



INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

Uma experiência joguificada para crianças em realidade aumentada para interação tangível com dados de poluição do ar

João Pedro da Silva Fernandes

Mestrado em, Engenharia Informática

Orientador(a):

Doutor Pedro Figueiredo Santana, Professor Auxiliar,  
ISCTE

Co-Orientador(a):

Doutor Tomás Gomes Silva Serpa Brandão, Professor Auxiliar,  
ISCTE

Novembro, 2021



Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Uma experiência joguificada para crianças em realidade aumentada para interação tangível com dados de poluição do ar

João Pedro da Silva Fernandes

Mestrado em, Engenharia Informática

Orientador(a):

Doutor Pedro Figueiredo Santana, Professor Auxiliar,  
ISCTE

Co-Orientador(a):

Doutor Tomás Gomes Silva Serpa Brandão, Professor Auxiliar,  
ISCTE

Novembro, 2021



## Agradecimentos

Esta dissertação foi desenvolvida no quadro do Projeto ExpoLIS (LISBOA-01-0145-FEDER-032088), financiado pelo FEDER e por fundos nacionais, através da FCT– Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Gostaria de agradecer à minha família, pelo suporte que me deram nesta fase tão importante da minha vida, em especial à minha irmã, pela ajuda dispensada.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Pedro Santana e Professor Doutor Tomás Brandão, que tiveram um papel essencial durante todo o desenvolvimento do projeto.

Ao Professor Diogo Lamelas, pela ajuda prestada não só na validação da apresentação do conteúdo a crianças como na intermediação com as escolas onde foram realizados os testes.

À Doutora Susana Marta Almeida do Instituto Superior Técnico, que desempenhou um papel fundamental, através do seu contributo na seleção do conteúdo didático a transmitir aos utilizadores.

À Professora Doutora Conceição Figueiredo, pela ajuda na análise estatística dos resultados obtidos.

Aos meus amigos, em especial à Joana Gomes, ao Afonso Ferreira, ao João Jaime e ao Gonçalo Figueiredo, pelo apoio que sempre demonstraram ao longo desta fase.

Às escolas básicas Eb1/JI da Assafora, Eb1/JI Dona Maria, Eb1 Terrugem e Eb1/JI de São Pedro de Sintra, por permitirem a realização dos testes assim como aos seus alunos que neles participaram.

A todos os referidos, o meu sincero agradecimento.



## Resumo

Não existem dúvidas de que a poluição do ar é um dos principais responsáveis por lesões no aparelho respiratório e até morte prematura. Na sua constituição estão gases, partículas e compostos biológicos que afetam não só o ar que respiramos no exterior, como em espaços interiores. As crianças são uns dos principais afetados pela fraca qualidade do ar que respiram. O facto dos seus órgãos e sistema imunitário estarem ainda em fase de desenvolvimento, torna os efeitos da exposição aos compostos poluentes mais nocivos. Com o objetivo de sensibilizar as crianças para esta temática, esta dissertação descreve o desenho, a implementação e a validação experimental de uma experiência interativa de exploração de dados de qualidade do ar, capaz de oferecer uma forma enriquecedora e satisfatória de adquirir conhecimento. A experiência interativa beneficia das valências da Realidade Aumentada para essa tarefa, munindo-a de dados captados por um sensor, em tempo real, de modo a criar uma experiência joguificada, capaz de incitar a vontade de exploração e de transmitir conceitos básicos sobre a qualidade do ar. A experiência foi avaliada numa amostra de 27 crianças, com idades entre os 7 aos 11 anos, recorrendo ao método *Wizard of oz*. Os dados obtidos validam o interesse dos participantes pela utilização de objetos reais para interação com o sensor de poluição do ar e apontam a experiência como um meio divertido e eficaz de adquirir conhecimentos sobre a poluição do ar em espaços fechados.

Palavras chave: poluição do ar, poluição atmosférica, poluição do ar no interior, realidade aumentada, sensor de qualidade do ar, *wizard of oz*



## Abstract

There is no doubt that air pollution is one of the main reasons for respiratory tract infections and even premature death. It is composed of gases, particles and biological compounds that affect not just the air that we breathe outdoors but also indoors. Children are among the most affected by the poor air quality. Their organs and immune system are still in the early stages of development which makes their exposure to pollution much harsher. With the goal of educating children about these facts, this dissertation describes the planning, implementation and the experimental validation of an interactive experience on air quality data exploration, capable of offering knowledge on these facts in a rich and appealing way. This interactive experience makes use of augmented reality technologies to achieve this goal, using data captured by a sensor, in real time, in order to create a game-like environment, capable of inciting the will to explore and learn about basic concepts on the theme of air quality. The summative evaluations were based on the wizard of Oz method, with a sample pool of 27 children with ages ranging from 7 to 11 years old. The data collected confirms the subjects' interest in using real objects to interact with the pollution sensor and further validates this kind of experience as a means to learn about air pollution that is both fun and effective.

Keywords: air pollution, indoor air pollution, augmented reality, air quality sensor, *wizard of oz*



# Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de tabelas	xv
Glossário	xvii
1 Introdução.....	1
1.1 Contexto .....	1
1.2 Motivação.....	2
1.3 Perguntas de investigação.....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.5 Estrutura do documento .....	6
2 Revisão da literatura .....	7
2.1 Jogos na aprendizagem .....	7
2.2 Realidade aumentada .....	8
2.3 Realidade aumentada aplicada a jogos educativos .....	9
2.4 Realidade aumentada e sensores .....	14
2.5 Formas de interação com realidade aumentada .....	16
2.6 Validação de projetos semelhantes .....	19
2.7 Discussão .....	22
3 Desenvolvimento do sistema proposto .....	23
3.1 Metodologia de desenho .....	23
3.2 Software utilizado .....	24

3.3	A experiência interativa .....	25
3.4	Dispositivo para monitorização da qualidade do ar.....	27
3.5	Representação dos compostos poluentes .....	28
3.6	Interação dos utilizadores com a experiência.....	30
3.6.1	Utilizador 1 – manipulação dos objetos reais .....	31
3.6.2	Utilizador 2 – ferramentas de interação com os compostos poluentes .....	32
3.7	Ferramentas de remoção de poluição do ar .....	38
3.8	Disposição Espacial da Experiência Interativa.....	41
3.9	Mecânicas do jogo.....	44
3.9.1	Narrativa.....	44
3.9.2	Pontuação e feedback.....	45
3.9.3	Jogabilidade.....	46
4	Testes de validação .....	49
4.1	Participantes.....	49
4.2	Procedimento e método de validação .....	49
4.2.1	Questionário de validação de conhecimento (QC) .....	50
4.2.2	Questionário de Satisfação e Usabilidade (QSU) .....	53
4.2.3	Questionário de Opinião e Preferência (QOP) .....	56
4.3	Tratamento de dados.....	57
4.4	Resultados .....	57
4.4.1	Questionário de Conhecimento (QC).....	57
4.4.2	Satisfação e usabilidade (QSU).....	64
4.4.3	Opinião e preferência (QOP).....	67
5	Conclusões limitações e trabalho futuro.....	69
5.1	Conclusões.....	69
5.2	Limitações e trabalho futuro .....	70
6	Referências.....	73
7	Anexos .....	77

7.1	Anexo 1 - Testes do sensor do projeto ExpOLIS .....	77
7.2	Anexo 2 – Pedido de autorização para a realização dos testes sumativos .....	78
7.3	Anexo 3 – Dados estatísticos do questionário de conhecimento .....	79
7.4	Anexo 4 – Dados estatísticos do questionário de satisfação e usabilidade .....	80
7.4.1	Intenção de usar .....	82
7.4.2	Utilidade .....	83
7.4.3	Facilidade de utilização .....	84



## Índice da Figuras

Figura 1- Primeiro esboço da ferramenta. ....	26
Figura 2 - Fotografia da caixa utilizada.....	27
Figura 3 – Representação dos gases e partículas.....	29
Figura 4 – Objetos reais utilizados na experiência.....	31
Figura 5–Primeiro protótipo de interação através de reconhecimento de imagem. ....	32
Figura 6– Exemplificação das rotações Yaw, Pitch e Roll.....	33
Figura 7 – Fotografia tirada aos utilizadores durante a fase de testes formativos.....	35
Figura 8– Marcador do anel .....	36
Figura 9 – Secção que restringe as deslocções dos gases e partículas no interior da caixa .....	36
Figura 10 – Representação da técnica de Raycasting .....	37
Figura 11 – Estande de ferramentas e caixa virtual da experiência.....	38
Figura 12 – Interação com a ferramenta “filtro” .....	39
Figura 13 – Interação com a ferramenta “ventoinha”. .....	40
Figura 14– Interação com a ferramenta “eletroestática” .....	40
Figura 15 - Representação da configuração final da experiência. ....	42
Figura 16 – Fotografia da configuração final da experiência .....	43
Figura 17 – Representação dos primeiros protótipos de configuração da experiência.....	43
Figura 18– Intervenção do personagem virtual após serem detetadas as primeiras partículas. ....	44
Figura 19– Ecrã apresentado quando o utilizador demonstra dificuldades em manter o marcador do anel dentro do plano da câmara. ....	45
Figura 20 – Tabela de pontuações .....	45
Figura 21 - Intervenção do personagem virtual quando são detetados os primeiros gases na experiência .....	47
Figura 22 - Intervenção do personagem virtual num tutorial inicial.....	47
Figura 23 - Sequência de etapas dos testes sumativos.....	50
Figura 24- Representação visual da escala Likert adaptada de [54] em português.....	55
Figura 26 – Respostas pós-experiência apenas dos utilizadores que tinham respondido “não” à Pergunta 1 do QC, na fase pré-experiência.....	58
Figura 26 – Respostas fornecidas à Pergunta 1 do QC “Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?” .....	58
Figura 27– Frequência de expressões relacionadas com gases e partículas nas respostas à Pergunta 2 do QC "O que é que achas pode poluir o ar dentro das nossas casas?". .....	59

Figura 28- Frequência com que as expressões são referidas nas respostas à Pergunta 2 do QC "O que é que achas que pode poluir o ar dentro das nossas casas?" .....	60
Figura 29 - Frequência de expressões relacionadas com gases e partículas nas respostas à Pergunta 3 do QC "O que é que achas que está no ar quando está poluído?" .....	61
Figura 30 - Frequência com que as expressões são referidas nas respostas à Pergunta 3 do QC "O que é que achas que está no ar quando está poluído?" .....	62
Figura 31 - Frequência com que as expressões são referidas nas respostas à Pergunta 4 do QC "Como é que achas que podemos limpar a poluição do ar que temos dentro das nossas casas?" .....	63
Figura 32 – Relação entre a média de respostas ao QSU e as respostas à pergunta 1 do QC "achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?", na fase pós-experiência. Na vertical estão representados os intervalos de confiança a 95 % das respostas ao QSU. ....	66
Figura 33 – Justificações das respostas fornecidas à Pergunta 1 do QOP "Gostaste mais do jogo com objetos ou do jogo com cartões" .....	67
Figura 34 – Respostas à Pergunta 1 do QOP "Gostaste mais do jogo com objetos ou do jogo com cartões" .....	67

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Resumo da capacidade de atuação das ferramentas relativamente aos compostos poluentes .....	38
Tabela 2 – Questões do questionário de Validação de Conhecimento .....	52
Tabela 3 – Questões do questionário de Satisfação e Usabilidade.....	54
Tabela 4 – Questões do questionário de Opinião e Preferência.....	56
Tabela 5 – Tabela de resultados do questionário de satisfação e usabilidade .....	65



## Glossário

RA – Realidade Aumentada

RV – Realidade Virtual

HMD – Head Mounted Display

TAM – Technology Acceptance Model

SUS – System Usability Scale



## Capítulo 1

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

Com esta dissertação pretende-se criar uma experiência interativa que possibilite transmitir conhecimentos básicos de poluição do ar, focada em espaços interiores, a crianças do 1º ciclo do ensino básico. Idealizou-se a criação de uma experiência baseada na representação de dados de um sensor de qualidade do ar, que efetua leituras diretamente no local em que a experiência é realizada. Dando a possibilidade ao utilizador de observar e interagir com os compostos de poluição identificados, em tempo real, através de realidade aumentada, pretende-se proporcionar um meio de relacionar objetos do quotidiano com os compostos poluentes que estes dissipam no ar. Para isto, e de forma a aumentar imersão dos utilizadores, são utilizados objetos reais para a interação com o sensor de qualidade do ar.

O objetivo é criar uma experiência joguificada, partindo da diversão e das mais valias que desta resultam, como o entusiasmo e a motivação, direcionando-as para a componente pedagógica. Os principais desafios passam pela recolha de técnicas e critérios de produção experiências educativas para crianças, de uma forma a que esta não se torne aborrecida, que seja considerada memorável e incite a vontade de ser repetida.

Para o seu desenvolvimento, foi utilizado o Unity 3D, ao qual foram adicionadas as capacidades de criação de ambientes em Realidade Aumentada do Vuforia. A componente do sensor para identificação dos compostos poluentes no ar foi testada recorrendo ao sensor desenvolvido no projeto ExpoLIS [1]. No entanto, de forma a agilizar a fase de testes, optou-se por simular as leituras do sensor através do método *Wizard of oz*.

## 1.2 Motivação

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define poluição atmosférica como a contaminação do ar por agentes físicos, químicos ou biológicos, que modificam as características naturais da atmosfera. Estes compostos afetam o ar que respiramos no exterior, mas também no interior de edifícios, estando todos os anos associados a milhões de mortes prematuras e a doenças como acidente vascular cerebral, doenças cardiovasculares e infeções respiratórias. [2]

A qualidade do ar em espaço interior representa uma parte considerável da exposição diária à poluição, já que, atualmente, grande parte do dia-a-dia é passada em ambientes fechados. Nestes, as concentrações de compostos poluentes podem ser até cinco vezes superiores às concentrações no exterior, graças à grande proximidade das fontes emissoras e à menor diluição dos poluentes. Com o surgimento da pandemia e da necessidade de isolamento, esta questão revelou-se especialmente relevante, reforçando a necessidade de se conhecer e compreender os perigos a que o corpo humano é diariamente exposto através da mera utilização de produtos do quotidiano e do mau arejamento dos locais frequentados. A exposição contínua e prolongada a ar de má qualidade pode ter efeitos irreversíveis no nosso corpo.

As crianças são especialmente vulneráveis à presença desta poluição, já que a sua frequência respiratória é mais alta do que na fase adulta e o seu sistema imunitário está ainda em fase de desenvolvimento. Quando expostas a poluição atmosférica por longos períodos de tempo, o risco de desenvolverem patologias respiratórias que se podem estender para a fase adulta tende a aumentar consideravelmente, agravando também as doenças respiratórias já existentes [3]. A facilidade com que atualmente têm acesso a variadíssimos estímulos de entretenimento, disponíveis a qualquer momento nas pontas dos seus dedos, contribui para a tendência de permanecerem longos períodos de tempo dentro de quatro paredes. Estes são apenas alguns dos fatores que justificam a importância de proteger as crianças deste inimigo comum, invisível e difícil de identificar. Apenas a capacidade de reconhecer a origem destes compostos permite adotar estratégias para reduzir a sua presença.

Aulas, livros, filmes, documentários, são tudo boas ideias para passar conhecimento, explicar temas complexos e até fomentar novas ideias. No entanto, é extremamente importante encontrar formas novas e diversificadas para cativar a atenção das crianças logo nos primeiros anos de atividade escolar. Para além da existência de provas de que o investimento na aprendizagem em idades mais jovens tem efeitos muito positivos na vida futura [4], são as crianças mais novas que estão mais suscetíveis a abraçar ideias e que não precisam de ser convencidas de que estas eventualmente podem ter interesse. É nestas idades que as crianças ainda não têm o raciocínio e pensamento moldados para a escola, onde temáticas dentro das ciências lhes podem parecer complexas, abstratas e difíceis, geralmente pela forma como as aulas são dadas e como o conteúdo lhes é apresentado. Criar experiências para as crianças é importante, uma vez que permite que estas sejam emersas na temática e comecem a tomar consciência de ideias menos palpáveis, desde a poluição existente no ar até às reações entre átomos, sem a sensação de obrigatoriedade escolar que vai culminar numa avaliação.

Nos sistemas de aprendizagem tradicionais, a mentalidade é muito focada em “finalizar um trabalho”, “estudar para o próximo teste”, e assim que estes são concluídos, a matéria e os conhecimentos testados vão-se desvanecendo. A informação não é passada com o intuito de a tornar memorável, nem fica disponível para ser explorada e apreciada. É importante que se esteja continuamente a inovar na forma como são criados os métodos e ferramentas de ensino e que estes incluam fatores diferenciadores, que induzam o fator surpresa e que ajudem a tornar a experiência memorável, principalmente em crianças do ensino primário [5]. O investimento em educação de qualidade durante a infância leva a que as crianças tenham menor probabilidade de reprovar de ano e reduzem as possibilidades de virem a necessitar de educação inclusiva e especial. Estas são ainda tendencialmente mais prováveis de terminar o ensino secundário com sucesso e de fazerem parte do mercado profissional com remunerações acima da média [4]. De forma a contribuir para a consciencialização das crianças relativamente à qualidade do ar que respiram, esta dissertação propõe a criação de uma experiência interativa de exploração para relacionamento de ações do dia a dia com os compostos poluentes que delas resultam.

### 1.3 Perguntas de investigação

Esta dissertação procura responder às seguintes perguntas de investigação:

- Será possível transmitir conhecimentos de poluição do ar em interiores de uma forma simples e intuitiva através de uma experiência baseada na exploração e relacionamento de objetos reais com os compostos poluentes por estes emitidos?
- Será que os utilizadores vão considerar a experiência joguificada útil e adequada ao contexto de sala de aula?
- Será possível tornar a experiência memorável utilizando características que a diferenciem, tais como a utilização de objetos reais e marcadores como método de interação?
- Será que a utilização de objetos reais é percebida pelos utilizadores como uma característica interessante na aprendizagem desta temática?

## 1.4 Objetivos

O primeiro objetivo desta dissertação consiste no estudo e investigação de trabalhos relacionados, essenciais numa primeira abordagem para conceção de ideias que guiem o desenvolvimento e validem o conceito da experiência. Explorar o que já foi feito e tomar como diretrizes as conclusões obtidas em temáticas como o desenvolvimento de jogos para fins didáticos e a criação de ambientes em Realidade Aumentada. Neste objetivo são ainda incluídas as pesquisas por ferramentas e tecnologias disponíveis que se possam revelar úteis.

O segundo objetivo prende-se com o desenvolvimento e prototipagem das mecânicas e componentes da experiência. Este desenvolvimento deve ser centrado no utilizador, realizado em fases iterativas, em que devem ser abordados todos os aspetos da experiência, de forma a adaptá-la ao público alvo e a torná-la mais eficaz e intuitiva.

O objetivo final consiste na realização de testes sumativos, onde o modelo resultante da fase de desenvolvimento é validado junto de uma amostra do público alvo.

## 1.5 Estrutura do documento

O presente documento descreve todas as fases e aspetos do trabalho desenvolvido para a dissertação, desde a procura por literatura do estado da arte, à análise dos testes sumativos. O documento encontra-se organizado por capítulos, estando dividido da seguinte forma:

- Revisão da literatura – revisão da literatura relacionada com a área de abrangência da dissertação;
- Desenvolvimento – método seguido para o desenvolvimento da experiência, passando pela abordagem de todos os processos e tecnologias usados no processo, bem como a realização de teste formativos;
- Testes de validação – método de validação do trabalho descrito nos capítulos anteriores e respetiva análise;
- Conclusões limitações e trabalho futuro – resposta às perguntas de investigação e conclusões resultantes do trabalho descrito nos capítulos anteriores. São ainda referidas limitações do trabalho realizado e as questões que ficam por responder.

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Jogos na aprendizagem

A utilização de jogos no contexto educativo não é um tema recente. Por ter provas dadas quanto à sua utilidade e a respeito das suas potencialidades, é uma área que persiste em contínuo desenvolvimento, apresentando resultados especialmente positivos em faixas etárias mais jovens [6]. As vantagens não se traduzem simples e diretamente na capacidade de transmissão de conhecimento, mas também num ganho de empenho e motivação dos alunos e até numa maior capacidade de retenção do conhecimento adquirido [7]. Combinando estratégias de ensino, com os princípios de desenvolvimento de jogos, é possível conduzir os utilizadores por tarefas complexas e induzi-los a fazer relações entre conceitos de uma forma descontraída e prazerosa. Um bom método de aprendizagem através de jogos deve propiciar aprendizagem autónoma e a capacidade de auto motivação do utilizador, estabelecendo mecânicas que o permitam aprender ao seu ritmo [8].

Quando o objetivo é desenvolver uma experiência educativa realizada a pares, opta-se geralmente pela relação cooperativa entre os participantes. No entanto, quando o ensino é realizado com base em mecânicas de jogo, ambas as hipóteses parecem ter justificações válidas. Por esta razão, considerou-se importante visitar o estado da arte nesta temática de modo a optar pela forma que mais se adequa aos objetivos da experiência.

Em [9] foi verificado que os alunos apresentam índices superiores de frequência de participação nas aulas após jogarem jogos cooperativos, quando comparado com as situações em que lhes foram apresentados jogos baseados na competição. Estes dados estão alinhados com a análise de estudos previamente realizados [8], assentes nesta comparação entre competição e cooperação em jogos num contexto educativo. Para além destes resultados mensuráveis de melhor desempenho, os participantes revelam ainda desfrutar mais dos jogos onde são estimulados a trabalhar em grupos, cooperativamente.

Xin [10] investigou o efeito da utilização de métodos colaborativos para a aprendizagem de matemática em grupos de crianças com e sem dificuldades de aprendizagem. Com o grupo colaborativo a trabalhar em pares, enquanto o grupo competitivo trabalhava individualmente, foi possível observar que os alunos do grupo colaborativo em teste apresentaram melhores resultados numa prova da disciplina, comparativamente aos alunos pertencentes ao grupo de teste competitivo. Observou-se que os pares do grupo colaborativo estabeleciam boas relações entre si, ajudando-se e encorajando-se mutuamente, o que por si só já representa uma mais valia.

Porém, nestes estudos, o fator competição nos jogos não é apontado como uma metodologia necessariamente negativa, já que cria nos utilizadores uma motivação inerente que incita a superação. No entanto, a necessidade inseparável de existir um vencedor e um perdedor, leva os utilizadores a focar-se não apenas no seu sucesso individual, como também no fracasso do seu oponente. Neste aspeto, a visão colaborativa assume um papel mais enriquecedor, não promove ambientes de tensão nem agressividade entre os participantes e, para além de mostrar resultados positivos no objetivo concreto do jogo/experiência a que esteja associada, reforça a habilidade de os utilizadores se relacionarem positivamente. Criar empatia e confiança nos próprios e nos seus pares, incentivando o desenvolvimento de capacidades de comunicação, são características extremamente importantes no sucesso de um individuo em sociedade. Para além disto, ajuda a desenvolver relações interpessoais e até está associado carreiras profissionais de maior sucesso [11]. Por estas razões, optou-se por desenvolver a experiência apresentada nesta dissertação com base na relação cooperativa entre os utilizadores.

## 2.2 Realidade aumentada

A ideia de criar uma experiência em torno de Realidade Aumentada (RA) surgiu desde o início como uma escolha bastante adequada ao objetivo visual da experiência idealizada nesta dissertação: representar a poluição do ar, tornando-a visível. Embora por vezes passe despercebido, há vários anos que a RA está presente em muitos produtos do quotidiano, aplicada a contextos muito diversificados. O ecrã onde é apresentada a imagem captada pela câmara na traseira de muitos veículos é um bom exemplo disso, onde sobreposto à imagem captada são adicionadas linhas guia e outros indicadores, que auxiliam na perceção de distâncias e até da direção e espaço que o veículo irá ocupar.

Ao contrário da Realidade Virtual (RV) que utiliza equipamento mais específico e envolve o utilizador numa nova realidade completamente digital, a RA é construída por cima do mundo real, sobrepondo-lhe conteúdo digital, não o substituindo. Esta é geralmente mais acessível, fazendo por exemplo uso de *smartphones* e tablets, mas pode também ser realizada através de equipamento mais específico como óculos e telas transparentes. As soluções mais comuns para apresentação de RA são as seguintes:

- RA móvel - utiliza dispositivos móveis (Android, IOS) equipados com ecrã e câmara fotográfica. Faz geralmente uso de algoritmos de deteção de planos, como o chão, para contextualizar a representação do conteúdo virtual relativamente ao mundo real. Um dos exemplos mais conhecidos desta configuração é o jogo para dispositivos móveis “Pokemon Go”;

- Head mounted display (HMD) – representa a imagem diretamente em frente aos olhos do utilizador, em lentes transparentes, onde são projetados os componentes virtuais, sobrepondo-os ao ambiente real, um método conhecido por optical see-through. O Magic Leap<sup>1</sup> e Holo Lens<sup>2</sup> são alguns exemplos deste tipo de óculos que têm como principal vantagem a libertação das mãos dos utilizadores;
- Heads-up display (HUD) – utiliza uma tela transparente, fixa, onde é projetado o conteúdo virtual. É muito comum encontrar-se em tabliers de automóveis, fornecendo informação útil ao condutor sem que este necessite de tirar os olhos da estrada. Como desvantagem, apenas pode ser observado de perspetivas muito específicas;
- RA espacial – utiliza o mapeamento 3D de áreas do mundo real, como um escritório ou uma divisão de uma casa, como ambiente da experiência. Deste mapeamento resulta um modelo 3D do espaço, ao qual extrai características que utiliza para detetar a posição do utilizador e apresentar conteúdo virtual;
- Desktop AR – utiliza um monitor generalista para apresentar conteúdo virtual, sobre a imagem captada por uma câmara que geralmente permanece em posição estática. O projeto Holo<sup>3</sup> é um exemplo desta forma de criar RA, que através de monitor convencional cria hologramas de objetos 3D através de uma câmara que estima a posição do utilizador em relação ao ecrã, em tempo real e adapta a perspetiva dos objetos representados em função da mesma.

### 2.3 Realidade aumentada aplicada a jogos educativos

São diversos estudos que demonstraram a capacidade que as tecnologias da computação têm para persuadir e influenciar comportamentos nos seus utilizadores [8]. A Realidade Aumentada veio extrapolar esta capacidade, sendo especialmente útil para o ensino de ciências e temáticas mais abstratas e de difícil visualização [12], como é o caso da experiência idealizada nesta dissertação.

---

<sup>1</sup> Magic Leap - <https://www.magicleap.com/>

<sup>2</sup> Holo lens - <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>

<sup>3</sup> Holo - <https://www.holo-sdk.com/get-started>

Embora as técnicas de RV e RA sejam muitas vezes associadas a ferramentas de entretenimento e diversão, muitas têm sido as demonstrações de que os benefícios da sua utilização, focada numa componente didática, são reais e apresentam diversas vantagens no que concerne à aprendizagem dos estudantes, compensando algumas lacunas do ensino tradicional [13] [14]. Quando aplicada num ambiente de aprendizagem mais informal, onde os utilizadores podem interagir com a tecnologia como se estivessem a brincar, diversos estudos apontam resultados muito positivos no que diz respeito à aquisição de conhecimento [8]. O potencial de integrar no mundo real informação à partida abstrata e de difícil interpretação, permite criar ligações entre a teoria e a prática, permitindo a interação em contextos reais e aprendendo através da execução.

Problemas da educação tradicional, como a falta de foco e fácil distração, são algumas das razões que levam professores e educadores a encontrar novos caminhos para transmitir conhecimento que se adaptem às necessidades das crianças. [13] A RA pode ser um complemento útil no processo de aprendizagem de crianças com deficiências como o autismo, ajudando-as a manter o foco e a desenvolver competências enquanto interagem com um dispositivo, em vez de um instrutor/professor. [15]

O uso de RA tem geralmente em vista a melhoria da experiência de utilização, razão pela qual é essencial que a forma como é representada se adapte ao público alvo, tendo em conta as suas limitações e as do método com que se pretende alcançar os objetivos do produto. Atualmente, as simulações baseadas em RA são tendencialmente desenvolvidas para serem experienciadas em dispositivos móveis, muito devido à facilidade de utilização e de acessibilidade, por possuírem interface tátil. Estes fatores levam a que a utilização de dispositivos móveis seja muitas vezes considerada uma base ideal para o desenvolvimento de ferramentas de contexto educativo [16]. Adicionalmente, o hardware necessário é barato, fácil de adquirir e substituir, não sendo por vezes sequer necessário realizar um investimento, já que é muito comum existirem dispositivos deste tipo no bolso de grande parte da população. No entanto, também apresenta algumas limitações, nomeadamente no que respeita ao tamanho do ecrã, que devido ao facto de ser móvel, é bastante pequeno. Este fator limita a quantidade de informação possível de ser apresentada e compromete a componente colaborativa.

A frequência de distrações é ainda um dos fatores mais negativos apontados ao desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis, especialmente quando o público alvo são crianças e o objetivo é didático [17]. A fraca qualidade dos elementos virtuais apresentados pelos óculos HMD e o seu elevado custo de aquisição são igualmente fatores limitativos desta tipologia. Tendo em conta que a experiência idealizada pressupõe a adequação a um ambiente de sala de aula, com material acessível a este contexto, a opção que mais indicada é a Desktop AR, fazendo uso de computador, um monitor e uma câmara.

Zhang [18], num estudo onde compila as tendências relacionadas com RV e RA, aponta a sobrecarga cognitiva, o ambiente de aprendizagem e a aquisição de conhecimento como os temas mais frequentemente referidos em projetos que utilizam estas tecnologias. A sobrecarga cognitiva é apontada como uma das questões mais debatidas, demonstrando ser uma das maiores preocupações a ter no processo de desenvolvimento deste tipo de ferramentas educativas. Esta pode traduzir-se num processo de aprendizagem ineficiente, fruto de uma apresentação excessiva de informação ao utilizador, fazendo com que este perca o foco e não se sinta desmotivado. Por outro lado, quando devidamente desenhadas e validadas, estas tecnologias de virtualização, são extremamente úteis como ferramenta para colmatar tanto a sobrecarga de informação como a falta de motivação causadas por outros métodos de ensino tradicionais [19], servindo até como desbloqueadores de criatividade [20] e ajudando na perceção de conceitos de difícil relação [21].

Habig [22], demonstrou ainda, que é possível melhorar as capacidades de visualização espacial dos utilizadores, tendo realizado testes a uma experiência RA para estudantes de química, onde também foi verificada uma redução da sobrecarga cognitiva comparativamente com outros métodos de ensino. Esta conclusão foi especialmente evidente em estudantes que costumam ter maior dificuldade na temática abordada.

De forma a guiar os desenvolvedores no processo de criação e desenvolvimento, Dunleavy [12] realizou uma análise da literatura existente de onde extraiu o que considerou serem os três elementos chave dos princípios de desenvolvimento de ferramentas de aprendizagem em RA:

- Cativar e depois desafiar – onde o enfoque principal é evitar que os utilizadores sofram de sobrecarga de informação ou sintam que não estão habilitados para lidar com o desafio. É essencial começar por delinear estratégias para guiar os utilizadores pelos conceitos e mecânicas mais elementares da experiência e, só então depois, desafiá-los com problemas mais complexos, idealmente adaptados à fase de progresso de jogo e ao desempenho do utilizador.

- Guiar a experiência através da história joguificada – este princípio é apontado como um dos mais impactantes na qualidade da experiência, já que tem como objetivo encaminhar o processo de aprendizagem do utilizador e as interações que este tem com o sistema. Através da criação de narrativas estrategicamente desenhadas para o efeito, facilmente conseguidas pelas características inerente ao próprio RA, este pode ser elaborado de várias formas. Quer pela introdução de narrativas mais imersivas como a utilização de personagens que surgem em momentos chave e dão ao utilizador um contexto mais teórico/histórico, fornecendo tarefas que guiam a atenção do mesmo, até à criação de sistemas de pontuação que recompensam ou penalizam as suas ações, encaminhando-o para o desfecho idealizado. Este princípio estabelece uma ponte importante entre o entretenimento e a capacidade para transmitir conteúdos educativos.

- Ver o invisível – este princípio é praticamente autoexplicativo e está diretamente relacionado com as funcionalidades base que a AR proporciona: combinar o conteúdo virtual no mundo real. Com isto, a proposta é fundir a observação como seres humanos do mundo real, com o que de outra maneira seria impossível de ser observado. Isto inclui a visualização de modelos 3D de animais ou cenários históricos, ou num sentido mais metafórico, tornar dispositivo RA numa lente, que permite observar micróbios, átomos etc.

Embora os métodos de virtualização tenham um grande potencial para melhorar diversas áreas de ensino, é importante ter em conta que são apenas mais uma ferramenta entre muitas e que como todas elas, têm as suas limitações. Nenhuma solução é ideal, especialmente quando os resultados envolvem o fator humano, como é o caso da aprendizagem [13]. A capacidade cognitiva, o estilo de aprendizagem individual, a capacidade de visualização espacial e as experiências anteriores com estes tipos de ambientes de aprendizagem, são alguns dos fatores podem influenciar a eficácia destas técnicas de ensino. [19]

Estudos como o [21] demonstraram resultados muito satisfatórios na aprendizagem de matemática com recurso a uma aplicação RA em telemóvel, quando comparados com a aprendizagem adquirida por um grupo de controlo. Mesmo quando questionados sobre formas bastante simples da aplicação, os utilizadores reportaram com uma frequência bastante significativa que apreciam e valorizam as formas de aprendizagem assentes em técnicas de RA, justificando com o facto de esta ser uma forma mais eficiente e motivadora de adquirir conhecimento. Os participantes referiram ainda preferir este método comparativamente a métodos de ensino tradicional, reforçando ainda que teriam interesse em ver este tipo de aprendizagem a ser aplicado a outras áreas para além da matemática, como a química. No entanto, uma quantidade significativa de participantes revelou que o fator distração é mais uma vez percecionado como uma característica limitativa, preocupação que se verifica em vários outros projetos [17], sendo especialmente frequente naqueles que utilizam RA móvel.

Com base nos resultados dos projetos referidos tornou-se notória a adequação de RA ao contexto da experiência apresentada nesta dissertação. Ficou também evidente a necessidade de recorrer à opinião de especialistas para a seleção e contextualização do conteúdo a apresentar, de forma a criar uma experiência adaptada ao público alvo com o rigor requerido. A criação de um personagem virtual e de mecânicas de jogo que guiem o utilizador e o auxiliem na perceção dos objetivos foi considerado igualmente importante para o objetivo pretendido.

## 2.4 Realidade aumentada e sensores

Há vários anos que o termo IoT (*Internet of Things*), traduzido como “Internet das coisas” se tem tornado num chavão muito popular. Baseia-se na utilização dos mais diversos tipos de dispositivos desde sensores e interruptores até câmaras e eletrodomésticos, ligados em rede, com capacidade de comunicação entre si. Desta forma torna possível a monitorização e o desencadeamento de ações automáticas, à comunicação dos dados em tempo real. A utilização de RA como interface para leitura, interpretação e interação com dispositivos IoT é já uma solução bastante utilizada com resultados bastante satisfatórios. Mynolas [5] é um exemplo disto, que a fim de criar consciência de consumo energético aos alunos de uma escola, utiliza RA para apresentação de dados de sensores espalhados por todo o edifício, criando uma ferramenta para dispositivos móveis utilizada em contexto de sala de aula. Kim [23] refere que a grande tendência nos projetos que fundem RA e IoT consiste na utilização de RA para leitura e apresentação de dados, salientando que a sua utilização como forma de interação e controlo de dispositivos assume uma possibilidade igualmente vantajosa. Com o intuito de ajudar pessoas de mobilidade reduzida a tornarem-se mais independentes em atividades do dia-a-dia, como escolher produtos de uma prateleira de um supermercado, foi apresentada uma solução conjunta entre RA e IoT [24] que permite aos seus utilizadores apontar um dispositivo com uma câmara a uma prateleira, selecionado desta forma os produtos que desejam adquirir.

Em [25] é desenvolvida uma experiência de visualização de dados complexos de qualidade do ar, que torna possível que especialistas e não especialistas trabalhem em conjunto na matéria, através de uma ferramenta explorativa e interativa recorrendo tecnologia de visualização facilmente acessíveis. Em [26] é validada a relevância da apresentação de dados de qualidade do ar através de representações 3D, comparativamente aos métodos tradicionais.

De forma a possibilitar a observação de radiação eletromagnética emitida por equipamentos eletrónicos banais, presentes numa sala onde os utilizadores se podem deslocar e explorar livremente o ambiente, foi desenvolvida uma experiência em RA que utiliza um HMD [27]. Os resultados recolhidos pelos autores evidenciam a validação e apreciação dos participantes relativamente à utilização destas técnicas para a visualização e aprendizagem de conteúdo invisível, reportando ainda que gostariam de ver a ferramenta aplicada no futuro a outros objetivos educativos.

Incitado pelas mais valias de RA aplicada à aprendizagem interativa, Mahmoudi levou a cabo um projeto [28] onde utilizou um sensor que deteta e identifica cores, para criar um sistema de aprendizagem das cores, em espanhol, para crianças. A componente explorativa deste sistema dá a possibilidade às crianças apontar o sensor para qualquer objeto no mundo real e obter a sua cor. No ecrã do dispositivo usado é apresentada a sua tradução em espanhol, tornando a aprendizagem interativa e autónoma. Embora sejam apontadas algumas limitações à utilização deste sensor e não tenham sido realizados testes comparativos com métodos de ensino tradicional, revelou-se existir um ganho significativo de conhecimento após a utilização do sistema desenvolvido.

Pokrik [29], em 2015, para testar as potencialidades da RA para a criação de uma experiência atrativa e interessante para apresentação de dados relativos à qualidade do ar, desenvolveu um jogo para dispositivos móveis, que consiste em adivinhar a temperatura e níveis de CO<sub>2</sub> de um local distante onde está instalado um dispositivo IoT. Através da observação de um personagem virtual em 3D, apresentado de t-shirt ou cachecol, com ou sem uma máscara de gás, o utilizador tem de fornecer o seu palpite sobre os níveis de temperatura e CO<sub>2</sub> medidas no local do sensor. Quanto mais próximo dos valores reais for o palpite do utilizador, maior será a pontuação ganha. Nos dados apresentados relativos às opiniões de 23 utilizadores com quem a solução foi testada, é possível verificar que grande parte (>40%) afirmam que esta é uma abordagem interessante e divertida para jogos educativos, promovendo a consciência para problemas ambientais. Os autores deixam a nota de que a utilização de AR Genie [30] foi uma ferramenta valiosa para o desenvolvimento do projeto, já que não exige conhecimentos técnicos profundos de desenvolvimento e simplifica a tarefa de fundir RA com outras tecnologias como sensores IoT.

Em 2020, Sassi [31] levou a cabo um estudo onde foi criada uma rede IoT composta por sensores de qualidade do ar associados a uma interface RA, com o objetivo de possibilitar aos moradores de um prédio a monitorização da qualidade do ar das suas casas. Neste estudo bastante semelhante à experiência idealizada nesta dissertação, foram contemplados dados como: a existência de partículas no ar, temperatura e humidade. Como o objetivo é disponibilizar estes dados a todo o tipo de utilizadores, a ferramenta foi adaptada a utilizadores sem conhecimentos profundos das variáveis que influenciam a qualidade do ar. Para isto os autores dedicaram especial atenção a características como a quantidade e tipo de informação que apresentam, de forma a tornar a experiência o mais positiva e eficaz possível. Agregando os dados recebidos em bruto, a ferramenta trata-os de forma a gerar conhecimento de mais alto nível, apresentando-o de uma forma imersiva e intuitiva e possível de ser facilmente interpretada por um público bastante abrangente. Comparativamente com versões da ferramenta sem a componente de RA, foi demonstrado que a componente de RA foi percebida pelos utilizadores com um maior grau de satisfação tanto a nível da qualidade da experiência como da sua eficácia em apresentar informação.

## 2.5 Formas de interação com realidade aumentada

A procura por formas de interação que distingam a experiência e a tornem memorável, sem comprometer a qualidade de utilização, foi um dos objetivos definidos na conceção inicial da experiência apresentada nesta dissertação. Justificada pela demanda por sistemas mais naturais, orgânicos e *user friendly*, a lista de métodos de interação pessoa-máquina tem vindo a ser largamente expandida. Mesmo em sistemas em RA, a tendência não é diferente e os métodos testados para interação são dos mais variados tipos. Alguns exemplos passam pela utilização de sensores como os de posição GPS, comandos de voz e sons, sinais visuais captados por sensores de imagem como o movimento dos olhos, ou até mesmo recorrendo à leitura de sinais biológicos. A utilização combinada de mais que um destes métodos é também uma tendência e pode enriquecer ainda mais a experiência e alargar as possibilidades.

Utilizando redes neuronais, o projeto MagicHand [32] fez uso do reconhecimento e posição da mão do utilizador como método de interação com o sistema RA, para controlar equipamentos IoT. Recorrendo aos óculos HoloLens, os investigadores utilizaram um sensor de profundidade para detetar a mão do utilizador e os seus gestos, interagindo desta forma com os sistemas de som e luzes. Em [33], numa experiência educativa para crianças, em RA, desenvolvida para ser experienciada ao ar livre, foi considerado que a utilização de objetos reais é um fator que fornece um forte contributo à experiência de aprendizagem. Nesta, os utilizadores são desafiados a relacionar plantas reais com os seus frutos e as folhas. Indicam ainda que explicações de cinco minutos são suficientes para as crianças se sentirem capazes de iniciar este tipo de experiência por si próprias.

A utilização de objetos físicos, reais, para manipulação e interação com o conteúdo virtual dá-se pelo nome de interface tangível. É uma abordagem bastante poderosa, intuitiva e fácil de usar, que tira proveito das competências naturais de manipulação objetos físicos, providenciando maior grau de imersão por garantir maior estimulação sensorial como a sensação háptica, de peso, textura, temperatura entre outras. [34] [35]

Em 2017, num teste comparativo [36] entre ecrãs táteis, interfaces tangíveis e o clássico conjunto rato-teclado para interação com objetos virtuais 3D, foi concluído que os 3 métodos eram igualmente preformantes no que à precisão da interação diz respeito. Porém, no que respeita à preferência dos utilizadores e à rapidez da interação, as interfaces tangíveis apresentaram melhores resultados. No entanto, para o correto funcionamento deste tipo de interface, é necessário garantir elevados níveis de qualidade de deteção e rastreamento da interface tangível. Para resolver este problema, alguns autores utilizam simultaneamente várias câmaras, como câmaras de infravermelhos [37] ou câmaras associadas a sensores de profundidade [38]. Neste artigo os autores tentaram ainda utilizar as várias câmaras que os telemóveis hoje em dia possuem para, através da diferença de perspetivas entre elas, estimar a distância ao objeto. A implementação desta ideia não foi concretizada devido ao acesso limitado aos dados das câmaras nos dispositivos móveis.

Utilizando um sensor de profundidade e uma câmara, ambos conectados a um Raspberry Pi, em [38] os autores desenvolveram o próprio algoritmo para detetar, em tempo real, os movimentos em 3 eixos de um objeto tangível, que utilizaram para a interação com o sistema. Este algoritmo baseia-se na deteção e mapeamento dos cantos de uma folha (assente num plano), que os autores utilizam como tabuleiro de jogo, através da qual é possível realizar a interação com o sistema. Através da câmara, é possível mapear os movimentos do objeto relativamente aos cantos do tabuleiro de jogo, obtendo os dois eixos de deslocação paralelos ao tabuleiro de jogo. Juntando a informação captada pelo sensor de profundidade, os autores obtêm dados para calcular o eixo em falta, a profundidade em relação à câmara. Para a interação com o sistema foi usado um apontador composto por uma vara e uma esfera na extremidade. O utilizador segura na vara e mantém a extremidade esférica dentro do tabuleiro de jogo. É esta extremidade a responsável pelo mapeamento das interações com o sistema pela câmara através de segmentação RGB, pois possui uma cor que se destaca do ambiente de fundo para facilitar o seu reconhecimento pela câmara.

Em [39] os autores utilizaram um marcador na ponta de uma vara como forma de interação para esculpir e moldar objetos virtuais em 3D numa aplicação de RA. Ao método de interação, que concluíram ser uma forma bastante natural para este tipo de interação, chamaram “caneta RA”. Os marcadores detetados por câmaras representam um método de interação simples e acessível de utilizar em sistemas de prototipagem rápida, já que são fáceis de imprimir e podem ser facilmente associados a objetos reais. Para um contexto de sala de aula, esta metodologia pode ser particularmente valorizada, ou em qualquer outro contexto onde pode ser necessário reproduzir a experiência numa quantidade considerável, para cada aluno ou grupo de utilizadores ter acesso.

Também em contextos RV é possível utilizar objetos tangíveis, detetados por marcadores, como modo de interação. Na ambição de criar uma experiência memorável, atrativa e monetariamente acessível, Jorge Cardoso [40] utilizou um livro real, tangível, como ferramenta de base da experiência. A manipulação deste livro, coberto por marcadores na capa, contracapa e em todas as páginas, é replicada no mundo virtual, tanto na sua posição, rotação como na página aberta. O objetivo não passou por transmitir nenhum tipo de informação através do livro, apenas testar a reação dos utilizadores relativamente a este método de interação tangível em RV e perceber as suas limitações e possibilidades. Os testes realizados apontam a experiência como uma atrativa e memorável de utilizar interfaces tangíveis em ambientes virtuais.

Em [40] foram prototipados diferentes métodos de interação tangível baseadas em marcadores reconhecidos por uma camera. Cubos de diferentes pesos e tamanhos, objetos de formatos mais detalhados e específicos (como uma torre) e livros, foram alguns dos objetos escolhidos. Nestes foram colados marcadores nas várias faces, possibilitando a deteção em vários ângulos. Botões ativados por oclusão de marcadores, *sliders* conseguidos pela deslocação de marcadores, uma varinha controlada pela mão e até partes do corpo como pés, pulsos e dedos, foram outras das formas de interação testadas. Neste estudo, durante as sessões de testes, cada utilizador teve contacto com três destes protótipos, envolvidos no sistema RV, criado por um smartphone montado num HMD. O protocolo de testes foi conduzido por algumas questões que encorajavam os utilizadores a partilhar os seus pensamentos relativamente aos propósitos que cada um poderiam servir, em que contextos seriam aplicáveis e propostas de melhoria. Destes resultaram comentários positivos sobre as interações como sentir as formas, texturas, densidades e até cheiros dos objetos que observam no mundo virtual para aumentar a sensação de imersão. “Bater” e “tocar” com os objetos tangíveis noutros objetos, para desencadear ações como por exemplo sons resultantes deste impacto, para ativar botões ou servir simplesmente de interação para ações como trocar de música, foram algumas das propostas de aplicação. Como forma de feedback destas interações, os utilizadores sugeriram com bastante frequência a importância de usar sons, mas também o uso de vídeos, imagens e animações. A desconstrução de objetos, como a visualização do interior de um computador, dos seus componentes e a exploração arquitetónica, como a visita ao interior de edifícios, foi outra sugestão recebida. De todos os objetos, o livro foi o que obteve melhor aceitação pelos utilizadores. Dentro dos marcadores presentes em partes do corpo, apenas nas mãos foram obtidos resultados satisfatórios, concluindo que pode ser uma solução barata para a deteção de mãos em ambientes em que a camera esteja no ponto de vista do utilizador.

## 2.6 Validação de projetos semelhantes

De forma a avaliar o trabalho realizado durante as várias etapas de desenvolvimento é essencial que sejam realizadas fases intermédias de teste. No processo de desenvolvimento da experiência utilizou-se o método de *design* centrado no utilizador. Enquadrar utilizadores do público alvo no processo de desenvolvimento é uma forma de garantir melhores resultados de satisfação na utilização do produto final, resultando numa maior aceitação e conseqüentemente a sua utilização. [41] [42] [43] Durante a fase de testes de experimentação, diversos estudos optam por questionar os participantes sobre experiência passada com computadores, jogos e mais especificamente com experiências RA/RV. [27] Desta forma torna-se possível relacionar o sucesso e insucesso da utilização do produto em teste com a experiência já trazida pelos participantes, identificando necessidades de adequação do produto como a criação de tutoriais.

Num artigo [17] que sugere vinte e três princípios de orientação ao desenvolvimento de RA em dispositivos móveis, como veículo de aprendizagem para crianças do pré-escolar, foram utilizados ambos métodos de validação qualitativa e quantitativa de uma solução de teste dos princípios propostos. A validação qualitativa realizou-se através de entrevistas a utilizadores e educadores, enquanto que para a validação quantitativa foi utilizado o SUS<sup>4</sup>.

O SUS (System Usability Scale) é um questionário padrão que foi desenvolvido em 1986 por John Brooke, conhecido como um método prático e económico de avaliar a aceitação e usabilidade de produtos e serviços como interfaces Web, de sistemas operativos entre outras. É um questionário que apresenta uma característica especialmente importante quando o público alvo são crianças, já que garante bastante precisão científica sem ser demasiado extenso para o utilizador. De uma forma geral pretende avaliar os seguintes fatores: eficácia do produto testado (a capacidade do utilizador completar os seus objetivos), a eficiência (o esforço necessário para alcançar os objetivos) e a satisfação dos utilizadores durante a utilização do produto em teste. Para isto são utilizadas 10 questões com uma escala de 5 respostas *Likert*, com hipóteses entre “concordo plenamente” e “discordo plenamente”. A avaliação do produto em teste é realizada de acordo com uma pontuação resultante da compilação das respostas. É esta pontuação que confere ao SUS a capacidade de avaliação quantitativa.

---

<sup>4</sup> System usability scale – em português “escala de avaliação da usabilidade”

O TAM<sup>5</sup> (Technology Acceptance Model) é outro modelo de questionário padrão muito utilizado para avaliar os níveis de aceitação e adoção de um novo produto ou tecnologia. Foi desenvolvido em 1989 por Davis e o seu modelo de avaliação é baseado na ideia de que a qualidade de um produto pode ser aferida através da percepção que os utilizadores têm da sua utilidade e facilidade de uso. Para isto utiliza um conjunto de perguntas, divididas na avaliação destes dois fatores, com sete opções de resposta do estilo *Likert*.

Na validação de uma ferramenta de ensino de probabilidades matemáticas através de uma ferramenta em RA para dispositivos móveis, Cai [21] utilizou testes pré-existentes da disciplina de estatística desenvolvidos por uma escola local. Foi pedido aos utilizadores que respondessem a 16 questões do teste antes e depois da exposição à ferramenta, de forma a comparar os ganhos obtidos. Os testes contaram com 68 utilizadores com idades compreendidas entre os 13 e os 15 anos, uniformemente distribuídas por dois grupos: grupo experimental e grupo de controlo. O grupo de controlo foi exposto apenas a métodos tradicionais de ensino. Para validar o jogo em RA, o grupo experimental foi submetido a um questionário adaptado do TAM, sobre os níveis de aceitação da ferramenta, tendo o foco incidido em características como a satisfação, validação cognitiva e acessibilidade cognitiva. Terminadas as experiências, foram ainda realizadas 5 perguntas de resposta aberta como: “qual foi a parte da experiência que mais gostaste?”, “quais as vantagens e desvantagens das aplicações AR face aos métodos tradicionais de ensino?”. No final, foram selecionados aleatoriamente 4 dos participantes, aos quais foram feitas pequenas entrevistas em que foram respondidas as seguintes questões: “Como comparas a aprendizagem em realidade aumentada relativamente aos métodos de ensino tradicionais?”, “Que partes da matéria é que aprendeste? Em que parte da experiência?”.

Em [27] os utilizadores foram convidados a observar a radiação eletromagnética emitida por equipamentos eletrónicos que fazem parte do quotidiano, através dos óculos HMD de RA. Na validação da experiência desenvolvida e da sua aceitação pelo utilizador, utilizaram uma versão modificada de TAM. A satisfação foi medida através de uma simples questão “Quanto é que gostaste da experiência?”. Esta e as outras perguntas foram respondidas recorrendo ao sistema *Likert* com 7 opções de resposta. Junto a esta última pergunta sobre a satisfação do utilizador, foi deixado um campo de resposta livre, onde os utilizadores podiam deixar comentários e elaborar relativamente à resposta quantitativa que forneceram. Nestas, tal como já confirmado os dados recolhidos no questionário baseado no TAM, foi verificado que os utilizadores se sentiram imersos na experiência, reportando a visualização bastante vivida das ondas eletromagnéticas.

---

<sup>5</sup> *Technology acceptance questionnaire* – Questionário de aceitação de tecnologia (em português)

Para validar uma ferramenta de visualização de dados de poluição através de RA, Sassi [31] desenvolveu e realizou testes com 3 variantes da ferramenta criada: (1) versão clássica de apresentação de dados, (2) versão da ferramenta em 2D, sem RA e (3) versão desenvolvida com RA. Para aferir comparativamente a qualidade das diferentes versões de apresentação de dados de qualidade do ar, criou o seu próprio questionário com 5 questões, com 5 níveis de resposta *Likert*. O questionário desenvolvido foi respondido após a realização de cada experiência, a fim de avaliar os seguintes parâmetros:

- Experiência do utilizador – “Como avalias a experiência?”;
- Satisfação – “A ferramenta é confortável e fácil de usar?”;
- Eficiência – “Achas que este método de visualização de dados apresenta bons resultados relativamente ao tempo de aprendizagem e realização de tarefas?”;
- Eficácia - “Como avalias a qualidade da solução e taxa de erros?”;
- Segurança – “Consideras que o sistema é seguro e privado?”.

Na validação do jogo de Pokric [29], um jogo onde o objetivo é adivinhar os valores de temperatura e CO2 num local determinado, através da interpretação das pistas dadas por um personagem virtual, os autores realizaram também um questionário com 5 hipóteses de resposta. De “discordo completamente” a “concordo completamente”, os utilizadores responderam sobre as capacidades educativas, de entretenimento da solução, carácter intuitivo de utilização e como é que a sua utilização se compara a outros tipos de jogos de aprendizagem.

Devido à pandemia de COVID-19, em [40] optou-se por testar uma experiência RV sem que fosse necessário estabelecer contacto com o protótipo. Foi utilizada uma metodologia baseada em [44], recorrendo a questionários online, respondidos após a visualização de vídeos onde é apresentada a perspetiva de um utilizador a interagir com a componente virtual da experiência, lado a lado com a observação da experiência na terceira pessoa.

Num estudo onde é proposto um sistema que combina RA e IoT para melhorar a performance de alunos na aprendizagem das cores em espanhol [28], os utilizadores usam como métrica a realização de um questionário de 4 questões para aferir os conhecimentos dos utilizadores antes e depois de terem contacto com o sistema desenvolvido. Comparam os resultados dos dois testes através da média, mediana, desvio padrão e testes t pareados.

## 2.7 Discussão

No estado da arte são encontrados diversos projetos que incorporam a representação de compostos poluentes de uma forma interativa e imersiva, utilizando dados reais [26] e leituras em tempo real [31]. No entanto, a interação direta com sensores de qualidade do ar é uma possibilidade que está ainda por explorar. Esta aparenta ser uma forma simples e intuitiva de proporcionar aos utilizadores um meio de exploração e relacionamento de ações do dia a dia com os compostos poluentes que delas resultam. A experiência interativa criada nesta dissertação propõe um meio de realizar esta exploração, utilizando objetos do quotidiano como forma de interação com este tipo de sensores para transmitir conceitos de poluição do ar, tornando tangível a poluição do ar.

## Capítulo 3

### 3 Desenvolvimento do sistema proposto

Neste capítulo é descrita a experiência criada e o método seguido para a desenvolver, passando pela abordagem de todos os processos e tecnologias usados. O objetivo é estender as valências da RA, munindo-a de dados captados por um sensor, em tempo real, de modo a criar uma experiência “joguificada”, capaz de incitar a vontade de exploração e de transmitir conceitos básicos sobre a qualidade do ar. No subcapítulo 3.1 são apresentadas as metodologias utilizadas, enquanto as tecnologias e *software* empregues são descritas no subcapítulo 3.2. No subcapítulo 3.3 é apresentada uma descrição da experiência idealizada e no 3.4 são abordados os sensores de qualidade do ar utilizados. A forma como os compostos poluentes são representados no mundo virtual pode ser encontrada no subcapítulo 3.5. Os meios de interação com a experiência são abordados no subcapítulo 3.6 e no 3.7 é descrita a forma de atuação das ferramentas de remoção de poluição do ar. A disposição espacial da experiência é abordada no subcapítulo 3.8 e as mecânicas de jogo da experiência são descritas no subcapítulo 3.9.

#### 3.1 Metodologia de desenho

Durante o desenvolvimento desta experiência foi utilizada uma metodologia de desenho participativo, centrado no utilizador, com ciclos curtos de prototipagem e teste. Esta recorre tão frequentemente quanto possível ao teste de pequenas componentes do jogo com utilizadores pertencentes (ou o mais próximo possível) do público alvo. Este método permite obter a opinião e reações dos utilizadores à ferramenta, validando pequenas iterações de desenvolvimento de uma forma prática e objetiva. Evitam-se assim grandes retrocessos nas etapas de desenvolvimento e são mais prematuramente identificadas necessidades de alteração. Este tipo de testes permite ainda recolher ideias e ajuda a perceber que características são mais valorizadas pelos utilizadores, que se podem tornar difíceis de identificar por quem idealizou e desenvolveu a ferramenta. Sem necessidade de investir muito tempo ou recursos, o objetivo é validar e recolher *inputs* relativos a todos os aspetos da experiência. Desde a aparência e design dos objetos, à forma de interação e *feedback*, foram realizados tanto testes formativos, comumente conhecidos como testes de corredor, como testes sumativos, de acordo com um guião orientado a tarefas.

Durante a validação dos protótipos foi utilizada a técnica conhecida por *think aloud* (traduzido para português, pensar em voz alta), uma técnica em que os utilizadores são incentivados a exteriorizar os seus pensamentos, dificuldades e questões que surjam ao longo da experiência.

Tendo em conta o carácter pedagógico da ferramenta desenvolvida, considerou-se essencial partilhar impressões com alguém especializado na área da qualidade do ar. Para o efeito, contou-se com a participação de um investigador sénior com vasta experiência científica e prática na área da monitorização da qualidade do ar, com experiência também na divulgação científica nessa temática.

Para agilizar os testes e evitar que o ruído inerente ao sensor influencie os resultados da utilização da experiência, utilizou-se o método *wizard of oz* [45]. Simulando as leituras do sensor através de um teclado operado por quem está a guiar a experiência, sem que os utilizadores se apercebam, prescindiu-se da utilização de um sensor real na realização dos testes. A forma como este método foi aplicado é mais detalhadamente descrito no subcapítulo 3.5.

## 3.2 Software utilizado

Para o desenvolvimento da componente de software foi utilizado o Unity 3D [46], um dos mais conhecidos motores de desenvolvimento de jogos da atualidade. A versatilidade e facilidade de utilização são duas das principais características que sustentam a sua popularidade. Para além das suas poderosas funcionalidades, disponibilizadas de forma gratuita, dispõe ainda de uma vasta comunidade de utilizadores ativos nos fóruns, assim como de um completo acervo de documentação.

Para a inclusão da componente de realidade aumentada no jogo foi usado o Vuforia [47], um SDK desenvolvido em C++, dedicado à criação de ambientes virtuais em interação com o mundo real. Esta plataforma de desenvolvimento pode ser executada em sistemas Windows, mas também em dispositivos móveis, (android e IOS), ou *heads-up display* como o Magic Leap. A facilidade de integração deste SDK com o Unity 3D foi uma das principais razões que motivou a sua escolha, tendo o ARToolkit [48] e o EasyAr [49] sido hipóteses descartadas não só por serem menos versáteis, mas também por terem menos documentação disponível [31].

A função base do Vuforia resume-se ao reconhecimento e rastreamento de características e atributos com base em imagens, realizando o seu mapeamento e convertendo-as para coordenadas do mundo virtual. Baseando-se nisto, oferece diversas ferramentas, prontas a usar, como o reconhecimento de imagens (através da identificação de padrões), objetos (pelas características físicas e volumétricas) e áreas (como a deteção do plano do chão ou até mapeando divisões de um edifício). Neste projeto apenas foi utilizado o reconhecimento de imagens, também conhecidas como marcadores, cuja função é auxiliar o sistema a detetar a presença da caixa de sensores e estimar a sua pose. Para tal, o marcador a detetar tem de ser previamente inserido no Vuforia, sendo essencial ter algumas características em atenção para garantir o seu bom desempenho. O sistema deteta e rastreia a imagem comparando as suas características com a imagem captada pela câmara. Assim, é essencial que a imagem escolhida para o marcador seja rica em detalhe e que possua características evidentes, que não se repitam e se destaquem do cenário envolvente.

### 3.3 A experiência interativa

O desenvolvimento do ambiente da experiência passou por diversas fases. O conceito inicial surge da ideia de fundir RA com sensores de deteção de elementos poluentes no ar e desdobra-se na criação de um instrumento que permite a uma criança visualizar e interagir com os elementos existentes no momento e local da experiência. Tal como um microscópio ou máquina de raio-x são instrumentos que permitem observar o mundo em outra escala/espectro, a ideia é criar uma experiência em torno de um instrumento fantasiado, que dê aos utilizadores a possibilidade de observar o mundo de uma outra perspetiva/dimensão. Neste caso concreto, o objeto de observação são os elementos suspensos no ar, mais concretamente os compostos poluentes. Devido ao facto de se dispor de sensores móveis, que identificam alguns destes compostos e fornecem leituras em tempo real, projetou-se a interação com o instrumento por meio de objetos do quotidiano. *Sprays*, velas e perfumes foram alguns dos objetos considerados por serem objetos comuns, com o tamanho adequado à escala da experiência e facilmente identificáveis pelos utilizadores. O objetivo passa por fornecer dados aos utilizadores que demonstrem características da qualidade do ar, invisíveis à vista desarmada. Assim, é-lhes possível estabelecer relações entre os objetos utilizados e a forma como estes interferem com a qualidade do ar. A forma como foi pensada e realizada a apresentação destes dados é descrita no subcapítulo 3.5.

De forma a acomodar os sensores e os seus componentes, a experiência assume a existência de uma caixa em plástico com furações em duas das suas extremidades para assegurar o fluxo do ar. Os restantes detalhes da caixa e dos seus componentes são descritos no subcapítulo 3.4. Esta caixa tornou-se o centro de toda a experiência, idealizando-se a utilização de uma das suas faces como local de sobreposição de conteúdo virtual, de forma a criar a ilusão de que teríamos tornado essa face transparente. Desta forma, a informação captada pelos sensores é virtualmente representada no interior da caixa, criando contexto e relação entre os objetos reais e a representação dos compostos poluentes que emitem. Um dos primeiros esboços de um protótipo da ferramenta pode ser observado na Figura 1, onde é possível observar os compostos poluentes no interior da caixa, resultantes da colocação da vela na entrada de ar do sensor. O objetivo é dar ao utilizador não só a possibilidade de observar, mas também de interagir com os diversos compostos de poluição presentes no ar, provenientes dos objetos colocados na área de captação do sensor. Para este efeito, foram criadas ferramentas com diferentes capacidades de atuação sobre estes compostos. Manobradas pelo utilizador através da “varinha” de interação representada na Figura 1, com o número 2, estas ferramentas são utilizadas com o intuito de eliminar a poluição presente no interior da caixa. A forma como estas ferramentas foram desenvolvidas e o modo de interação do utilizador com as mesmas é abordada nos subcapítulos 3.7 e 3.6, respetivamente.

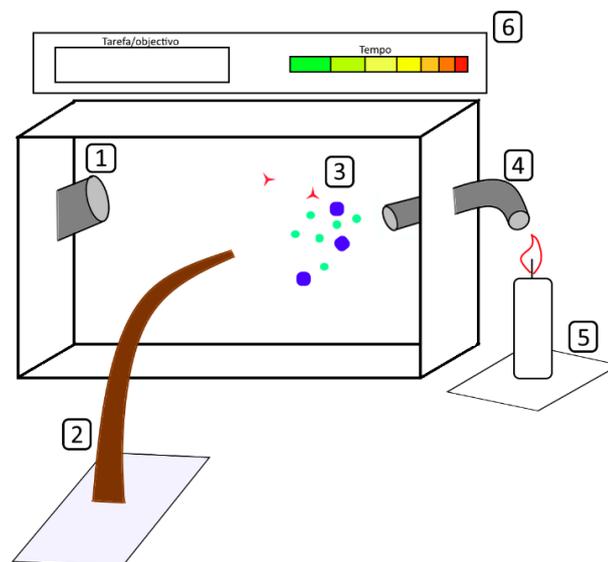


Figura 1- Primeiro esboço da ferramenta. Legenda: 1- tubo de extração do ar {virtual}; 2- “varinha” de interação com a experiência (ferramenta de limpeza do ar) {misto}; 3- representação de diferentes compostos de poluição do ar {virtual}; 4- tubo de entrada de ar para o sensor {real}; 5- área de colocação de objetos fontes de poluição {real}; 6- UI gráfico de objetivos/pontuação {virtual}.

### 3.4 Dispositivo para monitorização da qualidade do ar

A facilidade de aquisição de pequenos sensores de qualidade do ar tem vindo a vulgarizar o seu uso. Nestes, os dados captados não são tão precisos nem tecnicamente abrangentes como os que operam em estações de autoridades públicas, mas o seu tamanho reduzido, acessibilidade, facilidade de utilização e até portabilidade, promovem uma variedade de utilizações mais alargada. Não só é possível obter maior densidade de amostras geográficas, como passaram a ser dadas novas utilidades a este tipo de sensores e aos dados que produzem. [31] [29] [1]

A experiência idealizada, pressupõe a existência de uma caixa através da qual seja possível a recolha de dados de qualidade do ar em tempo real, como a desenvolvida no projeto ExpoLIS [1]. A caixa do projeto ExpoLIS permite recolher medições de compostos do ar através de dois sensores de gases, que fornecem leituras de monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogénio (NO<sub>2</sub>), e um detetor ótico de partículas com diâmetro de 1 µm, 2.5 µm e 10 µm (PM1, PM2.5 e PM10, respetivamente). Os resultados das medições são apresentados através de mensagens MQTT, descritas em maior detalhe no Anexo 1.

De forma a tornar possível acomodar o conjunto de sensores do projeto ExpoLIS, foi utilizada uma caixa de plástico, branca, idêntica à caixa utilizada no projeto original, apenas com maiores dimensões e sem os componentes que lhe conferem qualidades aerodinâmicas. Esta nova caixa conta com 42 cm de largura, 26 cm de altura e 9 cm de profundidade e está representada na Figura 2. De modo a permitir a constante deteção dos componentes do ar na proximidade da caixa, foram realizadas furações nas faces laterais, tal como na caixa original. Desta forma garante-se a renovação contínua do ar em contacto com os sensores. Ao orifício de entrada de ar foi ainda associado um pequeno tubo (representado na Figura 2 pela letra B), de forma a ser mais facilmente identificado.



Figura 2 - Fotografia da caixa utilizada. Legenda: A – marcador da caixa; B – tubo de entrada de ar.

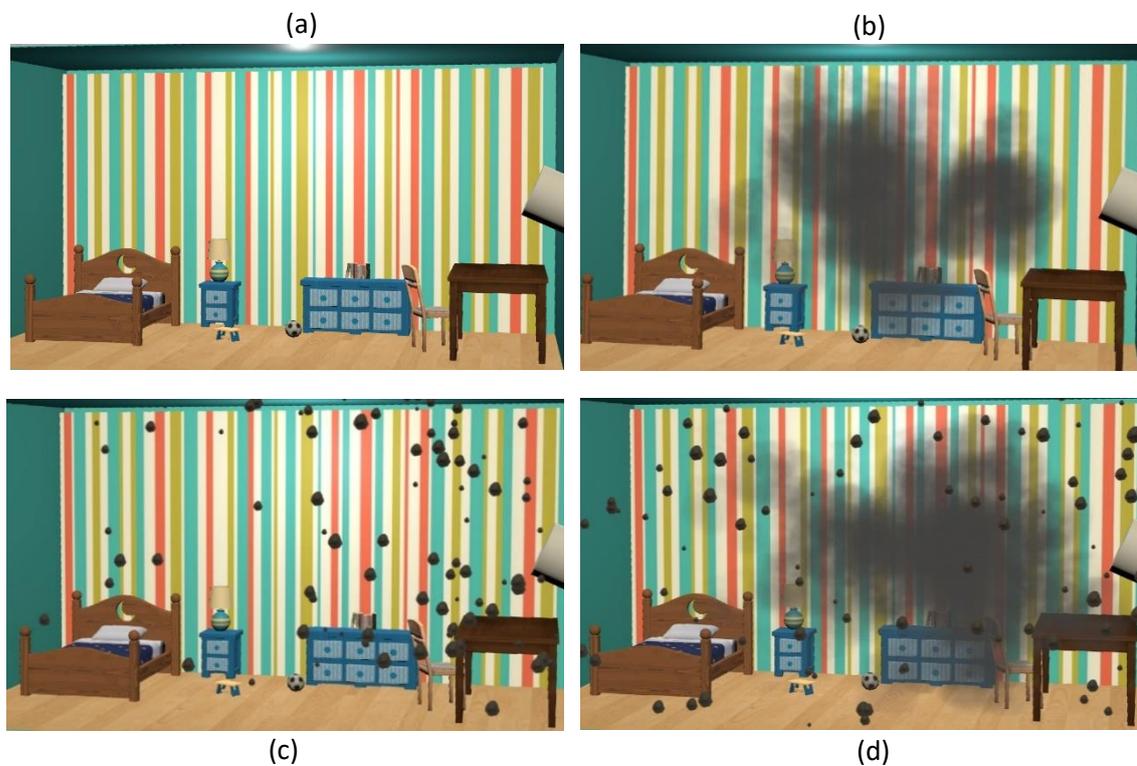
Embora a comunicação entre os sensores e o Unity esteja assegurada e represente uma forma de transmitir os dados em tempo real, considerou-se que, nesta fase de experimentação e teste, o foco deveria estar voltado para a validação da componente pedagógica e das mecânicas de representação e interação com a experiência, isolando-as, tanto quanto possível, dos restantes elementos da ferramenta. Neste sentido, considerou-se que a utilização do conjunto de sensores, poderia representar um acréscimo de entropia no momento de teste. A incerteza das leituras e necessidade de calibração são alguns exemplos de fatores que necessitam ser considerados e ajustados à utilização na experiência. Optou então por usar-se o método conhecido por *Wizard of oz*, uma metodologia de teste que consiste em simular reações e automatismos do sistema, utilizando interações humanas, diretas e dissimuladas, levando o utilizador a acreditar que é de facto o sistema que as está a produzir. Para replicar este método, foi usado um teclado sem fios, conectado ao computador no momento de execução da experiência, com um conjunto de teclas mapeadas de forma a simular diferentes níveis de emissões de cada um dos elementos. Este teclado é utilizado por quem conduz o teste, de forma impercetível ao utilizador. Pouparam-se assim vários processos de configuração e calibração no momento dos testes, sem que a validação da experiência fosse posta em causa.

Numa das maiores faces da caixa foi impresso um marcador (representado pela letra A na Figura 2), uma imagem reconhecida pelo Vuforia de forma a estimar a pose (posição e orientação) da caixa relativamente à câmara, em cada momento. O modelo da caixa foi reproduzido no Blender [50], com as dimensões à escala da caixa real, onde foi removida a face onde é colocado o marcador. Sobrepondo esta representação à imagem real, é criada a ilusão de que a face principal da caixa desapareceu, ou se tornou transparente, sendo possível observar o seu interior.

### 3.5 Representação dos compostos poluentes

Em resultado das sessões de design participativo com o perito ambiental, optou-se por limitar o desenho da experiência apenas à distinção entre gases e partículas. Esta opção advém do facto de as representações individualizadas de CO, NO<sub>2</sub>, PM 1, PM 2.5 e PM 10 serem consideradas excessivas e descontextualizadas do nível de ensino do público alvo (1º ciclo do ensino básico), indo de encontro à sobrecarga cognitiva referida frequentemente no estado de arte. Quando o objetivo se prende com a transmissão de conhecimento, o rigor acarretado pela tarefa leva facilmente a que sejam ambicionados níveis de detalhe desadequados na apresentação de informação, sobrevalorizando, de forma involuntária, o contexto e a capacidade de assimilação do público alvo.

Assim, para criar as representações dos gases e partículas, utilizou-se o sistema de partículas do Unity. Este componente é geralmente utilizado para a criação de efeitos visuais passivos, como chuva, nuvens, vento, entre outros. No entanto, é um componente bastante completo, que incorpora componentes da física e com uma considerável quantidade de propriedades facilmente configuráveis. Desde o número de emissões por segundo e velocidade da emissão, até componentes da física mais complexos como a reação à aplicação de forças e a colisões, o sistema de partículas revelou ter todas as características necessárias para esta experiência. A forma como cada um destes elementos é representado pode ser observada na Figura 3. As partículas e os gases são ambos representados com a cor cinzenta, contrastando com o cenário colorido. Desta forma procurou-se atribuir-lhes uma conotação negativa, como se de o inimigo, que tem de ser eliminado, se tratasse.



*Figura 3 – Representação dos gases e partículas  
(a) - cenário limpo; (b) - cenário com a presença de gases; (c) - cenário com a presença de partículas; (d) - cenário com a presença de gases e partículas.*

O valor de emissões em unidades por segundo de cada elemento de poluição, foi dividido em 4 níveis: 1 (nível de emissão baixo), 2 (nível de emissão moderado), 3 (nível de emissão intenso) e 4 (nível de emissão extremo). A invocação de cada um destes 4 níveis está diretamente relacionada com os dados captados pelos sensores, tendo estes sido baseados no AQI<sup>6</sup> [51]. Este índice é um indicador dos compostos poluentes detetados no ar, dividido numa escala de 6 níveis de fácil interpretação. Desta escala, apenas foram utilizados os 4 níveis mais elevados devido à elevada concentração das medições efetuadas durante a experiência, resultantes da proximidade a que os objetos são colocados do sensor. Nesta versão de teste da experiência, a invocação destes níveis de emissão é realizada através do método *Wizard of oz*, descrito no subcapítulo 3.4. Desta forma, os índices de emissão despoletados são dependentes do objeto utilizado e da forma e proximidade do sensor com que este é manipulado.

Tanto à representação dos gases como das partículas, é atribuído um vetor de deslocação inicial, com origem no tubo de entrada de ar e em direção à parede onde se encontra a janela. Porém, numa tentativa de simular o comportamento real de cada um destes compostos no ar, durante o seu período de vida, são-lhes atribuídos vetores de deslocamento com direções aleatórias, de forma a simular que estão a suspensos no ar e se deslocam com as suas correntes.

### 3.6 Interação dos utilizadores com a experiência

Neste subcapítulo é descrita a evolução das formas de interação com o sistema. Sendo a experiência idealizada e concebida para ser experienciada a pares, é essencial que ambos os participantes se sintam parte ativa e tenham o seu próprio papel bem definido. Conforme sustentado pelo estado da arte, foi considerado que a relação colaborativa entre os participantes traria consequências mais interessantes e enquadradas com a componente educativa do jogo. Partindo destas premissas, foram considerados dois papéis e, respetivamente, duas formas de interação, descritas em detalhe de seguida:

- Utilizador 1 – seleção e manipulação dos objetos reais junto da caixa de sensores;
- Utilizador 2 – seleção e manipulação das ferramentas de interação com os compostos poluentes.

---

<sup>6</sup> *Air Quality index*, em português Índice de qualidade do ar

### 3.6.1 Utilizador 1 – manipulação dos objetos reais

A interação do Utilizador 1 é a primeira a ser requerida para iniciar o jogo. Este tem à sua disposição um conjunto de objetos reais destinados a interagir com o sensor, sendo o seu primeiro objetivo a exploração dos mesmos. O conjunto de objetos utilizados está representado na Figura 4. Este é composto por um *spray* desodorizante (praticamente vazio, de forma a criar muito pouco cheiro quando é acionado), um pano de limpeza do pó, uma vela e um tubo de cola líquida. Cada objeto tem a sua própria forma de ser operado a fim de disseminar compostos poluentes no ar: o pano tem de ser sacudido, a vela tem de ser acesa, a cola tem de ser aberta e o *spray* tem de ser acionado. À exceção do pano, que é utilizado como exemplo num pequeno tutorial inicial, deixou-se que estas descobertas fossem feitas pelos utilizadores, intervindo apenas em caso de necessidade. Este é um ponto que pode ser melhorado em versões futuras da experiência, fornecendo pistas aos utilizadores de desbloqueio de interação com os objetos reais, de forma a tornar a utilização da ferramenta mais autónoma. Ao operarem um objeto, de forma acertada e na proximidade da entrada de ar da caixa, começam a ser apresentados no ecrã os diferentes elementos poluentes, libertados pelo objeto.



*Figura 4 – Objetos reais utilizados na experiência.*

O papel do Utilizador 1 mantém-se durante toda a experiência, sendo este responsável por selecionar os objetos a utilizar em cada momento, para produzir os compostos poluentes necessários para atingir os objetivos apresentados. Como a utilização do pano apenas garante a introdução de partículas no ambiente de jogo, o utilizador vê-se na necessidade de explorar os restantes objetos de forma a descobrir como produzir gases. Esta necessidade é induzida através das barras de pontuação, mais à frente descritas em 3.9.2.

### 3.6.2 Utilizador 2 – ferramentas de interação com os compostos poluentes

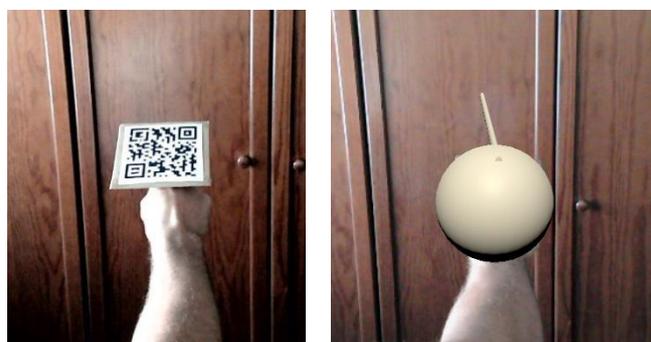
A relevância do papel do Utilizador 2 inicia-se assim que são apresentados os primeiros elementos poluentes no mundo virtual, com o qual este interage diretamente através de um conjunto de ferramentas que tem à sua disposição. Estas ferramentas e as respetivas funcionalidades são descritas no subcapítulo 3.7. O seu objetivo é eliminar os compostos poluentes do ar, encaminhando-os para o ponto de extração, representado pela janela. Para isto, o utilizador necessita de ir realizando algumas experiências, de modo a aprender a relacionar cada uma das ferramentas com a sua capacidade para interagir com cada tipo de poluente. A forma de interação do Utilizador 2 com o ambiente virtual passou por algumas fases de iteração descritas nos parágrafos seguintes.

#### 3.6.2.1 Fase de experimentação e prototipagem

Numa fase inicial, foram equacionadas duas formas de interação com o sistema: através do rato e utilizando as técnicas de reconhecimento de imagem do Vuforia para mapear o deslocamento de marcadores.

Sendo o ambiente virtual um ambiente tridimensional, nos testes com utilização do rato a mecânica de interação com a experiência foi adaptada, concedendo ao utilizador uma liberdade de movimentos em apenas duas dimensões. A razão deve-se à dificuldade em converter a deslocação do rato comum (2D) num mapeamento 3D no ambiente do jogo. Foi assim anulada a deslocação em profundidade, bem como qualquer movimento de rotação.

A Figura 5 demonstra a primeira implementação do método de interação com marcador. Para esta solução, optou-se por associar um marcador a um anel, criado para o dedo indicador. Com um marcador impresso num plano rígido, associado à parte superior do anel, o plano do marcador fica voltado para cima quando o utilizador estende o dedo indicador. Funcionando como se o utilizador estivesse a apontar para o mundo virtual, esta foi considerada uma configuração com potencial para refletir uma forma natural de interação com o sistema.



*Figura 5—Primeiro protótipo de interação através de reconhecimento de imagem.*

*À esquerda – imagem real. À direita – ambiente com RA.*

Ao marcador, foi então sobreposto um objeto virtual com o propósito de representar uma extensão do dedo do utilizador. Esta extensão, à qual foi dada o nome de “varinha”, foi representada no Unity por um objeto 3D, cilíndrico e com características de objeto rígido (componente RigidBody do Unity). Com isto, o objeto passa a ter material e massa associados, adquirindo um comportamento concordante com as leis da física, relativamente ao ambiente e aos restantes objetos virtuais. Nesta fase de prototipagem, os objetos virtuais utilizados eram simples, fáceis de criar e adaptar. O objetivo é testar o efeito que este tipo de interação tem no público alvo e se se adapta ao contexto da experiência, consumindo o mínimo de recursos e tempo possível. A interação com o ambiente virtual foi concretizada através da colisão da “varinha” com os restantes elementos do jogo, possibilitando interações de seleção (p. ex., pressionar botões) e de manipulação de objetos (p. ex., arrastar).

A forma de interação com marcador garante liberdade de movimento nos 3 eixos de deslocação, enquanto que relativamente aos eixos de rotação, são verificadas algumas limitações, nomeadamente nas rotações *Pich* (flexão do pulso) e *Roll* (rotação do antebraço). Na Figura 6 é possível observar cada uma destas rotações. Como é natural, para a correta deteção dos movimentos do utilizador através do reconhecimento da imagem do marcador, é essencial que grande parte do marcador seja visível pela câmara. Ainda assim, de um ponto de vista de necessidade funcional, as limitações de liberdade de rotação deste tipo de interação foram consideradas aceitáveis para a experiência em questão.

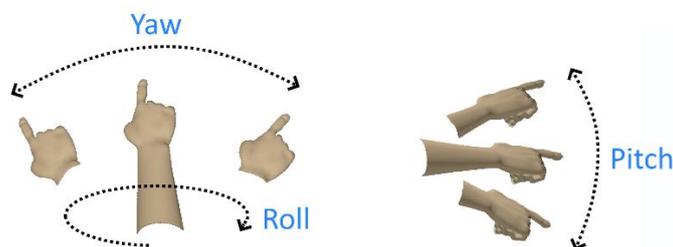


Figura 6– Exemplificação das rotações Yaw, Pitch e Roll.

Grubert [52] desaconselha métodos de interação tangível que recorram a marcadores detetados por câmaras RGB, devido à oclusão que as mãos e os dedos do utilizador possam causar durante o manuseamento dos objetos. Ao invés, recomenda técnicas mais modernas, como o reconhecimento da pose da mão através de processamento de imagem. Apesar de se considerar um ponto válido, esta justificação não cobre a utilização de um anel como método de interação. Utilizando o marcador desta forma, por cima da mão, a questão da oclusão do marcador pela mão do utilizador não se coloca.

O *feedback* dos primeiros testes formativos em que nove utilizadores tiveram contacto com este método de interação, foram bastante negativos. Foram notórias as dificuldades de orientação no ambiente virtual, causando confusão a alguns dos utilizadores ao ponto de não perceberem que a varinha se orientava para o local para onde apontavam. Todos os participantes desta fase de teste tiveram bastante dificuldade em perceberem a profundidade dos objetos virtuais relativamente à varinha, tendo sido constante o comentário por parte do educador “tens de ir mais à frente”. Em alguns destes casos percebia-se que os participantes não estavam completamente cientes de que estavam a apontar para a caixa, já que mesmo depois de receberem a recomendação para aproximarem a mão desta, muitos moviam a mão no sentido errado. Houve necessidade de intervir, de lhes agarrar na mão e demonstrar como funcionava. A partir deste momento começavam a ganhar alguma autonomia.

Por outro lado, a perda do rastreamento, tanto da caixa (por oclusão com o marcador do anel) como do marcador do anel (por deixar de ser visível na câmara), foi bem aceite por todos os participantes, sendo interpretadas como características próprias do jogo. Nestes casos, para prosseguir as experiências, foi também necessário intervir em algumas situações, no sentido de voltar a explicar como funciona a deteção do marcador. Com isto, alguns utilizadores começaram a adotar comportamentos mais defensivos, de forma a evitar a perda de reconhecimento do marcador. Quando o rastreamento era perdido, alguns utilizadores começaram a adotar uma postura mais ativa na sua recuperação. Comportamentos como aproximar o marcador da câmara, mantendo o marcador paralelo ao plano da mesma, foram cada vez mais frequentes.

Nesta fase, quando questionados, seis dos nove utilizadores referiu ter preferência pela interação através do rato em detrimento do método com o marcador. Estes resultados foram associados essencialmente à facilidade com que os utilizadores obtinham *feedback* positivo na versão do jogo com o rato. Comparativamente, obtinham sucesso muito mais rapidamente a desempenhar as tarefas e sentiam-se mais no controlo. A curva de aprendizagem de utilização do marcador é, naturalmente, bastante mais longa do que a do rato, por ser uma forma de interação com a qual nunca tiveram contacto. Por outro lado, a experiência tornava-se muito menos interativa com a utilização do rato, por esta interação ser bastante mais limitada e igual a tantas outras. Era evidente a reação de espanto dos utilizadores quando lhes era apresentado o método do anel, no entanto, esta sensação perdia-se após pouco tempo de utilização devido à dificuldade em manuseá-lo. Na Figura 7 pode encontrar-se uma fotografia tirada durante esta fase de testes.



Figura 7 – Fotografia tirada aos utilizadores durante a fase de testes formativos.

Por se achar que as justificações para os maus resultados dos testes de interação com marcador não eram uma limitação do método em si, mas da forma como este foi implementado e comparado com outro método incomparavelmente mais preformante, decidiu-se investir no aprimoramento dos seguintes aspetos:

- Sobrepor ao marcador do anel um objeto virtual que auxilie o utilizador a ter melhor contexto, no mundo virtual, da posição e orientação para onde está a apontar;
- Melhorar a perceção de profundidades, evidenciando características como sombras.

O objetivo deste projeto não é validar o método de interação com marcadores, já que esta não é uma inovação como forma de interação [53]. Pretende-se apenas validar o tipo de experiência como um todo, contando este tipo de interação através do marcador como um fator diferenciador, na tentativa de a tornar mais interativa, imersiva e memorável.

#### 3.6.2.2 Modelo final

Foram então realizadas algumas alterações, de acordo com o que se julgou serem os problemas dos protótipos anteriores. O objeto anteriormente sobreposto ao marcador do anel, foi assim substituído por uma representação virtual de uma mão, com o dedo estendido, tal como a mão do utilizador deverá estar debaixo do anel. Com isto, pretendeu-se fornecer melhor contexto relativamente à localização e direção do marcador, reforçando também a imersão da experiência. A extensão do dedo, anteriormente representada pela “varinha”, foi substituída por uma representação de um laser vermelho, com origem na ponta do dedo indicador, da mão representada. Desta maneira, intencionou-se reforçar o sentido de orientação, fornecendo melhor enquadramento relativamente ao local para onde o utilizador aponta, no mundo virtual. Esta representação, cujos testes apresentaram níveis de aceitação bastante mais satisfatórios, pode ser observada na Figura 8.

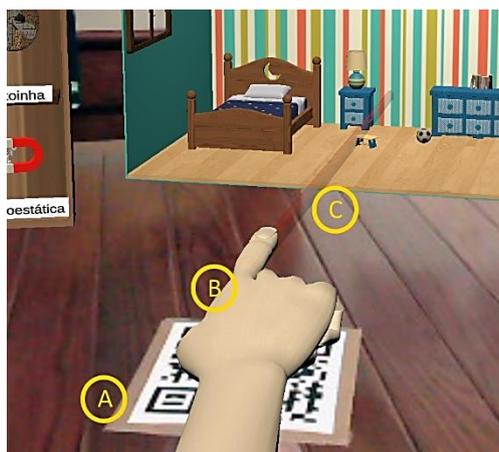


Figura 8– Marcador do anel.

Legenda: A – marcador do anel; B – mão virtual; C – laser vermelho

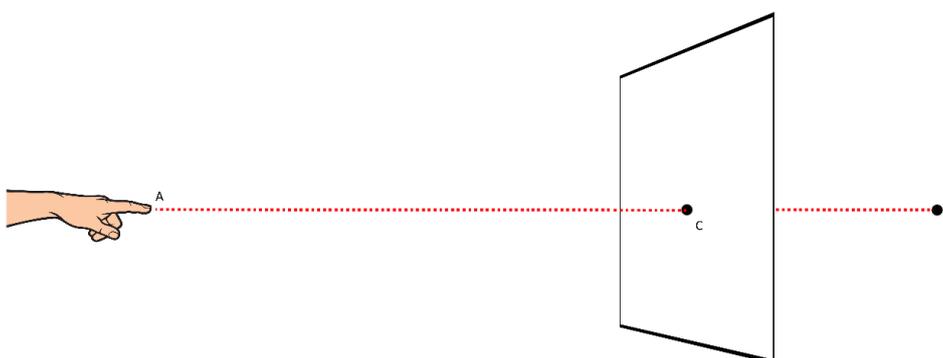
Relativamente à dificuldade de percepção da profundidade durante a interação, foram tomadas medidas que influenciaram toda a mecânica da experiência. Passou a restringir-se a interação no interior da caixa, apenas a uma secção da mesma. Na Figura 9 pode observar-se esta secção, um paralelepípedo que representa a área à qual foram confinados os movimentos de todos os objetos, no interior da caixa. Assim, as deslocções em profundidade, tanto dos gases e partículas, como das próprias ferramentas de remoção de poluição, foram restringidas a um intervalo bastante mais reduzido, tornando a interação, na prática, bidimensional. É assim eliminada a dificuldade de interação neste eixo, frequentemente verificada nos testes formativos com utilizadores do público alvo. Com isto, a experiência não deixa de ser tridimensional, apenas passa a ter uma limitação à liberdade de interação na dimensão de profundidade. Uma vez que os utilizadores observam, em todos os momentos, a caixa de frente, é criada a ilusão de que os elementos se movem por todo o volume do interior da caixa.



Figura 9 – Secção que restringe as deslocções dos gases e partículas no interior da caixa (representada a verde)

A limitação às deslocações dos gases e partículas, foi conseguida através da criação do paralelepípedo representado a verde na Figura 9. Embora sejam transparentes para o utilizador, os planos que delimitam este paralelepípedo foram parametrizados de forma a servirem de parede aos compostos poluentes, impedindo-os de trespassar esta zona.

Para aplicar a restrição à deslocação das ferramentas, foram necessários alguns passos extra. O objetivo é manter a liberdade de deslocação das ferramentas no eixo horizontal e vertical, fixando-as à profundidade delimitada pela nova secção de jogo. Para isto, utilizou-se *Raycasting*, uma técnica que consiste na emissão de um raio, invisível, com o intuito de detetar colisões no seu caminho. É possível observar uma representação desta técnica na Figura 10. Emitindo um raio com origem na ponta do dedo (A) e com a direção em que este aponta (AB), é possível detetar se o utilizador está a apontar para a caixa, ou por outras palavras, se este raio colide com algum plano da caixa. Em caso afirmativo, é recolhida a coordenada (C) em que este raio colide com um plano especificamente criado para este efeito, invisível e que se situa exatamente no meio dos planos que delimitam a profundidade máxima e mínima dos movimentos dos gases e partículas (o paralelepípedo representado a verde na Figura 9). A posição da ferramenta em uso é então alterada para esta coordenada (C), garantindo-se assim que esta apenas se desloca sobre este plano. O facto de a ferramenta estar colocada a meio da nova secção de jogo, assegura a possibilidade de interação com todos os elementos de poluição contidos na secção. Com isto, o utilizador não precisa de se preocupar com o controlo da profundidade para interagir com os elementos de poluição, apenas necessita de apontar na direção onde pretende colocar a ferramenta. Os eixos de rotação, possíveis através da interação com o marcador, foram mantidos com esta alteração. Realizaram-se novos testes para validar esta alteração, dos quais resultou melhor feedback, revelando uma melhoria na experiência de utilização.



*Figura 10 – Representação da técnica de Raycasting*  
*Legenda: A - origem do raio; B – direção do raio; C – ponto de colisão do raio com o plano*

### 3.7 Ferramentas de remoção de poluição do ar

Neste subcapítulo, são descritas as ferramentas utilizadas pelo Utilizador 1 para interagir com os compostos poluentes. A forma como estas são representadas e interagem com os compostos poluentes foram discutidas e validadas em colaboração com o perito ambiental, de forma a garantir a pertinência e integridade da informação transmitida pela experiência. Na Tabela 1 é possível observar, em resumo, a informação resultante destas reuniões. Nesta, as ferramentas são relacionadas com as formas como podem ser usadas para interagir com os compostos poluentes. As ferramentas desenvolvidas são dispostas do lado esquerdo da caixa, conforme pode ser observado na Figura 11. Durante as reuniões, foi sugerido pelo perito ambiental que, relativamente à remoção, o objetivo principal a evidenciar deveria ser o arejamento, razão pela qual a eficácia de todas as ferramentas está dependente da janela.

Compostos poluentes	Gases	Partículas $\leq$ PM2.5	Partículas $>$ PM2.5
<b>Ferramentas</b>			
Filtro	×	×	✓
Ventoinha	✓	✓	✓
Electroestática	×	✓	✓

Tabela 1 –  
Resumo da capacidade de atuação das ferramentas relativamente aos compostos poluentes

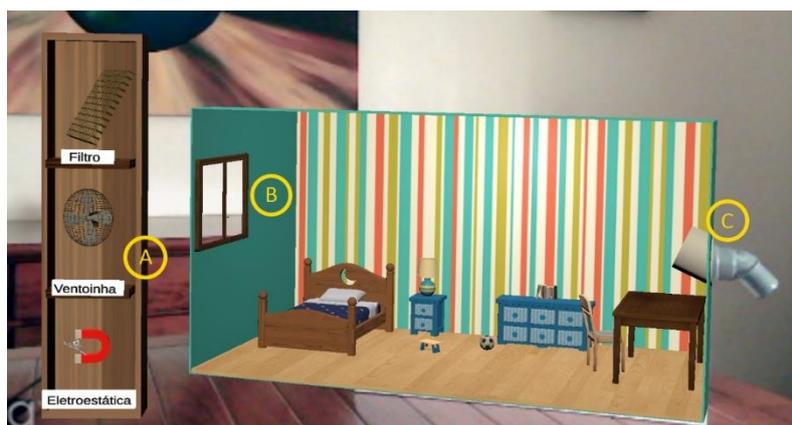


Figura 11 – Estande de ferramentas e caixa virtual da experiência. Legenda:  
A – estante de ferramenta com as mesmas respetivamente etiquetadas; B – janela/ponto de extração das partículas e gases; C – tubo de entrada de ar do sensor.

Para selecionar uma ferramenta, o utilizador apenas necessita de apontar na sua direção, sendo a ferramenta substituída, caso outra tenha sido previamente selecionada. Optou-se por não se incluir nenhum texto explicativo associado às ferramentas, deixando que seja o utilizador a experimentá-las e a descobrir as suas funcionalidades. Quando uma ferramenta é selecionada, esta fica acoplada ao laser virtual que representa a direção do dedo, sendo-lhe apenas aplicadas algumas afinações nos ângulos de rotação, relativamente ao marcador, de forma a tornar a interação mais natural. A partir deste momento, a posição e orientação da ferramenta passa a ser gerida pelo marcador no dedo do utilizador, com o propósito de encaminhar os compostos poluentes ao ponto de extração, a janela. Para esta experiência foram desenvolvidas as seguintes ferramentas: filtro, ventoinha e electrostática.

O filtro é a ferramenta mais simples da experiência e funciona através da colisão com os compostos poluentes. Interage unicamente com as partículas de maior volume (PM10), não tendo qualquer atuação sobre os gases ou as partículas mais pequenas (PM2.5). Com esta ferramenta, pretende-se simular as técnicas de filtração do ar, que bloqueiam e retêm partículas cujo diâmetro é maior do que as suas malhas. Na Figura 12 é possível observar esta ferramenta em ação.

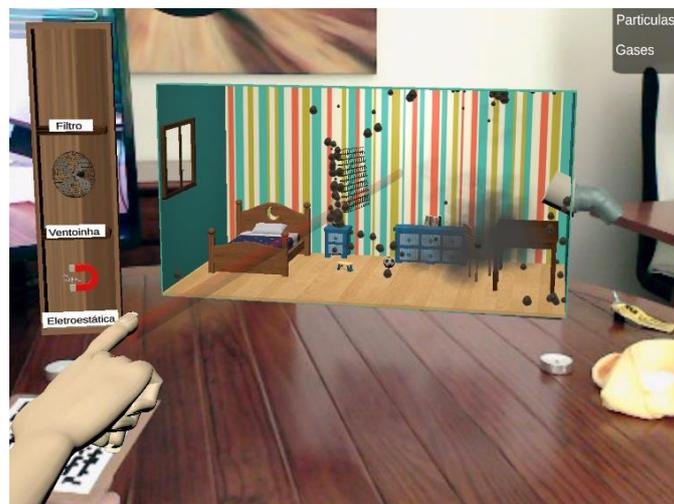


Figura 12 – Interação com a ferramenta “filtro”.

A ventoinha cria uma corrente de ar na direção para a qual é apontada. É desta forma que interage com todos os compostos poluentes, influenciando a sua deslocação. Para desenvolver esta ferramenta foi utilizado o *Particle System Force Field*, um módulo do Unity que permite interagir com o *Particle System* já referido, aplicando-lhe vetores de forças, de forma a simular características como a atração gravítica, repulsão magnética, entre outras. A corrente de ar, ou vento, foi assim simulada através da aplicação de um vetor de deslocamento, às partículas e gases que se encontrem dentro da área de atuação da ventoinha. Esta ferramenta, representada na Figura 13, tem maior efeito sobre os gases e as partículas mais pequenas, por possuírem menor valor de massa.

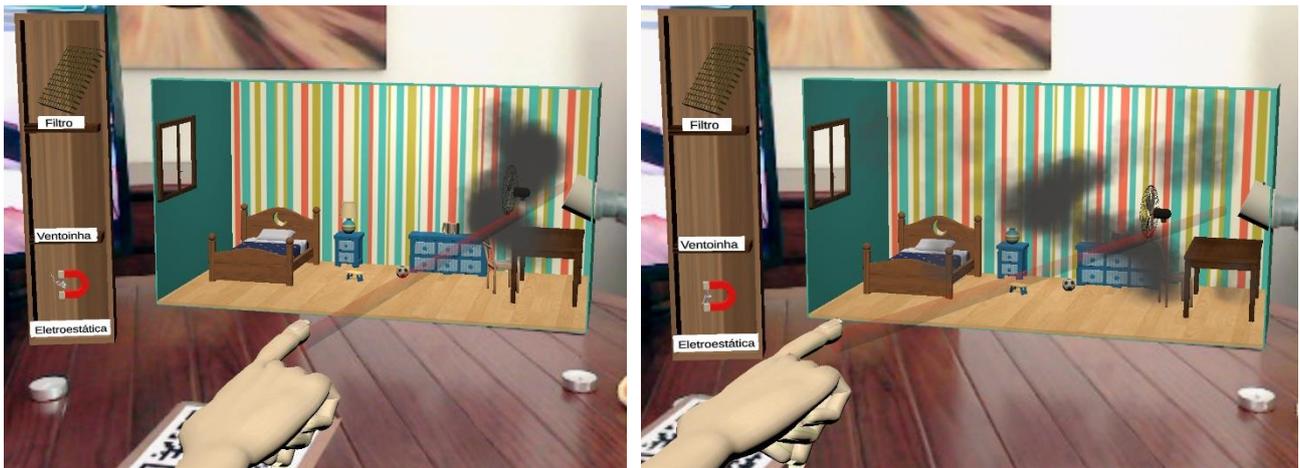


Figura 13 – Interação com a ferramenta “ventoinha”.  
Do lado esquerdo – antes de interagir com os gases; Do lado direito – depois de interagir com os gases.

A electrostática é uma técnica geralmente usada pela indústria e consiste na ionização do ar poluído de forma a extrair compostos poluentes. De uma forma resumida, esta técnica consiste na atribuição de uma carga electrostática às partículas, capturando-as por atração eletromagnética, para um local onde, posteriormente, receberão um tratamento adequado. Esta mecânica foi, tal como na ventoinha, desenvolvida através do *Particle System Force Field* do Unity, de forma a gerar um campo magnético que atrai as partículas para a ferramenta. Esta, atua unicamente sobre as partículas, não tendo qualquer efeito sobre os gases. A forma de representação escolhida para esta técnica é a menos fiel de entre as restantes ferramentas, uma vez que, na realidade, a electrostática não se trata propriamente de um objeto, mas de uma técnica. Foi então utilizada a representação de um ímã com pequenas “faíscas” (Figura 14), a evidenciar a carga elétrica, de forma a tornar possível aos utilizadores estabelecer uma relação entre a representação e a sua funcionalidade.

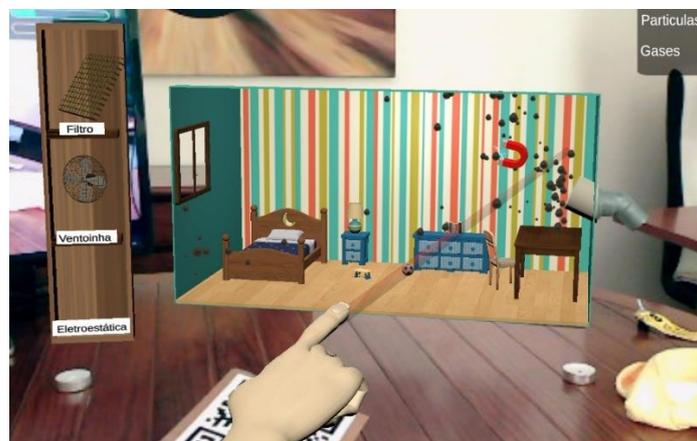


Figura 14– Interação com a ferramenta “eletroestática”.

### 3.8 Disposição Espacial da Experiência Interativa

Os primeiros passos para compor um sistema em RA passam por decidir a disposição e forma de implementação dos três componentes fundamentais da experiência interativa, nomeadamente:

- Onde colocar a câmara que capta o conteúdo do mundo real e define a perspetiva da experiência no ambiente virtual;
- Onde representar a imagem onde são combinados os componentes do mundo real e virtual;
- De que forma o utilizador vai interagir com o sistema.

Neste estudo optou-se por usar uma câmara e um monitor dispostos em locais fixos durante toda a experiência. Para além do facto desta disposição libertar as mãos das crianças e possibilitar a interação através de objetos reais e do marcador, existem várias outras razões que motivaram esta decisão. Mantendo a câmara estática, garante-se a possibilidade de eleger o enquadramento que servirá de plano de fundo da experiência. Este foi considerado um fator bastante relevante neste tipo de experiência, tanto por questões técnicas como por questões pedagógicas. Ambientes com um plano de fundo dinâmico, têm potencial para se tornarem numa fonte de distração para os utilizadores. Estes ambientes são ainda mais propícios a variações de características como a luminosidade, que tendem a influenciar, negativamente, os parâmetros de imagem da câmara durante a experiência. A possibilidade de escolher um ambiente que contraste com os objetos reais, utilizados na experiência, é outro fator de peso. Quanto mais evidentes forem as características dos padrões a detetar nos objetos reais, pelo Vuforia, mais robusta será a solução em RA e, conseqüentemente, melhor será a experiência de interação.

O facto de se manter a câmara estática, apresenta uma outra vantagem relativamente à qualidade do rastreamento dos marcadores. Com isto, é permitido poupar uma quantidade considerável de cálculos, de outra forma necessários para rastrear a posição da câmara e representar corretamente os objetos virtuais quando esta se desloca. Com esta abordagem obtém-se um processamento de número de imagens por segundo superior, resultando numa melhoria significativa na fluidez e naturalidade de representação dos conteúdos virtuais e reduzindo os requisitos mínimos de hardware para executar a experiência com a qualidade necessária.

Uma alternativa ao uso dos equipamentos fixos seria considerar dispositivos móveis. Contudo, o facto de possuírem ecrãs pequenos foi considerada um fator limitativo ao contexto idealizado. Há menos espaço onde explorar o mundo virtual e a componente colaborativa ficaria facilmente comprometida. O uso de *smartphones* em contexto educativo, de sala de aula, apresenta também o revés de ser uma potencial fonte de distração [17]. Foram então utilizados um monitor e uma câmara USB. Desta decisão surgiram questões relativas ao posicionamento da câmara face ao ecrã.

A disposição elegida para estes elementos consiste na colocação do ecrã e da caixa lado a lado, com a câmara na extremidade oposta, direcionada para a caixa. Na Figura 15, pode observar-se uma representação desta configuração, cuja justificação foi desenvolvida em torno da apresentação do ecrã como um espelho mágico, através do qual é possível observar para além do que é visível a “olho nu”. Contudo, o espelhamento da imagem captada, de forma a que a imagem apresentada no ecrã seja de facto um espelho da caixa, revelou-se numa dificuldade acrescida à interação com o marcador. Por esta razão, optou-se por testar a metáfora do espelho sem espelhar a imagem, à qual os utilizadores responderam positivamente. A solução foi bem aceite e não foram levantadas quaisquer objeções, revelando-se a disposição em que a interação é mais fácil e intuitiva, de entre as disposições testadas durante os testes formativos. Na Figura 16 – é apresentada uma fotografia desta configuração.

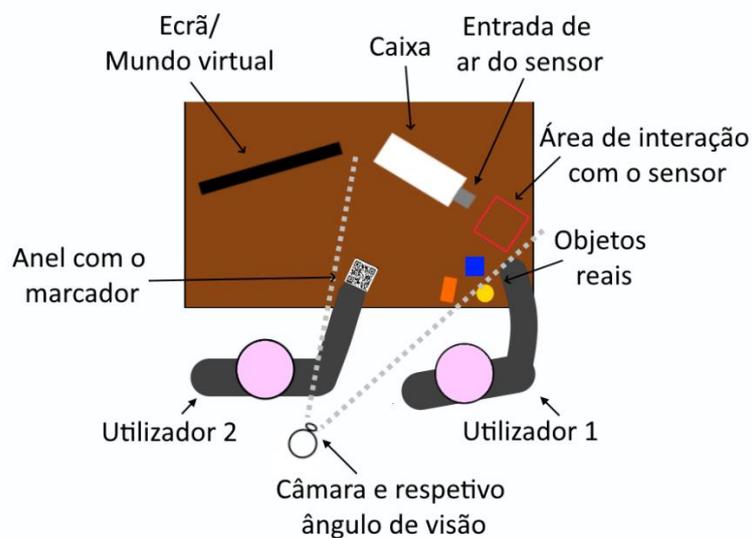


Figura 15 - Representação da configuração final da experiência. (perspetiva de cima)  
Caixa e ecrã são dispostas lado a lado, em cima da mesa. Utilizadores lado a lado.



Figura 16 – Fotografia da configuração final da experiência

Noutra configuração da experiência considerada durante a fase de testes, a câmara e o ecrã estavam fixos, ambos no mesmo plano, no lado oposto à caixa. Na Figura 17 – R é possível observar uma representação desta configuração. A exploração desta configuração demonstrou-se difícil de suportar, muito devido ao tipo de interação que se decidiu utilizar. Ao interagir através do marcador, no dedo indicador, o utilizador aponta diretamente para a caixa real. O facto de se encontrar entre a caixa (com a qual interage) e o ecrã (onde visualiza a interação) obriga o utilizador a assumir uma posição pouco natural, apontando para o lado oposto à direção da sua cabeça. Os testes formativos realizados, demonstraram bastante dificuldades de interação nesta configuração. Estes resultados estão alinhados com o estado da arte, onde é descrita uma evidência clara entre o alinhamento da cabeça com a direção da interação, e o sucesso neste tipo de interação [54].

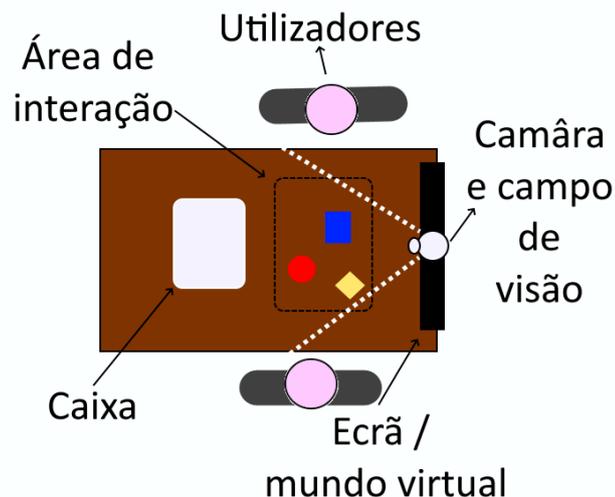


Figura 17 – Representação dos primeiros protótipos de configuração da experiência. (perspetiva de cima)  
Caixa e ecrã são dispostos frente a frente. Utilizadores frente a frente, um em cada lado da mesa.

## 3.9 Mecânicas do jogo

Neste subcapítulo, são contempladas as mecânicas adicionais, pensadas para guiar o utilizador assegurando o correto funcionamento intencionado e a interpretação pretendida de todas as partes da experiência.

### 3.9.1 Narrativa

De forma a guiar a experiência e reforçar o seu conteúdo didático, foi criada uma personagem virtual. Esta é representada por um cientista, em 2D, que surge apenas em momentos chave da experiência, acompanhada de algum texto. O seu papel é fornecer indicações sobre a forma de interação com a experiência e conceder alguns dados que ajudem o utilizador a interpretar o que está a observar. Na Figura 18 está representada uma destas situações, onde o personagem surge após serem representadas as primeiras partículas.



Figura 18– Intervenção do personagem virtual após serem detetadas as primeiras partículas.

Este personagem intervém ainda num pequeno tutorial apresentado na fase inicial, quando ocorrem as primeiras emissões de gases e para desbloquear situações, como quando o marcador do anel deixa de ser reconhecido.

Neste último, caso o marcador esteja desenhado do plano da câmara durante um período superior a cinco segundos, é apresentado o ecrã da Figura 19, com instruções sobre o que o utilizador deve fazer para continuar a jogar. Neste ecrã é apresentada uma zona onde o utilizador deve colocar o anel, com uma posição estrategicamente escolhida para não ocultar o marcador da caixa. Este ecrã é acompanhado de *feedback* auditivo com entoação negativa.



Figura 19– Ecrã apresentado quando o utilizador demonstra dificuldades em manter o marcador do anel dentro do plano da câmara.

### 3.9.2 Pontuação e feedback

A componente de jogo desta experiência compreende um sistema de pontuação, atribuída sempre que gases ou partículas são encaminhadas à janela. Esta pretende ser uma forma simples de fornecer *feedback* e atribuir tarefas aos utilizadores, incentivando-os a experimentar diferentes objetos e ferramentas, de forma a arrecadarem todos os tipos de pontos. A informação das pontuações, ilustrada na Figura 20 –, é apresentada no canto superior direito do ecrã, e o incremento de cada uma das barras de pontuação é acompanhada de *feedback* auditivo com entoação positiva.

Cada partícula que chega à janela corresponde a um incremento de 2% do máximo da respetiva barra de pontuação. Relativamente aos gases, este incremento é realizado em apenas 0,5% devido ao facto da interação com estes ser mais fácil.



Figura 20 – Tabela de pontuações (representada no canto superior direito do ecrã).

Caso o utilizador apresente dificuldades, consideradas significativas, em atingir os objetivos durante a experiência, foram idealizados dois mecanismos de adaptação da dificuldade:

- Intensificar os níveis de emissão de partículas - passando o intervalo de dados sensoriais que levaria à invocação do nível 1, a invocar o nível 2. Existindo mais compostos poluentes no cenário de jogo, torna-se mais fácil para o utilizador interagir com estes e completar os objetivos.

- Aumentar a pontuação atribuída, reforçando o *feedback* positivo e diminuindo o esforço necessário para concluir os objetivos. A título de exemplo, quando uma partícula chega à janela, em vez de preencher apenas 2% da barra de pontuações, preenche 3% ou até 4%.

Os mecanismos descritos têm como objetivo a inclusão de utilizadores com menos experiência ou com maiores dificuldades de adaptação ao sistema, reduzindo a possibilidade de frustração e tentando manter a duração da experiência entre os 7 e os 10 minutos. Esta foi a duração considerada necessária para ambos os utilizadores experimentarem, realizarem as descobertas necessárias até se sentirem ambientados com as mecânicas da experiência e completarem os objetivos.

### 3.9.3 Jogabilidade

Assim que chegam ao local de jogo, os utilizadores escolhem o papel que vão desempenhar na experiência sem se aperceberem, através da cadeira em que se sentam. No primeiro contacto com a experiência, é feita uma breve contextualização. É explicado que o ecrã apresenta a imagem captada pela câmara (que se encontra nas suas costas) e a forma como funcionam os marcadores, realçando a ligação entre o mundo real e o mundo virtual através da deslocação da caixa, tornando perceptível que esta se desloca da mesma forma no mundo virtual. Logo de seguida é explicado que no interior da caixa foi colocado um sensor que identifica pequenos compostos do ar que não conseguimos ver à vista desarmada. Se os utilizadores não apresentarem questões, é dado início à experiência.

No início da experiência, o ecrã é apresentado como um espelho mágico, através do qual é possível observar os compostos poluentes invisíveis a vista desarmada. Segue-se a apresentação do personagem virtual do jogo, que numa espécie de mini tutorial sugere que o pano seja sacudido na proximidade do tubo da caixa, conforme pode ser observado na Figura 22. Assim que o utilizador o faz, começam a surgir as primeiras partículas no ambiente virtual, sobre as quais o personagem faz uma pequena introdução teórica. As intervenções do personagem virtual quando são introduzidas as primeiras partículas e os primeiros gases podem ser respetivamente observada na Figura 18 e Figura 21. A esta altura, o Utilizador 2 já fez algumas experiências e percebeu como pode orientar-se no ambiente virtual através do anel que tem no dedo. A seleção das ferramentas é feita através da exploração do ambiente, motivada pela curiosidade do utilizador. Caso o Utilizador 2 não demonstre a proatividade desejada na interação com os compostos poluentes, eventualmente, alguns destes acabam por chegar à janela e desencadear um efeito sonoro de feedback positivo descrito no subcapítulo 3.9.2. A partir deste momento é esperado que ambos os utilizadores explorem as restantes ferramentas/objetos que têm à sua disposição, de forma a preencherem as barras de pontuação na totalidade. A única regra imposta tem como objetivo impedir os utilizadores de colocar mais do que um objeto na proximidade da entrada de ar do sensor, situação muito verificada durante a fase de testes formativos.



Figura 22 - Intervenção do personagem virtual num tutorial inicial



Figura 21 - Intervenção do personagem virtual quando são detetados os primeiros gases na experiência



## Capítulo 4

# 4 Testes de validação

Neste capítulo é descrita a fase de testes sumativos de validação do trabalho descrito no capítulo anterior. No subcapítulo 4.1 é apresentada informação sobre os participantes. No subcapítulo 4.2 são descritas as etapas em que consistiram os testes, a forma como estas foram encadeadas e ainda o processo de desenvolvimento dos questionários utilizados. O modo como as respostas foram tratadas para análise é descrita no subcapítulo 4.3, enquanto no subcapítulo 4.4 é apresentada uma análise dos resultados obtidos.

### 4.1 Participantes

Na fase de validação da ferramenta com base em testes sumativos, participaram 28 crianças, com idades compreendidas entre os 7 e os 11 anos, pertencentes às escolas primárias de Eb1/JI da Assafora, Eb1/JI Dona Maria, Eb1 Terrugem e Eb1/JI de São Pedro de Sintra. Procurou-se obter um grupo de participantes com uma distribuição uniforme de idades ( $M = 7.75$ ,  $DP=0.93$ ) e géneros. Como a experiência contém algum texto essencial para a perceção das mecânicas e temáticas do jogo, foram excluídas as crianças do 1º ano de escolaridade, com idades entre os 5 e os 6 anos, por apresentarem, naturalmente, bastante dificuldade na leitura.

De modo a obter autorização dos encarregados de educação para a colaboração dos respetivos educandos na experiência, foi solicitado o preenchimento do documento apresentado no Anexo 2. As sessões de testes foram realizadas fora do período de aulas, de forma a não perturbar o funcionamento das mesmas.

### 4.2 Procedimento e método de validação

Para a validação das capacidades da experiência, foram realizados testes de conhecimento sobre a poluição do ar e testes de satisfação e utilidade da mesma. Estes testes consistiram na realização de três questionários: um questionário para validação de conhecimento sobre poluição do ar; um questionário de satisfação e usabilidade da ferramenta; e um questionário extra de resposta aberta sobre as opiniões e preferências dos participantes. A sequência de encadeamento destes questionários está representada na Figura 23.

Apesar da experiência ser realizada a pares e os questionários terem sido respondidos em simultâneo, as respostas foram dadas individualmente. Cada participante contou com o auxílio de um adulto para a leitura das questões e explicação das mesmas quando solicitado. Durante a fase de respostas, tentou-se manter alguma distancia entre os participantes, de modo a que não conseguissem ouvir as respostas uns dos outros e, assim, evitar que estas fossem influenciadas.

De forma a avaliar a pertinência de duas das principais características da experiência, a manipulação de objetos reais e a utilização de dados sensoriais em tempo real, foi desenvolvida uma nova variante da experiência. Esta consiste na utilização de uma réplica da experiência original, apenas onde, ao invés de objetos reais, o Utilizador 1 utiliza marcadores para interagir com o ambiente virtual. Estes marcadores são pequenas imagens impressas em papel, que ao serem detetadas no campo de visão da câmara, simulam a presença do objeto real que representam. Foram usados quatro marcadores, em representação de cada um dos objetos da experiência original. Desta forma, o Utilizador 1 deixa de interagir com o sensor, passando a introduzir compostos poluentes no mundo virtual através da colocação dos marcadores numa área da mesa assinalada para o efeito. Com esta nova versão da experiência torna-se possível avaliar, comparativamente, se a utilização de dados e objetos reais é percebida como uma mais valia. Todos os participantes experimentaram as duas versões da experiência, bem como ambas as formas de interação com cada uma das versões. A seleção da primeira versão a utilizar (objetos vs marcadores) foi feita de forma aleatória.

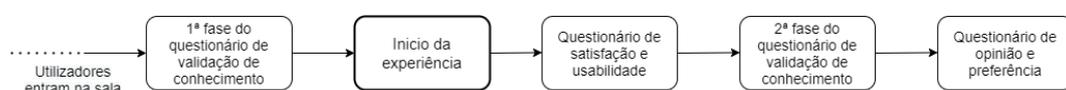


Figura 23 - Sequência de etapas dos testes sumativos

Após a resposta à primeira fase do questionário de conhecimento, foi dada uma breve explicação da experiência em que iam participar. Nesta foi abordada a deteção dos marcadores através da câmara e foi-lhes explicado que a caixa contém um sensor de poluição do ar no seu interior, cujos resultados são representados no mundo virtual.

#### 4.2.1 Questionário de validação de conhecimento (QC)

Com o intuito de avaliar a influencia da experiência no ganho de conhecimento dos utilizadores sobre a temática da poluição do ar, foi elaborado o questionário de validação de conhecimento. Este é composto por quatro questões simples, que pretendem avaliar o conhecimento dos utilizadores antes e depois de serem expostos à experiência. Desta forma, o mesmo questionário foi respondido por cada utilizador nas seguintes situações:

- Na fase inicial, antes dos utilizadores terem tido qualquer contacto com o jogo ou com os objetos/cartões utilizados;
- Após a experiência e depois do questionário de satisfação e usabilidade ser respondido.

Optou-se por não se realizar a segunda fase do questionário imediatamente após o contacto com a experiência, de forma a evitar que os utilizadores sintam que estão a ser avaliados. Durante a fase de testes formativos, foi notório que algumas crianças demonstraram sinais de tensão quando se apercebiam que as suas respostas eram imediatamente anotadas, levando-as a crer que se tratava de uma avaliação. Desta forma, as questões foram apresentadas em contexto de conversa, sem papel ou qualquer outra forma de apontar imediatamente as respostas. Procurou-se fazer todo este questionário de forma mais descontraída, apontando as respostas apenas no final, ou com recurso a gravação dissimulada de áudio.

A primeira questão pretende avaliar se os utilizadores estão cientes da existência de poluição no ar em espaços interiores, como as suas casas. Por esta razão, as perguntas 2, 3 e 4 apenas foram colocadas caso o utilizador tenha respondido afirmativamente à Pergunta 1. Na Tabela 2 estão representadas as perguntas que constituem este questionário.

Pergunta	Objetivo da pergunta	Tipo de resposta esperado
<b>1</b>		
<b>Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?</b>	Perceber se os utilizadores têm conhecimento da existência de poluição no ar em espaços interiores	“Sim” ou “Não”
<b>2</b>		
<b>O que é que achas pode poluir o ar dentro das nossas casas?</b>	Avaliar o conhecimento sobre os objetos existentes dentro de casa que podem servir como fontes de poluição do ar	Resposta aberta onde é esperada uma enumeração de objetos que pensam emitir poluição para o ar.
<b>3</b>		
<b>O que é que achas que está no ar quando está poluído?</b>	Avaliar o conhecimento sobre que tipos de poluição do ar existem, ou seja, o que está no ar quando está poluído	Resposta aberta onde é esperada uma enumeração do que existe no ar quando dizemos que está poluído.
<b>4</b>		
<b>Como é que achas que podemos limpar a poluição do ar que temos dentro das nossas casas?</b>	Avaliar o conhecimento sobre o que podemos fazer para tratar de limpar a poluição do ar	Resposta aberta onde é esperada a enumeração de técnicas/métodos para eliminar a poluição do ar

*Tabela 2 – Questões do questionário de Validação de Conhecimento*

Para facilitar a interpretação e garantir o correto entendimento das questões, foi utilizada uma linguagem simples, procurando adaptar o vocabulário ao nível esperado de conhecimento e percepção do público alvo. Utilizou-se, por exemplo, a expressão “nossas casas” como forma de referência a espaços interiores. O desenvolvimento destas questões contou com a validação de um professor do primeiro ciclo.

#### 4.2.2 Questionário de Satisfação e Usabilidade (QSU)

Nesta secção é apresentado o questionário desenvolvido para avaliar qualitativamente os níveis de satisfação provocados pela experiência e as potencialidades da sua utilização. O processo de desenvolvimento das perguntas do questionário consistiu na adaptação do questionário SUS, ao qual foram agregadas características do TAM, de modo a incluir a avaliação da percepção dos utilizadores sobre a componente didática. Deste modo, foram criadas oito questões, com o objetivo de extrair a percepção dos participantes relativamente aos seguintes fatores da experiência:

- Intenção de voltar a usar - diversão e satisfação e carácter exploratório;
- Facilidade de uso – viabilidade e percepção do conteúdo apresentado e das mecânicas de interação;
- Utilidade - Ganho de conhecimento.

Na

Tabela 3 são apresentadas as questões que constituíram este questionário e a informação que se pretende obter com cada uma delas.

Tabela 3 – Questões do questionário de Satisfação e Usabilidade

Pergunta	Objetivo da pergunta
<p><b>1</b></p> <p><b>Se tivéssemos mais tempo, gostava de continuar a jogar o jogo</b></p>	<p>Avaliar a imersão dos utilizadores na experiência, os níveis de aceitação, diversão e se esta cativa a exploração, ou se os cerca de 10 minutos da experiência foram suficientes para explorar na totalidade e já não tem mais interesse.</p>
<p><b>2</b></p> <p><b>Gostava que a minha professora usasse este tipo de jogos na sala de aula</b></p>	<p>Avaliar a perceção de transmissão de conhecimento e o método de ensino face aos métodos de ensino tradicionais. perceção de utilidade</p>
<p><b>3</b></p> <p><b>Se tivesse este jogo em minha casa gostava de jogá-lo bastantes mais vezes</b></p>	<p>Avaliar a diversão causada pela experiência, a satisfação e a vontade de a explorar e reviver.</p>
<p><b>4</b></p> <p><b>Senti-me várias vezes confuso enquanto jogava</b></p>	<p>Avaliar a facilidade de perceção da experiência, a facilidade de interação e a harmonia entre o mundo real e virtual.</p>
<p><b>5</b></p> <p><b>Para jogar este jogo, sinto que preciso da ajuda de um adulto</b></p>	<p>Avaliar autonomia na utilização da experiência, a curva de aprendizagem e a complexidade da interação.</p>
<p><b>6</b></p> <p><b>Se jogasse mais vezes este jogo, aprenderia bastante mais sobre poluição</b></p>	<p>Avaliar a perceção de aprendizagem.</p>
<p><b>7</b></p> <p><b>Os meus amigos vão gostar bastante deste jogo</b></p>	<p>Apelar a uma análise mais profunda dos níveis de satisfação e divertimento, questionando o utilizador sobre como esta será percecionada por um grupo mais generalizado.</p>
<p><b>8</b></p> <p><b>Os meus amigos vão aprender bastante sobre poluição com este jogo</b></p>	<p>Apelar a uma análise mais profunda da capacidade de transmitir conhecimento, avaliando a perceção do utilizador sobre a capacidade de adaptação da ferramenta a um publico mais geral.</p>

Tal como no SUS e no TAM, as respostas foram dadas através de uma escala *Likert*, tendo-se optado por apenas 5 opções de resposta compreendidas entre “Discordo plenamente” a “Concordo plenamente”. De forma a facilitar a compreensão às hipóteses de respostas *Likert*, foi utilizada uma representação visual desta escala, tal como sugerido numa adaptação do SUS para crianças [55]. Esta está representada na Figura 24 e foi impressa e entregue aos utilizadores durante esta fase do questionário. A construção e vocabulário utilizado nas questões foi igualmente adaptado com base neste estudo.

1	2	3	4	5
				
Discordo plenamente	Não concordo	Não concordo nem discordo	Concordo	Concordo plenamente

Figura 24- Representação visual da escala *Likert* adaptada de [55] em português.

Optou-se por não se intercalar as perguntas do questionário com perguntas formuladas pela positiva e pela negativa. Este revezamento é uma das principais características da versão original do SUS, justificada como uma tentativa de eliminar tendências implícitas na formulação das perguntas do questionário. A sua justificação prende-se ainda com a necessidade de validar o rigor com que o utilizador responde ao questionário, possibilitando a identificação mais facilitada de questionários inválidos, como por exemplo, se o utilizador responde com um cinco a todas as questões. No entanto, existem evidências de que este tipo de questionário pode ser igualmente válido quando são utilizadas questões unicamente positivas [56], tendo em conta que a sucessiva alteração entre a conotação das perguntas pode criar alguma confusão ao utilizador. O facto de inverter constantemente a escala de resposta pode fazer com que este acabe por se baralhar, levando-o a dar respostas contrárias ao que seria sua intenção responder. Com base nos testes formativos realizados, verificou-se que este fator pudesse ser ainda mais evidente em crianças, tendo-se verificado que estas forneceram respostas aleatórias com alguma facilidade, ou até sem nexos, quando não entendem completamente a questão que lhes é colocada. Por esta razão optou-se por não se intercalar perguntas positivas e negativas, sendo esta decisão feita individualmente para cada pergunta, de acordo com a conotação que torna mais fácil a sua interpretação. O facto de o questionário ser realizado com auxílio de um adulto possibilita que este valide o rigor e atenção com que as questões e as suas respostas estão a ser dadas, descartando, à partida, questionários inválidos por falta de colaboração do utilizador. A secção seguinte descreve a formulação do questionário de opinião e preferência dos participantes, onde um dos objetivos é efetivamente reforçar e validar as respostas dadas neste questionário.

### 4.2.3 Questionário de Opinião e Preferência (QOP)

Para finalizar os testes foram ainda colocadas cinco questões suplementares, de resposta aberta sobre as opiniões e preferências dos participantes. Estas têm como objetivo reforçar os dados recolhidos nas respostas aos questionários anteriores, validando-os e tentando extrair mais informação, aferindo ainda quais os componentes mais apreciados da ferramenta. As perguntas que constituem este questionário estão representadas na Tabela 4.

Pergunta	Objetivo da pergunta
<b>1</b> <b>Preferes jogar o jogo com objetos reais ou com os cartões? Porquê?</b>	Esta pergunta serve o propósito recolher a opinião dos utilizadores relativamente à versão da ferramenta preferida. Esta é uma das questões principais do projeto, por possibilitar a validação da relevância do papel dos objetos reais e do sensor na satisfação da experiência.
<b>2</b> <b>Achas que o jogo é útil para aprender? Porquê?</b>	O objetivo desta pergunta é reforçar a validade dos dados recolhidos no questionário <i>likert</i> sobre a perceção de ganho de conhecimento. Esta questão pode ainda servir para validar se houve alteração na perceção de ganho de conhecimento após a realização das questões de conhecimento pós-experiência.
<b>3</b> <b>Gostavas de aprender outras matérias com este tipo de jogo? Quais?</b>	Esta pergunta tem como objetivo reforçar a validação da componente de aprendizagem, mas essencialmente perceber se existe alguma informação que os utilizadores gostariam de obter com este tipo de experiência.
<b>4 e 5</b> <b>O que é que gostaste mais no jogo? / O que é que gostaste menos no jogo?</b>	O objetivo desta pergunta é recolher mais informação e sobre a perceção dos utilizadores relativamente à experiência e quais as componentes que mais apreciaram/quais os aspetos a melhorar.

Tabela 4 – Questões do questionário de Opinião e Preferência

### 4.3 Tratamento de dados

A organização e tratamento dos dados foi realizada no Excel, onde foram igualmente construídos os gráficos. O processamento estatístico das respostas foi realizado através do software estatístico SPSS 28.

Devido à falta de colaboração de um dos participantes durante a fase de resposta aos questionários, optou-se por não se considerar as respostas por este fornecidas. Assim, na fase de tratamento dos resultados, passou a contar-se com apenas 27 participantes.

### 4.4 Resultados

Neste subcapítulo são apresentados os resultados das respostas obtidas em cada um dos três questionários da fase de testes sumativos.

#### 4.4.1 Questionário de Conhecimento (QC)

Em consequência de as perguntas 2, 3 e 4 serem apenas colocadas aos participantes que respondem afirmativamente à pergunta 1, estas três perguntas foram respondidas por apenas 10 participantes na fase pré-experiência e 21 respostas na fase pós-experiência. Estas respostas foram organizadas em categorias, de forma a facilitar a leitura e interpretação dos dados nos gráficos, tendo a categorização das expressões sido um pouco flexível. Na pergunta 2, por exemplo, são esperados objetos do dia a dia. No entanto, foram bastante frequentes respostas como “o fumo”, que não sendo um objeto, indica claramente que a criança tem noções relativamente ao que lhe é perguntado. Desta forma, optou-se por categorizar como “gases” as expressões “fumo”, “lareira” e outras similares, enquanto que as expressões “pano”, “varrer” e outras semelhantes, foram categorizadas como “partículas” para a criação de um gráfico mais generalista.

#### 4.4.1.1 Pergunta 1 - Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?

As respostas à “Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?” foram compiladas no gráfico da Figura 26.a, onde os resultados apontam para uma clara influência da experiência no ganho de conhecimento dos participantes. É nítida a inversão da tendência de resposta positiva do pré (37.04 % dos participantes) para o pós-experiência (77.78 % dos participantes), tendo-se registado um aumento de 110 %. Estes resultados são suportados pelos testes de proporções de amostras emparelhadas, apresentados no Anexo 3 – Dados estatísticos do questionário de conhecimento, através do qual é possível rejeitar a hipótese nula ( $p < 0.001$ ,  $n = 27$ ). No gráfico da Figura 26.b estão representadas apenas as respostas pós-experiência dos utilizadores que tinham respondido negativamente na primeira fase, ou seja, as respostas pós-experiência dos utilizadores que inicialmente afirmavam não existir poluição no ar no interior das casas. Neste gráfico é possível verificar que foi possível mudar a perceção de cerca de 65 % dos utilizadores que haviam respondido erradamente na fase pré-experiência. Apenas 35 % dos participantes manteve a sua resposta inicial, negando a existência de poluição no interior das casas. De notar que nenhum dos participantes que respondeu afirmativamente na fase pré-experiência, mudou de opinião na fase pós-experiência, o que parece evidenciar que a experiência foi clara e não lhes causou confusão. As respostas da fase pré-experiência evidenciam que a maioria dos participantes não está ciente da existência de poluição no ar no interior das casas, o que só por si reforça a motivação da criação da experiência interativa aqui descrita.

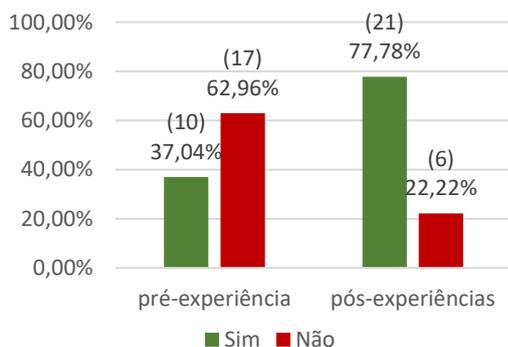


Figura 26.a– Respostas fornecidas à Pergunta 1 do QC  
“Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?”

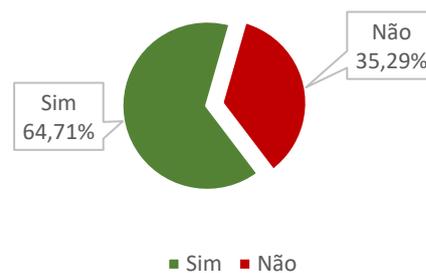


Figura 26.b– Respostas pós-experiência apenas dos utilizadores que tinham respondido “não” à Pergunta 1 do QC, na fase pré-experiência

#### 4.4.1.2 Pergunta 2 - O que é que achas pode poluir o ar dentro das nossas casas?

Devido ao facto de, em cada fase deste questionário, as perguntas 2, 3 e 4 serem apenas colocadas aos participantes que responderam afirmativamente à Pergunta 1, obtiveram-se apenas 10 respostas na fase pré-experiência e 21 na fase pós-experiência.

Na pergunta 2, os utilizadores são questionados sobre o que pode poluir o ar, sendo a questão pensada para ser respondida com exemplos de objetos do quotidiano que considerem ser fontes de poluição. No entanto, de forma a facilitar a leitura dos dados e a transposição dos mesmos para gráficos, optou-se por agregar as expressões utilizadas nas respostas, quer sejam objetos ou não, nas categorias “gases” e “partículas”. O resultado desta categorização é apresentado no gráfico da Figura 27, evidenciando um ganho de conhecimento resultante da utilização da experiência. Neste, é perceptível um aumento significativo de expressões relacionadas com partículas na fase pós-experiência, passando de nula a aproximadamente 29 % das respostas. É possível verificar ainda que a ocorrência de expressões relacionadas com gases duplicou da pré para a pós experiência.

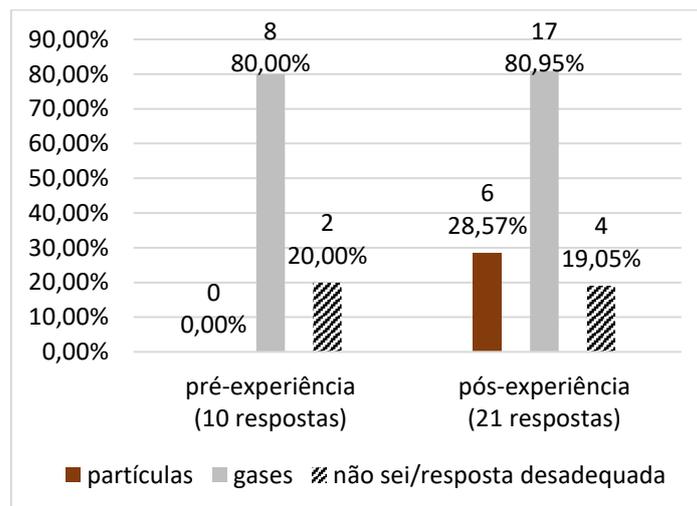


Figura 27– Frequência de expressões relacionadas com gases e partículas nas respostas à Pergunta 2 do QC "O que é que achas pode poluir o ar dentro das nossas casas?".

(a soma das percentagens do gráfico não é 100 % porque a mesma resposta pode conter expressões categorizadas como gases e como partículas)

No Anexo 3 – Dados estatísticos do questionário de conhecimento é possível observar um gráfico mais detalhado das expressões utilizadas pelos participantes na resposta a esta questão. Neste gráfico verifica-se que o termo mais frequentemente utilizado pós-experiência foi “fumo”, tendo a frequência desta expressão nas repostas aumentado para mais do dobro comparativamente com a fase pré-experiência. De notar que a coluna representativa da expressão “fumo” não é uma categorização, refere-se exatamente às respostas que contemplaram a palavra. O facto de, em nenhuma parte da experiência ser referida a palavra “fumo”, parece evidenciar que foi desta forma que os participantes retiveram o conceito de gases. Este fenómeno pode ser justificado pela forma como os gases são representados na experiência, com a cor cinzenta e assemelhando-se a fumo.

Através do gráfico da Figura 28 é ainda possível concluir que a expressão “poluição do ar” é facilmente mal interpretada pelos utilizadores. “Lixo” foi o termo mais proferido nas respostas da fase pré-experiência (presente em 60 % das respostas), indicando que os participantes tendem a associar poluição à existência de lixo (poluição terrestre). Na comparação com os resultados pós-experiência, é possível verificar uma diminuição significativa na frequência da utilização desta expressão, de 60 % para 19 % das respostas (de 6 para apenas 4 respostas), o que evidencia que os utilizadores ficaram mais conscientes de “poluição do ar”. As respostas da fase pós-experiência que contêm a palavra “lixo”, foram na grande maioria (75 %) fornecidas por utilizadores que haviam respondido negativamente à Pergunta 1 na fase pré-experiência, ou seja, participantes que desconheciam a existência de poluição no ar, em ambientes fechados, antes da experiência. Este é um dado curioso que parece evidenciar que os utilizadores que inicialmente assumiram a existência desta poluição no ar, deixaram, quase por completo, de fazer a associação a poluição do solo.

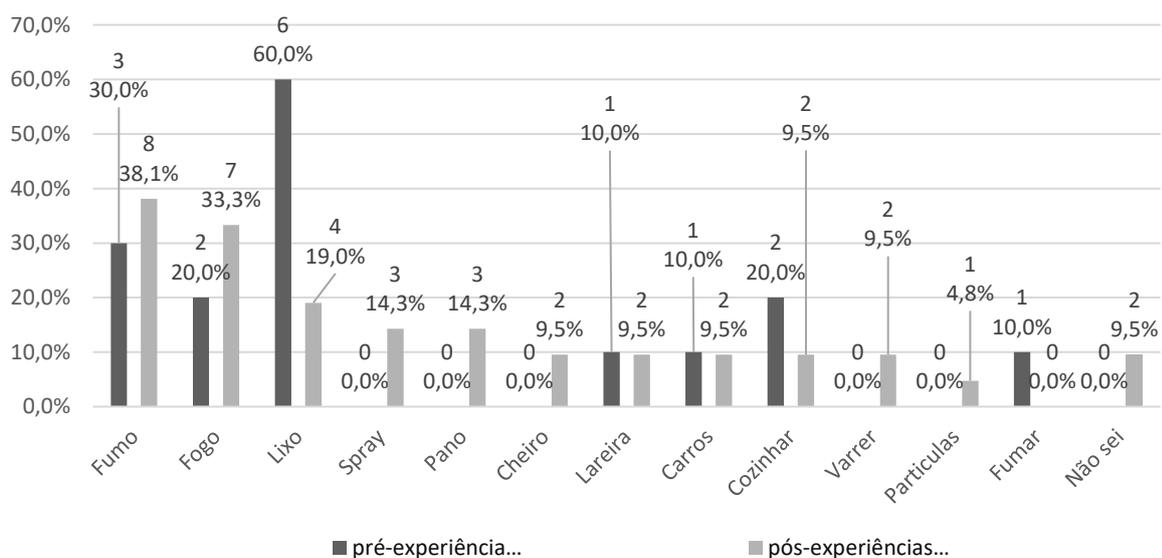


Figura 28- Frequência com que as expressões são referidas nas respostas à Pergunta 2 do QC "O que é que achas pode poluir o ar dentro das nossas casas?"

#### 4.4.1.3 Pergunta 3 - O que é que achas que está no ar quando está poluído?

As respostas à pergunta 3 encontram-se representadas no gráfico da Figura 29. Neste, os dados evidenciam o ganho de conhecimento do pré para o pós-experiência, especialmente evidente no que diz respeito à perceção de conceitos relacionados com partículas, cuja ocorrência nas respostas passou de 10 % para cerca de 28.6 % das respostas em cada fase (correspondente a um aumento de 500 %). A utilização de expressões relacionadas com gases apresenta resultados igualmente favoráveis, já que sofreu um aumento de 400 % nas respostas a esta pergunta (30% no pré-experiência e 71.4 % no pós-experiência).

Observa-se ainda uma redução significativa de respostas desadequadas do contexto da pergunta ou às quais os participantes responderam com “não sei”, tendo a sua manifestação baixado de 60 % para cerca de 10 % dos participantes que responderam em cada fase. Concluiu-se com isto que na fase pós-experiência os utilizadores se sentiram mais confiantes na temática e conseguiram fornecer melhores respostas. Estes dados parecem ainda indicar que a pergunta “o que está no ar quando este está poluído?”, após ter sido questionado “que objetos causam poluição do ar?” causava alguma confusão aos participantes na fase pré-experiência e passou a ser melhor percebida no pós-experiência, uma vez que a ocorrência de respostas “não sei” diminuiu significativamente.

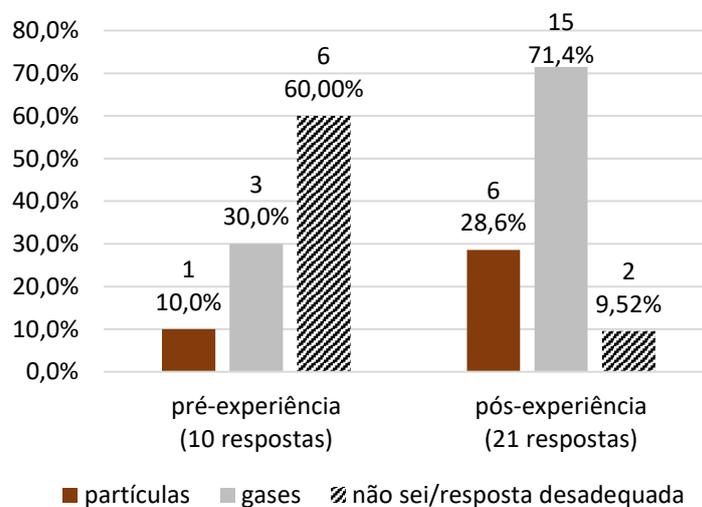


Figura 29 - Frequência de expressões relacionadas com gases e partículas nas respostas à Pergunta 3 do QC “O que é que achas que está no ar quando está poluído?”.  
(a soma das percentagens do gráfico não é 100 % porque a mesma resposta pode conter expressões categorizadas como gases e como partículas)

No gráfico da Figura 30 é possível observar, com maior detalhe, as expressões utilizadas pelos participantes nas repostas a esta pergunta. Tal como verificado na pergunta anterior, prevalece a frequência da expressão “fumo” nas repostas pós-experiência, tendo esta aumentado em 400 % face à fase pré-experiência. Estes dados vêm reforçar a ideia de que uma parte significativa dos participantes adquiriu noções de qualidade do ar, mas, no entanto, não retiveram ou não conseguem reproduzir os termos certos. A influência da experiência no ganho de conhecimentos dos participantes torna-se mais evidente quando se observam as colunas correspondentes às expressões “gases” e “partículas” (os termos usados na experiência e que seriam a resposta mais acertada a esta pergunta). Nenhum dos termos foi utilizado na fase pré-experiência, já na fase posterior, cerca de 28.6 % das repostas refere “gases” e cerca de 14,3 % refere “partículas”. Para além destes, “pó” (14.3 %) e “poeiras” (4.8 %) foram também duas novas expressões, ligadas às partículas, que surgiram apenas no pós-experiência.

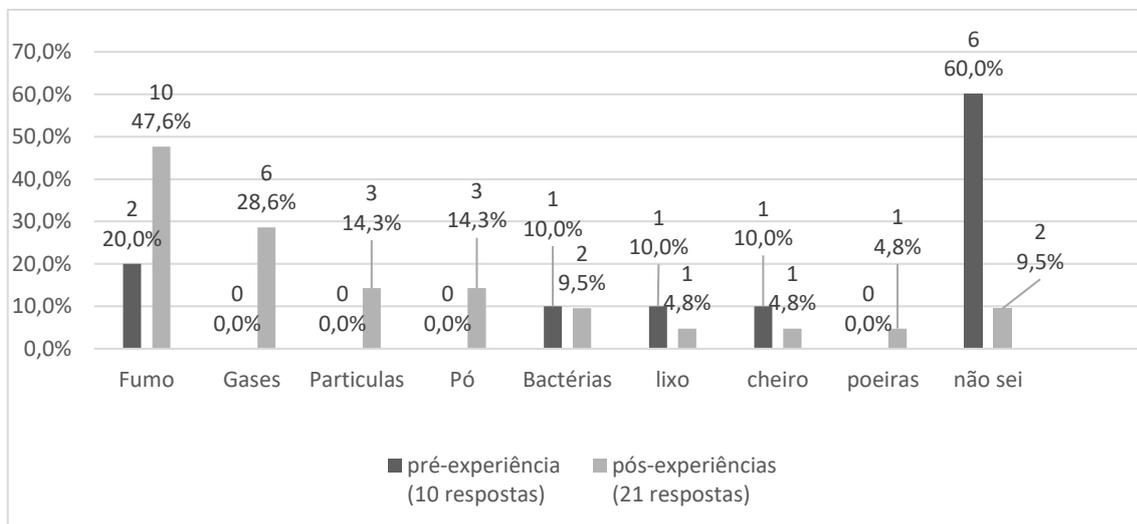


Figura 30 - Frequência com que as expressões são referidas nas repostas à Pergunta 3 do QC “O que é que achas que está no ar quando está poluído?”

#### 4.4.1.4 Pergunta 4 - Como é que achas que podemos limpar a poluição do ar que temos dentro das nossas casas?

As repostas obtidas a esta pergunta estão representadas no gráfico Figura 31. Ao contrário das restantes perguntas deste questionário, não se considerou necessário recorrer à categorização das expressões encontradas nestas repostas.

Um dos principais objetivos pedagógicos da experiência interativa aqui descrita é realçar a importância do arejamento de espaços interiores. Os dados apresentados no gráfico indicam que a experiência permite criar um caminho para este objetivo, verificando-se um ganho de 200 % nas referências à palavra “arejar” na fase pós-experiência. No entanto, apenas cerca de 29 % dos participantes que respondeu a esta pergunta, refere a palavra na sua resposta.

A ventoinha é claramente a ferramenta mais memorável, encontrando-se em aproximadamente 24 % das respostas pós-experiência. As restantes ferramentas, o filtro e a electrostática, foram referidas em apenas uma das respostas, dada pelo único participante que enumerou todas as ferramentas na fase pós-experiência. Este, ainda assim, referiu-se à electrostática através da expressão “ímã”, o objeto que foi escolhido para a representar no mundo virtual. A palavra “electrostática” é apresentada numa etiqueta por baixo da ferramenta. No entanto, esta parece ter sido menos memorável, reforçando a ideia de que o conteúdo visual prevalece sobre o conteúdo escrito.

A tendência de respostas “não sei” manteve-se, apresentando-se como a resposta mais frequente em ambas as fases. A interpretação destes dados leva-nos a concluir que não foi dado foco suficiente às ferramentas e à janela, através da qual é realizada a extração dos compostos poluentes. Deixou-se que esta aprendizagem fosse realizada exclusivamente de forma implícita, através da exploração do ambiente e do respetivo *feedback*. No entanto, os dados revelam que será benéfico no futuro reforçar a importância da janela e das ferramentas durante a experiência, aplicando por exemplo, mecânicas de jogo que, em determinado momento, que obriguem à escolha acertada de determinada ferramenta para concluir um objetivo.

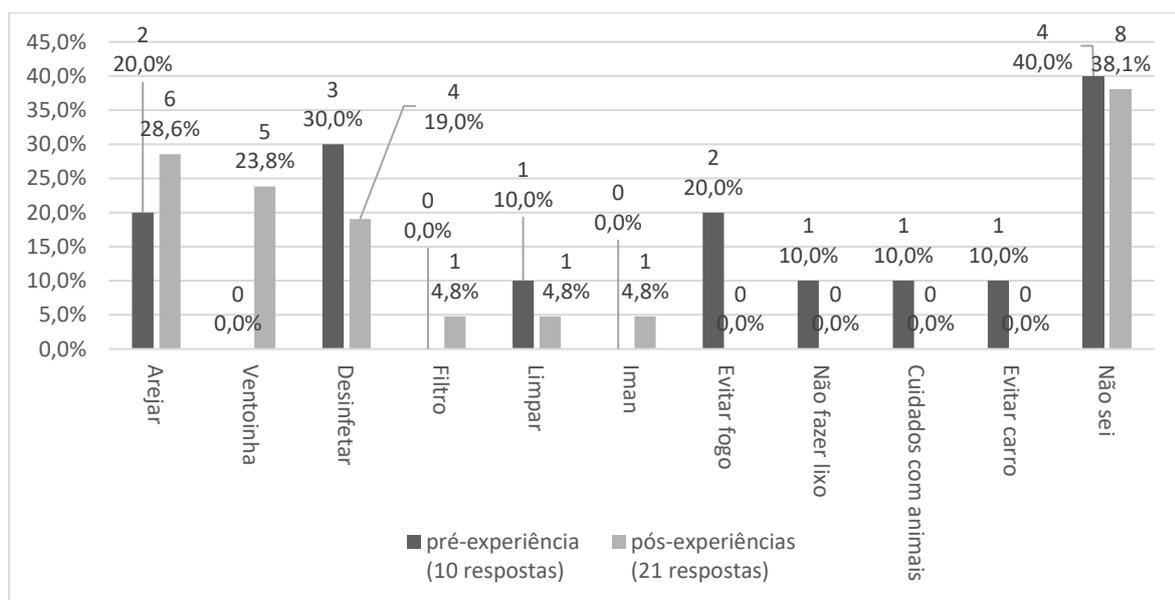


Figura 31 - Frequência com que as expressões são referidas nas respostas à Pergunta 4 do QC “Como é que achas que podemos limpar a poluição do ar que temos dentro das nossas casas?”

#### 4.4.2 Satisfação e usabilidade (QSU)

Os resultados das respostas ao QSU podem ser observados Tabela 5, onde as questões foram agrupadas de acordo com os fatores da experiência que pretendem avaliar. Neste gráfico são apresentadas a média e desvio padrão de cada pergunta e para cada um dos fatores. Como as questões referentes ao fator “facilidade de utilização” foram formuladas pela negativa, as escalas de resposta foram invertidas, de modo a facilitar a leitura e comparação com as restantes questões. No ANEXO são apresentados os intervalos de confiança para cada uma das questões

As questões que apresentam melhores resultados são a P1 (M= 4.78, DP= 0.42) e a P7 (M= 4.67, DP= 0.62), ambas relacionadas com a intenção de repetir a experiência. Estes resultados indicam que a experiência é considerada apelativa, divertida e que os utilizadores retiraram algum prazer da utilização. Validam ainda a componente exploratória, indiciando que a experiência não se esgota nos 10 minutos que tiveram contacto com cada versão. Foi também verificado que todos os pares de participantes experimentaram todos os objetos e todas as ferramentas, embora alguns destes não fossem necessários para a conclusão dos objetivos. Quando questionados sobre se gostariam de ter o jogo em casa (P3), apenas 4 dos participantes (15 %) respondeu não ter a certeza, tendo estas respostas sido frequentemente acompanhadas de uma justificação onde a experiência era comparada a um jogo comercial que os participantes preferiam jogar em casa.

Os resultados da P2 “gostava que a minha professora usasse este tipo de jogos na sala de aula” também foram bastante positivos (M= 4.55, DP= 0.97), comprovando a preferência dos participantes neste tipo de experiências educativas, em comparação com os métodos de ensino tradicionais. Ainda assim, dois dos participantes contrariaram totalmente a tendência de respostas positivas, discordando da adequação deste tipo de experiências ao contexto de sala de aula por considerarem que são uma fonte de distração.

No que respeita à facilidade de utilização, os participantes não reportaram tanto sucesso, sendo a questão P4 “senti-me várias vezes confuso enquanto jogava” a que obteve resultados menos positivos (M= 3.85, DP= 1.13). Ainda assim, apenas 5 dos 27 participantes (19 %) referiram sentir confusão em algum momento da experiência.

De uma forma geral, é possível aferir que a percepção de ganho de conhecimento (M= 4.46, DP= 0.77) e intenção de voltar a usar (M= 4.61, DP= 0.63) são ambos fatores que obtiveram *feedbacks* bastante positivos, sendo estes resultados suportados pelas respostas ao questionário de opinião e preferência. Os resultados do fator “facilidade de utilização” (M= 1.88, DP= 0.96), ainda que positivos foram os menos otimistas, revelando que a clarificação do conteúdo apresentado e a forma de interação são as características onde que há mais trabalho a fazer para se tornar a utilização mais fácil. O carácter explorativo, a curva de aprendizagem para o correto manuseamento do anel e o contacto com uma realidade abstrata (a materialização da poluição do ar), são tudo características que fazem parte do processo de utilização da experiência e que exigem alguma adaptação do utilizador.

	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>Intenção de voltar a usar</b>	3	5	<b>4.61</b>	<b>0.63</b>
1 - Se tivéssemos mais tempo, gostava de continuar a jogar o jogo	4	5	4.78	0.42
3 - Se tivesse este jogo em minha casa gostava de jogá-lo bastantes mais vezes	3	5	4.37	0.74
7- Os meus amigos vão gostar bastante deste jogo	3	5	4.67	0.62
<b>Utilidade</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4.46</b>	<b>0.77</b>
2 - Gostava que a minha professora usasse este tipo de jogos na sala de aula	1	5	4.55	0.97
6 - Se jogasse mais vezes este jogo, aprenderia bastante mais sobre poluição	3	5	4.44	0.64
8 - Os meus amigos vão aprender bastante sobre poluição com este jogo	3	5	4.37	0.68
<b>Facilidade de utilização</b> (escala invertida)	<b>4</b> (2)	<b>1</b> (5)	<b>1.88</b> (4.12)	<b>0.96</b>
4 - Senti-me várias vezes confuso enquanto jogava	4 (2)	1 (5)	2.15 (3.85)	1.13
5 - Para jogar este jogo, sinto que preciso da ajuda de um adulto	3 (3)	1 (5)	1.63 (4.37)	0.69

*Tabela 5 – Tabela de resultados do questionário de satisfação e usabilidade  
(Como as questões referentes ao fator “facilidade de utilização” foram formuladas pela negativa, as escalas de resposta foram invertidas, de modo a facilitar a leitura e comparação com as restantes questões)*

Na Figura 32 é apresentado o gráfico que relaciona as respostas dadas no QSU com as respostas à Pergunta 1 do QC (“achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?”), na fase pós experiência. Pode observar-se que, comparativamente, os participantes que responderam acertadamente à pergunta de conhecimento (“sim”), relatam melhores resultados de satisfação e vontade de usar a experiência. Curiosamente, no que diz respeito à percepção de utilidade e ganho de conhecimento, são os participantes que não apresentaram ganho de conhecimento pós-experiência (e responderam erradamente) a reportar maiores percepções de aprendizagem, assumindo particular expressão na questão P2 “Gostava que a minha professora usasse este tipo de jogos na sala de aula”. No que diz respeito à facilidade de utilização, são mais uma vez os participantes que não apresentaram ganho de conhecimento a reportar maior percepção de destreza na utilização da experiência. No Anexo 4 – Dados estatísticos do questionário de satisfação e usabilidade podem observar-se dados estatísticos do QSU, nomeadamente, os intervalos de confiança referidos no gráfico da Figura 32.

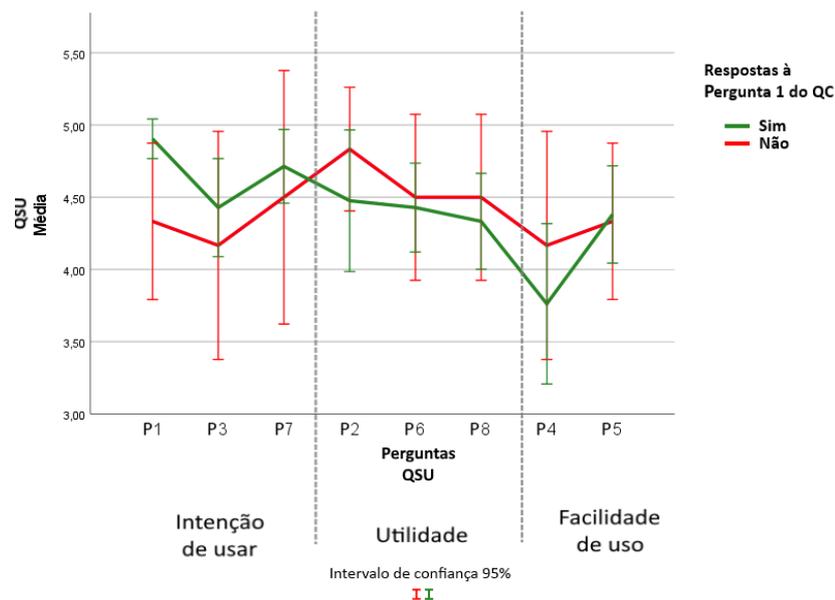


Figura 32 – Relação entre a média de respostas ao QSU e as respostas à pergunta 1 do QC “achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?”, na fase pós-experiência. Na vertical estão representados os intervalos de confiança a 95 % das respostas ao QSU.

(para facilitar a leitura, no contexto deste gráfico os valores das respostas às perguntas 4 e 5 foram invertidos)

#### 4.4.3 Opinião e preferência (QOP)

Conforme é possível observar no gráfico Figura 34, uma maioria significativa dos participantes (85 %) prefere a versão da experiência com objetos, enquanto apenas 3 dos 27 participantes (11,11 %) revelaram preferir a versão da experiência que utiliza cartões. Estes resultados contribuem para a validação da hipótese colocada e evidenciam que o manuseamento de objetos reais torna a experiência mais interessante. As justificações apresentadas para estas escolhas foram compiladas no Figura 33, onde se pode verificar que 33 % dos participantes justifica a preferência pela interação com objetos devido ao realismo, enquanto 30 % prefere esta interação por questões de dinâmica e controlo. Os participantes que referem preferir a interação com cartões argumentaram que a interação desta forma é mais fácil.

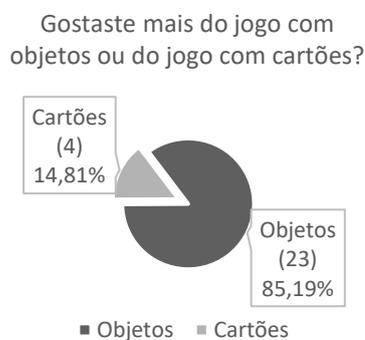


Figura 34 – Respostas à Pergunta 1 do QOP  
"Gostaste mais do jogo com objetos ou do jogo com cartões"

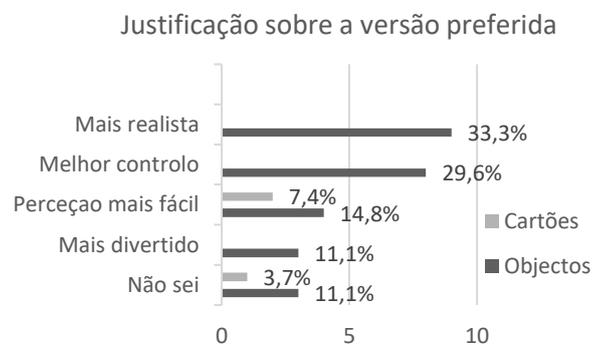


Figura 33 – Justificações das respostas fornecidas à Pergunta 1 do QOP  
"Gostaste mais do jogo com objetos ou do jogo com cartões"

À questão "Achas que o jogo é útil para aprender?", todos os participantes responderam afirmativamente, não tendo sido possível recolher informação relevante das suas justificações. Estes resultados vão ao encontro dos resultados obtidos no QSU.

A mesma tendência é verificada nas respostas à questão "gostavas de aprender outras matérias com este tipo de jogo?", à qual todos os participantes responderam afirmativamente, à exceção de um, que respondeu não saber, tal como já havia respondido no QSU. Os tópicos que os participantes gostariam de ver abordados numa experiência deste género estão maioritariamente relacionadas com poluição e transformação do lixo, mas também animais e floresta. Há ainda registo de respostas esporádicas que referem o corpo humano, o universo, matemática, dinossauros e cozinhar.

No que respeita às características da experiência mais apreciadas pelos participantes, “ventoinha” e “vela” foram as respostas mais frequentes, tendo ainda assim, cada uma destas, sido referidas por apenas três participantes. “Ventoinha” foi igualmente uma das respostas mais frequentes à Pergunta 4 do QC “como é que achas que podemos limpar a poluição do ar que temos dentro das nossas casas?”, o que leva a crer que a satisfação proveniente da sua utilização está relacionada com o facto desta se tornar mais memorável. “Anel”, “fumo” e “ganhar” fazem também parte das respostas mais frequentes, tendo sido fornecidas por dois participantes.

Sobre as características menos apreciadas, apenas dez participantes (37 %) teve algum aspeto a mencionar. “Filtro” foi referido por dois participantes como a componente do jogo menos apreciada. A “interação com cartões” foi igualmente referida por dois participantes, justificada por ambos pela fraca dinâmica do jogo em comparação com a versão com objetos. Pouco tempo para jogar foi também mencionado por dois participantes como resposta a esta questão. Um dos participantes referiu que o pano utilizado deveria estar mais sujo, de forma a dissimular mais partículas no ambiente de jogo. Esta resposta evidencia a imersão deste utilizador na experiência e o realismo que a utilização de objetos propiciou.

# 5 Conclusões limitações e trabalho futuro

Com este capítulo pretende-se apresentar, em formato de resumo, as respostas às perguntas de investigação e as conclusões resultantes do trabalho descrito nos capítulos anteriores. São ainda referidas limitações do trabalho realizado e as questões que ficam por responder, motivando a necessidade de trabalho futuro.

## 5.1 Conclusões

Esta dissertação procura transmitir conhecimentos de poluição atmosférica através de uma experiência joguificada, em contexto de realidade aumentada, cuja interação é realizada através da manipulação de objetos reais na proximidade de um sensor de qualidade do ar. A experiência foi desenvolvida para ser realizada a pares, por crianças do 1º ciclo do ensino básico, promovendo a cooperação entre os utilizadores e procurando incluir a componente didática através da exploração dos objetos reais e do mundo virtual criado. O desenvolvimento foi realizado através do Unity 3D, seguindo uma abordagem de *design* participativo centrado no utilizador que contou com a colaboração de um perito em qualidade do ar e de um professor do ensino primário. Foram realizadas diversas fases de prototipagem e testes formativos que culminaram na versão apresentada, para a qual foram realizados testes sumativos através do método *Wizard of Oz*, que contaram com uma amostra de 27 participantes.

A análise dos resultados obtidos sugere que a experiência representa um meio divertido e eficaz de transmitir conhecimentos básicos sobre a poluição do ar em espaços fechados. A utilização de objetos reais como forma de interação com o sensor de qualidade do ar é uma característica apreciada por 85 % dos participantes, o que valida a hipótese de partida desta dissertação. De forma a avaliar a qualidade da experiência, os participantes realizaram testes de ganho de conhecimento, de perceção de utilidade e facilidade de utilização. Embora demonstrem alguma dificuldade em reproduzir corretamente os termos apresentados, os resultados dos testes evidenciam uma tendência de ganho de conhecimento após a utilização da experiência, tendo sido possível mudar a perceção a cerca de 65% dos participantes que inicialmente revelaram não ter consciência da existência de poluição no ar em espaços fechados. Foi também possível verificar que a transmissão de conteúdo didático através de estímulo visual prevaleceu em relação à utilização de texto.

Um dos principais objetivos pedagógicos da experiência é salientar a importância do arejamento de espaços interiores. Durante a experiência, esta informação é apresentada de forma implícita, através da eliminação dos compostos poluentes pela janela da casa virtual que surge sobreposta sobre a caixa de sensores, resultando num ganho de 200 % de percepção desta temática. No entanto, por se tratar de um objetivo de elevada importância e devido ao facto de apenas 29 % dos participantes ter demonstrado sinais claros de ter assimilado este conhecimento, coloca-se a hipótese de ser necessário evidenciar melhor a característica. Relativamente aos níveis de satisfação dos utilizadores e intenção de voltar a utilizar a experiência, os testes demonstram resultados otimistas (4.61 em 5), sendo possível validar a componente exploratória e a diversão. A percepção de utilidade e ganho de conhecimento também surge com resultados favoráveis (4.46 em 5), tendo a grande maioria dos participantes concordado com a adequação da experiência ao ambiente de sala de aula. No que respeita à facilidade de utilização os resultados são igualmente animadores (4.12 em 5), no entanto, dentro deste fator, a questão sobre o sentimento de confusão durante a experiência foi a que obteve respostas menos unânimes e a que apresentou resultados menos positivos (3.85 em 5), revelando que há ainda trabalho a fazer na clarificação do conteúdo apresentado e na forma de interação.

## 5.2 Limitações e trabalho futuro

Esta dissertação retrata os desenvolvimentos iniciais da experiência idealizada, pelo que a relevância dos resultados obtidos necessita de ser verificada em trabalhos futuros. Os testes sumativos realizados contaram com uma amostra de 27 crianças, e as respostas foram obtidas imediatamente após a experiência, não permitindo avaliar a retenção de conhecimento a médio e longo prazo. A amostra de utilizadores não é totalmente aleatória na população, foi selecionada por conveniência dos professores e educadores das escolas em que os testes foram realizados. Tentou obter-se uma distribuição uniforme de géneros, no entanto esta característica representa outra limitação, já que apenas a idade dos participantes foi registada.

Seria interessante voltar a questionar as crianças algum tempo após o seu contacto com a experiência, de forma a concluir sobre a retenção de informação e se as características da experiência contribuem de facto para a tornar memorável. Seria igualmente proveitoso envolver no processo de design da experiência uma amostra mais alargada de professores e educadores, já que estes têm visões mais especializadas sobre a transmissão de conhecimento a crianças. A utilização de outros questionários para validar a análise apresentada e possibilitar a comparação da experiência desenvolvida com projetos semelhantes e outras formas de ensino da temática, também acrescentaria valor ao projeto.

A componente didática apresenta algumas características que devem ser tidas em atenção e melhoradas. Conforme apresentado nas conclusões, é essencial reforçar a importância do arejamento como a principal forma de eliminar a poluição do ar no interior, não deixando de acrescentar que esta poluição pode ter origem em elementos que se encontram no exterior. Na experiência desenvolvida, a janela é exclusivamente apresentada como um método de eliminação de poluição, mas o contrário pode ser igualmente verdade. A forma como os gases são representados também deve ser alvo de melhoramento. O facto de se usarem cores entre o cinzento e o preto para lhes atribuir uma conotação negativa e facilitar a identificação destes como o inimigo, parece ter contribuído para a sua associação a fumo.

De forma a dar mais relevância às ferramentas de remoção de poluição, seria interessante realizar testes em que estas são disponibilizadas ao utilizador de forma faseada, como recompensa pela conquista de objetivos e acompanhada de alguma contextualização teórica. Embora todos os utilizadores tenham acabado por experimentar voluntariamente todos os objetos e ferramentas colocados à sua disposição, o fornecimento de pistas para desbloqueio das interações com estes tornaria a experiência mais autónoma e fluida.



## 6 Referências

- [1] P. Santana, A. Almeida, P. Mariano, C. Correia, V. Martins, and S. M. Almeida, "Air quality mapping and visualisation: An affordable solution based on a vehicle-mounted sensor network," *J. Clean. Prod.*, vol. 315, p. 128194, Sep. 2021.
- [2] "WHO Air pollution." [Online]. Available: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_3). [Accessed: 25-Nov-2021].
- [3] World Health Organization, "Effects of Air Pollution on Children ' S Health and Development a Review of the Evidence Special Programme on Health and Environment," *Who*, pp. 1–183, 2005.
- [4] D. C. McCoy *et al.*, "Impacts of Early Childhood Education on Medium- and Long-Term Educational Outcomes," *Educ. Res.*, vol. 46, no. 8, pp. 474–487, 2017.
- [5] G. Mylonas, C. Triantafyllis, and D. Amaxilatis, "An Augmented Reality Prototype for supporting IoT-based Educational Activities for Energy-efficient School Buildings," *Electron. Notes Theor. Comput. Sci.*, vol. 343, pp. 89–101, 2019.
- [6] R. Blunt, "Does game-based learning work? Results from three recent studies," *Proc. Interservice/Industry Training, Simulation, Educ. Conf.*, pp. 1–12, 2007.
- [7] T. Partovi and M. R. Razavi, "The effect of game-based learning on academic achievement motivation of elementary school students," *Learn. Motiv.*, vol. 68, no. June, p. 101592, 2019.
- [8] Z. T. Zhu, M. H. Yu, and P. Riezebos, "A research framework of smart education," *Smart Learn. Environ.*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [9] S. Creighton and A. Szymkowiak, "The Effects of Cooperative and Competitive Games on Classroom Interaction Frequencies," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 140, no. 01382, pp. 155–163, 2014.
- [10] J. F. Xin, "Computer-Assisted Cooperative Learning in Integrated Classrooms for Students with and without Disabilities.," *Inf. Technol. Child. Educ. Annu.*, vol. 1, pp. 61–78, 1999.
- [11] V. A. Green and R. Rechis, "Children's cooperative and competitive interactions in limited resource situations: A literature review," *J. Appl. Dev. Psychol.*, vol. 27, no. 1, pp. 42–59, 2006.
- [12] M. Dunleavy, "Design Principles for Augmented Reality Learning," 2014.
- [13] T. Khan, K. Johnston, and J. Ophoff, "The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students," 2019.
- [14] E. Kurilovas, "Evaluation of quality and personalisation of VR/AR/MR learning systems," *Behav. Inf. Technol.*, vol. 35, no. 11, pp. 998–1007, 2016.
- [15] L. Escobedo, M. Tentori, E. Quintana, J. Favela, and D. Garcia-Rosas, "Using augmented reality to help children with autism stay focused," *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 13, no. 1, pp. 38–46, 2014.
- [16] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377, 2011.

- [17] N. Tuli and A. Mantri, "Evaluating Usability of Mobile-Based Augmented Reality Learning Environments for Early Childhood," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 37, no. 9, pp. 815–827, 2021.
- [18] H. Zhang *et al.*, "Hotspots and Trends of Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality in Education Field," *Proc. 6th Int. Conf. Immersive Learn. Res. Network, iLRN 2020*, no. iLRN, pp. 215–219, 2020.
- [19] R. Sun, Y. J. Wu, and Q. Cai, "The effect of a virtual reality learning environment on learners' spatial ability," *Virtual Real.*, vol. 23, no. 4, pp. 385–398, 2019.
- [20] C.-Y. Chang and G.-J. Hwang, "Learning to be a writer A spherical video-based virtual reality approach.pdf." 2019.
- [21] S. Cai, E. Liu, Y. Shen, C. Liu, S. Li, and Y. Shen, "Probability learning in mathematics using augmented reality: impact on student's learning gains and attitudes," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 28, no. 5, pp. 560–573, 2020.
- [22] S. Habig, "Who can benefit from augmented reality in chemistry? Sex differences in solving stereochemistry problems using augmented reality," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 51, no. 3, pp. 629–644, 2020.
- [23] J. C. Kim, T. H. Laine, and C. Åhlund, "Multimodal interaction systems based on internet of things and augmented reality: A systematic literature review," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–33, 2021.
- [24] Z. Rashid, J. Melià-Seguí, R. Pous, and E. Peig, "Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 76, pp. 248–261, 2017.
- [25] U. Meyer, J. Becker, and J. Broscheit, *Visualising air pollution datasets with real-time game engines*, vol. 932. Springer International Publishing, 2019.
- [26] B. Miguel and N. Teles, "City On Stats : Visualização Imersiva de Dados Recolhidos por Rede de Sensores Móveis," 2019.
- [27] I. Vrellis, M. Delimitros, P. Chalki, P. Gaintatzis, I. Bellou, and T. A. Mikropoulos, "Seeing the unseen: User experience and technology acceptance in Augmented Reality science literacy," in *Proceedings - IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2020*, 2020, pp. 333–337.
- [28] M. T. Mahmoudi, F. Z. Zeraati, and P. Yassini, "A Color Sensing AR-Based Interactive Learning System for Kids," in *12th National and the 6th International Conference on e-Learning and e-Teaching, ICELET 2018*, 2018, pp. 13–20.
- [29] B. Pokric *et al.*, "Augmented reality enabled iot services for environmental monitoring utilising serious gaming concept," *J. Wirel. Mob. Networks, Ubiquitous Comput. Dependable Appl.*, vol. 6, no. 1, pp. 37–55, 2015.
- [30] "AR Genie." [Online]. Available: <https://ar-webshop.com/>.
- [31] M. S. Hadj Sassi and L. Chaari Fourati, "Architecture for Visualizing Indoor Air Quality Data with Augmented Reality Based Cognitive Internet of Things," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1151 AISC, pp. 405–418.
- [32] Y. Sun, A. Armengol-Urpi, S. N. Reddy Kantareddy, J. Siegel, and S. Sarma, "MagicHand: Interact with iot devices in augmented reality environment," *26th IEEE Conf. Virtual Real. 3D User Interfaces, VR 2019 - Proc.*, pp. 1738–1743, 2019.

- [33] I. Alakärppä, E. Jaakkola, J. Väyrynen, and J. Häkkinen, "Using nature elements in mobile AR for education with children," *Proc. 19th Int. Conf. Human-Computer Interact. with Mob. Devices Serv. MobileHCI 2017*, Sep. 2017.
- [34] H. Ishii, "The tangible user interface and its evolution," *Commun. ACM*, vol. 51, no. 6, pp. 32–36, 2008.
- [35] R. Joyce and S. K. Robinson, "Passive haptics to enhance virtual reality simulations," *AIAA Model. Simul. Technol. Conf. 2017*, no. January, pp. 1–10, 2017.
- [36] L. Besançon, P. Issartel, M. Ammi, and T. Isenberg, "Mouse, tactile, and tangible input for 3D manipulation," *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, vol. 2017-May, pp. 4727–4740, 2017.
- [37] J. B. Martens, W. Qi, D. Aliakseyeu, A. J. F. Kok, and R. Van Liere, "Experiencing 3D interactions in virtual reality and augmented reality," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, vol. 84, no. November, pp. 25–28, 2004.
- [38] D. Chamzas and K. Moustakas, "3D augmented reality tangible user interface using commodity hardware," *VISIGRAPP 2020 - Proc. 15th Int. Jt. Conf. Comput. Vision, Imaging Comput. Graph. Theory Appl.*, vol. 1, pp. 384–391, 2020.
- [39] C. H. Teng and S. S. Peng, "Augmented-reality-based 3D modeling system using tangible interface," *Sensors Mater.*, vol. 29, no. 11, pp. 1545–1554, 2017.
- [40] J. C. S. Cardoso and J. M. Ribeiro, "Tangible vr book: Exploring the design space of marker-based tangible interfaces for virtual reality," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–23, 2021.
- [41] H. Pranoto, C. Tho, H. L. H. S. Warnars, E. Abdurachman, F. L. Gaol, and B. Soewito, "Usability testing method in augmented reality application," *Proc. 2017 Int. Conf. Inf. Manag. Technol. ICIMTech 2017*, vol. 2018-Janua, no. November 2020, pp. 181–186, 2018.
- [42] N. Mourkoussis *et al.*, "Virtual and Augmented Reality applied to educational and cultural heritage domains," *Proc. Bus. Appl. Virtual Reality, Work.*, no. May 2014, pp. 367–372, 2002.
- [43] P. Gang *et al.*, "User-driven intelligent interface on the basis of multimodal augmented reality and brain-computer interaction for people with functional disabilities," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 886, no. May, pp. 612–631, 2019.
- [44] H. Aguinis and K. J. Bradley, "Best Practice Recommendations for Designing and Implementing Experimental Vignette Methodology Studies," *Organ. Res. Methods*, vol. 17, no. 4, pp. 351–371, 2014.
- [45] A. Joyce, "Wizard of OZ," *Airl. Bus.*, vol. 26, no. 4, pp. 22–26, 2010.
- [46] "Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine." [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Accessed: 23-Oct-2021].
- [47] "Vuforia Developer Portal |." [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com/>. [Accessed: 23-Oct-2021].
- [48] "Artoolkit." [Online]. Available: <https://artoolkit.org/>. [Accessed: 23-Oct-2021].
- [49] "EasyAR|Augmented Reality & AR SDK." [Online]. Available: <https://www.easyar.com/>. [Accessed: 23-Oct-2021].
- [50] "Blender 2.93 Reference Manual — Blender Manual." [Online]. Available: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html#>. [Accessed: 01-Nov-2021].

- [51] United States Environmental Protection Agency, "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)," *Environ. Prot.*, p. 22, 2018.
- [52] J. Grubert, "Mixed Reality Interaction Techniques," 2021.
- [53] M. Dias, J. Jorge, J. Carvalho, P. Santos, and J. Luzio, "Usability evaluation of tangible user interfaces for augmented reality," *ART 2003 - IEEE Int. Augment. Real. Toolkit Work.*, no. Figure 1, pp. 54–61, 2003.
- [54] J. Chastine, K. Nagel, Y. Zhu, and M. Hudachek-Buswell, "Studies on the effectiveness of virtual pointers in collaborative augmented reality," in *3DUI - IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2008*, 2008, pp. 117–124.
- [55] C. Putnam, M. Puthenmadom, M. A. Cuerdo, W. Wang, and N. Paul, "Adaptation of the system usability scale for user testing with children," *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, pp. 1–7, 2020.
- [56] J. Sauro and J. R. Lewis, "When designing usability questionnaires, does it hurt to be positive?," *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, pp. 2215–2223, 2011.
- [57] "GitHub - gpvigano/M2MqttUnity: M2MQTT for Unity." [Online]. Available: <https://github.com/gpvigano/M2MqttUnity>. [Accessed: 26-Oct-2021].

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo 1 - Testes do sensor do projeto Expolis

O protótipo do projeto [1] é composto por um conjunto de sensores de qualidade do ar, uma unidade computacional, RaspberryPi 3B+, para comunicação e armazenamento dos dados recolhidos, e uma caixa para proteger os equipamentos e responder aos requisitos aerodinâmicos resultantes da deslocação dos veículos. O conjunto de sensores é composto por dois sensores de gases, que fornecem dados de monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogénio (NO<sub>2</sub>) e um detetor ótico de partículas com diâmetro de 1 µm, 2.5 µm, e 10 µm (PM1, PM2.5, e PM10, respetivamente). Faz ainda parte do conjunto um sensor que fornece dados de temperatura, pressão barométrica e humidade. No é possível observar os dados captados por este conjunto de sensores durante uma fase de testes.

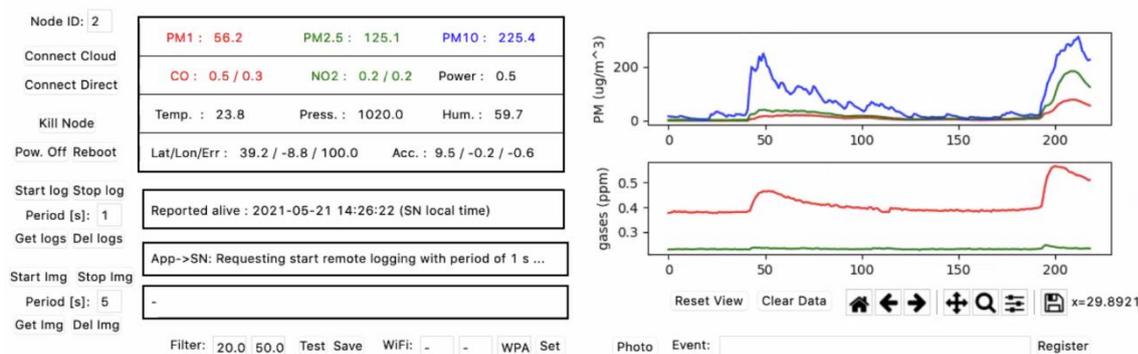


Imagem 1 - teste do sistema de sensores desenvolvido em [1]

A comunicação entre o RaspberryPi e o Unity foi realizada através do protocolo MQTT<sup>7</sup>, um protocolo muito usado no universo IoT devido à sua simplicidade, facilidade de implementação e reduzida largura de banda utilizada. Para integrar o protocolo Mqtt no Unity, foi utilizado o M2MqttUnity [57], um projeto *open-source* que fornece uma biblioteca que garante abstração dos passos mais técnicos da conexão com o MQTT Broker, tornando esta integração extremamente simples.

<sup>7</sup> Mqtt - Message Queuing Telemetry Transport (<https://mqtt.org/>)

## 7.2 Anexo 2 – Pedido de autorização para a realização dos testes sumativos

Exmo Sr, Encarregado de Educação

O meu nome é João Pedro da Silva Fernandes e, no âmbito da minha tese de Mestrado em Engenharia Informática no ISCTE, sob orientação dos professores Pedro Santana e Tomás Brandão, estou a desenvolver uma ferramenta que procura servir de apoio ao ensino em sala de aula através de ambientes virtuais.

Neste contexto específico, foi desenvolvida uma ferramenta que pretende fornecer aos educandos uma experiência interativa sobre a qualidade do ar. O objetivo é que as crianças sejam capazes de assimilar os conteúdos através da exploração do ambiente que lhes é apresentado, como se de um jogo se tratasse, numa tentativa de tornar o processo de aprendizagem mais estimulante e agradável. Venho assim pedir a sua autorização para a participação do seu educando no processo de validação deste projeto, que consistirá na exploração de 2 variantes da experiência, durante um período aproximado de 20 minutos. Não serão realizadas quaisquer gravações de imagem e os participantes não serão identificados em momento algum. Os dados da experiência serão recolhidos e tratados de forma anónima, e serão utilizados unicamente para análise estatística no âmbito da minha tese de Mestrado. Se necessitar de mais informações pode contactar-me através do email [jpsfs1@iscte-iul.pt](mailto:jpsfs1@iscte-iul.pt).

Eu, \_\_\_\_\_, Encarregado(a) de Educação do aluno(a) \_\_\_\_\_, autorizo-o a participar no estudo supra descrito.

Lisboa, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021

O Encarregado(a) de Educação

---

### 7.3 Anexo 3 – Dados estatísticos do questionário de conhecimento

**Pergunta 1** - Achas que pode haver poluição no ar dentro das nossas casas?

(as variáveis “pre” e “pos” correspondem respectivamente aos dados pré e pós-experiência)

#### Estadísticas de proporções de amostras emparelhadas

		Êxitos	Avaliações	Proporção	Erro Padrão Assintótico
Par 1	pos = 1,00	21	27	,778	,091
	pre = 1,00	10	27	,370	,153

#### Intervalos de confiança de proporções de amostras emparelhadas

		Diferença nas proporções	Erro Padrão Assintótico	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
Tipo de Intervalo				Inferior	Superior
Par 1: pos - pre	Bonett-Price	,407	,095	,179	,580
	Newcombe	,407	,095	,190	,569
	Wald	,407	,095	,222	,593

#### Testes de proporções de amostras emparelhadas

		Diferença nas proporções	Erro Padrão Assintótico	Z	Significância	
Tipo de teste					Unilateral p	Bilateral p
Par 1: pos - pre	Binômio Ajustado para Mid-p	,407	,095		<,001	<,001
	McNemar	,407	,095	3,317	<,001	<,001

(Os intervalos de confiança pressupõem dados de teste de uma amostra verdadeiramente aleatória.)

## 7.4 Anexo 4 – Dados estatísticos do questionário de satisfação e usabilidade

### Estatísticas de uma amostra

	N	Média	Desvio Padrão	Erro de média padrão
p1	27	4,7778	,42366	,08153
p3	27	4,3704	,74152	,14271
p7	27	4,6667	,62017	,11935
p2	27	4,5556	,97402	,18745
p6	27	4,4444	,64051	,12327
p8	27	4,3704	,68770	,13235
p4	27	2,1481	1,13353	,21815
p5	27	1,6296	,68770	,13235

### Teste de uma amostra

Valor de Teste = 0

	t	df	Significância		Diferença média	95% Intervalo de Confiança da Diferença	
			Unilateral p	Bilateral p		Inferior	Superior
p1	58,599	26	<,001	<,001	4,77778	4,6102	4,9454
p3	30,625	26	<,001	<,001	4,37037	4,0770	4,6637
p7	39,100	26	<,001	<,001	4,66667	4,4213	4,9120
p2	24,303	26	<,001	<,001	4,55556	4,1702	4,9409
p6	36,056	26	<,001	<,001	4,44444	4,1911	4,6978
p8	33,022	26	<,001	<,001	4,37037	4,0983	4,6424
p4	9,847	26	<,001	<,001	2,14815	1,6997	2,5966
p5	12,313	26	<,001	<,001	1,62963	1,3576	1,9017

		Intervalo de Confiança 95%	
		Inferior	Superior
p1	d de Cohen	8,204	14,342
	Correção de Hedges	7,965	13,924
p3	d de Cohen	4,253	7,525
	Correção de Hedges	4,129	7,306
p7	d de Cohen	5,454	9,588
	Correção de Hedges	5,294	9,308
p2	d de Cohen	3,354	5,991
	Correção de Hedges	3,256	5,816
p6	d de Cohen	5,023	8,846
	Correção de Hedges	4,876	8,588
p8	d de Cohen	4,593	8,108
	Correção de Hedges	4,459	7,872
p4	d de Cohen	1,252	2,525
	Correção de Hedges	1,216	2,451
p5	d de Cohen	1,620	3,107
	Correção de Hedges	1,573	3,016

## 7.4.1 Intenção de usar

### Estatísticas de confiabilidade

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach com base em itens padronizados	N de itens
,145	,235	3

### Estatísticas de item

	Média	Desvio Padrão	N
VAR00006	4,7778	,42366	27
VAR00007	4,3704	,74152	27
VAR00008	4,6667	,62017	27

### Matriz de correlações entre itens

	VAR00006	VAR00007	VAR00008
VAR00006	1,000	,272	,146
VAR00007	,272	1,000	-,139
VAR00008	,146	-,139	1,000

### Estatísticas de item de resumo

	Média	Mínimo	Máximo	Intervalo	Máximo / Mínimo	Variância	N de itens
Médias de item	4,605	4,370	4,778	,407	1,093	,044	3
Correlações entre itens	,093	-,139	,272	,411	-1,952	,036	3

### Estatísticas de item-total

	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Correlação múltipla ao quadrado	Alfa de Cronbach se o item for excluído
VAR00006	9,0370	,806	,326	,109	-,318 <sup>a</sup>
VAR00007	9,4444	,641	,036	,107	,240
VAR00008	9,1481	,900	-,044	,056	,380

a. O valor é negativo devido a uma covariância média negativa entre itens. Isto viola as suposições do modelo de confiabilidade. É possível verificar as codificações de item.

### Estatísticas de escala

Média	Variância	Desvio Padrão	N de itens
13,8148	1,234	1,11068	3

## 7.4.2 Utilidade

### Estadísticas de confiabilidade

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach com base em itens padronizados	N de itens
,564	,600	3

### Estadísticas de item

	Média	Desvio Padrão	N
VAR00010	4,5556	,97402	27
VAR00011	4,4444	,64051	27
VAR00012	4,3704	,68770	27

### Matriz de correlações entre itens

	VAR00010	VAR00011	VAR00012
VAR00010	1,000	,144	,370
VAR00011	,144	1,000	,485
VAR00012	,370	,485	1,000

### Estadísticas de item de resumo

	Média	Mínimo	Máximo	Intervalo	Máximo / Mínimo	Variância	N de itens
Médias de item	4,457	4,370	4,556	,185	1,042	,009	3
Correlações entre itens	,333	,144	,485	,341	3,372	,024	3

### Estadísticas de item-total

	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Correlação múltipla ao quadrado	Alfa de Cronbach se o item for excluído
VAR00010	8,8148	1,311	,303	,139	,652
VAR00011	8,9259	1,917	,342	,237	,517
VAR00012	9,0000	1,538	,541	,327	,233

### Estadísticas de escala

Média	Variância	Desvio Padrão	N de itens
13,3704	2,934	1,71303	3

### 7.4.3 Facilidade de utilização

#### Estadísticas de confiabilidade

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach com base em itens padronizados	N de itens
,442	,485	2

#### Estadísticas de item

	Média	Desvio Padrão	N
VAR00014	2,1481	1,13353	27
VAR00015	1,6296	,68770	27

#### Matriz de correlações entre itens

	VAR00014	VAR00015
VAR00014	1,000	,320
VAR00015	,320	1,000

#### Estadísticas de item de resumo

	Média	Mínimo	Máximo	Intervalo	Máximo / Mínimo	Variância	N de itens
Médias de item	1,889	1,630	2,148	,519	1,318	,134	2
Correlações entre itens	,320	,320	,320	,000	1,000	,000	2

#### Estadísticas de item-total

	Média de escala se o item for excluído	Variância de escala se o item for excluído	Correlação de item total corrigida	Correlação múltipla ao quadrado	Alfa de Cronbach se o item for excluído
VAR00014	1,6296	,473	,320	,102	.
VAR00015	2,1481	1,285	,320	,102	.

#### Estadísticas de escala

Média	Variância	Desvio Padrão	N de itens
3,7778	2,256	1,50214	2