, diferentes tecnologias de desenvolvimento, diferentes técnicas de UI, bem como diferentes graus de integração de RA e RV. Tendo por base a taxonomia criada por Milgram et al. (1994), apresentada na Seção 2.1 do presente documento, a Figura 7 representa uma classificação que diferencia diferentes tipos de livros aumentados, ao longo de um *Physicality Continuum* (Grasset et al., 2008).

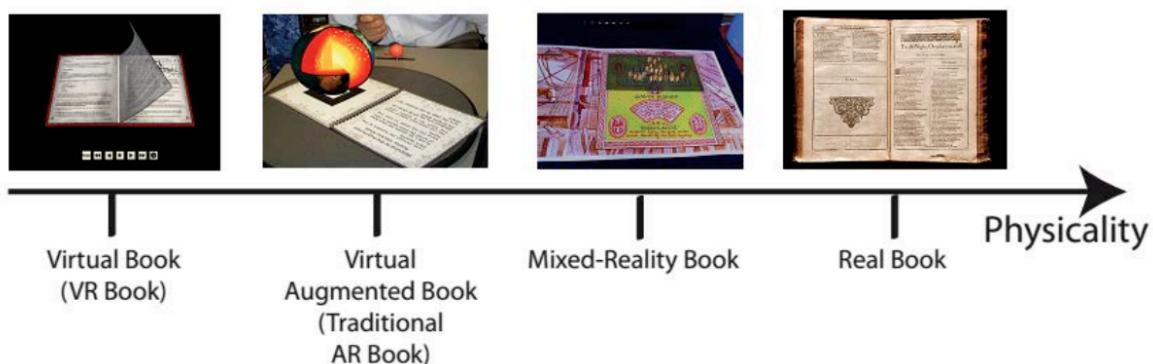


Figura 7.: *The Physicality Continuum* (reproduzido de Grasset et al., 2008)

Segundo a classificação proposta pelos autores, é possível visualizar que num extremo encontram-se os livros de **RV** (livros completamente eletrónicos), no outro os tradicionais livros físicos, e entre estes os livros aumentados, que podem ser livros de **RA** (pela utilização de uma técnicas e softwares de **RA**, apresentadas na Subseção 2.1.3 e na Subseção 2.1.4) ou livros de **RM** (adicionados dispositivos eletrónicos).

Os livros aumentados, mencionados por diferentes nomes por diferentes autores, como livros de **RA**, livros 3D, livros *Pop-Up*, entre outros, aprimoram o conceito dos livros clássicos pela simulação de um ambiente interativo que incorpora animação, som e gráficos 3D (Shelton, 2002). Estes artefactos não se limitam apenas a mostrar informação adicional, mas

tentam proporcionar familiaridades aos utilizadores, de modo a experienciarem uma interação perfeita com um ambiente que tem por base o mundo real, resultando num aumento da intriga e consequentemente da participação dos utilizadores.

As possíveis aplicações de livros aumentados incluem:

- livros e enciclopédias para crianças;
- produtos multimédia para entretenimento educacional;
- livros de texto para educação básica;
- livros universitários (arqueologia, materiais, arquitetura, geografia, história, ciência, tecnologia, ...);
- livros técnicos e profissionais;
- manuais de utilizador e manuais de manutenção;
- guias turísticos.

O processo de enriquecimento do livro a sua integração com conteúdos digitais e com novas formas de interação e leitura pode ser feito com recurso à inserção de eletrónica no próprio livro e/ou pela utilização de dispositivos externos que lhe possam conferir características digitais ([Figura 7 – The Physicality Continuum](#)).

São várias as abordagens de livros aumentados que têm surgido ao longo dos anos, com intuito de adicionar valor aos livros físicos. Os livros aumentados variam consideravelmente em termos de implementação tecnológica, resultando em diferentes formas de interação para os utilizadores. Investigadores têm explorado tanto diferentes implementações tecnológicas, como diferentes tecnologias de desenvolvimento, diferentes técnicas de interface, bem como diferentes graus de integração de [RA](#) e [RV](#).

Num artigo intitulado *The Classification of Augmented Reality Books: A Literature Review*, [Altinpulluk and Kesim \(2016\)](#) apresentam uma pesquisa com foco em livros aumentados desenvolvidos no contexto académico. O resultado do trabalho realizado por estes, apresentado na [Tabela 2](#) abaixo, derivou da pesquisa dos termos *augmented reality books*, *mixed reality books*, *virtual reality books*, *augmented books*, *3D pop-up books*, e ainda *augmented reality interactive books*, em plataformas académicas como *Researchgate*, *Mendeley* e 13 outras [Bases de Dados \(BDs\)](#) de conteúdo científico.

| Autores (Ano) | Nome do livro | Categoria do livro |
|--------------------------|---------------|--|
| Wellner (1993) | DigitalDesk | Livro de RA & Augmented Desk |
| Kobayashi & Koike (1998) | EnhancedDesk | Livro de RA & Augmented Desk |

Continua na próxima página

Continua na página anterior

| Autores (Ano) | Nome do livro | Categoria do livro |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Forsberg et al. (1998) | ErgoDesk | Livro de RA & Augmented Desk |
| Billinghurst et al. (2001) | Magic Book | Livro de RM |
| Kawashima et al. (2001) | Magic Paddle | Livro de RA) |
| Back et al. (2001) | Listen Reader | Livro de RA |
| Anoto (2002) | Anoto | Livro de RA & Augmented Desk |
| Mackay et al. (2002) | A-Book | Livro de RA |
| Saso et al. (2003) | Little red | Livro de RM |
| McKenzie & Darnell (2003) | EyeMagic Book | Livro de RA |
| Gomez (2003) | Dimensional Reading Project | Livro de RA |
| Luff et al. (2004) | Paper++ | Livro de RA & Augmented Desk |
| Singh et al. (2004) | AR Comic Book | Livro de RA |
| Woods et al. (2004) | AR Volcano Kiosk | Livro de RA |
| Hirooka & Saito (2004) | - | Livro de RA |
| Shibata et al. (2004) | Vivid Encyclopedia | Livro de RM |
| Ucelli et al. (2005) | The Book of Colours | Livro de RA |
| Tallyn et al. (2005) | - | Livro de RA |
| Holman et al. (2005) | PaperWindows | Livro de RA |
| Gupta & Jaynes (2006) | Universal media book | Livro de RM |
| Dünser (2007) | AR Jam | Livro de RA |
| Cho et al. (2007) | - | Livro de RM |
| Oliveria et al. (2007) | LIRA | Livro de RA |
| Dünser & Hornecker (2007) | - | Livro de RA |
| Taketa et al. (2007) | Virtual Pop-up Book | Livro de RA |
| Grasset et al. (2007) | The Mixed Reality Book | Livro de RM |
| Liao et al. (2008) | PapierCraft | Livro de RA & Augmented Desk |
| Dünser (2008) | - | Livro de RA |
| Scherrer et al. (2008) | Haunted book | Livro de RA |
| Grasset et al. (2008) | The House That Jack Built | Livro de RM |
| Wu et al. (2008) | WikiTUI | Livro de RA) |
| Yang et al. (2009) | - | Livro de RA |
| Dias (2009) | miBook | Livro de RA |

Continua na próxima página

| Continua na página anterior | | |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Autores (Ano) | Nome do livro | Categoria do livro |
| Martin-Gutierrez et al. (2010) | AR Dehaes | Livro de RA |
| Sin & Zaman (2010) | Live Solar System (LSS) | Livro de RA |
| Ha et al. (2011) | Digilog book | Livro de RA |
| Vate-U-Lan (2011) | The Seed Shooting Game | Livro de RA |
| McGrath et al. (2011) | AR Etnobotany Workbook | Livro de RA |
| Kirner et al (2012) | GeoAR | Livro de RA |
| Jeong et al. (2012) | Live Book | Livro de RM |
| Okawa et al. (2012) | SOLRA | Livro de RA |
| Vate-U-Lan (2012) | The Seed Shooting Game | Livro de RA |
| Margetis et al. (2013) | SESIL | Livro de RA & Augmented Desk |
| Correa et al. (2013) | AGeRA | Livro de RA |
| Vinumol et al. (2013) | Prototype | Livro de RA |
| Mahadzir & Phung (2013) | - | Livro de RA |

Tabela 2.: Lista de livros aumentados produzidos nas últimas duas décadas (reproduzido de Altinpulluk and Kesim, 2016)

O universo de livros aumentados não se limita apenas aos exemplares apresentados anteriormente na Tabela 2, sendo que, na verdade, existe um vasto leque de livros aumentados que não se encontram aqui identificados.

Nos parágrafos seguintes serão apresentados alguns exemplos de livros aumentados e de aplicações de RA que se distinguem devido às suas funcionalidades.

É importante destacar que, em 2001, Billinghurst et al. apresentaram a sua proposta de livro aumentado, que recorria ao uso de um *handheld AR display* (HHD). Este projeto, intitulado "*Magic Book*", representa um marco importante da história da RA, uma vez que trouxe inúmeras contribuições para a área. O "*Magic Book*" era um livro aumentado que permitia aos utilizadores visualizar conteúdo 3D virtual nas páginas do livro pelo uso do HHD (Billinghurst et al., 2001). Desde então, muitas têm sido as soluções apresentadas que trespassam as múltiplas áreas do saber. Múltiplos autores têm apresentado as suas propostas de livros aumentados para crianças, livros de histórias, de arquitetura, de ilustração, de medicina, de biologia, de ciência, de programação, entre muitos outros. Ao mesmo tempo, empresas têm também desenvolvido as suas soluções de hardware e software que suportam a execução das experiências de RA, como por exemplo diferentes tipos de técnicas de *tracking* (*marker-based vs markerless*), diferentes técnicas de apresentação da informação digital e de visualizar o mundo real (*projected, video see-through e optical see-through*), etc.

A capacidade de apresentar conteúdo aumentado nas páginas dos livros representa a funcionalidade mais básica da aplicação de RA a livros. Nos dias que correm, esta funcio-

nalidade por si só não é suficiente, uma vez que os utilizadores procuram cada vez mais diferentes tipos de interatividade. Neste sentido, diferentes propostas de aplicações de RA para dispositivos móveis têm tentado tirar o máximo partido das características e funcionalidades apresentadas pelos poderosos *smartphones* que utilizamos todos os dias, como por exemplo:

- toques e gestos, pela utilização do ecrã do telemóvel: esta é a funcionalidade básica que permite aos utilizadores interagir com a informação digital, permitindo-lhes navegar na execução da aplicação, executar ações como a ativação e desativação de objetos, mostrar informações adicionais, controlar uma personagem 3D, mini-jogos, entre muitos outros. Atualmente todos os livros aumentados permitem este tipo de interações, sendo exemplos disso os livros "Mardles Story Books" (Harmony Studios, 2017), o livro "Rox's Secret Code" (Mara Lecocq, 2018), o livro "Goodnight Lad" (Grimm, 2017), etc;
- utilização do giroscópio e do acelerómetro para o posicionamento e orientação do utilizador num mundo virtual, assim como para o posicionamento de conteúdo virtual no mundo real, utilizando coordenadas reais: são exemplos de livros que implementam esta funcionalidade o livro "Jack Hunter: The French Connection" (Games, 2013) que permite navegar no interior de um mundo completamente virtual, o livro "Animals Encyclopedia" (DEVAR, 2019) que permite instanciar dinossauros e outros seres vivos nas posições que o utilizador desejar, entre outros;
- utilização do microfone para executar ações a partir de técnicas de *voice recognition*, permitindo ao utilizador interagir com a aplicação utilizando comandos de voz: o livro "Wuxia the fox" é um exemplo de livro aumentado em que a sua aplicação móvel tenta interagir com o utilizador enquanto este lê as páginas do livro. A aplicação altera as faixas de som que reproduzidas, pela deteção de sinais no ritmo de leitura, na cadência e nos fluxos emocionais da voz do leitor (Wuxia the fox, 2014; BWW News Desk, 2014);
- reproduzir vídeos relacionados com o conteúdo da página corrente, e reproduzir ficheiros de som que permitem, por exemplo, escutar a narração da história do livro: são exemplos de livros que implementam esta funcionalidade o livro interativo "Alfa - Histórias de 5 Minutos" da Porto Editora (Porto Editora, 2017), assim como o livro "Tide Pools" (XR, 2018), entre muitos outros.

O reconhecimento de um ou mais marcadores ao mesmo tempo é também uma funcionalidade adotada por alguns dos exemplos encontrados. Esta funcionalidade permite desencadear reacções quando dois ou mais marcadores são detetados ao mesmo tempo, podendo um ou mais destes marcadores ser externos ao livro em questão.

As funcionalidades apresentadas anteriormente podem também ser acompanhadas por feedback's visuais, auditivos e hápticos, pela utilização dos devidos componentes do *smartphone*, tornando a experiência numa atividade mais imersiva e interativa.

Todos os livros apresentados anteriormente são acompanhados por uma aplicação de RA desenvolvida à medida. Estas aplicações são desenvolvidas com todos os recursos, armazenados localmente, de que necessitam para a execução da experiência de RA. No entanto, o livro tradicional carece também da capacidade de evolução e atualização, funcionalidade imprescindível na atualidade, sendo necessário de alguma forma fazer a aproximação destes a conteúdos armazenados em repositórios remotos, permitindo aos utilizadores o acesso a estes conteúdos via *smartphone*, *tablet* ou *web browsers*. É possível afirmar que a evolução do livro passa pelo abandono da sua característica de objeto isolado, através da associação de dispositivos inteligentes ao mesmo. A aplicação de técnicas de comunicação com servidores remotos, juntamente com técnicas de RA, aos tradicionais livros físicos, não só transforma os mesmos em fontes dinâmicas de informação, mas também num produto muito mais atraente do ponto de vista comercial. Neste sentido, diferentes empresas têm apresentado as suas propostas de plataformas de gestão de conteúdos CMSs na web com múltiplas funcionalidades, como o *upload* de *image targets (trackers)* que se pretende detetar, o *upload* e associação de modelos 3D aos *trackers*, o *download* de *assets*, partilhas de *assets*, *cloud recognition (web services)*, entre outros.

A possibilidade de existir uma única aplicação móvel que permita o reconhecimento de diferentes livros/revistas/jornais é uma ideia tão interessante como promissora, uma vez que esta elimina a necessidade de criação de uma aplicação específica para cada livro/-revista/jornal, e todos os conteúdos (modelos 3D, vídeos, sons, ...) podem ser criados e acedidos por múltiplos utilizadores, uma vez que estes são armazenados em servidores remotos. Nos últimos anos têm surgido algumas tentativas de criar uma aplicação genérica com estas funcionalidades. A aplicação "Aurasma", agora intitulada de "HP Reveal", é uma aplicação de RA para dispositivos móveis que permite aos utilizadores a criação de "Auras" (conjuntos de marcadores e conteúdos aumentados) diretamente no *smartphone*, e a partilha destes *packages* com outros utilizadores. Esta aplicação permite ainda aos utilizadores descobrir "Auras" em locais próximos de si (HP, 2018). Outro exemplo de aplicação de RA genérica é a aplicação "Layar", que permite aos utilizadores criar experiências de RA baseadas em conjuntos de marcadores e conteúdos aumentados, pela utilização de mecanismos *drag and drop* na plataforma online de gestão de conteúdos da "Layar", e partilhar essas experiências com outros utilizadores (Blippar, 2013). A aplicação "Layar" permite também aos utilizadores descobrir conteúdos aumentados, em localizações próximas, criados e partilhados por outros utilizadores. As duas aplicações anteriormente apresentadas carecem em termos de customização e funcionalidade, uma vez que o único tipo de interações que estas suportam são simples toques, não permitindo a criação de gestos, comandos de vós, ou animações/interações personalizadas.

3

XRBOOK - UMA PROPOSTA DE LIVRO AUMENTADO

3.1 CONCEITO

A maioria das soluções modernas de RA que tentam melhorar o livro impresso consistem em softwares desenvolvidos e aplicados a um e somente um livro. A aplicação XRBook consiste numa biblioteca de experiências de Realidade Aumentada (RA) para qualquer livro, permitindo aos utilizadores descarregar experiências de RA (que podem ser construídas por diferentes entidades) de um servidor remoto, armazenar e executar as mesmas. Esta característica confere especial interesse à aplicação aqui em descrição, uma vez que esta aparece como uma tentativa de construir um sistema genérico que funciona para qualquer livro físico, sem a necessidade de o alterar, o que acaba por transformar estes artefatos em objetos inteligentes.

A arquitetura conceitual da solução é apresentada na [Figura 8](#).

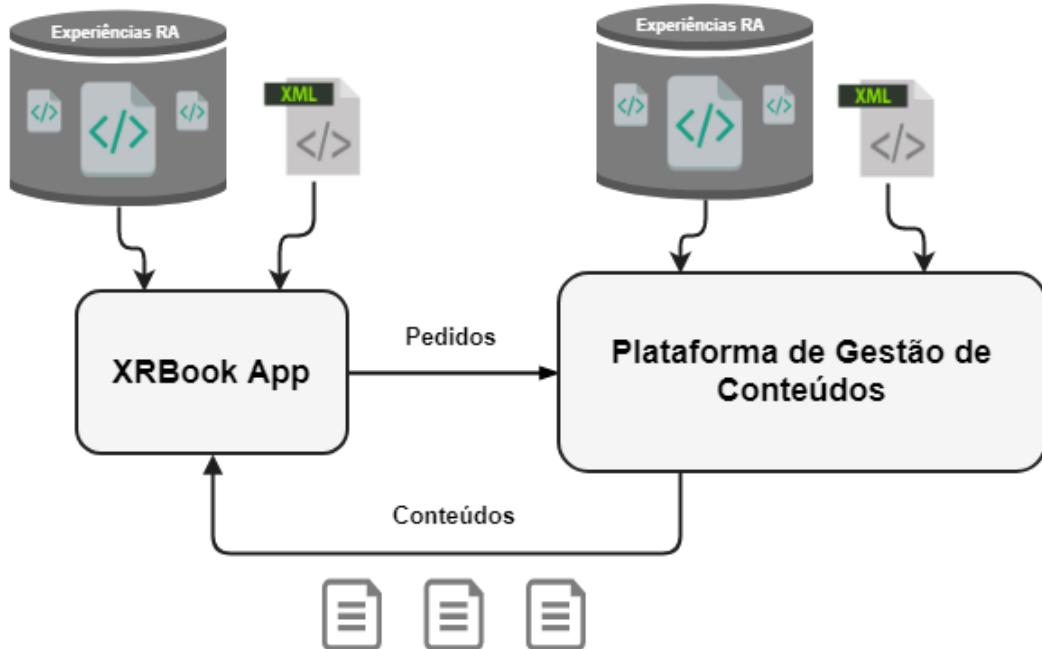


Figura 8.: Arquitetura conceitual

A proposta apresentada baseia-se no conceito e uso de especificações de experiências de RA, que definem as características das experiências. Cada especificação é associada a um determinado livro e armazenada num ficheiro *Extensible Markup Language (XML)*. As especificações contém informações sobre os marcadores (páginas do livro às quais o conteúdo digital é anexado), conteúdos (objetos virtuais 3D, vídeos, imagens, sons, ...) e a lógica entre estes (que define os eventos/interações, como por exemplo quando o utilizador clica no objeto, quando o marcador é detectado, de acordo com um temporizador, ...).

A aplicação XRBook depende da existência de uma plataforma colaborativa (servidor), que permita a fácil construção e armazenamento das experiências de RA, de modo a que editoras, topográficas, autores, ou simples utilizadores possam facilmente construir diferentes experiências de RA. O desenvolvimento da plataforma anteriormente mencionada não será abordado no contexto desta dissertação, uma vez que se encontra fora do escopo da própria dissertação. Assim, foi desenvolvido um pequeno servidor apenas para armazenar as experiências de RA e para responder aos pedidos da aplicação cliente. A resposta do servidor a um pedido de um cliente consiste na leitura de um ficheiro XML (especificação das experiências de RA para um livro) armazenado no próprio servidor. A estrutura desta especificação será descrita de seguida.

3.2 DEFINIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS DE RA

Na Figura 9 é apresentado a estrutura base do modelo de especificação de experiências de RA adotado.

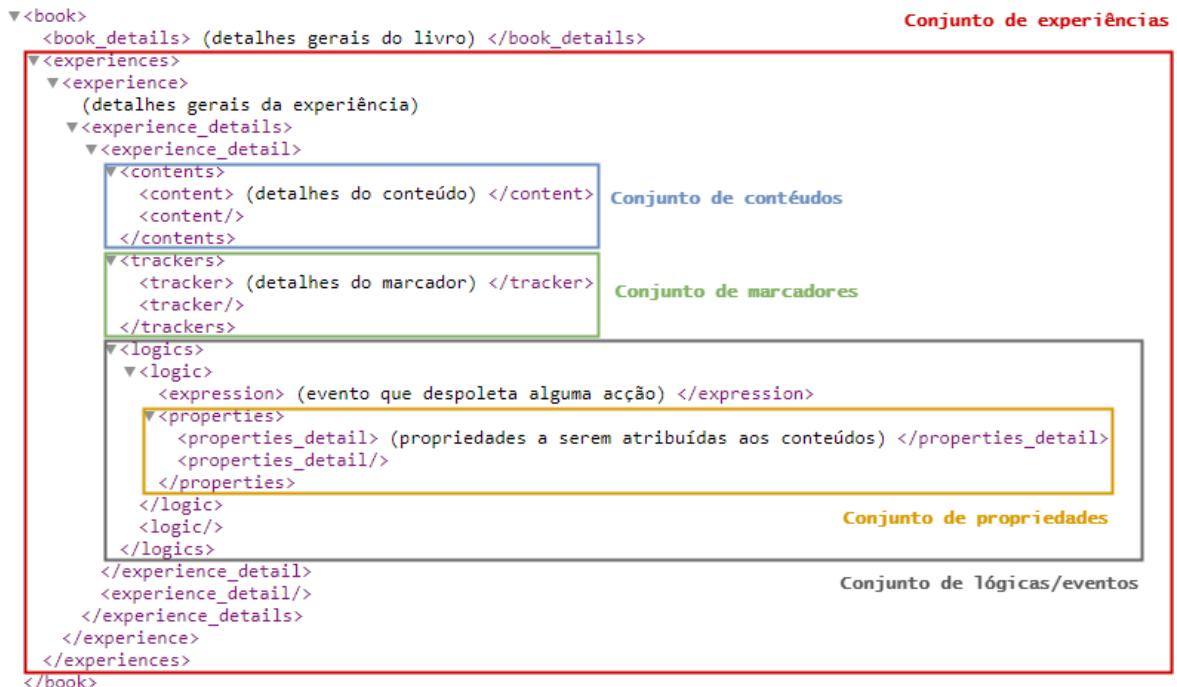


Figura 9.: Modelo de especificação de experiências de RA

De seguida é apresentada a explicação da estrutura das especificações de experiências de RA, de forma a melhor se entender a mesma, podendo estas ser consultadas no [Apêndice A - ESPECIFICAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE RA](#), que é composto por duas especificações de experiências de RA para dois livros distintos. A especificação de uma experiência de RA para um livro é composta por:

- detalhes sobre gerais sobre o livro ("book_details"), onde constam informações como o "id" do livro, titulo, número de experiências de RA, *Uniform Resource Locator* (URL) da imagem da capa, autores, *ISBN* (*International Standard Book Number*), editora, ano de publicação, edição e o número de páginas do livro. Toda esta informação é mostrada ao utilizador, num painel informativo da aplicação, depois de ser efetuada a comunicação entre a aplicação e o servidor;
- uma ou mais experiências de RA ("experiences"), pois para cada um livro podem existir múltiplas experiências de RA. Uma "experience" é composta por: detalhes gerais da experiência, onde constam informações como o "id", versão, titulo da experiência, URL da imagem de pré visualização da experiência, autores, descrição e URLs dos ficheiros de configuração da base de dados dos marcadores (gerados no portal do *Vuforia*, na secção *Vuforia Target Manager*). A utilização destes ficheiros de configuração das base de dados de marcadores permitiu ultrapassar a limitação imposta pelo *Vuforia*, que exige a utilização de uma licença, paga mensalmente, para a criação de *datasets* de marcadores dinâmicos, pelo consumo dos seus *webservices*;
- um conjunto de conteúdos ("contents"), que se traduzem na informação digital que irá complementar as páginas do livro, como objetos 3D, sons e videos. Compostos por "id", tipo (que pode ser *Audio*, *Video*, *Object* ou *AssetBundle*), a URL para o download dos mesmos e a flag "is_extended", que indica quando um determinado conteúdo deve ser instanciado em modo "extended", ou seja, mantendo-se visível mesmo quando o tracking do marcador é perdido. A funcionalidade de *Extended Tracking* tem como principal objetivo permitir a negação do utilizador no interior do modelo 3D, resultando em aumentos de imersividade e interatividade;
- um conjunto de marcadores ("trackers"), que podem ser páginas completas ou parte das páginas. Compostos pelo "id" do marcador, assim como a URL para o download do mesmo e ainda a pagina do livro onde este se encontra;
- um conjunto de lógicas ("logics") e um conjunto de propriedades ("properties"), que interrelacionam os marcadores aos conteúdos a serem apresentados. Cada "logic" é composta por "id", "expression" (que define o tipo de eventos e interações, por exemplo "OnTrackerFound(trackerID)", "OnContentClick(contentId)", ...) e um conjunto de propriedades ("properties") a serem aplicados a um ou mais "contents" aquando da execução da "logic" correspondente. Este conjunto de propriedades é composto por "id", "command" (por exemplo "ActivateContent(contentId)", "PlayContent(contentId)", "OpenWebPage(pageURL)", ...), "position" que define a posição

em que o conteúdo identificado no "command" irá aparecer em relação ao marcador, "scale", "rotation", "loop" e "autoplay".

Chama-se à atenção para o conjunto de "logics" e o conjunto de "properties" apresentado anteriormente, sendo esta a secção do modelo de especificação de experiências de RA permite a criação dos eventos e das interações disponíveis ao utilizador, podendo ser adicionadas novas funcionalidades como "OnVoiceRecognized(voiceCommand)" para reconhecer um comando de vós, entre outros, e novos comportamentos/animações customizadas, como por exemplo "Zoom-In-Out(contentName)", "StartMinigame(contentId)", "StartCountdownTimer(time)", etc, sendo necessário preparar a aplicação para atribuir os scripts necessários aos objetos correspondentes aquando do processo de instânciação de conteúdos.

3.3 REQUISITOS FUNCIONAIS

A identificação das funcionalidades e serviços do sistema, e das interações do utilizador com o mesmo, foram sumariadas e apresentadas na [Figura 10](#), sob a forma de casos de uso, dando-se concorrentemente a explicação dos mesmos.

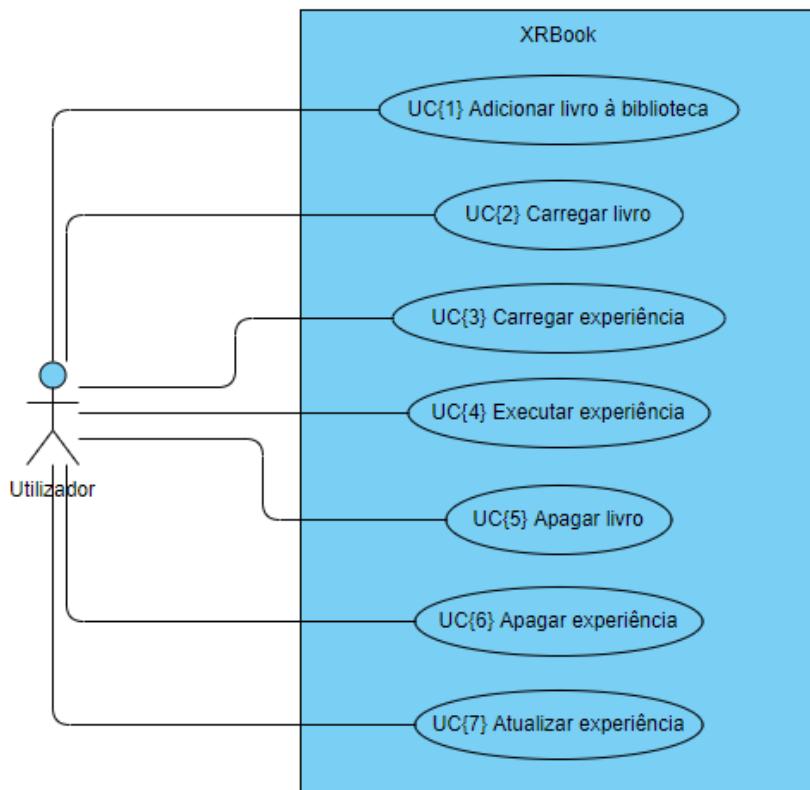


Figura 10.: Diagrama de Casos de Uso da aplicação

- {UC1} Adicionar livro à biblioteca: representa o funcionalidade de adicionar um novo livro à biblioteca de livros. O utilizador pode iniciar esta funcionalidade clicando no

botão "Add Book" no painel inicial. O respetivo ficheiro que especifica as experiências de RA existentes para o livro em questão é descarregado de um servidor remoto, sendo posteriormente encriptado e armazenado na aplicação para futuras utilizações;

- {UC2} Carregar livro: representa a escolha e a confirmação, por parte do utilizador, para carregar um livro, quando este clica no botão "Load Book" no painel de informações sobre o livro;
- {UC3} Carregar experiência: representa as ações do utilizador para carregar uma experiência, desde a escolha da experiência, descarga dos conteúdos e posterior instanciação destes;
- {UC4} Executar experiência: representa a funcionalidade de RA da aplicação. O utilizador pode direcionar a câmara do smartphone para as páginas do livro e visualizar e interagir com conteúdos digitais (vídeos, modelos 3D e sons) que são renderizados quando a aplicação reconhece elementos contidos nas páginas do livro (marcadores);
- {UC5} Apagar livro: representa a ação de confirmação do utilizador para apagar um livro quando este clica no botão "Delete Book" no painel de informações sobre o livro. A "root directory" desse livro é apagada, sendo eliminada da aplicação todos os dados relativos ao livro em questão;
- {UC6} Apagar experiência: representa a ação de confirmação do utilizador para apagar todos os conteúdos relativos a uma experiência que se encontra armazenada, quando este clica no botão "Delete Experience" no painel de informações sobre o experiência;
- {UC7} Atualizar livro: representa a funcionalidade de verificar se existem actualizações para as experiências de um livro armazenado. O utilizador pode iniciar esta funcionalidade clicando no botão "Check For Updates" existente no painel de informações sobre o livro. Para um determinado livro armazenado, é comparado o numero de experiências e a versão das mesmas com a informação sobre esse livro existente no servidor.

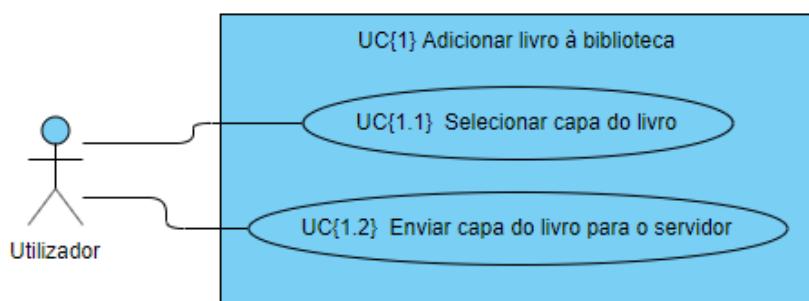


Figura 11.: UC{1} Adicionar livro à biblioteca

- {UC1.1} Selecionar capa do livro: representa a ação do utilizador em que este aponta o smartphone para a capa do livro e utiliza 'pinch gestures' no ecrã do smartphone para aumentar a área de seleção e fazer uma melhor captura da capa;
- {UC1.2} Enviar capa do livro para o servidor: representa a ação do utilizador ao clicar no botão de envio, sendo enviada a capa do livro sob a forma de imagem, para o servidor.

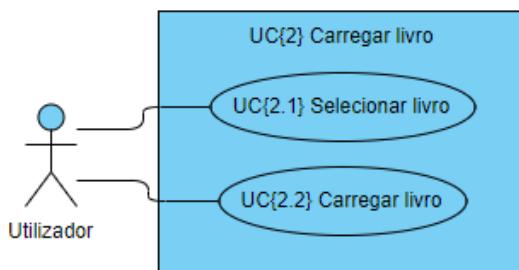


Figura 12.: UC{2} Carregar livro

- {UC2.1} Selecionar livro: representa a escolha de um dos livros por parte do utilizador, através de um *click* no livro corresponde, na biblioteca de experiências;
- {UC2.2} Carregar livro: representa a confirmação, por parte do utilizador, para carregar um livro, quando este clica no botão "Load Book" no painel de informações sobre o livro;

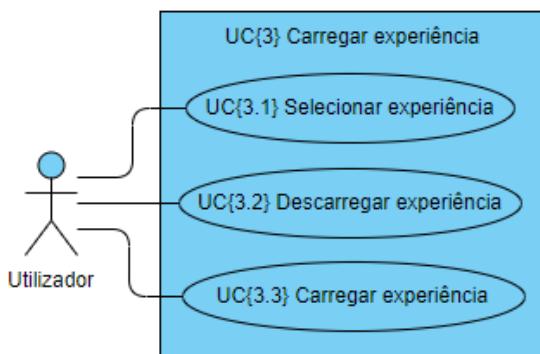


Figura 13.: UC{3} Carregar experiência

- {UC3.1} Selecionar experiência: representa a escolha de uma das experiências por parte do utilizador, através de um *click* no livro corresponde, na biblioteca de livros;
- {UC3.2} Descarregar experiência: representa a funcionalidade de descarregar e armazenar todos os conteúdos que constituem as experiências de RA construídas para o livro em questão. Esta ação é despoletada pelo utilizador aquando do *click* no botão "Download Experience" que se encontra no painel de informações sobre o experiência;

- {UC3.3} Carregar experiência: representa a ação de confirmação do utilizador quando este clica no botão “Load Experience” que aparece no painel de informações sobre o experiência, depois da mesma ter sido descarregada e armazenada; As experiências são carregadas pela aplicação em *runtime*, da forma parametrizada na mensagem proveniente do servidor.

3.4 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

Identificam-se de seguida os requisitos não funcionais que definem propriedades e restrições do sistema:

- Segurança: os dados armazenados devem ser encriptados e a comunicação com o servidor deverá ser feita com recuso à utilização de protocolos de comunicação seguros;
- Desempenho: a fluidez das operações a serem executadas pela aplicação deverá sempre ser tida em consideração, pela aplicação de técnicas robustas, sempre que possível, de forma a diminuir os tempos de espera;
- Robustez: resistência a bugs que comprometam o funcionamento da aplicação. Toda a aplicação foi construída tendo em consideração as possíveis falhas inerentes a todo o processo;
- Usabilidade: interface intuitiva, simples e apelativa, com o intuito de motivar o utilizador e facilitar a utilização da aplicação;
- Plataformas: compatibilidade com *iOS* e *Android*.

4

IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

4.1 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO ADOTADAS

Nesta secção serão apresentadas ferramentas de desenvolvimento adotadas que permitem não só concretizar o desenvolvimento da solução, como também agilizar todo o processo inerente ao desenvolvimento da solução. A maioria das ferramentas enunciadas de seguida foram descarregadas apartir da *Asset Store* do *Unity*, assim como de outros repositórios como o *GitHub* e o *UnityList*. A seguinte lista de ferramentas foi-se estendendo à medida que se foram implementando os requisitos funcionais e não funcionais, mencionados no [Seção 3.3](#).

| Software | Descrição |
|---|---|
|  | O ambiente escolhido para o desenvolvimento da aplicação foi o <i>Unity3D</i> . As grandes vantagens da utilização deste ambiente de programação, tal como já mencionado anteriormente, é permitir o desenvolvimento de aplicações com suporte para múltiplas plataformas e a gigante quantidade de <i>assets</i> e exemplos disponível na Internet. |
|  | Motor de RA escolhido. A utilização do SDK do <i>Vuforia</i> , ao invés do <i>ARCore</i> , permitiu também o desenvolvimento da aplicação com suporte para múltiplas plataformas (Android/iOS) e uma melhor performance no mecanismo de <i>tracking</i> , uma vez que, aquando do desenvolvimento deste projeto, o <i>ARCore</i> não tinha ainda a capacidade de fazer <i>tracking</i> de imagens em movimento. Para além disso, o asset <i>Vuforia Samples</i> facultou variados elementos que foram utilizados no interface da aplicação. |

Continua na próxima página

Continua na página anterior

| Software | Descrição |
|----------|---|
| | O asset <i>TriLib</i> é um dos pilares da aplicação. Este pacote de software permitiu a implementação das funcionalidades de <i>download</i> e <i>load</i> dos modelos 3D, em <i>runtime</i> . Compatível com qualquer Sistema Operativo (SO) , este asset suporta ainda mais de 40 formatos de ficheiros, materiais e animações embbebidas. |
| | O pacote <i>iTween</i> é um sistema de animações para o <i>Unity</i> , simples e poderoso, que permite fazer transformações em <i>GameObjects</i> (alteração de posições, rotação, cor, escala, ...), com animações, recorrendo a pequenas linhas de código. |
| | A utilização do asset <i>Lunar Mobile Console</i> permitiu fazer <i>debug</i> na própria aplicação em execução. A possibilidade de visualizar os <i>logs</i> em <i>runtime</i> revelou-se incrivelmente importante para o desenvolvimento de toda a lógica da aplicação, o que contribuiu ativamente para o agilizar do processo de desenvolvimento da aplicação. Este asset é também compatível com qualquer SO . |
| | O asset <i>JSON .NET</i> é também um dos pilares da aplicação. Este pacote de software permite fazer a serialização e desserialização de objetos. A utilização deste <i>framework</i> permitiu implementar facilmente a conversão da mensagem proveniente do servidor (<i>JSON</i>) para classes C#, com o intuito de facilitar o manuseamento da informação. |
| | A utilização do asset <i>SimpleJSON</i> permitiu manipular mais facilmente <i>JSONObject</i> s em situações onde foi necessário aceder a determinada posição do <i>JSON</i> . |

Continua na próxima página

Continua na página anterior

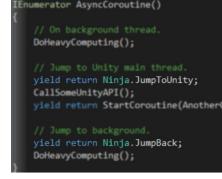
| Software | Descrição |
|---|---|
|  | A utilização do asset <i>AesEncryptor</i> , disponível na <i>Asset Store</i> do <i>Unity</i> , teve como finalidade a encriptação dos ficheiros (armazenados na diretoria da aplicação) que contêm as respostas do servidor, numa tentativa de proteger a estrutura dos dados. |
|  | A utilização do asset <i>SimpleScrollSnap</i> permitiu a implementação de um <i>slider</i> no interface de RA , que possibilita ao utilizador a visualização dos marcadores, assim como as respetivas páginas do livro onde estes se encontram. O <i>slider</i> é também atualizado automaticamente consoante o marcador que é detetado. |
|  | A utilização do package <i>Mobile Dialog Unity</i> , descarregado apartir do portal <i>UnityList</i> , permitiu implementar <i>popups</i> de aviso e de confirmação, com o design nativo do sistema onde a aplicação se encontra a ser executada (<i>iOS</i> ou <i>Android</i>). |
|  | A utilização do asset <i>ThreadNinja</i> , descarregado apartir da <i>Asset Store</i> do <i>Unity</i> , permitiu dotar aplicação de técnicas multithreading, no sentido de executar tarefas de processamento em <i>background</i> sem bloquear a aplicação. |

Tabela 3.: Ferramentas de desenvolvimento adotadas

De modo a melhor perceber as características e funcionalidades de cada uma destas ferramentas, foram levadas a cabo pequenas tarefas de desenvolvimento que consistiram na criação de pequenas aplicações de teste tendo por base os exemplos disponibilizados por cada uma destas ferramentas.

Iniciou-se o desenvolvimento com a utilização do *ARCore* como motor de **RA**. A escolha do *ARCore* deveu-se principalmente ao facto de ser um **SDK** completamente gratuito e de não ser composto por nenhum **CMS online**, permitindo manipular, em *runtime*, o *dataset* de *trackers*, funcionalidade imprescindível da aplicação a ser desenvolvida. Foi com base na *sample "AugmentedImage"* incluída no próprio **SDK**, que foram feitos os primeiros testes. Depois, foi implementada a funcionalidade de comunicação com um servidor, e foi também desenvolvido um pequeno interface para visualizar os resultados. Este interface

primordial era constituído por dois painéis que eram populados com o conteúdo da mensagem proveniente do servidor, e ativados aquando da detecção do marcador (Figura 14).

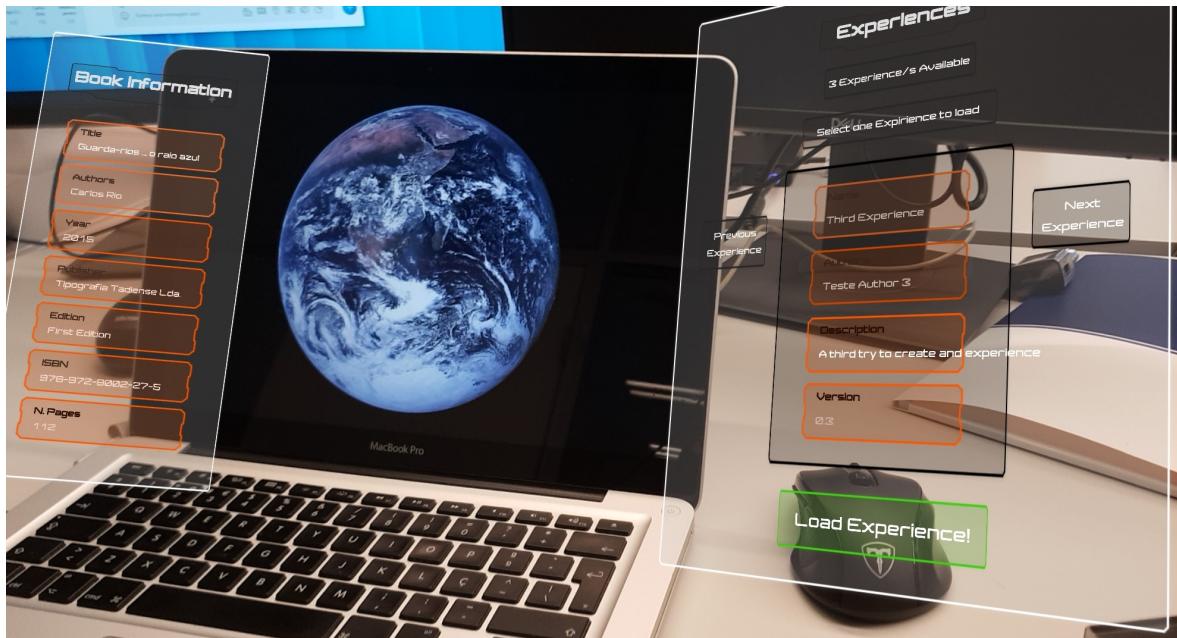


Figura 14.: Primeira versão utilizando ARCore

É importante referir que neste ponto estava já a ser criada a *Augmented Image Database* (base de dados de marcadores), em *runtime*, que foi conseguido com a remoção da base de dados *default* do *ARCore*, e a criação da mesma em tempo de execução. Depois de criada, foi possível adicionar *trackers* à mesma pela utilização do método "*AddImage*" existente na class "*AugmentedImageDatabase*" (Excerto 4.1).

```
// ...
session = goARCoreDevice.GetComponent<ARCoreSession>();
config = session.SessionConfig;

AugmentedImageDatabse db =
    ScriptableObject.CreateInstance<AugmentedImageDatabase>();
config.AugmentedImageDatabase = database;

// ...

database.AddImage(trackerImageTex);
```

Excerto 4.1: Criação da base de dados de trackers em runtime (ARCore)

Concluído os primeiros testes com *ARCore*, a experiência revelou-se bastante fraca em termos de qualidade de *tracking*. Até então, o *ARCore* não suportava ainda o *tracking* de imagens em movimento (Figura 15), o que comprometia substancialmente a qualidade

da aplicação, na medida em que mesmo depois de o marcador ser removido do campo de visão da câmara, os objetos aumentados continuavam visíveis. Foram implementados timers e outras técnicas (*workarounds*) para tentar mitigar o problema, sendo que nenhuma delas era completamente eficiente.

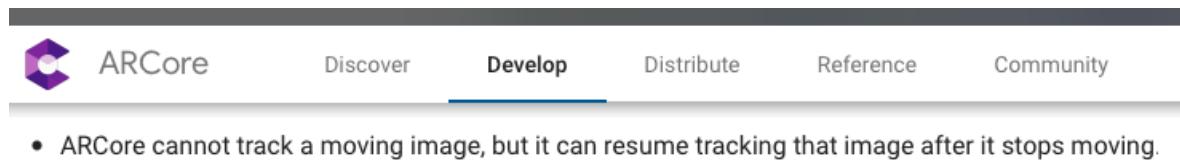


Figura 15.: Limitação do ARCore (versão pré 1.9)

De forma a ultrapassar esta grande limitação do *ARCore*, iniciou-se os primeiros testes com o *Vuforia*. O *Vuforia* revelou-se um *software* de *RA* extremamente poderoso. A sua funcionalidade de deteção de marcadores funciona excepcionalmente bem, permitindo desenvolver aplicações de *RA* de excelência, sendo que a única desvantagem apresentada por este é o facto do mesmo ser pago, dependendo do numero de utilizações e das funcionalidades pretendidas. O *Vuforia* é composto por um *CMS* online que permite a criação das base de dados de marcadores, sendo que a funcionalidade de criação de bases de dados de marcadores em *runtime* é uma funcionalidade *premium*, paga mensalmente (consiste no consumo de *webServices*). A abordagem utilizada para este problema será descrita posteriormente neste documento, aquando da descrição do módulo de instânciação de conteúdos e marcadores, na Seção 4.3.

4.2 ARQUITETURA DE IMPLEMENTAÇÃO

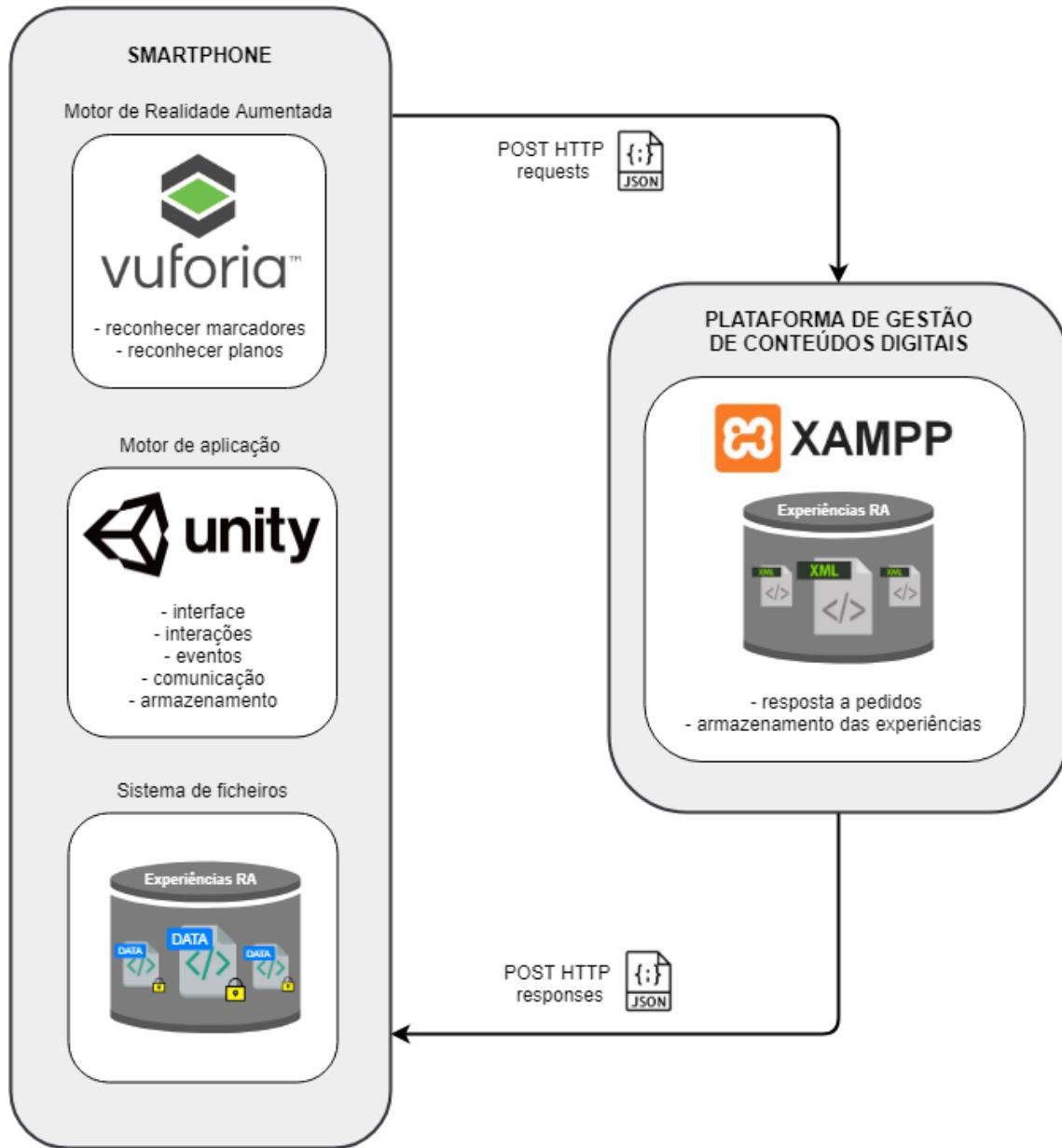


Figura 16.: Arquitetura de implementação

A arquitectura implementada consiste numa arquitectura típica cliente-servidor, onde a aplicação cliente (XRBook) envia pedidos para um servidor, que os processa e devolve uma resposta. De todas as vantagens deste tipo de arquitectura, as que realmente importam para esta solução são as seguintes:

- centralização e segurança: o acesso aos recursos e a integridade dos dados são controlados pelo servidor, sendo possível definir-se regras de acesso;

- escalabilidade: novos recursos podem ser facilmente adicionados ao servidor, sem implicar alterações nos clientes;
- acessibilidade: diferentes tipos plataformas podem comunicar com o servidor, sejam elas plataformas móveis ou outro tipo de dispositivos.

Para além disto, a real necessidade de uma arquitetura cliente-servidor resume-se à funcionalidade de descarga de conteúdos, com vista à construção de uma aplicação dinâmica que altere o seu funcionamento com base nas parametrizações recebidas nas mensagens provenientes do servidor.

A aplicação XRBook pode ser dividida em dois grandes componentes (motores):

- motor de **Realidade Aumentada (RA)**: de acordo com a arquitetura típica de um sistema de RA apresentada na [Subseção 2.1.2](#), este componente comprehende tanto o Sistema de Captação do Mundo Real (pela utilização da câmara do smartphone) como o Sistema de Rastreamento, sendo por isso responsável não só pela captação da imagem do ambiente envolvente, como pelo reconhecimento e *tracking* de marcadores e planos e pela obtenção da localização do utilizador e dos objetos reais e virtuais, através da aplicação de técnicas complexas de rastreamento ótico;
- motor de aplicação: pela arquitetura típica de um sistema de RA apresentada na [Subseção 2.1.2](#), é facilmente reconhecível que o *Unity* é o grande motor da aplicação, compreendendo o Sistema de Manipulação de Objetos (pela utilização do ecrã do smartphone, através gestos ou *clicks*), o Sistema Gerador de Modelos Virtuais (responsável por todo processamento gráfico), o Sistema de Mistura do Real com o Virtual (sobreposição do *feed* do mundo real com informação digital) e o Sistema de Apresentação (reprodução da imagem misturada, reprodução de sons e renderização de todo o interface da aplicação).

O *Unity* é ainda responsável por fazer a ligação entre todos os componentes que constituem o sistema. Ele comunica diretamente tanto com o motor de RA da aplicação, como com o próprio **Sistema Operativo (SO)** onde a aplicação se encontra a executar, assim como com o servidor remoto. Este software é composto por um vasto leque de APIs que possibilitam a implementação de todas as funcionalidades necessárias à construção de uma aplicação de RA dinâmica, como por exemplo a comunicação e o armazenamento. A comunicação entre a aplicação e o servidor é feita com recurso métodos [Hypertext Transfer Protocol \(HTTP\)](#), que foram desenhados para possibilitar a comunicação entre clientes e servidores. Depois de capturar a imagem da capa do livro, proveniente do Sistema de Captação de Imagem do motor de RA, o *Unity* prepara e envia a mesma, numa mensagem HTTP, para o servidor remoto, aguardando a resposta do mesmo, que será posteriormente armazenada no sistema de ficheiros do SO do dispositivo onde a aplicação se encontra a ser executada.

4.3 ESTRUTURA DA APLICAÇÃO

Nesta secção serão abordadas as principais etapas envolvidas no desenvolvimento da aplicação. A Figura 17 relaciona os principais blocos funcionais da aplicação, indicando as dependências entre os mesmos.

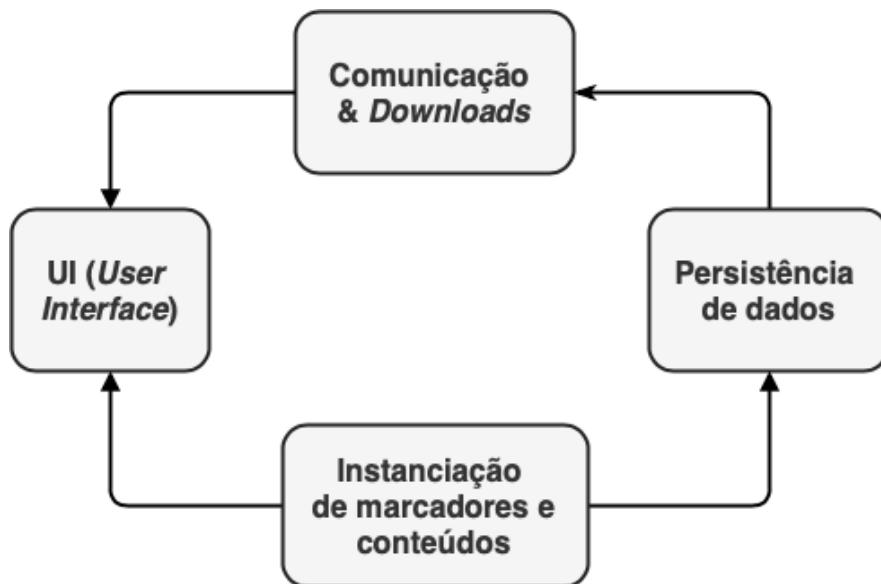


Figura 17.: Principais blocos funcionais da aplicação

Módulo de comunicação & downloads

A comunicação é iniciada na aplicação móvel pelo envio de um pedido POST para o servidor. Este pedido é composto por um parâmetro ("book_cover"), no caso de ser um pedido que visa identificar o livro, ou o parâmetro "book_id", no caso de ser um pedido com o intuito de verificar se existem atualizações para o livro em questão. No primeiro caso, depois de o utilizador selecionar a capa do livro através de *pinch gestures* e carregar no botão de envio (Figura 24), os pixels da área seleccionada são codificados em formato PNG, convertidos em *string* no formato *Base64* (formato ideal para dados a serem transferidos pela rede) e enviados para o servidor no parâmetro "book_cover" do pedido POST (Exerto 4.2).

```
// ...
screenImage.ReadPixels(rect, 0, 0, true);
screenImage.Apply();
byte[] imageBytes = screenImage.EncodeToPNG();
string encodedText = Convert.ToString(imageBytes);

WWWForm form = new WWWForm();
form.AddField("book_cover", encodedText);
```

```

string ip = "http://192.168.1.112/bookServer/index.php";

using (UnityWebRequest www = UnityWebRequest.Post(ip, form))
{
    DownloadHandlerBuffer downloadHandlerBuffer = new
        DownloadHandlerBuffer();
    www.downloadHandler = downloadHandlerBuffer;
    yield return www.SendWebRequest();
}

```

Exerto 4.2: Código utilizado para o envio dos pedidos POST

Para a criação do servidor (plataforma de gestão de conteúdos digitais), que escuta e reponde a pedidos HTTP POST *Requests*, recorreu-se à tecnologia XAMPP que permite a construção de um servidor (local) com recurso à linguagem de programação PHP. Foi criado um pequeno *script* que começa por identificar o tipo de pedido emitido pelo cliente. Quando o servidor recebe um pedido, primeiro é identificado o seu tipo. Se for um POST *Request* e possuir como argumento a string "book_cover" ou o "book_id", é feita a leitura do ficheiro XML correspondente, constituído por toda a informação relativa ao livro em questão (autores, ano de publicação, número de páginas, marcadores, conteúdos, lógica entre marcadores e conteúdos e propriedades dos conteúdos - ver [Seção 3.2](#)). Depois de ler o ficheiro XML, o conteúdo do ficheiro é convertido para o formato JSON e algumas operações JSON são executadas, como a remoção de objetos vazios, codificação UTF8, entre outras, sendo posteriormente devolvido ao cliente (Exerto 4.3).

```

<?php
header('Content-Type: application/json; charset=utf-8');

if (!empty($_POST["book_cover"])) {

    $x = simplexml_load_string(file_get_contents("schemaArcaNoe.xml"))
        ;
    $x2 = json_encode($x, true);
    $response = $json = json_decode($x2, true);
    filterEmptyArray($response);

} else if (!empty($_POST["book_id"])) {

    if ($_POST["book_id"] == "1") {
        $x = simplexml_load_string(file_get_contents("schemaArcaNoe.
            xml"));
    } else {
        $x = simplexml_load_string(file_get_contents("schemaArcaNoe.
            xml"));
    }
}

```

```

    $x2 = json_encode($x, true);
    $response = $json = json_decode($x2, true);
    filterEmptyArray($response);

} else {
    $response=array(
        'status' => 1,
        'status_message' =>'ERROR'
    );
}

echo json_encode($response, JSON_UNESCAPED_UNICODE|JSON_PRETTY_PRINT|
    JSON_UNESCAPED_SLASHES);

function filterEmptyArray(array &$a) {
    foreach ( $a as $k => &$v ) {
        if (empty($v))
            $a[$k] = "";
        else
            is_array($v) AND filterEmptyArray($v);
    }
}
?>

```

Excerto 4.3: Código utilizado para a construção do servidor

Quando o cliente recebe a resposta do servidor, a mesma é serializada numa *class* (*Book.cs*), através da utilização da biblioteca *Newtonsoft* que auxilia na manipulação de objetos JSON ([Excerto 4.4](#)). Este processo permite, a qualquer momento da execução da aplicação, manipular todas as informações relativas ao livro.

```
Book book = Book.FromJson(downloadHandlerBuffer.text);
```

Excerto 4.4: Utilização da biblioteca NewtonSoft para criar um objeto tipo "Book"

Todos os conteúdos e marcadores são descarregados pelo uso da *class* nativa "WWW" do *Unity*, sendo posteriormente armazenados no *PersistentPath* da aplicação com o nome de acordo com o "id" ([Excerto 4.5](#)).

```

//download a file and writes the data to the application directory
private IEnumerator DownloadFile(string url, string fileExtension,
    string localFilePath, string localFilename) {
    WWW www = new WWW(url);
    yield return www;
    System.IO.File.WriteAllBytes(localFilename, www.bytes);
}

```

```
}
```

Excerto 4.5: Exemplo de método de download

Em todas as operações que envolvem comunicação com o servidor foram implementados mecanismos responsáveis pela deteção de erros, seja pela falta de acesso à internet, por o servidor se encontrar indisponível ou por um pedido ou resposta mal formulados, sendo apresentada uma mensagem de erro ao utilizador (Figura 18).

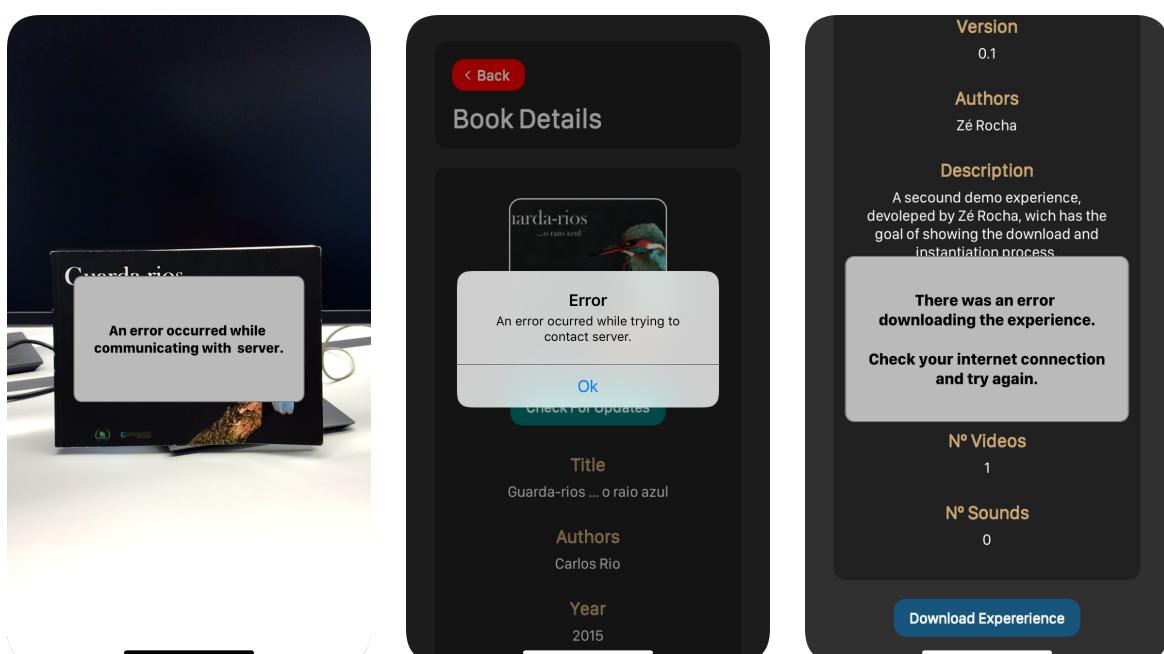


Figura 18.: Erros na comunicação com o servidor

Módulo de persistência de dados

Sempre que a aplicação é iniciada, uma lista de livros é criada em *runtime*, pela leitura de todos os ficheiros ".data" existentes no *PersistentPath* da aplicação, tal como retratado no Excerto 4.6.

```
string filepath = Application.persistentDataPath + "/session/";
List<string> files = new List<string>();
System.IO.Directory.CreateDirectory(filepath); //only creates if it
    doesnt exists

foreach (string file in Directory.EnumerateFiles(filepath, "*.data",
    SearchOption.AllDirectories))
{
    files.Add(file);
```

```

}

if (files.Count > 0) //if there are book stored, read them and add
them to the bookList
{
    for (int i = 0; i < files.Count; i++)
    {
        string contents = File.ReadAllText(files[i]);
        string decyptedBook = AesEncryptor.DecryptString(contents);
        Vars.BookList.Add(decyptedBook);
    }
}

```

Excerto 4.6: Leitura de todos os livros do PersistentDataPath

Na adição de um livro à biblioteca de livros, depois de executada a comunicação entre a aplicação e o servidor, inicia-se o armazenamento da resposta do mesmo. A lógica de armazenamento utilizada será explicada de seguida. Primeiramente, é verificado se existe alguma diretoria com nome igual ao *ID* do livro da resposta do servidor ([Excerto 4.7](#)).

```

if (!File.Exists(Application.persistentDataPath + "/session/" +
    BookDetails.Id + "/" + BookDetails.Id + ".data"))

```

Excerto 4.7: Verificação da existencia de um livro no PersistentDataPath

Se a diretoria não existir, estamos perante a adição de um novo livro. Então, é criada uma diretoria (*root directory*) no *PersistentPath*, com o nome correspondente ao "id" do livro em questão ([Excerto 4.8](#)), e adiciona-se este novo livro à lista de livros criada em *runtime*.

```

Vars.BookList.Add(bookToJson());
System.IO.Directory.CreateDirectory(Application.persistentDataPath +
    "/session/" + GeneralInformation.Id);

```

Excerto 4.8: Criação da root directory

A utilização do "id" do livro para criar a *root directory* das experiências desse mesmo livro assegura que cada diretoria seja única. Quando da criação desta diretoria, dá-se também o armazenamento da resposta do servidor na diretoria recém criada, sobe a forma de ficheiro na extensão "id.data", sendo previamente encriptada pela utilização da biblioteca *AesEncryptor* (composta por funções de encriptação e desencriptação AES - *Advanced Encryption Standard*), proporcionando a segurança mínima dos dados ([Excerto 4.9](#)) contra leituras externas.

```

// ...
string encryptedValue = AesEncryptor.Encrypt(bookToJson());

```

```
File.WriteAllText(Application.persistentDataPath + "/session/" +
    BookDetails.Id + "/" + BookDetails.Id + ".data", encryptedValue);
```

Excerto 4.9: Armazenamento e encriptação da resposta do servidor

No caso de o livro já existir no *PersistentDataPath* da aplicação, é verificado se na mensagem proveniente do servidor existe mais experiências de *RA* ou se alguma experiência se encontra numa versão mais atualizada, em comparação com as armazenadas localmente. Se alguma destas condições se verificar, a *root directory* do livro é recriada com a informação mais atualizada. Este processo é também utilizado quando o utilizador clica no botão responsável pela verificação atualizações para determinado livro (Excerto 4.10).

```
// ...
///compares the number of experiences stored with the message from the
server
if (Experiences.Experience.Count ==
    jsonBookx["experiences"]["experience"].Count)
{
// ...

    if (experienceDetails.Version >
        jsonBookx["experiences"]["experience"][k]["version"].AsFloat)
    {

        //if the version of any experience in the message of the server
        //is bigger

        if (Directory.Exists(Application.persistentDataPath +
            "/session/" + BookDetails.Id))
        {
            Directory.Delete(Application.persistentDataPath +
                "/session/" + BookDetails.Id, true);
        }

        System.IO.Directory.CreateDirectory(Application.persistentDataPath
            + "/session/" + BookDetails.Id);

        //... code to write data to folder & add book to bookList
    }
} else {
    //if the number of experiences is is bigger
```

```

if (Directory.Exists(Application.persistentDataPath + "/session/" +
    BookDetails.Id))
{
    Directory.Delete(Application.persistentDataPath + "/session/" +
        BookDetails.Id, true);
}

System.IO.Directory.CreateDirectory(Application.persistentDataPath +
    "/session/" + BookDetails.Id);

// ... Code to write data to folder & add book to bookList

}
}

```

Exerto 4.10: Verificação de atualização para um livro

O armazenamento de dados dá-se também quando o utilizador inicia o download de uma experiência, em que todos os conteudos, marcadores e ficheiros de configuração da base de dados de marcadores (provenientes do *Vuforia Target Manager*, no *Vuforia Developer Center*) são descarregados e armazenados pelo seus "id's", no interior da diretoria que identifica o livro em questão. A estrutura de pastas dentro da diretoria do livro segue a seguinte lógica: de acordo com a ordem que as experiências se encontram na lista de experiências que vem na mensagem do servidor, é criada uma pasta para cada experiência com o nome correspondente à sua posição na lista (Exerto 4.11).

```

// ...
for (int i = 0; i < ExperiencesCount; i++)
{
    //popula interface
    GameObject newObj = (GameObject)Instantiate(experiencePrefab,
        transform);

    // ...

    //criacão da diretoria de cada experiencia existente para um livro
    string experiencesDetailsPath = Application.persistentDataPath +
        "/session/" + BookDetails.Id + "/" + i + "/";

    // ...

    System.IO.Directory.CreateDirectory(experiencesDetailsPath);
}

```

Exerto 4.11: Criação das diretórias das experiências

Dentro da diretória de cada experiência é criada uma serie de subdiretórios que representam os detalhes da experiência, identificados na mensagem XML proveniente do servidor com a tag "experience_detail" (ver Seção 3.2). Dentro destas subdiretórios são criadas duas novas, uma para os conteúdos e uma para os marcadores. Depois, dentro da diretória dos conteúdos são criadas novas diretórias de acordo com o tipo de conteúdos/marcadores que essa "experience_detail" possui, sendo identificadas com o nome correspondente ao seu tipo ("Object", "Audio", "AssetBundle", ...). No final, são descarregados e armazenados os respetivos conteúdos e marcadores, pelo seus "id's", nas correspondentes pastas (Exerto 4.12).

```
// ...
string contentsfilepath = Application.persistentDataPath + "/session/" +
    Vars.bookIdSelected + "/" + Vars.experienceSelected + "/" +
    expDetail.Id + "/Contents/" + contentInfo.Type + "/";

var fileName = contentInfo.Id;
var fileExtension = FileUtils.GetFileExtension(contentInfo.Url);
var localFilePath = string.Format("{0}{1}", contentsfilepath, fileName);
var localFilePathWithExtension = string.Format("{0}{1}", localFilePath,
    fileExtension);

System.IO.Directory.CreateDirectory(contentsfilepath);

StartCoroutine(DownloadFile(contentInfo.Url, fileExtension,
    localFilePath, localFilePathWithExtension));
```

Exerto 4.12: Criação da hierarquia de diretórias para os Contents

A Figura 19 ilustra a estrutura de pastas referida anteriormente, refletindo o resultado da descarga de uma das experiências construídas no decorrer do desenvolvimento da aplicação, que serão posteriormente apresentadas no Capítulo 5.

| Name | File Type | Size |
|------------------|---------------|---------|
| Documents | | |
| Unity | | |
| session | | |
| 1 | | |
| 0 | | |
| 1 | | 16.8 MB |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | 21.5 MB |
| Contents | | 20.8 MB |
| AssetBundle | | 2.6 MB |
| 2.clickmelabel | CLICKMELABEL | 264 kB |
| 3.detailscanvas | DETAILSCANVAS | 2.3 MB |
| Audio | | 2.9 MB |
| 4.wav | WAV | 2.9 MB |
| Object | | 15.3 MB |
| 1.fbx | FBX | 15.3 MB |
| Trackers | | 738 kB |
| 1.jpg | JPG | 738 kB |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| GuardaRios.dat | DAT | 269 kB |
| GuardaRios.xml | XML | 594 B |
| thumbnailExp.png | PNG | 126 kB |
| 1 | | 189 kB |
| 1.data | DATA | 12 kB |
| thumbnail.png | PNG | 5.5 MB |

Figura 19.: Hierarquia de diretórias resultante da descarga e armazenamento de uma experiência de RA para um livro

Módulo do *User Interface* (UI)

Todo o interface foi desenvolvido com foco no utilizador, tendo sempre em mente a compatibilidade do mesmo com diferentes *SOs* (Android e iOS) e diferentes especificações dos dispositivos, nomeadamente resoluções de ecrã. Para tal, foi utilizada a resolução (640 x 960) como referência para todos os *canvas*, tal como sugerido pela própria o *Unity*.

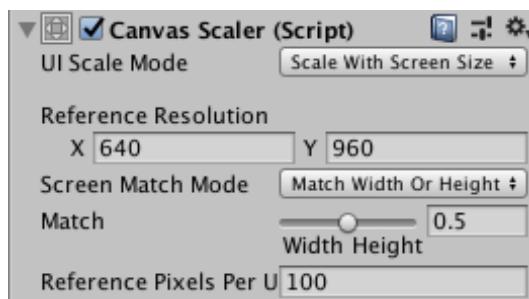


Figura 20.: Resolução de referência aplicada a todos os painéis

Todas as animações foram implementadas com recurso ao *asset iTween*, que permite facilmente animar *GameObjects* (Excerto 4.13).

```
//Moves an panel and scales it after moving
iTween.MoveTo(booksMenu, iTween.Hash("x", 0, "loopType", "none", "time",
0.65f, "onComplete", "ScalePanelAfterMoving", "onCompleteParams",
booksMenu, "onCompleteTarget", gameObject));
```

Excerto 4.13: Código responsável pela animação de *GameObjects*

Para aumentar a fluidez das animações, foi também definido via *scripting* o *frame rate* (taxa de quadros) da aplicação para *90fps* (Excerto 4.14).

```
//Sets the Application FrameRate to 90fps, to get a more fluid experience
Application.targetFrameRate = 90;
```

Excerto 4.14: Definição da taxa de quadros (FPS)

Um evento que deteta a alteração das dimensões dos painéis (quando por exemplo a aplicação passa de *portrait* para *landscape*) é disparado, sendo responsável pela atualização da variável estática "screenOffset", que é usada para mover os painéis (Excerto 4.15). Esta técnica permite colocar os painéis "inativos", fora do *canvas*, não sendo por isso visíveis. A lógica consistiu em colocar à direita do "*main canvas*"(painel visível ao utilizador) os painéis que ainda vão ser visualizados, e à esquerda aqueles que já foram visualizados.

```
// Detects phone orientation changes and updates interface
void OnRectTransformDimensionsChange()
{
    Vars.screenOffset =
        gameObject.GetComponent<RectTransform>().rect.width;

    foreach (Transform child in transform)
    {
        if (child.localPosition.x > 0)
        {
            iTween.MoveTo(child.gameObject, iTween.Hash("x",
                Vars.screenOffset, "loopType", "none", "time", 0));
        }
        else if (child.localPosition.x < 0)
        {
            iTween.MoveTo(child.gameObject, iTween.Hash("x",
                -Vars.screenOffset, "loopType", "none", "time", 0));
        }
    }
    Canvas.ForceUpdateCanvases();
}
```

```
}
```

Exerto 4.15: Evento que deteta a alteração da orientação do smartphone

A lista de livros e a lista de experiências são visualmente populadas com recurso aos *prefabs* construídos para o efeito. Por cada livro existente na lista de livros (criada ao iniciar a aplicação, pela leitura dos ficheiros “.data” armazenados) é instanciado um *prefab* “bookList”, sendo estes objetos são eles próprios botões (Figura 21).

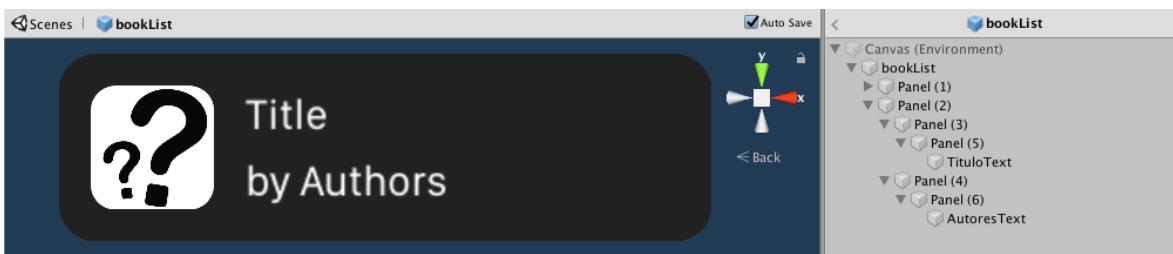


Figura 21.: Book prefab

Quando o utilizador seleciona um livro, é apresentado um novo painel com o detalhe do mesmo. Este painel é também “dinâmico” no sentido em que os campos de texto são automaticamente ajustados, em termos de tamanho, ao conteúdo que possuem. Esta funcionalidade foi conseguida com a desativação dos *scripts* responsáveis pelo *layout* associados aos painéis, preenchimento dos devidos campos e posterior reativação dos *scripts* de *layout* anteriormente desativados (Exerto 4.16).

```
GameObject.Find("RootFrameBookDetails").gameObject.GetComponent<VerticalLayoutGroup>().enabled = false;

// ... code to set text fields content

GameObject.Find("RootFrameBookDetails").gameObject.GetComponent<VerticalLayoutGroup>().enabled = true;
```

Exerto 4.16: Construção de interfaces dinâmicos

Relativamente ao interface da parte de RA (onde a câmara e o motor de RA se encontram ativos), a utilização do asset *SimpleScrollSnap* permitiu a construção de um *slider* de marcadores, com as respetivas paginas do livro. Este slider é populado com a informação existente na mensagem proveniente do servidor, nomeadamente a secção dos “Trackers” (ver Seção 3.2). Quando um marcador é detetado, dá-se o scroll automático no *slider*, identificando o marcador em questão e a página do livro onde este se encontra (ver Capítulo 5), e ao mesmo tempo são também apresentados os conteúdos definidos para aquele marcador. Na deteção de um marcador indicado como *Extended Tracker* (permite instanciar um modelo em modo persistente numa determinada posição, não dependendo de um marcador

para se manter ativo), são automaticamente ativados elementos de interface que permitem a instanciação do modelo numa posição do mundo real (ver Figura 37).

Módulo de instanciação de marcadores e conteúdos

Para a instanciação de marcadores foi utilizada a seguinte abordagem: a base de dados de marcadores é gerada no portal do *Vuforia* (Figura 22) e os ficheiros de configuração da mesma são descarregados e armazenados no sistema de ficheiros do servidor, sendo enviados para os clientes (aplicação XRBook) quando requisitados.

The screenshot shows the Vuforia engine developer portal's Target Manager section. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Pricing, Downloads, Library, Develop (which is currently selected), and Support. On the right, there is a user greeting 'Hello zeprocha' and a Log Out link. Below the navigation bar, there are two tabs: 'License Manager' and 'Target Manager', with 'Target Manager' being the active tab. Underneath the tabs, a breadcrumb navigation shows 'Target Manager > GuardaRios'. The main content area is titled 'GuardaRios' with a 'Edit Name' link and a note that it is a 'Type: Device'. A table lists eight targets, each with a checkbox, a thumbnail image, a name (e.g., 0006, 0005, 0007, 0001, 0000, 0003, 0004, 0002), its type (Single Image), rating (4 stars), status (Active), and date modified. There are buttons for 'Add Target' and 'Download Database (All)'.

| Target Name | Type | Rating | Status | Date Modified |
|-------------|--------------|--------|--------|--------------------|
| 0006 | Single Image | ★★★★★ | Active | Aug 23, 2019 11:31 |
| 0005 | Single Image | ★★★★★ | Active | Aug 23, 2019 11:24 |
| 0007 | Single Image | ★★★★★ | Active | Aug 23, 2019 11:24 |
| 0001 | Single Image | ★★★★★ | Active | Aug 20, 2019 11:02 |
| 0000 | Single Image | ★★★★★ | Active | Jun 19, 2019 09:09 |
| 0003 | Single Image | ★★★★★ | Active | Jun 19, 2019 09:08 |
| 0004 | Single Image | ★★★★★ | Active | Jun 19, 2019 09:08 |
| 0002 | Single Image | ★★★★★ | Active | Jun 19, 2019 09:08 |

Figura 22.: Vuforia Target Manager (criação da BD de marcadores)

Na execução de uma experiência de RA, a aplicação XRBook responsabiliza-se por criar a base de dados de marcadores em runtime, pela leitura dos ficheiros de configuração da base de dados armazenados no *PersistentPath* da aplicação, que foram previamente descarregados do servidor (Excerto 4.17).

```
// ...
DataSet dataSet = objectTracker.CreateDataSet();
```

```

string datasetPath = Application.persistentDataPath + "/session/" +
    Vars.bookIdSelected + "/" + Vars.experienceSelected + "/";

string dataset = Directory.GetFiles(datasetPath, "*.xml",
    SearchOption.TopDirectoryOnly) [0];

dataSet.Load(dataset, VuforiaUnity.StorageType.STORAGE_ABSOLUTE);

objectTracker.ActivateDataSet(dataSet);

```

Excerto 4.17: Criação da base de dados de marcadores em runtime

Relativamente à instanciação de conteúdos, a aplicação XRBook está preparada para lidar com variados tipos de dados, existindo um mecanismo de instanciação que difere consoante o tipo destes. A aplicação pode instanciar objetos do tipo:

- “AssetBundle”: este tipo de objetos são gerados no *Unity*. *AssetBundles* são conjuntos de objetos e *scripts* agregados num único *bundle*. A geração de *AssetBundles* permitiu não só adicionar mais interatividade aos objetos, pela adição de *custom scripts* a estes, como também reduzir substancialmente o tamanho destes objetos, assim como agilizar o processo de instânciação e reduzir o numero de problemas (incompatibilidades) que podem surgir ao instanciar um modelo 3D, resultantes da utilização de diferentes programas de modelação e diferentes técnicas de modelação. Para instanciar *AssetBundles* recorreu-se à API nativa do *Unity* (Excerto 4.18).

```

public void LoadAssetBundle(string bundleURL, string assetName,
    string key, string[] position, string[] rotation, string[]
    scale, string animationLoop) {
    bundle = AssetBundle.LoadFromFile(bundleURL);
    GameObject asset =
        bundle.LoadAsset(bundle.GetAllAssetNames() [0],
            typeof(GameObject)) as GameObject;
    GameObject inst = Instantiate(asset) as GameObject;
    bundle.Unload(false);
    GameObject root = new GameObject();
    root.gameObject.name = key;
    inst.gameObject.transform.SetParent(root.transform);
    //... sets object properties & add to objectsList to be
    instantiated
}

```

Excerto 4.18: Instanciação de AssetBundles

- "Object": para a instanciação de objetos recorre-se à biblioteca *Trilib*, que suporta mais de 40 formatos de objetos 3D, entre os quais ".fbx", ".obj", ".3DS" e ".Blend". O código responsável pela instanciação de objetos 3D é apresentado no [Excerto 4.19](#).

```
//...
using (var assetLoader = new AssetLoader())
{
    GameObject root = new GameObject();

    GameObject _loadedGameObject =
        assetLoader.LoadFromFileWithTextures(contentsPath,
        assetLoaderOptions);
    _loadedGameObject.transform.SetParent(root.transform);

    // sets object properties & add to objectsList to be
    // instantiated
}
```

Excerto 4.19: Instânciação de objetos 3D usando o asset Trilib

- "Sound": pela utilização a **API** nativa do *Unity*, que permite carregar ficheiros de áudio de variados formatos, nomeadamente ".aif", ".wav", ".mp3", ".ogg", ".xm", ".mod", ".it", e ainda ".s3m". O método utilizado para a instanciação de ficheiros de áudio é apresentado no [Excerto 4.20](#).

```
IEnumerator LoadAudioFromPath(string audioFilePath, GameObject obj)
{
    using (WWW www = new WWW("file://" + audioFilePath))
    {
        while (!www.isDone)
            yield return null;
        obj.gameObject.GetComponent< AudioSource >().clip =
            www.GetAudioClip();
        www.Dispose();
    }
}
```

Excerto 4.20: Instanciação de ficheiros de áudio

- "Video": pela utilização a **API** nativa do *Unity*, que permite carregar ficheiros de vídeo de diferentes formatos como ".mp4", ".mov", ".webm", e ".wmv". O código utilizado para a instanciação de ficheiros de video é apresentado no [Excerto 4.21](#).

```
//...
```

```
GameObject originalObject = item.Value.transform
    .GetComponentInChildren<MeshRenderer>().gameObject;

originalObject.AddComponent<TouchPlayVideo>();
originalObject.AddComponent<BoxCollider>();
originalObject.AddComponent<VideoPlayer>();
originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().renderMode =
    VideoRenderMode.MaterialOverride;
originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().url = "file://" +
    contentPath;
originalObject.GetComponent<Renderer>().material.SetColor("_Color",
    Color.white);

if (actionInfo.Autoplay == "True")
    originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().playOnAwake = true;
else
    originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().playOnAwake = false;

if (actionInfo.Loop == "True")
    originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().isLooping = true;
else
    originalObject.GetComponent<VideoPlayer>().isLooping = false;
```

Exerto 4.21: Instanciação de ficheiros de vídeo

Depois de instanciar tanto os marcadores como os conteúdos, a aplicação faz a ligação entre estes, seguindo a lógica definida na experiência. É neste momento da execução da aplicação que são atribuídos os *scripts* de interações aos objetos correspondentes, como os responsáveis pela deteção dos marcadores, deteção de toques, ou qualquer outro tipo de interação como comandos de voz, *timers*, etc, assim como os *scripts* de animações como ativar e desativar objetos, abrir páginas *web*, escalar objetos, alterar posições, mudar cores, etc. Durante este processo é também definido se o conteúdo será instaciado no modo *Extended Tracking*, sendo executadas as operações que permitem esta funcionalidade (utilização de scripts que permite a deteção de planos, utilização de scripts que permitem a ancoragem dos objetos a planos, preparação do interface para a funcionalidade de *Extended Tracking*, ...).

4.4 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO

O workflow de utilização da aplicação XRBook foi sumariado na Figura 23:

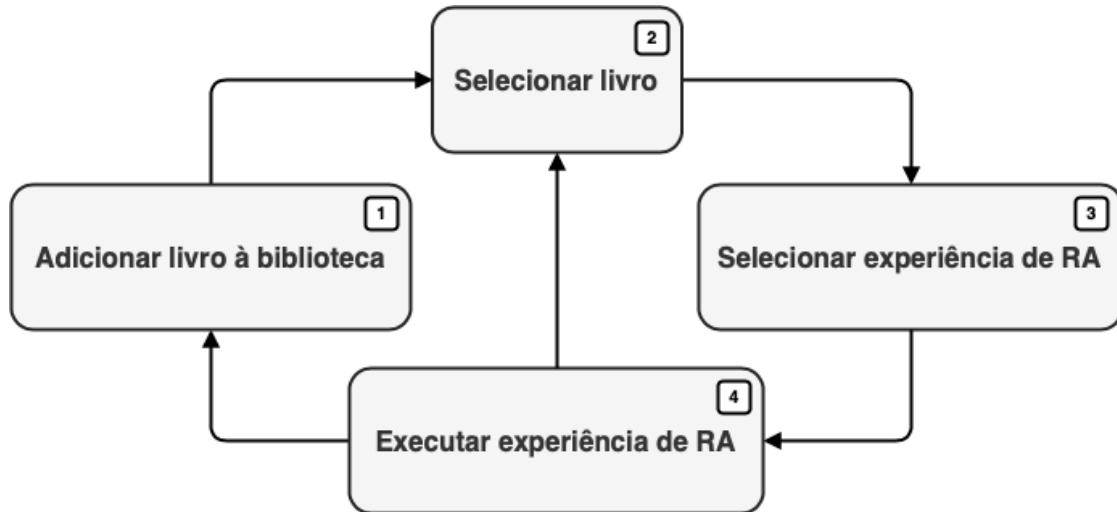


Figura 23.: Workflow de utilização

Ao iniciar a aplicação pela primeira vez, a câmara ativa-se automaticamente, sendo apresentada uma mensagem que indica ao utilizador que faça gestos de *pinch* no ecrã (Figura 24), de modo a seleccionar mais cuidadosamente a capa do livro, o que permite ao servidor identificar correctamente o mesmo (através de, por exemplo, mecanismos de *Optical Character Recognition (OCR)*).



Figura 24.: Seleção da capa do livro

A zona seleccionada pelo utilizador é convertida em imagem e enviada para o servidor, que responde com uma mensagem bem estruturada (apresentada no Apêndice A). De seguida, esta mensagem é manipulada pela aplicação cliente, executando as tarefas inerentes ao processo de tratamento e armazenamento da mensagem, abordadas na Seção 4.3.

Terminado este processo, é apresentado ao utilizador um painel informativo com os detalhes do livro em questão, sendo o livro adicionado automaticamente à biblioteca de livros (Figura 25).

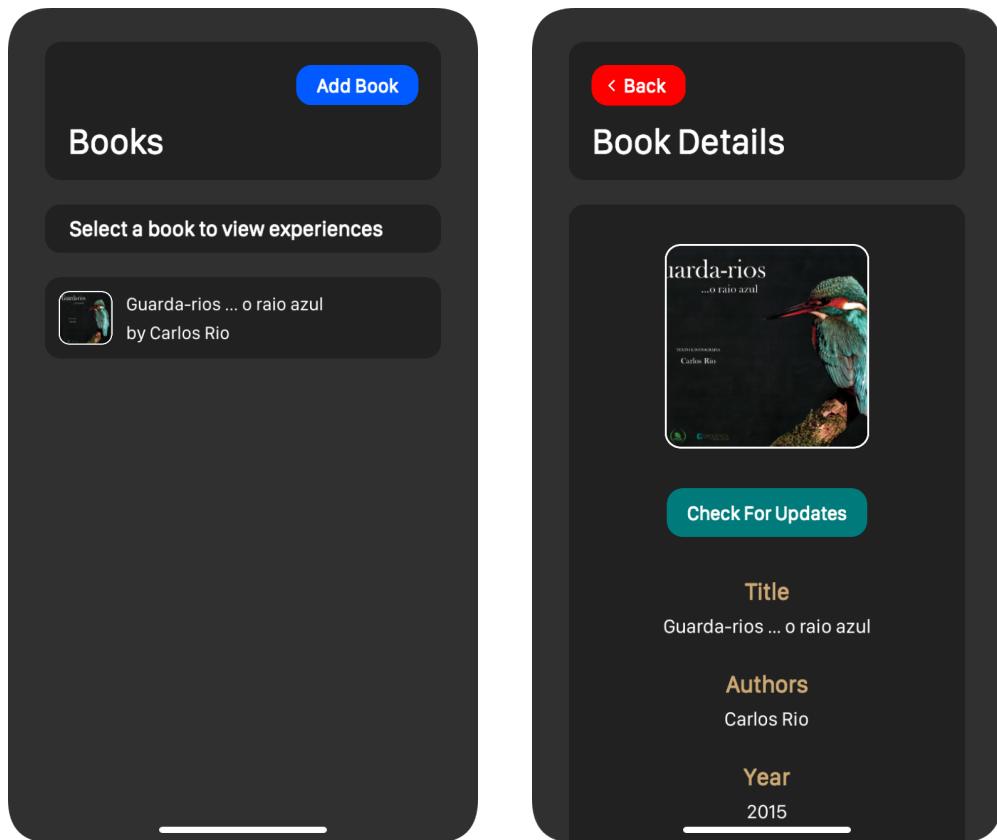


Figura 25.: Biblioteca de livros (à esquerda), detalhes do livro (à direita)

A qualquer momento o utilizador pode adicionar um novo livro à sua coleção, clicando no botão "Add Book", visível no topo do painel da biblioteca de livros.

Depois da seleção do livro por parte do utilizador, é apresentado um novo painel que descreve as experiências existentes para o livro em questão. O utilizador deverá escolher uma das experiências e proceder ao *download* dos conteúdos inerentes à mesma (Figura 26).

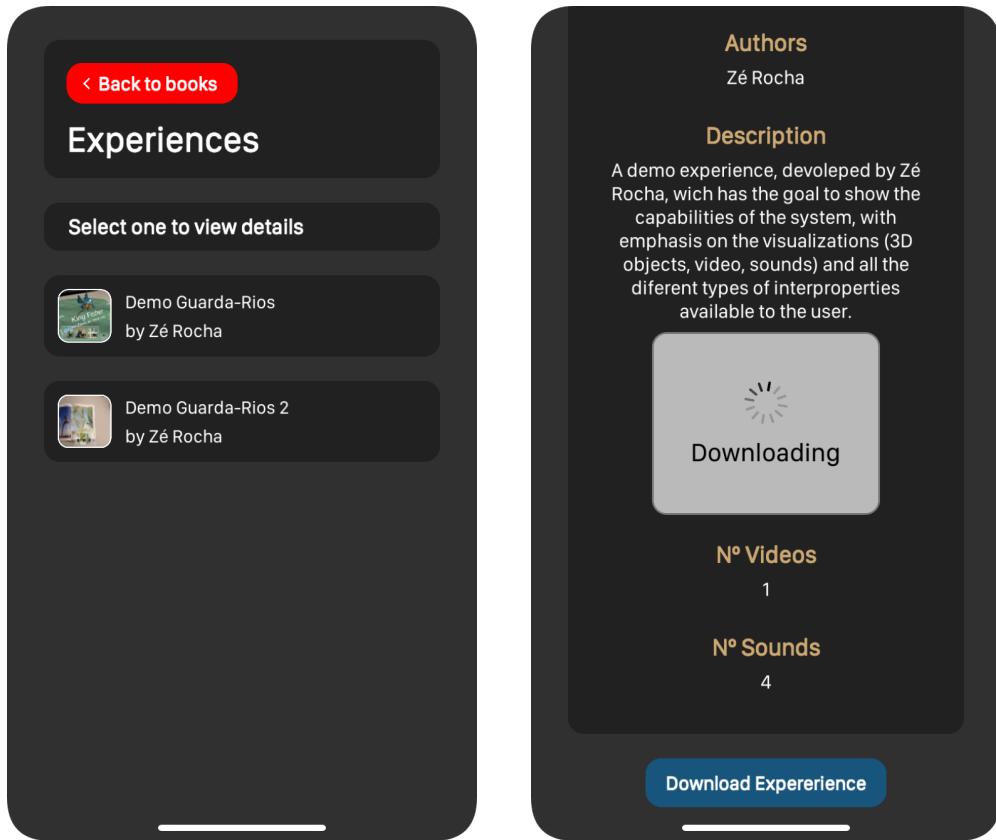


Figura 26.: Lista de experiências relativas a um livro (à esquerda), download e instanciação de uma experiência (à direita)

Concluído o download, dá-se a instanciação dos marcadores e dos conteúdos digitais a serem visualizados, seguindo a lógica estabelecida na especificação, que foi previamente armazenada na diretoria da aplicação. No fim deste processo, o utilizador é automaticamente remetido para a experiência de RA propriamente dita (Figura 27). O interface da parte de RA da aplicação é composto por um *slider* de marcadores, que permite ao utilizador saber quais as páginas onde pode ser visualizado conteúdo de RA. Note-se que este *slider* é actualizado automaticamente consoante o marcador captado pelo motor de RA.



Figura 27.: Exemplo de conteúdo de uma experiência

Uma vez descarregada uma experiência, sempre que o utilizador iniciar a aplicação poderá executar a mesma sem necessidade de a descarregar novamente.

A qualquer momento o utilizador poderá também verificar a existência de atualizações para as experiências de um determinado livro, clicando no botão "verificar atualizações" que se encontra no painel de detalhes do livro (Figura 28).

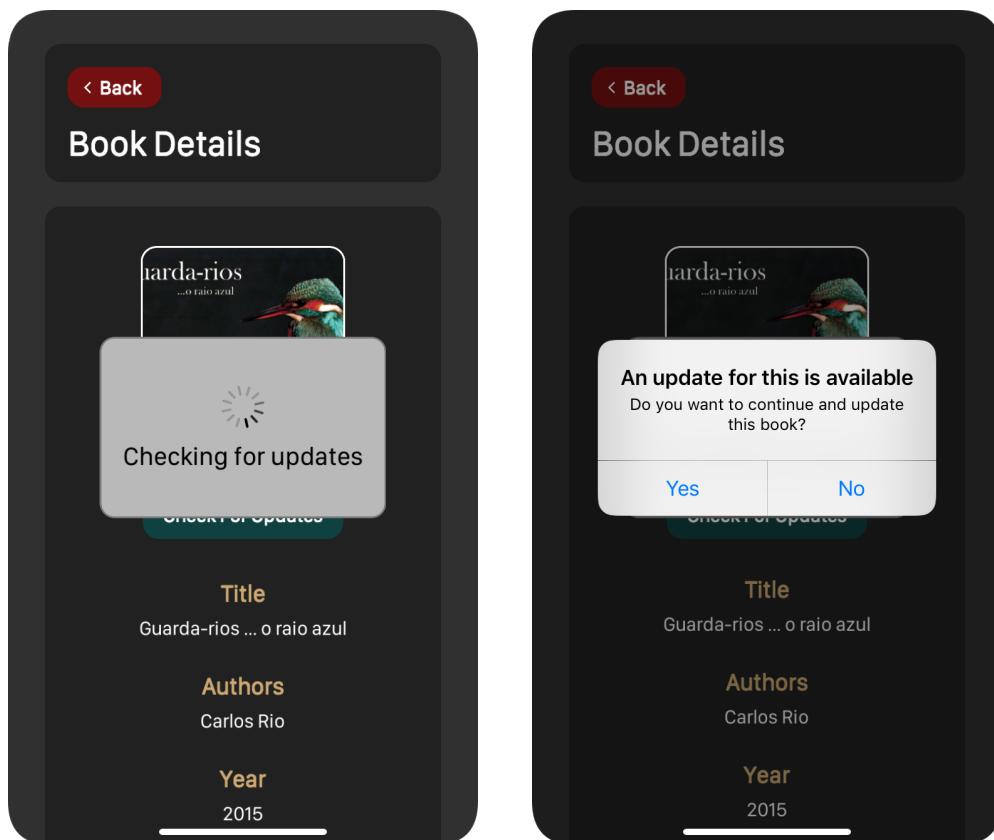


Figura 28.: Verificação de atualizações

5

TESTES

Nesta secção serão apresentados os casos práticos (experiências de RA) desenvolvidos com intuito de demonstrar as capacidades e funcionalidades do sistema. A construção destas experiências serviu também de suporte ao desenvolvimento da própria aplicação, uma vez que estas são os inputs da aplicação, que manipula, descarrega e instância os conteúdos nelas descritos.

Foram utilizados dois livros distintos ("Guarda-rios ... o raio azul", de Carlos Rio, e "Arca de Noe", de Susanne Brandt e Klaus-Uwe Nommensen) com o objetivo de demonstrar a funcionalidade de armazenamento de diferentes livros, e para cada livro foram ainda desenvolvidas uma ou mais experiências, no sentido de demonstrar a possibilidade de escolha de uma experiência por parte do utilizador (Figura 29).

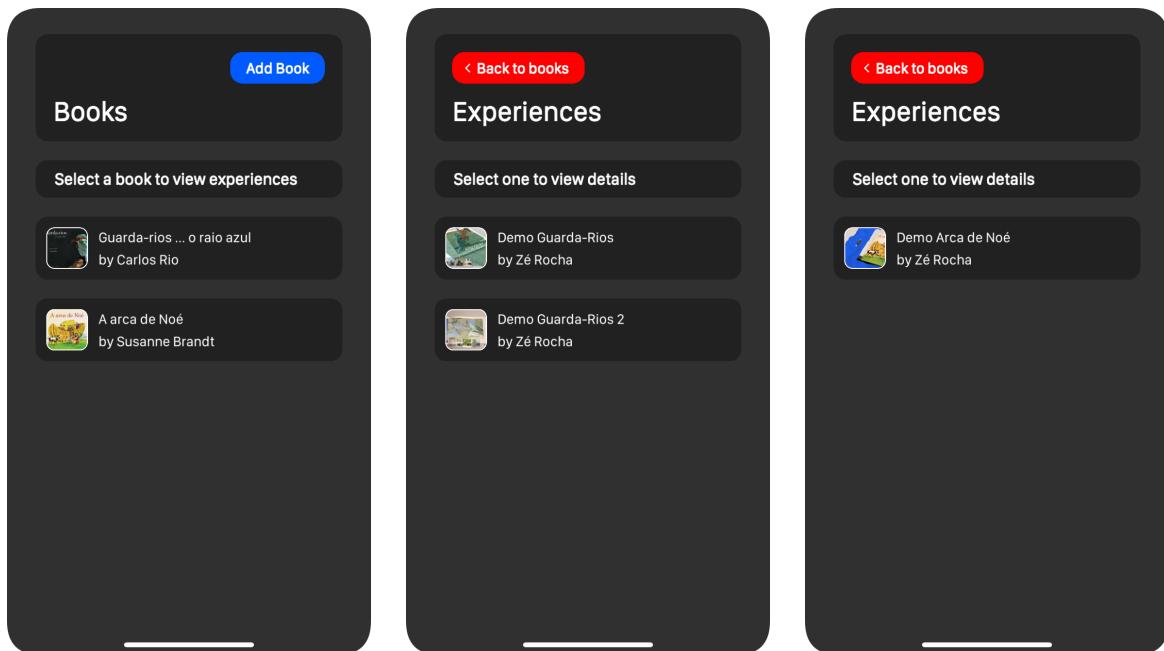


Figura 29.: Livros utilizados e demos desenvolvidas

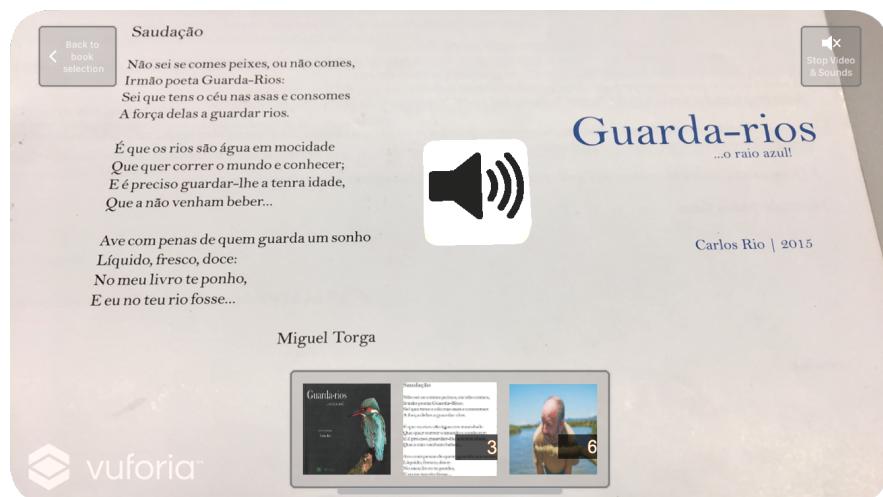
A experiência de RA principal foi desenvolvida com base no livro "Guarda-rios ... o raio azul", sendo por isso alvo de destaque. Esta experiência foi construída com base em modelos 3D animados, vídeos e sons, assim como em diferentes eventos que podem ser despoletados, seja pelo reconhecimento de marcadores ou por *inputs (clicks)* em objetos digitais, por parte do utilizador. Assim, o utilizador pode:

- Visualizar objetos 3D animados nas páginas do livro, acompanhados de sons ambiente, que tentam aumentar o conteúdo disponível nas mesmas ([Figura 30](#));



[Figura 30.: Objeto 3D animado - pássaro voando à volta da árvore](#)

- Reproduzir um som (leitura do poema de saudação), através de um click num objeto 3D (botão) que aparece na página de saudação ([Figura 31](#));



[Figura 31.: Botão 3D que reproduz o poema de saudação](#)

- Abrir páginas *web* no navegador predefinido do smartphone em utilização, através de um *click* num objeto 3D (botão), que reencaminha para a página *web* da rede social correspondente, onde é apresentada informação sobre o autor (Figura 32).



Figura 32.: Botões 3D que reencaminham para as redes sociais do autor

- Mostrar um painel com informações complementares à página em questão, onde são apresentadas informações sobre as espécies, como as mais ameaçadas, as que se encontram em vias de extinção, as suas classificações em termos de tamanho e dieta (Figura 34), através de um *click* num objeto 3D (Figura 33).



Figura 33.: Objeto 3D animado, receptível a *clicks* do utilizador

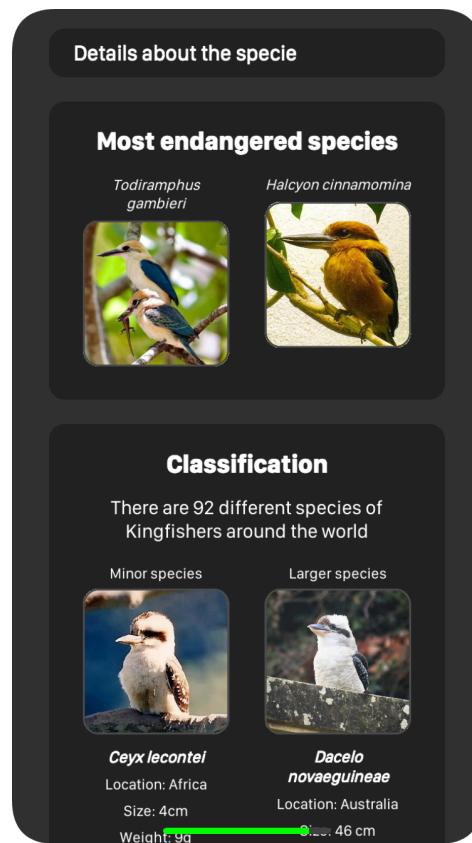


Figura 34.: Painel com informações complementares sobre a espécie

- Visualizar as localizações da espécie em Portugal, através de clicks nas áreas acinzentadas semi-transparentes que aparecem por cima de cada uma das imagens (que representam diferentes localizações), realçando a área correspondente no mapa com uma animação de zoom in-out e colorindo a mesma, permitindo visualizar a distribuição espacial das espécies em Portugal (Figura 35);



Figura 35.: Botões que realçam a distribuição da espécie em Portugal

- Reproduzir e recomeçar a reprodução de um vídeo complementar à informação disponível na página, através de clicks no objeto onde o vídeo é reproduzido ([Figura 36](#));



Figura 36.: Reprodução de um vídeo num objeto 3D

- Instanciar um “mundo virtual” num local desejado ([Figura 37](#)), e navegar no interior do mesmo com *Six degrees of freedom* (6DoF), através da funcionalidade de *Extended Tracking*. Este mundo virtual surge como uma tentativa de simular o ecossistema natural das espécies de Guarda-Rios, proporcionando ao utilizador uma experiência imersiva e apelativa em que este pode deslocar-se por todo o ambiente simulado e observar todo o ecossistema ao pormenor ([Figura 39](#) & [Figura 40](#)).

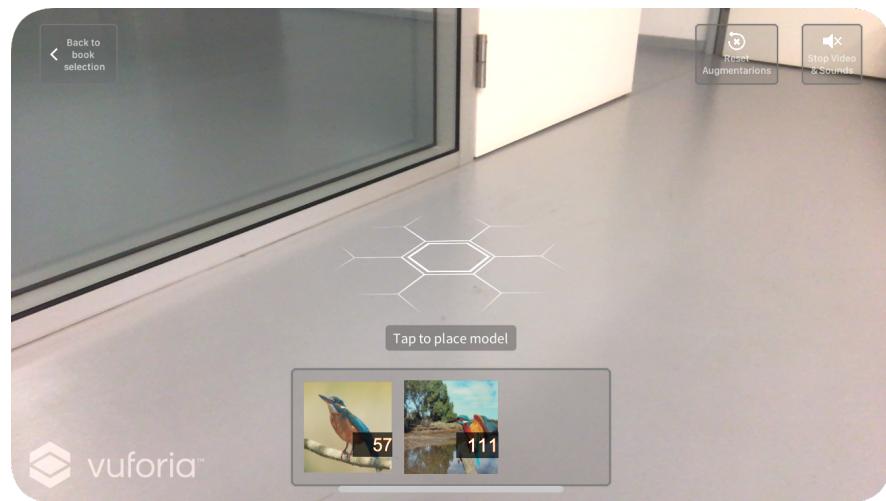


Figura 37.: Tracking de um plano para instanciar um modelo em Extended Tracking



Figura 38.: Cenário de Extended Tracking (1)



Figura 39.: Cenário de Extended Tracking (2)



Figura 40.: Cenário de Extended Tracking (3)

6

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Perante o presente estudo, é facilmente reconhecível que a **Realidade Aumentada (RA)** é uma tecnologia que promete ajudar na transformação dos livros em artefactos dinâmicos, passíveis de actualizações, fazendo a ponte entre o livro físico como objeto isolado e informação digital disponível na *web*, e assim transformando também o ato de leitura numa tarefa muito mais rica, imersiva e interativa.

Nesta dissertação é apresentada uma aplicação de **RA** genérica, para as diferentes plataformas móveis existentes (Android e iOS), que pretende enriquecer todo e qualquer livro físico sem a necessidade de alteração do mesmo. A aplicação em descrição funciona como um motor de experiências de **RA** que são descarregadas de um servidor remoto. Para tal, foi apresentado um modelo de especificação de experiências de **RA** que permite a criação destas experiências, onde são definidos os conteúdos a serem apresentados, as propriedades desses conteúdos, os marcadores a serem detetados, os eventos que podem ser despoletados pelo utilizador e toda a lógica envolvida neste processo.

Com intuito de apresentar as capacidades do sistema, foram desenvolvidas duas experiências de **RA** que permitiram demonstrar todo o processo envolvido, como o descarregamento destas a partir de um servidor remoto, o seu armazenamento na biblioteca de livros da aplicação, a instanciação dos conteúdos e a apresentação destes aquando da deteção dos respectivos marcadores.

Em termos de limitações, é possível afirmar que todos os conteúdos usados nas experiências de **RA** precisam ser cuidadosamente selecionados, uma vez que estes conteúdos são descarregados e instanciados pela aplicação. Os objetos 3D utilizados deverão estar num dos formatos suportados pelo *Asset Trilib*, que é responsável pela instanciação dos mesmos, sendo que este suporta mais de quarenta tipos de objetos diferentes. No entanto, são inúmeros os problemas que podem surgir ao instanciar-se um objeto, fruto de incompatibilidades que surgem da utilização de diferentes programas de modelação e/ou diferentes técnicas de modelação. Para além disso, estes objetos deverão ter o menor tamanho possível, sempre inferior a 50Mb para garantir o bom funcionamento da aplicação, uma vez que a descarga de objetos de grande tamanho torna-se numa operação lenta, e a posterior instanciação destes ser uma operação que consome muitos recursos (principalmente memória RAM), podendo levar ao esgotamento da mesma e ao consequente fecho da aplicação.

Importa por isso referir que num futuro próximo são várias as vantagens de que esta solução poderá tirar partido. As ferramentas de desenvolvimento adotadas (apresentadas na secção [Seção 4.1](#)), são constantemente atualizadas, trazendo novas funcionalidades e correções de erros, sendo que as limitações apresentadas anteriormente poderão ser ultrapassada com a atualização do *asset* responsável pela instanciação dos objetos 3D (para a versão 2.0, que tal como indicado pelo autor do próprio *asset*, esta nova versão tem em vista a correção dos *leaks* de memória e a compatibilidade com mais técnicas de modelação e diferentes arquiteturas de dispositivos). Para além disto, tanto o motor de aplicação (*Unity*) como o motor de [RA](#) (*Vuforia*) vão continuar a ser atualizados, possibilitando melhorias de qualidades essenciais para a interação e a imersão dos utilizadores, como uma melhor performance de aplicação e de rastreamento, assim como outras funcionalidades adicionais. Ainda nesta ótica, é importante referir que o lançamento e expansão da rede 5G traz consigo inúmeros benefícios para este tipo de aplicações, uma vez que vem permitir não só a rápida descarga de conteúdos como também a possibilidade de processamento gráfico em grandes centros de computação remotos, sendo apenas transmitido para o dispositivo do utilizador um *stream* que pode ser reproduzido como um simples vídeo. Para além disto, importam também perceber que

Muito pode ser feito para acompanhar este trabalho promissor. É mandatário a criação e disponibilização de múltiplas experiências para qualquer livro, a fim de dar ao utilizador a opção de executar a experiência que desejar, havendo por isso a necessidade de uma plataforma colaborativa que permita a múltiplos utilizadores (empresas, editores ou simples utilizadores) construírem facilmente experiências de [RA](#). Esta plataforma de gestão de conteúdos deverá ser, por isso, um portal na Web que permita, de forma muito visual, a construção e disponibilização de múltiplas experiências de [RA](#) a todos os utilizadores. Para além disso, esta plataforma deverá estar dotada de mecanismos que permitam a identificação do livro, pela aplicação de, por exemplo, mecanismos de *Optical Character Recognition (OCR)* à capa do livro que é enviado pela aplicação cliente.

O modelo de especificação de experiências de [RA](#) é também muito promissor e apresenta imenso potencial. Este pode ser fortemente explorado, podendo facilmente ser adicionadas uma vasta gama de novos eventos e interações, como timers, gestos, *long press's*, novas interações e animações customizadas, comandos de voz, ou até mesmo *easter eggs* como a deteção de marcadores externos juntamente com uma página do livro, de forma a despoletar alguma reacção visual ou auditiva que capte a atenção do leitor. Para além disto, podem também ser definidas diferentes tipos de plataformas para executar as experiências, como projetores, livros electrónicos (livros com componentes electrónicos), ou outro qualquer tipo de dispositivo electrónico com suficiente poder computacional.

BIBLIOGRAFIA

- Altinpulluk, H. and Kesim, M. (2016). The Classification of Augmented Reality Books: A Literature Review.
- Auer, T. and Pinz, A. (1999). The integration of optical and magnetic tracking for multi-user augmented reality. *Computers & Graphics*, 23:805–808.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., and Macintyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. IEEE Comput Graphics Appl. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21:34 – 47.
- Azuma, R., Weon Lee, J., Jiang, B., Park, J., You, S., and Neumann, U. (1999). Tracking in unprepared environments for augmented reality systems. *Computers & Graphics*, 23:787–793.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. 6:355–385. Disponível em <http://www.cs.unc.edu/~azumaW/>.
- BBC News (2013). Young people ‘prefer to read on screen’. Disponível em <https://www.bbc.com/news/education-22540408/>.
- Billinghurst, M. (2002). Augmented Reality in Education. Disponível em http://www.it.civil.aau.dk/it/education/reports/ar_edu.pdf/.
- Billinghurst, M. and Henrysson, A. (2006). Research Directions in Handheld AR. *IJVR*, 5:51–58.
- Billinghurst, M., Kato, H., and Poupyrev, I. (2001). The magicbook - moving seamlessly between reality and virtuality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21:6 – 8.
- Billinghurst, M. and Thomas, B. H. (2011). Mobile Collaborative Augmented Reality. In W. Huang and L. Alem (Ed.), Recent Trends of Mobile Collaborative Augmented Reality Systems. pages 1–1–9. Disponível em <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-9845-3/>.
- Blippar (2013). Layar. Disponível em <https://www.layar.com/>.
- BWW News Desk (2014). New Children’s Book ‘Wuxia the Fox’ is Released. Disponível em <https://www.broadwayworld.com/bwwbooks/article/New-Childrens-Book-Wuxia-the-Fox-is-Released-20140415/>.

- CNBC (2018). Here's a good explanation on how the \$2,295 Magic Leap One headset works. Disponível em <https://www.cnbc.com/2018/08/24/how-magic-leap-works-ifixit-teardown.html/>.
- Cuendet, S., Bonnard, Q., Do-Lenh, S., and Dillenbourg, P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68:557–569. Disponível em <https://infoscience.epfl.ch/record/181631/files/finalVersion.pdf/>.
- Datcu, D., Cidota, M., Lukosch, H., and Lukosch, S. (2014). On the Usability of Augmented Reality for Information Exchange in Teams from the Security Domain. In *Proceedings - 2014 IEEE Joint Intelligence and Security Informatics Conference, JISIC 2014*, pages 160–167.
- Delello, J. A. (2014). Insights from pre-service teachers using science-based augmented reality. *Journal of Computers in Education*, 1(4):295–311. Disponível em <http://link.springer.com/10.1007/s40692-014-0021-y/>.
- DEVAR (2019). Animals Encyclopedia. Disponível em https://devar.org/catalog/encyclopedias/wow{_}animals/.
- Dunleavy, M., Dede, C., and Mitchell, R. (2009). Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18:7–22.
- E. Rash, C., E. Kalich, M., K. Viskup, B., N. Tillman, N., G. Ramiccio, J., and E. McLean, W. (2009). A Limited Rotary-Wing Flight Investigation of Hyperstereo in Helmet-Mounted Display Designs. page 111.
- El Sayed, N. A., Zayed, H. H., and Sharawy, M. I. (2011). ARSC: Augmented reality student card. *Computers & Education*, 56(4):1045–1061. Disponível em <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131510003040/>.
- Feiner, S. K. (2002). Augmented Reality: A New Way of Seeing. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/9eee/ec18831498e149b1240a04f7b9bcf6cda264.pdf/>.
- Games, J. H. (2013). Jack Hunter: The French Connection. Disponível em <https://www.underthechristmastree.co.uk/jack-hunter-the-french-connection-augmented-reality-book/>.
- Gordon, I. and Lowe, D. G. (2004). Scene Modelling, Recognition and Tracking with Invariant Image Features. Disponível em <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/gordon04.pdf/>.
- Grasset, R., Dünser, A., and Billinghurst, M. (2008). The design of a mixed-reality book: Is it still a real book? *2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 99–102.
- Grimm, B. C. (2017). Goodnight Lad. Disponível em <https://www.goodnightlad.com/>.

- Harmony Studios (2017). Mardles Story Books. Disponível em <https://www.harmony.co.uk/mardles-stories-that-come-to-life/>.
- Heim, S. (2007). *The Resonant Interface: HCI Foundations for Interaction Design*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
- Hillesund, T. (2010). Digital reading spaces: How expert readers handle books, the Web and electronic paper. *First Monday*, 15(4). Disponível em <https://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/2762/2504/>.
- HP (2018). HP Reveal. Disponível em <https://studio.hpreveal.com/landing>.
- Huang, W. and Alem, L. (2013). Gesturing in the air: Supporting full mobility in remote collaboration on physical tasks. *J. UCS*, 19:1158–1174.
- Huang, W., Alem, L., and Tecchia, F. (2013). HandsIn3D: Supporting Remote Guidance with Immersive Virtual Environments. pages 70–77. Disponível em http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-40483-2_5/.
- Kisielnicki, J., Kirner, C., and G. Kirner, T. (2008). Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization. pages 897–921.
- Livingston, M. A. and State, A. (1997). Magnetic Tracker Calibration for Improved Augmented Reality Registration. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6:532–546.
- Lowney, M. and Raj, A. S. (2016). Model Based Tracking for Augmented Reality on Mobile Devices. Disponível em https://pdfs.semanticscholar.org/1e28/01377f69f75d5ed362ec3bcaa6e8673518f5.pdf?_ga=2.23440508.770319820.1548933739-2010902338.1547757680/.
- Mangen, A. (2001). Hypertext fiction reading: haptics and immersion. *Jewitt*. Disponível em https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/183923/Hypertext_fiction_reading.pdf/.
- Mann, S. (2001). *Intelligent Image Processing*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
- Mara Lecocq, N. A. (2018). Rox's Secret Code. Disponível em <https://www.yoursecretcode.com/>.
- McKenzie, J. and Darnell, D. (2003). The eyeMagic Book A Report into Augmented Reality Storytelling in the Context of a Children's Workshop. Disponível em <http://www.mindspacesolutions.com/demos/eyeMagicWorkShopReport.pdf/>.
- Microsoft Docs (2018). Spatial mapping. Disponível em <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/spatial-mapping/>.

- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/228537162_Augmented_reality_A_class_of_displays_on_the_reality-virtuality_continuum/.
- Mostrom, N. (1975). Head mounted displays.
- Next Reality (2018). What's the Difference Between HoloLens, Meta 2 & Magic Leap? Disponível em <https://next.reality.news/news/whats-difference-between-hololens-meta-2-magic-leap-0181804/>.
- Next Reality (2019). AR Startup Meta Company Shuts Down Amid Asset Foreclosure Sale, Patent Fight, & Executive Departures. Disponível em <https://next.reality.news/news/ar-startup-meta-company-shuts-down-amid-asset-foreclosure-sale-patent-fight-executive-departures-0192384/>.
- Noh K, Ji H, & L. S. (2010). Effects of classes using augmented reality content on learning achievement, interest, immersion. *Journal of Korea Contents Association*, 10(2):1-13.
- Pereira, J. B. and Pereira, J. M. (2008). TARCAST: Uma Taxonomia para Sistemas de Realidade Aumentada. Disponível em <http://www.inesc-id.pt/ficheiros/publicacoes/2817.pdf/>.
- Pérez-López, D. and Contero, M. (2013). Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: a case study on its impact on knowledge acquisition and retention. 12(4). Disponível em <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1018026.pdf>.
- Poelman, R., Akman, O., Lukosch, S., and Jonker, P. (2012). As if being there: Mediated reality for crime scene investigation. pages 1267-1276.
- Porto Editora (2017). Alfa ganha vida em Histórias de 5 minutos. Disponível em <https://www.portoeditora.pt/noticias/alfa-ganha-vida-em-historias-de-5-minutos/119102/>, urldate = 2019-01-31.
- Rolland, J. P. and Fuchs, H. (2000). Optical Versus Video See-Through Head-Mounted Displays in Medical Visualization. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 9(3):287-309. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/220089776_Optical_Versus_Video_See-Through_Head-Mounted_Displays_in_Medical_Visualization/.
- Seebright (2016a). Seebright Ripple 2. Disponível em <https://seebright.com/seebright-ripple2/>.
- Seebright (2016b). Seebright Wave Innovator Edition. Disponível em <https://seebright.com/seebright-wave/>.

- Shelton, B. (2002). Augmented Reality and Education: Current Projects and the Potential for Classroom Learning. *ITLS Faculty Publications*.
- Shelton, B. (2003). *How augmented reality helps students learn dynamic spatial relationships*.
- Shelton, B. and Hedley, N. (2002). Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students. In *Paper presented at the 1st IEEE international augmented reality toolkit workshop, Darmstadt, Germany*, page 8 pp. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/3980439_Using_augmented_reality_for_teaching_Earth-Sun_relationships_to_undergraduate_geography_students/.
- Shelton, B. and Hedley, N. (2004). Exploring a Cognitive Basis for Learning Spatial Relationships with Augmented Reality. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1(4). Disponível em https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1091&context=itls_facpub/.
- Specht, M., Ternier, S., and Greller, W. (2011). Dimensions of Mobile Augmented Reality for Learning: A First Inventory. pages 117–127.
- Steimle, J. (2012). *Pen-and-Paper User Interfaces: integrating printed and digital documents*.
- Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. In *AFIPS Fall Joint Computing Conference*.
- Sutori (2018). History of VR/AR and impact on our future. Disponível em <https://www.sutori.com/story/history-of-vr-ar-and-impact-on-our-future-jumdqX8wK3NXsQVpZbuYUtj/>,
- Sırankaya, M. and Seferoglu, S. (2016). Öğrenme Ortamlarında Yeni Bir Araç: Bir Eğitlence Uygulaması Olarak Artırılmış Gerçeklik. pages 417–438.
- TechRadar (2019). Magic Leap One release date, price and features. Disponível em <https://www.techradar.com/news/magic-leap-one/>.
- Tobias, S. and Duffy, T. M. (2009). *Constructivist Instruction: Success or Failure?* Taylor & Francis Group, New York, NY, US.
- Tudocelular (2017). Finalmente! Google Glass se torna produto oficial como 'Enterprise Edition'. Disponível em <https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n96843/google-glass-enterprise-edition.html/>.
- Unity Blog (2018). Unity's Handheld AR Ecosystem: AR Foundation, ARCore and ARKit. Disponível em <https://blogs.unity3d.com/pt/2018/12/18/unitys-handheld-ar-ecosystem-ar-foundation-arcore-and-arkit/>.
- Vallino, J. R. and Brown, C. M. (1998). Interactive Augmented Reality. Disponível em <http://www.se.rit.edu/~jrv/publications/VallinoThesis.pdf/>.

- Van Krevelen, D. W. F. and Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2):1–20. Disponível em <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.8190&rep=rep1&type=pdf/>.
- ViewAR (2016). ViewAR Augmented Reality SDK. Disponível em <https://www.viewar.com/>.
- VRFocus (2018). DAQRI Smartglasses Now Being Shipped To Customers. Disponível em <https://www.vrfocus.com/2017/11/daqri-smartglasses-now-being-shipped-to-customers/>.
- Wagner, D. and Supervisor Dieter Schmalstieg Referees Blair MacIntyre Mark Billinghurst, T. (2007). *Dissertation Handheld Augmented Reality*. PhD thesis, Graz University of Technology. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/e6ea/1793d4f0909e7fd6b76b6d8378913e8ecb8c.pdf/>.
- Wojciechowski, R. and Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*, 68:570–585.
- Wuest, H., Vial, F., and Stricker, D. (2005). Adaptive Line Tracking with Multiple Hypotheses for Augmented Reality. Disponível em <https://www.uni-koblenz.de/agas/DocsPubl/Wuest2005ALT.pdf/>.
- Wuxia the fox (2014). An ecological fable for the anthropocene kids. Disponível em <https://www.wuxiathefox.com/>.
- X-Development (2017). X - glass enterprise edition. Disponível em <https://www.x.company/projects/glass/>.
- XR, F. (2018). Tide Pools. Disponível em <https://farsightxr.com/portfolio/tide-pools-an-augmented-reality-book/>.
- Zarzuela, M. M., Díaz Pernas, F. J., Calzón, S. M., González Ortega, D., and Antón Rodríguez, M. (2013). Educational Tourism Through a Virtual Reality Platform. *Procedia Computer Science*, 25:382–388. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913012520/>.
- Zimmermann, A., Lorenz, A., and Oppermann, R. (2007). An Operational Definition of Context. In *Fraunhofer FIT*, volume 4635, pages 558–571. Disponível em <http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.159.8807&rep=rep1&type=pdf/>.

A

ESPECIFICAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DE RA

A.1 EXPERIÊNCIA GUARDA RIOS

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<book>
    <book_details>
        <id>1</id>
        <title>Guarda-rios ... o raio azul</title>
        <number_of_experiences>2</number_of_experiences>
        <thumbnail_url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Images/
            thumbnailBook.png</thumbnail_url>
        <authors>Carlos Rio</authors>
        <isbn>978-972-8002-27-5</isbn>
        <publisher>Tipografia Tadiense Lda.</publisher>
        <year>2015</year>
        <edition>First Edition</edition>
        <number_of_pages>112</number_of_pages>
    </book_details>
    <experiences>
        <experience>
            <id>1</id>
            <version>1.2</version>
            <name>Demo Guarda-Rios</name>
            <thumbnail_url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Images/
                thumbnailExp1.png</thumbnail_url>
            <authors>Zé Rocha</authors>
            <description>A demo experience , devoleped by Zé Rocha , wich has
                the goal to show the capabilities of the system , with
                emphasis on the visualizations (3D objects , video , sounds)
                and all the different types of interproperties available to
                the user.</description>
            <trackers_db_dat_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
                GuardaRios.dat</trackers_db_dat_url>
            <trackers_db_xml_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
                GuardaRios.xml</trackers_db_xml_url>
```

```

<experience_details>
  <experience_detail>
    <id>1</id>
    <contents>
      <content>
        <id>1</id>
        <type>Object</type>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
          Objects/Bird_Trunk.FBX</url>
        <is_extended>False</is_extended>
      </content>
      <content>
        <id>2</id>
        <type>Audio</type>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Audio/
          Bird_Trunk.wav</url>
        <is_extended>False</is_extended>
      </content>
    </contents>
    <trackers>
      <tracker>
        <id>1</id>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0000.
          jpg</url>
        <page>0</page>
      </tracker>
      <tracker />
    </trackers>
    <logics>
      <logic>
        <id>1</id>
        <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
        <properties>
          <properties_detail>
            <id>1</id>
            <command>ActivateContent(1)</command>
            <position>(0,0,0)</position>
            <scale>(0.004,0.004,0.004)</scale>
            <rotation>(0,180,0)</rotation>
            <loop>True</loop>
            <autoplay>True</autoplay>
          </properties_detail>
          <properties_detail>
            <id>2</id>
            <command>PlayContent(2)</command>
            <position />
          </properties_detail>
        </properties>
      </logic>
    </logics>
  </experience_detail>
</experience_details>

```

```

        <scale />
        <rotation />
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
    </properties_detail>
</properties>
</logic>
<logic />
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
<id>2</id>
<contents>
    <content>
        <id>1</id>
        <type>Object</type>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
            Objects/Sound_Icon.FBX</url>
        <is_extended>False</is_extended>
    </content>
    <content>
        <id>2</id>
        <type>Audio</type>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Audio/
            Saudacao.wav</url>
        <is_extended>False</is_extended>
    </content>
</contents>
<trackers>
    <tracker>
        <id>1</id>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0001.
            jpg</url>
        <page>3</page>
    </tracker>
    <tracker />
</trackers>
<logics>
    <logic>
        <id>1</id>
        <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
        <properties>
            <properties_detail>
                <id>1</id>
                <command>ActivateContent(1)</command>
                <position>(-0.9,0,0)</position>

```

```

        <scale>(0.5,0.5,0.5)</scale>
        <rotation>(0,180,0)</rotation>
        <loop />
        <autoplay />
    </properties_detail>
    <properties_detail />
</properties>
</logic>
<logic>
<id>2</id>
<expression>OnContentClick(1)</expression>
<properties>
    <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>PlayContent(2)</command>
        <position>1</position>
        <scale />
        <rotation />
        <loop>False</loop>
        <autoplay>False</autoplay>
    </properties_detail>
    <properties_detail />
</properties>
</logic>
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
    <id>3</id>
    <contents>
        <content>
            <id>1</id>
            <type>Object</type>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                Objects/Flickr_Icon.FBX</url>
            <is_extended>False</is_extended>
        </content>
        <content>
            <id>2</id>
            <type>Object</type>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                Objects/Blogger_Icon.FBX</url>
            <is_extended>False</is_extended>
        </content>
        <content>
            <id>3</id>
            <type>Object</type>
        </content>
    </contents>
</experience_detail>

```

```
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
    Objects/Facebook_Icon.FBX</url>
    <is_extended>False</is_extended>
</content>
<content>
    <id>4</id>
    <type>Object</type>
    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
        Objects/Instagram_Icon.FBX</url>
    <is_extended>False</is_extended>
</content>
<content>
    <id>5</id>
    <type>Object</type>
    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
        Objects/Kingfisher_Association_Icon.FBX</url>
    <is_extended>False</is_extended>
</content>
</contents>
<trackers>
    <tracker>
        <id>1</id>
        <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0002.
            jpg</url>
        <page>6</page>
    </tracker>
    <tracker />
</trackers>
<logics>
    <logic>
        <id>1</id>
        <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
        <properties>
            <properties_detail>
                <id>1</id>
                <command>ActivateContent(1)</command>
                <position>(0.4,0,0.4)</position>
                <scale>(0.25,0.25,0.25)</scale>
                <rotation>(0,180,0)</rotation>
                <loop />
                <autoplay />
            </properties_detail>
            <properties_detail>
                <id>2</id>
                <command>ActivateContent(2)</command>
                <position>(0,0,0.4)</position>
```

```

<scale>(0.25,0.25,0.25)</scale>
<rotation>(0,180,0)</rotation>
<loop />
<autoplay />
</properties_detail>
<properties_detail>
<id>3</id>
<command>ActivateContent(3)</command>
<position>(-0.4,0,0.4)</position>
<scale>(0.25,0.25,0.25)</scale>
<rotation>(0,180,0)</rotation>
<loop />
<autoplay />
</properties_detail>
<properties_detail>
<id>4</id>
<command>ActivateContent(4)</command>
<position>(-0.4,0,-0.4)</position>
<scale>(0.25,0.25,0.25)</scale>
<rotation>(0,180,0)</rotation>
<loop />
<autoplay />
</properties_detail>
<properties_detail>
<id>5</id>
<command>ActivateContent(5)</command>
<position>(0.4,0,-0.4)</position>
<scale>(0.25,0.25,0.25)</scale>
<rotation>(0,180,0)</rotation>
<loop />
<autoplay />
</properties_detail>
</properties>
</logic>
<logic>
<id>2</id>
<expression>OnContentClick(1)</expression>
<properties>
<properties_detail>
<id>1</id>
<command>OpenWebPage(https://www.flickr.com/people/carlospalmario/)</command>
<position />
<scale />
<rotation />
<loop />

```

```
        <autoplay />
    </properties_detail>
    <properties_detail />
</properties>
</logic>
<logic>
    <id>3</id>
    <expression>OnContentClick(2)</expression>
    <properties>
        <properties_detail>
            <id>1</id>
            <command>OpenWebPage( http://fao-natural .
                blogspot.com/ )</command>
            <position />
            <scale />
            <rotation />
            <loop />
            <autoplay />
        </properties_detail>
        <properties_detail />
    </properties>
</logic>
<logic>
    <id>4</id>
    <expression>OnContentClick(3)</expression>
    <properties>
        <properties_detail>
            <id>1</id>
            <command>OpenWebPage( https://pt-pt.facebook .
                com/carlos.rio.5/ )</command>
            <position />
            <scale />
            <rotation />
            <loop />
            <autoplay />
        </properties_detail>
        <properties_detail />
    </properties>
</logic>
<logic>
    <id>5</id>
    <expression>OnContentClick(4)</expression>
    <properties>
        <properties_detail>
            <id>1</id>
```

```

<command>OpenWebPage( https://www.instagram.com
    /carlospalmario /)</command>
<position />
<scale />
<rotation />
<loop />
<autoplay />
</properties_detail>
<properties_detail />
</properties>
</logic>
<logic>
    <id>6</id>
    <expression>OnContentClick(5)</expression>
    <properties>
        <properties_detail>
            <id>1</id>
            <command>OpenWebPage( http://nighbirdingtours.
                com/we /)</command>
            <position />
            <scale />
            <rotation />
            <loop />
            <autoplay />
        </properties_detail>
        <properties_detail />
    </properties>
</logic>
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
    <id>4</id>
    <contents>
        <content>
            <id>1</id>
            <type>Object</type>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                Objects/Bird_Water.fbx</url>
            <is_extended>False</is_extended>
        </content>
        <content>
            <id>2</id>
            <type>AssetBundle</type>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                AssetBundles/modelIOS.clickmelabel</url>
            <is_extended>False</is_extended>
        </content>
    </contents>
</experience_detail>

```

```
</content>
<content>
  <id>3</id>
  <type>AssetBundle</type>
  <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
    AssetBundles/modelIOS.detailscanvas</url>
  <is_extended>False</is_extended>
</content>
<content>
  <id>4</id>
  <type>Audio</type>
  <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Audio/
    Bird_Water.wav</url>
  <is_extended>False</is_extended>
</content>
</contents>
<trackers>
  <tracker>
    <id>1</id>
    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0003.
      jpg</url>
    <page>7</page>
  </tracker>
  <tracker />
</trackers>
<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(0.03,0.03,0.03)</scale>
        <rotation>(0,180,0)</rotation>
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail>
        <id>2</id>
        <command>ActivateContent(2)</command>
        <position>(0,0,-0.5)</position>
        <scale>(0.5,0.5,0.5)</scale>
        <rotation>(0,180,0)</rotation>
        <loop />
```

```
        <autoplay />
    </properties_detail>
    <properties_detail>
        <id>3</id>
        <command>ActivateContent(3)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(1,1,1)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop />
        <autoplay />
    </properties_detail>
    <properties_detail>
        <id>4</id>
        <command>PlayContent(4)</command>
        <position />
        <scale />
        <rotation />
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
    </properties_detail>
</properties>
</logic>
<logic />
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
    <id>5</id>
    <contents>
        <content>
            <id>1</id>
            <type>AssetBundle</type>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                AssetBundles/modelIOS.portugal</url>
            <is_extended>False</is_extended>
        </content>
        <content />
    </contents>
    <trackers>
        <tracker>
            <id>1</id>
            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0004.
                jpg</url>
            <page>9</page>
        </tracker>
        <tracker />
    </trackers>
```

```

<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(1,1,1)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop />
        <autoplay />
      </properties_detail>
      <properties_detail />
    </properties>
  </logic>
  <logic />
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
  <id>6</id>
  <contents>
    <content>
      <id>1</id>
      <type>Object</type>
      <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
          Objects/Video_Object.fbx</url>
      <is_extended>False</is_extended>
    </content>
    <content>
      <id>2</id>
      <type>Video</type>
      <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Video/
          Video1.mp4</url>
      <is_extended>False</is_extended>
    </content>
  </contents>
  <trackers>
    <tracker>
      <id>1</id>
      <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0005.
          jpg</url>
      <page>47</page>
    </tracker>
    <tracker />
  </trackers>
</experience_detail>

```

```

</trackers>
<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(0.075,0.075,0.075)</scale>
        <rotation>(0,180,0)</rotation>
        <loop />
        <autoplay />
      </properties_detail>
      <properties_detail />
    </properties>
  </logic>
  <logic>
    <id>2</id>
    <expression>OnContentClick(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>PlayContent(2)</command>
        <position />
        <scale />
        <rotation />
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail />
    </properties>
  </logic>
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
  <id>7</id>
  <contents>
    <content>
      <id>1</id>
      <type>Object</type>
      <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
          Objects/Video_Object.fbx</url>
      <is_extended>False</is_extended>
    </content>
  </contents>
</experience_detail>

```

```

<content>
  <id>2</id>
  <type>Video</type>
  <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Video/
    Video02.mp4</url>
  <is_extended>False</is_extended>
</content>
</contents>
<trackers>
  <tracker>
    <id>1</id>
    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0006.
      jpg</url>
    <page>57</page>
  </tracker>
  <tracker />
</trackers>
<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(0.075,0.075,0.075)</scale>
        <rotation>(0,180,0)</rotation>
        <loop />
        <autoplay />
      </properties_detail>
      <properties_detail />
    </properties>
  </logic>
  <logic>
    <id>2</id>
    <expression>OnContentClick(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>PlayContent(2)</command>
        <position />
        <scale />
        <rotation />
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
    </properties>
  </logic>
</logics>

```

```
</properties_detail>
<properties_detail />
</properties>
</logic>
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail>
<id>8</id>
<contents>
<content>
<id>1</id>
<type>Object</type>
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
    Objects/Scenario.fbx</url>
<is_extended>True</is_extended>
</content>
<content>
<id>2</id>
<type>Audio</type>
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Audio/
    Scenario.wav</url>
<is_extended>False</is_extended>
</content>
<content>
<id>3</id>
<type>Object</type>
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
    Objects/Water_Scenario.fbx</url>
<is_extended>True</is_extended>
</content>
<content>
<id>4</id>
<type>AssetBundle</type>
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
    AssetBundles/modelIOS.scenarioanimals</url>
<is_extended>True</is_extended>
</content>
</contents>
<trackers>
<tracker>
<id>1</id>
<url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0007.
    jpg</url>
<page>111</page>
</tracker>
<tracker />
```

```
</trackers>
<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(1,1,1)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail>
        <id>2</id>
        <command>PlayContent(2)</command>
        <position />
        <scale />
        <rotation />
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail>
        <id>3</id>
        <command>ActivateContent(3)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(1,1,1)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail>
        <id>4</id>
        <command>ActivateContent(4)</command>
        <position>(0,0,0)</position>
        <scale>(1,1,1)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
    </properties>
  </logic>
  <logic />
</logics>
```

```

        </experience_detail>
    </experience_details>
</experience>
<experience>
    <id>2</id>
    <version>0.1</version>
    <name>Demo Guarda-Rios 2</name>
    <thumbnail_url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Images/
        thumbnailExp2.png</thumbnail_url>
    <authors>Zé Rocha</authors>
    <description>A secound demo experience , devoleped by Zé Rocha ,
        wich has the goal of showing the download and instantiation
        process.</description>
    <trackers_db_dat_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
        GuardaRiosDemo2.dat</trackers_db_dat_url>
    <trackers_db_xml_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
        GuardaRiosDemo2.xml</trackers_db_xml_url>
    <experience_details>
        <experience_detail>
            <id>1</id>
            <contents>
                <content>
                    <id>1</id>
                    <type>Object</type>
                    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                        Objects/Video_Object.FBX</url>
                    <is_extended>False</is_extended>
                </content>
                <content>
                    <id>2</id>
                    <type>Video</type>
                    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Video/
                        Video3.mp4</url>
                    <is_extended>False</is_extended>
                </content>
            </contents>
            <trackers>
                <tracker>
                    <id>1</id>
                    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/0008.
                        jpg</url>
                    <page>67</page>
                </tracker>
                <tracker />
            </trackers>
            <logics>

```

```
<logic>
  <id>1</id>
  <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
  <properties>
    <properties_detail>
      <id>1</id>
      <command>ActivateContent(1)</command>
      <position>(0,0,0)</position>
      <scale>(0.075,0.075,0.075)</scale>
      <rotation>(0,180,0)</rotation>
      <loop />
      <autoplay />
    </properties_detail>
    <properties_detail />
  </properties>
</logic>
<logic>
  <id>2</id>
  <expression>OnContentClick(1)</expression>
  <properties>
    <properties_detail>
      <id>1</id>
      <command>PlayContent(2)</command>
      <position />
      <scale />
      <rotation />
      <loop>True</loop>
      <autoplay>True</autoplay>
    </properties_detail>
    <properties_detail />
  </properties>
</logic>
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail />
</experience_details>
</experience>
</experiences>
</book>
```

Excerto A.1: Experiência Guarda Rios

A.2 EXPERIÊNCIA ARCA DE NOÉ

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<book>
    <book_details>
        <id>2</id>
        <title>A arca de Noé</title>
        <number_of_experiences>1</number_of_experiences>
        <thumbnail_url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Images/
            thumbnailBookArcaNoe.png</thumbnail_url>
        <authors>Susanne Brandt</authors>
        <isbn>978-972-690-709-1</isbn>
        <publisher>Edicoes Salesianas</publisher>
        <year>2012</year>
        <edition>First Edition</edition>
        <number_of_pages>24</number_of_pages>
    </book_details>
    <experiences>
        <experience>
            <id>1</id>
            <version>0.1</version>
            <name>Demo Arca de Noé</name>
            <thumbnail_url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/Images/
                thumbnailExp1ArcaNoe.png</thumbnail_url>
            <authors>Zé Rocha</authors>
            <description>A demo experience , devoleped by Zé Rocha , wich has
                the goal to show the capabilities of the system, such has the
                ability to have add multiple books to the library.</
                description>
            <trackers_db_dat_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
                ArcaNoe.dat</trackers_db_dat_url>
            <trackers_db_xml_url>http://192.168.1.112/bookServer/TrackersDB/
                ArcaNoe.xml</trackers_db_xml_url>
            <experience_details>
                <experience_detail>
                    <id>1</id>
                    <contents>
                        <content>
                            <id>1</id>
                            <type>Object</type>
                            <url>http://192.168.1.112/bookServer/Contents/
                                Objects/Arcanae.fbx</url>
                            <is_extended>False</is_extended>
                        </content>
                        <content />
                    </contents>
                </experience_detail>
            </experience_details>
        </experience>
    </experiences>
</book>

```

```

<trackers>
  <tracker>
    <id>1</id>
    <url>http://192.168.1.112/bookServer/Trackers/
      ArcaNoe/0000.png</url>
    <page>0</page>
  </tracker>
  <tracker />
</trackers>
<logics>
  <logic>
    <id>1</id>
    <expression>OnTrackerFound(1)</expression>
    <properties>
      <properties_detail>
        <id>1</id>
        <command>ActivateContent(1)</command>
        <position>(0.375,0,0.375)</position>
        <scale>(0.05,0.05,0.05)</scale>
        <rotation>(0,0,0)</rotation>
        <loop>True</loop>
        <autoplay>True</autoplay>
      </properties_detail>
      <properties_detail />
    </properties>
  </logic>
  <logic />
</logics>
</experience_detail>
<experience_detail />
</experience_details>
</experience>
<experience />
</experiences>
</book>

```

Exerto A.2: Experiência Arca de Noé