



Instituto Universitário de Lisboa

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

**City On Stats: Visualização  
Imersiva de Dados Recolhidos por  
Rede de Sensores Móveis**

Bruno Miguel Nunes Teles

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau  
de

**Mestre em Engenharia Informática**

**Orientador**

Professor Doutor Pedro Santana  
ISCTE-IUL

Outubro, 2019



*"90 % of what is considered "impossible" is, in fact, possible. The other 10 % will become possible with the passage of time and technology."*

Hideo Kojima



## *Resumo*

A cada dia que passa assiste-se a um crescente aumento das áreas urbanas e a um agravamento da qualidade do ar devido a fatores como a poluição dos carros e das fábricas. A qualidade do ar apresenta um fator bastante importante na saúde das pessoas sendo necessário manter bons níveis da qualidade do ar e agir quando esta se deteriora. Com vista aos cidadãos poderem usar os dados da monitorização da qualidade do ar nas nossas cidades através de uma nova forma de visualização, foi desenvolvida o City On Stats, uma aplicação que visa representar num ambiente 3D os dados da poluição na cidade, ao mesmo tempo que serve como forma alternativa de visualização de dados, destinada a adultos e jovens adultos, que estão habituados a interagir com ambientes 3D e jogos 3D. Os testes realizados no âmbito deste trabalho demonstraram que o City On Stats é uma ferramenta que oferece um bom desempenho tanto ao nível de entretenimento e liberdade de exploração quanto ao nível de visualização de dados dos poluentes atmosféricos, tendo permitido aos utilizadores conseguir realizar tarefas de forma célere. Nesta dissertação, encontra-se documentado todo o trabalho do desenvolvimento do City On Stats, desde a revisão bibliográfica até à avaliação da aplicação.

**Palavras-chave:** Visualização de dados científicos, Ambientes 3D, Motor de Jogos, Qualidade do Ar, Rede de sensores.



# *Abstract*

Each passing day is witnessing a growing increase in urban areas and a deterioration in air quality due to factors such as pollution of cars and factories. Air quality is a very important factor in people's health and it is necessary to maintain good levels of air quality and to act when it deteriorates. In order for citizens to be able to use air quality monitoring data in our cities through a new way of viewing, City On Stats has been developed, an application that aims to represent city pollution data in a 3D environment, which at the same time serves as an alternative form of data visualization for adults and young adults who are used to interacting with 3D environments and 3D games. Tests carried out within this work have shown that City On Stats is a tool that performs well in terms of entertainment and freedom of exploration as well as the visualisation of air pollutant data and has enabled users to perform tasks in a short time. In this dissertation, all the development work of City On Stats is documented, from the literature review to the application evaluation.

**Keywords:** Scientific Data Visualization, 3D Environments, Game Engine, Air Quality, Sensor Network.



# *Agradecimentos*

Gostaria de agradecer aos meus pais, Maria Fernanda e Artur, que sempre me apoiaram e permitiram que eu pudesse chegar onde cheguei.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Santana, e ao Doutor Pedro Mariano por me terem desafiado constantemente a fazer mais e sobretudo, por me terem indicado o rumo certo.

À minha namorada, Carolina, por me ter acompanhado e ajudado ao longo de todo o processo, tendo feito sempre críticas construtivas e fundamentais para melhorar o meu trabalho.

Aos meus amigos e familiares que tiveram paciência para os meus desabafos e que sempre me deram força e incentivaram.

A todos aqueles que despenderam um pouco do seu tempo e me ajudaram ao realizar os testes de validação.

A todos os referidos, o meu muito obrigado.



# Conteúdo

Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Lista de Figuras	xiii
Abreviações	xv
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto . . . . .	1
1.2 Motivação . . . . .	3
1.3 Perguntas de Investigação . . . . .	4
1.4 Objetivos . . . . .	5
1.5 Abordagem Metodológica . . . . .	5
1.6 Estrutura do Documento . . . . .	6
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>9</b>
2.1 Monitorização da Qualidade do Ar . . . . .	9
2.2 Geração de Modelos 3D de Locais Físicos . . . . .	13
2.3 Combinação de <i>Big Data</i> com Ambientes 3D . . . . .	18
2.4 Trabalhos que resultaram em aplicações similares ao City On Stats	23
2.5 Testes de experiência do utilizador . . . . .	26
<b>3 Descrição da Aplicação</b>	<b>29</b>
3.1 A Aplicação . . . . .	30
3.1.1 Menus . . . . .	30
3.1.2 Tutoriais e Ajudas . . . . .	31
3.1.3 Funcionalidades . . . . .	32
3.1.4 Modos de Visualização . . . . .	37
3.1.5 Autocarros Guiados . . . . .	38
3.2 Configuração . . . . .	41
<b>4 Desenvolvimento e Implementação</b>	<b>45</b>
4.1 Desenho da Aplicação . . . . .	45

4.1.1	Levantamento de Requisitos e Decisões de Desenho . . . . .	46
4.1.2	Interações e Ações . . . . .	48
4.2	Mundo virtual e Funcionalidades . . . . .	49
4.2.1	Geração do mundo virtual . . . . .	49
4.2.2	Sistema de Coordenadas . . . . .	51
4.2.3	Modos de Visualização . . . . .	53
4.2.4	Gráfico da Evolução dos Dados . . . . .	55
4.3	Modo de Condução Guiada . . . . .	57
4.3.1	Geração de Percursos . . . . .	57
4.3.1.1	Sensores . . . . .	61
4.3.2	Condução . . . . .	61
4.4	Interface . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Avaliação e Discussão</b>	<b>67</b>
5.1	Modelo de Avaliação . . . . .	67
5.1.1	Testes de Desenvolvimento . . . . .	70
5.1.2	Testes Finais . . . . .	72
5.2	Resultados . . . . .	73
5.2.1	Avaliação da Interface . . . . .	73
5.2.2	Tempo das Tarefas e em Cada Modo de Visualização . . . . .	75
5.2.3	Questionário da Experiência de Jogo . . . . .	79
5.2.4	Perguntas Subjetivas . . . . .	81
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>83</b>
6.1	Conclusões . . . . .	83
6.2	Trabalho Futuro . . . . .	85
	<b>Appendices</b>	<b>89</b>
<b>A</b>	<b>Anexo A - Estrutura do Ficheiro .xml dos Autocarros Guiados</b>	<b>89</b>
<b>B</b>	<b>Anexo B - Códigos para usar as ferramentas do OpenStreetMap no Linux</b>	<b>91</b>
<b>C</b>	<b>Anexo C - Fluxo do City On Stats</b>	<b>93</b>
<b>D</b>	<b>Anexo D - Guião e Questionário dos Testes Finais</b>	<b>95</b>
<b>E</b>	<b>Anexo E - Captura de ecrã da página de internet usada nos testes</b>	<b>103</b>
<b>F</b>	<b>Anexo F - Motivos para as respostas subjetivas</b>	<b>107</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>109</b>

# Lista de Figuras

2.1	Apresentação da aplicação CityHeat . . . . .	24
2.2	Apresentação da aplicação Roames World . . . . .	26
3.1	Menus da aplicação City On Stats . . . . .	31
3.2	Tutoriais e Ajudas no City On Stats . . . . .	33
3.3	Exemplo da interface utilizando uma imagem do mapa real . . . . .	34
3.4	Comparação do cenário diurno com o cenário noturno . . . . .	35
3.5	Localização da informação sobre a posição atual do utilizador . . . . .	35
3.6	Painel de teletransporte . . . . .	36
3.7	Vista de drone . . . . .	36
3.8	Placar e painel com o gráfico da evolução dos dados . . . . .	37
3.9	Modos de visualização da aplicação . . . . .	39
3.10	Autocarros guiados . . . . .	40
3.11	Painel de controlo dos autocarros guiados . . . . .	41
3.12	Interação entre os ficheiros e a aplicação . . . . .	42
4.1	Falhas no chão da malha de polígonos da cidade . . . . .	51
4.2	Fluxo de trabalho na geração do mundo virtual . . . . .	51
4.3	Esquema de funcionamento do sistema de coordenadas . . . . .	53
4.4	Diferentes Visualizações da Aplicação . . . . .	56
4.5	Funcionamento da reutilização dos cubos . . . . .	57
4.6	Algoritmo de geração de percursos . . . . .	59
4.7	Demonstração da colocação dos sensores nos autocarros guiados . . . . .	62
4.8	Exemplo da utilização dos sensores para colocar o autocarro na estrada . . . . .	63
5.1	Mapa da cidade usado nos testes . . . . .	68
5.2	Cenário dos testes . . . . .	71
5.3	Distribuição de idades dos utilizadores nos testes . . . . .	73
5.4	Distribuição da experiência dos utilizadores . . . . .	74
A.1	Estrutura do ficheiro Bus.xml . . . . .	90
B.1	Código exemplo da utilização do Osmosis . . . . .	91
B.2	Código exemplo da utilização do OSM2World . . . . .	91
C.1	Fluxo da aplicação. . . . .	94

E.1	Visão inicial quando o utilizado utiliza a página de internet. . . . .	104
E.2	Visão do utilizador quando encontra Barkingside na página de internet. . . . .	105

# Abreviações

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DEM - Modelo de Elevação Digital

DTM - Modelo de Terreno Digital

EPA - Agência de Proteção Ambiental

GIS - Geographic Information System

GPS – Sistema Global de Posicionamento

IMHOTEP - Immersive Medical Hands-On Operation Teaching and Planning System

IGOSP - Integrated Global Observing Systems for Persistent Pollutants

IoT – Internet das Coisas

KOALA – Knowing Our Ambient Local Air-Quality

LADAR - Laser Detection And Ranging

LIDAR - Light Detection And Ranging

MIT - Instituto de Tecnologia de Massachusetts

NO – Óxido de Nitrogénio

NO<sub>2</sub> – Dióxido de Nitrogénio

O<sub>3</sub> - Ozono

PM<sub>1</sub> - Partículas Atmosféricas inferiores a 1 micrómetro

PM<sub>10</sub> - Partículas Atmosféricas inferiores a 10 micrómetros

PM<sub>2.5</sub> - Partículas Atmosféricas inferiores a 2.5 micrómetros

SMURBS - SMart URBan Solutions

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

TGE - Torque Game Engine

TIN - Rede Irregular Triangular

UDK - Unreal Development Kit

VTK – Visualization Toolkit

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

Nesta dissertação, pretende-se apresentar uma ferramenta que possibilite a adultos e a jovens adultos observarem, de uma forma imersiva, a qualidade do ar das cidades onde vivem. A ferramenta apresentada, trata-se de uma aplicação desenvolvida em Unity 3D denominada City On Stats, em que o utilizador pode visualizar os dados num ambiente 3D, tentando assim proporcionar uma maior imersão. Os principais desafios da aplicação são a representação 3D das cidades, a representação dos dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos e o desenho de uma interface intuitiva para o utilizador. Desta forma, é possível enquadrar o City On Stats em várias áreas.

A primeira área de abrangência é a da poluição e da qualidade do ar. Esta área vai ser sempre o plano de fundo desta dissertação, uma vez que o trabalho desenvolvido nesta dissertação se baseia na necessidade de recolha de dados sobre a qualidade do ar das cidades, sendo no caso deste trabalho, recolhidos através de uma rede de dispositivos móveis colocados no topo dos autocarros. De forma a ter uma aplicação que consiga demonstrar este problema, será necessário compreender melhor o problema. Nesta área existem vários trabalhos desenvolvidos, quer com sensores fixos, quer com sensores móveis. Um dos trabalhos que apresenta grande

relevância para a dissertação tem como nome “Bus as a Sensor” [13], em que os investigadores seguiram a mesma ideia base, a colocação de sensores móveis nos autocarros, neste caso, na cidade de Catânia, em Itália. Para estes autores, esta ideia surgiu da necessidade de explorar outras formas de recolhas de dados, diferentes dos tradicionais sensores fixos, uma vez que estes são bastante dispendiosos e têm uma pequena área de atuação.

A segunda e a terceira áreas de abrangência são a de ambientes 3D e a representação de dados, podendo considerar *Big Data* devido à quantidade de dados que se irão recolher com os sensores. Estas duas áreas são apresentadas juntas, uma vez que a intenção desta dissertação é a de conseguir representar dados da qualidade do ar já existentes de uma forma imersiva. Para tal, ir-se-á estudar mecanismos de ambientes 3D de forma a proporcionar ao utilizador final uma experiência de imersão enquanto visualiza os dados.

Esta conjugação entre *Big Data* e ambientes 3D também não é um assunto novo, tendo já sido utilizada em várias áreas, como por exemplo na área da saúde. Existe o caso da IMHOTEP [53], uma ferramenta desenvolvida com vista a responder à grande quantidade e diversidade de dados que os pacientes tinham na sua ficha clínica. Outro estudo de relevo, mas este na área da visualização [22], teve como objetivo desenvolver um programa capaz de representar grandes quantidades de dados de uma forma imersiva e colaborativa, facilitando a análise de dados.

A quarta área de abrangência, são os jogos, isto porque pretende-se explorar os mecanismos de jogos para conseguir proporcionar ao utilizador uma experiência mais imersiva que é geralmente conseguida com os jogos 3D. O motor utilizado para desenvolver o trabalho foi o Unity 3D, uma vez que oferece bastantes mecanismos que facilitam a obtenção de bons resultados, como já demonstrado em outros trabalhos. Um exemplo da potencialidade deste motor, é o CityHeat [20], um trabalho realizado para a visualização dos dados provenientes da medição da temperatura da estrada.

Outras áreas que serão exploradas com este trabalho são a geração de cidades reais em 3D, uma vez ser necessário representar as cidades em 3D para uma maior imersão, processo geralmente feito através de dados recolhidos por sensores, como

LIDAR [14] [20] [44] [49]. Por fim a área de interação pessoa-máquina, uma vez que objetivo é desenvolver uma aplicação que seja intuitiva e fácil de utilização, para tal, pretende-se que a aplicação esteja de acordo com as heurísticas de Nielsen [45].

## 1.2 Motivação

A cada ano que passa, observamos o crescimento dos nossos meios urbanos. Com esse crescimento, observa-se um aumento de fontes de poluição e uma diminuição de espaços verdes para a renovação do ar. Estes fatores proporcionam uma degradação na qualidade do ar e com isto a saúde é afetada [36]. Com vista a poder monitorizar a qualidade do ar na cidade de Lisboa, de forma a controlar e minimizar a quantidade de gases nocivos presentes na atmosfera da cidade, a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), está a financiar o projeto "Ex-PoLis - Estudo comparativo da exposição a poluentes nos acessos rodoviários e ferroviários a Lisboa"[19], que visa a colocação de sensores móveis em autocarros, mais concretamente, nos autocarros da Carris, que colabora com o projeto. Desta forma será possível a monitorização da qualidade do ar no ambiente urbano da cidade de Lisboa.

Uma das necessidades que surgiram com este projeto, foi a visualização dos dados obtidos pela rede de sensores. Estes dados, que apresentam grandes dimensões, poderiam ser representados de forma tradicional em formato de gráficos 2D, como no caso do "Bus as a Sensor"[13]. No entanto, tendo em conta a existência de uma grande quantidade de adultos e jovens adultos habituados aos jogos e aos seus ambientes virtuais [48], vê-se aqui uma oportunidade de explorar novos meios de visualização de dados utilizando ambientes 3D de forma a criar uma experiência similar a um jogo. Pretende-se com esta abordagem, oferecer uma ferramenta de visualização de dados em ambientes 3D, porque observa-se que os ambientes 3D começam a predominar, sendo o Google Earth e o Street View um exemplo disso. Desta forma é possível estudar mecanismos de visualização de dados que futuramente possam ser integrados nestas ferramentas, tornando a experiência de visualização de dados do utilizador mais apelativa e imersiva que os gráficos 2D,

sendo capaz de motivar o utilizador a explorar durante mais tempo os dados. Tentando ainda fazer com que o utilizador retenha a informação visualizada durante mais tempo, utilizando as potencialidades dos jogos [10].

Esta dissertação tem como principal objetivo representar os dados adquiridos desta rede de sensores. Mesmo tendo sido projetado para este fim, acredita-se que se consiga proporcionar uma ferramenta para visualizar dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos em qualquer local do planeta, desde que se garantam os dados a serem representados e os dados do local. Como referido, o principal público alvo são os adultos e jovens adultos, cujo grande percentagem destes estão habituados aos ambientes virtuais dos jogos [48]. Muitos destes jovens têm noção da importância da qualidade do ar, podendo encontrar no City On Stats uma ferramenta imersiva, similar a um jogo, para fornecer apoio ao planeamento de rotas nas cidades, bem como à consulta dos autocarros com as rotas mais saudáveis.

### 1.3 Perguntas de Investigação

Foram elaboradas algumas perguntas de investigação, antes do desenvolvimento prático da dissertação, às quais se pretendeu dar resposta com o desenvolvimento da dissertação.

- Será que um ambiente de jogo 3D fornece uma forma mais interessante de visualizar dados de poluição que uma representação 2D?
- Será possível fazer a análise de dados de forma mais rápida e eficaz numa ferramenta de visualização de dados em 3D face às convencionais ferramentas 2D utilizadas (e.g. mapas com camadas)?
- Será que representações usando elementos gráficos associados à poluição (e.g. nevoeiro) são melhores para representar dados dos poluentes atmosféricos face ao tradicional código de cores que varia de verde (bom) a vermelho (mau)?

## 1.4 Objetivos

Com esta dissertação, o primeiro objetivo consiste numa investigação na literatura existente, de trabalhos relacionados de forma a explorar o que já foi feito. Foram investigadas técnicas de geração de modelos 3D de cidades, utilização de ambientes 3D e de motores de desenvolvimento de jogos, como por exemplo Unity 3D, para visualização de dados.

O segundo objetivo consiste em desenvolver uma aplicação com a intensão de representar os dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos de uma forma mais imersiva que as tradicionais ferramentas 2D, utilizando um modelo 3D de uma cidade real, vários modos de visualização de dados para ajudar o utilizador a retirar conclusões e a introdução de autocarros virtuais guiados. Com isto, procura-se oferecer uma ferramenta para visualizar dados tão apelativa quanto um jogo.

Esta aplicação deverá ser a mais intuitiva possível de forma a que qualquer utilizador dentro do público alvo consiga utilizar e compreender o que está a ver. Os principais dados utilizados nesta aplicação serão recolhidos por uma rede sensores móveis colocados nos autocarros da Carris, que irão percorrer a cidade de Lisboa registando os níveis dos diferentes gases presentes na atmosfera. Na altura do término desta dissertação, ainda não existiam dados recolhidos pela rede de sensores, portanto houve a necessidade de sintetizar alguns dados para os testes de desenvolvimento e validação da aplicação, que envolveram utilizadores reais aos quais eram colocados desafios que deviam ser completados utilizando a aplicação City On Stats. Durante a fase de desenvolvimento foram utilizados dados de poluição reais provenientes de um projeto em Zurique [29].

## 1.5 Abordagem Metodológica

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado como metodologia de trabalho a metodologia de Peffers [51].

Esta metodologia consiste em seis atividades principais. Sendo elas:

- Identificação do problema – O problema reside na necessidade de uma ferramenta para a visualização de dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos, que seja mais imersiva que os métodos clássicos de visualização;
- Definição dos objetivos para a solução – Objetivos definidos anteriormente;
- Desenho e desenvolvimento – Desenvolvimento de uma aplicação com objetivo de dar resposta aos problemas identificados;
- Demonstração – Teste do software desenvolvido com o objetivo de identificar se está de acordo com os objetivos previamente identificados;
- Avaliação – Utilizar o programa desenvolvido com o publico alvo de forma a avaliar a eficácia do mesmo;
- Comunicação – Desenvolvimento de um artigo e da dissertação sobre o trabalho desenvolvido;

Desta metodologia, os primeiros dois passos, a identificação do problema e a definição dos objetivos para a solução, podem ser encontrados no Capítulo 1. O desenho e desenvolvimento encontram-se documentados nos Capítulos 3 e 4 e a demonstração e avaliação do projeto no Capítulo 5.

## 1.6 Estrutura do Documento

O presente documento contém todos os aspetos do trabalho desenvolvido, desde a investigação de trabalhos relacionados à avaliação do projeto, passando pela conceção e desenvolvimento do mesmo. O documento encontra-se estruturado por capítulos, sendo eles:

- **Capítulo 2** - Revisão bibliográfica de trabalhos nas três áreas do projeto (Monitorização da qualidade do ar, ambientes 3D em *Big Data* e geração de

modelos 3D de cidades), com o objetivo de identificar soluções para o desenvolvimento do projeto. Existe ainda a análise de metodologias de avaliação da experiência de jogo;

- **Capítulo 3** - Apresentação da ferramenta proposta nesta dissertação, o City On Stats. Contém descrição do desenho e funcionalidades da aplicação;
- **Capítulo 4** - Apresentação e explicação da estrutura e algoritmos que constituem a implementação da ferramenta;
- **Capítulo 5** - Descrição e análise do processo de avaliação do projeto com o objetivo de validar a aplicação;
- **Capítulo 6** - Apresentação das conclusões do projeto e discussão do trabalho a ser realizado no futuro sobre esta dissertação;



# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 Monitorização da Qualidade do Ar

A necessidade de recolha de informação sobre a qualidade do ar não é algo recente. No entanto, devido às inúmeras notícias nacionais e internacionais que alertam sobre fenómenos como o buraco na camada de ozono, efeito de estufa, ou ainda os elevados níveis de poluição que se podem encontrar em grandes cidades, sendo estes geralmente associados a fábricas, nos arredores das cidades, e à poluição proveniente da combustão dos veículos, no interior das cidades, a preocupação sobre a qualidade do ar aumenta e com ela aumenta também a necessidade de ter forma de analisá-la.

No âmbito da classificação da qualidade do ar, existe um índice que calcula a qualidade do ar que varia entre 0 e 500, descrito na Tabela 2.1 [46]. Existem já vários estudos que usam esta classificação em vários países como Bulgária [28], Indonésia [57], Irão [27], Nigéria [38] e no Brasil durante os jogos olímpicos de 2016 [61].

Existem algumas páginas na internet que disponibilizam dados sobre a qualidade do ar, geralmente recolhidos através de estações fixas. Estes dados são geralmente tratados e postos à disposição do público sobre a forma de mapas 2D em que são

Valor da qualidade do ar:	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
Qualidade do ar:	Boa	Moderada	Não saudável para grupos sensíveis	Não saudável	Muito pouco saudável	Perigosa
Cor:	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Roxo	Castanho

TABELA 2.1: Tabela com informação do índice da qualidade do ar, seu significado e cor associada.

usadas cores ou barras para representar os níveis de determinado poluente atmosférico, ou então, sobre a forma de tabela com os valores que são registados.

O centro dinamarquês do meio ambiente e energia criou uma página na internet [2] em que se podem ver os níveis de  $\text{NO}_2$ , de  $\text{PM}_{2.5}$  e  $\text{PM}_{10}$  para a zona da Dinamarca. Os dados presentes nesta página de internet são calculados usando modelos de qualidade do ar. Nesta página é apresentado um mapa da Dinamarca, onde é colocado sobre este, uma camada colorida indicando o nível de poluição desse local.

Na Austrália, na costa oriental, mais concretamente na zona de Gold Cost, foram colocadas estações de medição da qualidade do ar ao abrigo do programa KOALA (Knowing Our Ambient Local Air-Quality) [4], que em português significa "conhecendo a nossa qualidade do ar ambiente local". Lá pode-se ver a localização das diversas estações e a informação sobre a qualidade do ar ilustrada com colunas que crescem e alteram a sua cor em função dos níveis de poluição do ar.

A ATAQ Lab, disponibiliza nos Estados Unidos da América, no estado de Utah, doze estações que monitorizam a qualidade do ar, focando-se principalmente no dióxido de carbono, sendo que algumas também fazem medição dos níveis de metano no ar. Esta informação é transmitida à população através de uma página na internet [6], onde é possível analisar a evolução destes componentes ao longo do tempo. Referente ao mesmo estado, encontra-se também outra página na internet [5], apelidado de "TRAX Meteorological and Air Quality Data" que disponibiliza informações sobre as concentrações de  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{NO}_2$ .

Uma equipa localizada em Beijing, desenvolveu um projeto ao nível global apelidado de "World Air Quality Index" [1], que começou em 2007 e consegue obter dados sobre a qualidade do ar em mais de 80 países, estando nas 1000 maiores

idades do mundo com uma cobertura de mais de 10000 estações. Dos dados recolhidos, encontram-se por exemplo:  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ , temperatura, pressão e humidade.

Estes são alguns dos exemplos de páginas na internet encontradas que a partir das quais é possível fazer a monitorização da qualidade do ar. Como foi descrito, todas as páginas que foram analisadas utilizam métodos de visualização dos dados tradicionais como gráficos e tabelas 2D.

Em Catânia, Itália, um grupo de investigadores [13] decidiu ultrapassar as limitações impostas pelas estações fixas. Essas limitações estão relacionadas com a área de cobertura reduzida, geralmente associada a um raio de poucos metros em volta da estação, acrescentando os custos de implementação e manutenção destas estruturas.

Estes investigadores, em colaboração com a TIM Joint Open Lab, decidiram aproveitar as vantagens oferecidas pelo paradigma da Internet das Coisas (IoT), que possibilitou o desenvolvimento de inúmeras soluções para as cidades inteligentes, do inglês *Smart Cities*. Com isto, decidiram aproveitar os autocarros que percorriam a cidade e implementar em cima destes, sensores que foram monitorizar em tempo real os poluentes mais significativos do ar, como é o caso  $O_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  e  $PM_{10}$ , e ainda a temperatura, humidade, pressão e nível sonoro.

Todo este sistema visa proporcionar aos cidadãos de Catânia um serviço em que podem acompanhar a qualidade do ar ao longo da cidade e do tempo, ao mesmo tempo que têm informações sobre os serviços de autocarros. Os dados são visualizados através de uma aplicação. A aplicação, que tem como base um mapa em que é mostrado os dados recolhidos, é composta por quatro camadas. A camada do mapa, a camada com as rotas dos autocarros, a camada dos marcadores e a camada da grelha da qualidade do ar que indica, através de pequenos quadrados coloridos, a qualidade do ar dentro dessa área. É utilizado o código tradicional de cores, em que vermelho é uma má qualidade, amarelo é uma qualidade intermédia

e não existe informação da cor utilizada para uma boa qualidade do ar.

Na União Europeia foi desenvolvido o projeto ERA-PLANET que estabelece outros quatro projetos, sendo dois desses projetos orientados para a monitorização da qualidade do ar. O SMURBS (“SMart URBan Solutions for air quality, disasters and city growth”), que estima a qualidade do ar ao nível das cidades, e o projeto IGOSP (“Integrated Global Observing Systems for Persistent Pollutants”) estima a qualidade do ar ao nível regional [55].

A Ucrânia é uma das participantes do projeto ERA-PLANET, como tal, foi escolhida a cidade de Kyiv como cidade piloto para o desenvolvimento e validação desta tecnologia através do projeto SMURBS. A intensão deste projeto é posteriormente, assim que validado, estender esta tecnologia para outras cidades europeias. Para o projeto SMURBS, puderam contar com dados de satélite provenientes do projeto Copernicus, SUOMI-NPP, MLS/Aura Level, OMI/Aurae e do mais recente satélite Sentinel-5P. Os dados *in-situ* da cidade de Kyiv vieram de 16 estações que fazem medições seis dias por semana e quatro vezes por dia. Os autores acreditam que a validação cruzada entre os dados *in-situ* e os dados de satélite serão cruciais. Isto ajudará numa maior robustez na medição da qualidade do ar.

Um trabalho desenvolvido no Paquistão [7], concluiu que os métodos de recolha dos dados de qualidade do ar não eram bem direcionados para a população em geral, mas sim para utilizadores experientes. A Agência de Proteção Ambiental (EPA) do Paquistão, desenvolveu algumas iniciativas para a recolha de dados sobre a qualidade do ar. Nessas iniciativas foram analisadas as concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e colocados os dados da recolha num portal web. No entanto, devido ao facto de os dados estarem muito pouco tratados e da população em geral ter pouca formação sobre o assunto, levou a que a recolha destes dados tivesse pouco impacto na população sobre este problema. Para solucionar o problema usaram o índice da qualidade do ar, junto com informação dos problemas de saúde associados, sobre a forma de uma aplicação baseada num mapa onde seriam colocados

pontos coloridos relativos à qualidade do ar.

Conclui-se que a monitorização da qualidade do ar é, na sua maioria, realizada através de estações fixas. Estas estações fixas exigem grandes custos de manutenção e apresentam uma pequena área de atuação. Uma alternativa é a opção adotada no projeto EXPOLIS, em que se utiliza sensores móveis nos autocarros, cujo o custo de manutenção é mínimo e têm uma grande área de atuação. Em termos de visualização dos dados, na maioria dos projetos é feita através de tabelas e mapas com camadas coloridas. É também utilizado um índice da qualidade do ar, que associa uma cor em função da concentração de um dado poluente na atmosfera. Este índice é importante porque uniformiza um código de cores associado à poluição que geralmente o cidadão percebe o seu significado.

## **2.2 Geração de Modelos 3D de Locais Físicos**

A necessidade de gerar modelos 3D de locais físicos pode surgir para os mais diversos fins, como por exemplo, gerar um modelo do terreno para um ambiente de jogo, ou para fazer simulações em terrenos iguais aos reais. No entanto este tema gera muitas questões e dificuldades na altura de gerar o terreno, acrescentando essa dificuldade no caso do terreno apresentar grande dimensões.

Atualmente existem várias formas de obter modelos 3D de terrenos, mas nem todas são exequíveis, quer em termos monetários, quer em termos de trabalho envolvido. Uma forma de utilizar dados geográficos para gerar modelos 3D é através do sistema de gestão de dados geográficos GIS. Existe uma revisão da literatura [40] relacionada com o uso de dados GIS para visualização de terrenos em 3D em motores de jogos. Os autores apresentam quatro motores de jogos, o Torque Game Engine (TGE), o Unreal Development Kit (UDK), o Unity 3D e o CryEngine.

O Torque Game Engine foi publicado pela GarageGames e usa C++ como linguagem base. Neste motor de jogos existe o suporte para PhysX, tendo ainda disponível recursos modernos de sombreamento e apresenta um modo avançado de iluminação diferida.

O Unreal Development Kit, foi lançado pela Epic Games Inc. e constitui uma versão gratuita do Unreal Engine 3, no entanto, apresenta as mesmas funcionalidades que a versão paga. Usa como linguagem base uma linguagem própria chamada UnrealScript usando Unreal Kismet. Utiliza ainda o PhysX da Nvidia e o editor de comportamentos UDK.

O Unity 3D foi criado pela Unity Technologies, utilizando C#, JavaScript e Boo como linguagens principais. Este motor de jogos permite criar tanto jogos online como offline e tem como principal vantagem a possibilidade de correr em diversas plataformas para além das convencionais.

O CryEngine foi criado pela Crytek. Este motor de jogos apresenta um ambiente muito rico para desenvolver jogos através de uma sandbox usando o método “WYSIWYG”. Este motor é gratuito desde que o objetivo não seja comercial.

Na geração 3D de terrenos existem três terminologias principais, o modelo de elevação digital (DEM), o modelo de terreno digital (DTM) e a rede irregular triangular (TIN). Estes modelos são utilizados por programas com a capacidade de ler e exibir o terreno 3D resultante.

No TGE é possível usar dados em formato DEM [65]. No UDK existe um editor de terrenos que suporta dados DEM, podendo ser manipulados usando o motor Unreal. No Unity 3D é possível modelar um terreno realista usando o editor de terreno e podendo ver o resultado na primeira pessoa. É ainda possível construir terrenos importando os dados em formato DEM usando o Visual 3D. No CryEngine é possível usar dados GIS dentro do motor de desenvolvimento.

Em 2013 [47] foram discutidas formas de representar terrenos de grandes dimensões de uma forma eficiente. A primeira abordagem discutida é a tentativa Naive que consiste em colocar todos os objetos numa cena. No entanto esta solução não

permite o programa ser executado devido a diversos problemas. O primeiro problema reside no facto da memória ser limitada, o que faz com que exista um certo limite para as dimensões e conteúdo da cena de acordo com a memória disponível. O segundo problema surge com os limites do CPU e da GPU, visto que existem muitos elementos do terreno a necessitar do CPU, no entanto, a largura de banda não é suficiente para dar resposta a todos. O terceiro problema surge com os limites da precisão numérica. Esta situação faz com que exista muita precisão perto de zero, no entanto, perto dos limites, quer positivo, quer negativo, a precisão é reduzida. Em termos práticos este problema pode gerar erros e uma noção clara de instabilidade quando muito afastado da origem.

De forma a dar resposta a estes problemas, em 2001 a Gas Powered Games apresentou uma solução usando células<sup>1</sup> [12], que na altura era considerado uma revolução na área. No entanto, havia um problema com as transformadas das células, sendo que elas não apresentavam uma orientação fixa. De forma a ilustrar esta situação, imagine-se uma grelha de células e um jogador que lance uma flecha no sentido da célula à sua direita, espera-se que a flecha entre na esquerda da nova célula dirigindo-se para a direita. O que acontecia para este caso é que a flecha em vez de entrar do lado esquerdo da célula podia entrar por baixo e dirigir-se para cima uma vez que a sua transformada estava rodada.

O Unity aproveitou esta técnica e melhorou o processo, sendo que desta vez todas as transformadas tinham a mesma orientação, tendo as suas origens no canto inferior esquerdo. Com este processo, gera-se apenas a parte do mundo que é necessária, sendo que as células que deixam de ser utilizadas são reutilizadas e colocadas numa nova posição onde é necessária uma nova célula. Este processo permite poupar a memória requerida, diminui o número de elementos do terreno a requisitar o CPU e uma vez que o mundo é segmentado por célula, sendo que em cada momento existe um número restrito de células na cena, faz com que não se atinge o limite de precisão, este limite só seria atingido se a célula tivesse um tamanho extremamente grande, o que não é suposto. Com isto todos os problemas são resolvidos e é possível gerar mundos sem limitações na sua extensão.

---

<sup>1</sup>Do inglês "Voxels"

A companhia BIMTAS, desenvolveu para a cidade de Istambul uma ferramenta para estimar o potencial solar dos telhados e das fachadas para todos os edifícios da cidade de Istambul através de simulação 3D [14]. Esta ferramenta tem como plano de fundo a geração de um modelo 3D da cidade de Istambul. Inicialmente era baseada na versão 2 do esquema de CityGML, mas devido a limitações do programa, migrou-se para Unity 3D. Os modelos 3D do CityGML são geralmente usados para mapeamento 3D, simulações realistas, melhor visualização e análise. Esta ferramenta oferece cinco níveis de detalhe para qualquer objeto 3D. No entanto, existem sérias limitações e problemas na altura da implementação quando se trabalha com grandes conjuntos de dados. Por outro lado, o Unity 3D não apresenta estas limitações e como foi visto em trabalhos anteriores, apresenta bons resultados.

O Unity apresenta diversas funcionalidades para os mapas. É possível voar, rodar ou fazer zoom, bem como controlar a câmara, a luz ou outros objetos disponíveis na cena. Também está disponível a possibilidade de ligar ou desligar camadas, um sistema de projeção, fazer consultas específicas ou calcular a sombra e a radiação solar, entre outros.

Para este projeto da BIM, foi utilizado a tecnologia de LIDAR e imagens aéreas para a geração do modelo 3D da cidade. Os autores tinham ainda à sua disposição um modelo digital da superfície e da elevação que tinha sido obtido num projeto anterior. O projeto anterior tinha como foco a estimação do potencial energético solar dos edifícios em Istambul, enquanto que o foco do segundo projeto era a aquisição 3D do subsolo da cidade.

De forma a obter o modelo 3D da cidade de Istambul, foi preciso um pré processamento que passou por sete fases de preparação dos dados. Estas sete fases encontram-se documentadas no artigo.

Os autores identificaram algumas vantagens e limitações na utilização do Unity 3D. As vantagens apresentadas são a possibilidade de correr em multiplataformas, a possibilidade de importar modelos 3D em formato FBX, SBX e OBJ, ter uma

boa visualização e geração da luz de objetos 3D e fornecer uma variedade de funções e bibliotecas modulares. Das limitações encontradas destacam-se a existência de poucos utilizadores na área da geração e modelação de terrenos, falta de suporte e documentação para mapeamento 3D, o limite no suporte de base de dados e os custos elevados com a obtenção de dados.

Com a análise destes trabalhos, observa-se que a solução de motor de desenvolvimento que oferece maiores vantagens no desenvolvimento de uma ferramenta como o City On Stats é o Unity. Isto deve-se ao facto do Unity oferecer ferramentas de fácil utilização que são compatíveis com os três blocos principais do City On Stats: (1) geração de um modelo 3D da cidade; (2) soluções para realidade virtual; (3) capacidade de tratar grandes quantidades de dados. No entanto, como foi identificado anteriormente, o Unity apresenta algumas limitações que podem ser graves para o desenvolvimento deste tipo de ferramentas. Essas limitações são: a não existência de suporte para coordenadas terrestres e os custos elevados associados à obtenção de dados para geração do ambiente 3D.

As limitações acima referidas, tiveram de ser eliminadas de forma a que o City On Stats pudesse ser desenvolvido em Unity 3D. Para o sistema de coordenadas, encontrou-se a solução na utilização de fórmula de Haversine, que tem como finalidade calcular a distância mínima entre duas coordenadas, tendo em consideração que essas coordenadas não se encontram num plano, tendo de ser considerada a curvatura do planeta. Vários trabalhos baseados em localização através de coordenadas geográficas [8] [18] [33] [42] usam esta fórmula para determinarem a distância entre dois pontos. Será feito uma análise mais completa na Secção 4.2.2. A segunda limitação surge devido ao facto de grande parte dos trabalhos aqui expostos, basearem a sua geração modelo 3D através de dados provenientes de LIDAR. Isto constitui um problema porque, não existem dados de LIDAR para muitas áreas e os dados que existem nem sempre estão disponíveis para serem utilizados. A não existência dos dados faz com que seja necessário proceder à sua recolha, sendo que esta recolha exige custos bastante elevados. Uma alternativa à recolha de dados de LIDAR para a geração modelos 3D seria a utilização da

API da Google Maps, apelidada de Google Maps Platform [3]. No entanto, a utilização desta API não é completamente gratuita, não servindo, portanto, como base de desenvolvimento para esta dissertação, uma vez que se procura uma ferramenta completamente gratuita em termos de desenvolvimento e utilização. Outra solução encontrada foi a utilização dos dados do OpenStreetMap, que seria uma alternativa à obtenção de dados utilizando a tecnologia de LIDAR e de acesso gratuito, para geração de ambientes virtuais utilizando a ferramenta OSM2World. O OSM2World gera o ambiente virtual utilizando formas simples para gerar os elementos do mapa e não apresenta relevo no seu terreno. Esta solução já foi utilizada em outros trabalhos [11] [62] revelando-se ser uma ótima alternativa. Com esta decisão, torna-se possível representar qualquer cidade do mundo.

### **2.3 Combinação de *Big Data* com Ambientes 3D**

Os ambientes 3D, geralmente associado a realidade virtual, têm vindo a demonstrar bastante potencial para ajudar os cientistas a trabalharem de forma mais eficiente e conclusiva, sendo uma forma imersiva de estabelecer a ligação entre humanos e dados [64]. O uso desta tecnologia já mostrou bastante potencial em áreas como a paleontologia [37], planeamento pré operatório de tumores cerebrais [66], perceção de formas [21], estruturas de análise de cavernas subterrâneas [54] e imagem por ressonância magnética [17] referidos em [22], como também na área da astronomia [25], treino tático [41], entre outras. Os benefícios dos ambientes 3D associados a realidade virtual em *Big Data* podem também ser observados pelos continuados trabalhos na área [50] [22]. A análise de *Big Data* é uma tarefa bastante complicada devido às dimensões dos dados. É sempre necessário um tratamento eficaz dos dados, mas mesmo assim os resultados nem sempre são óbvios ou de fácil compreensão. É neste sentido que a introdução de um ambiente 3D associado à realidade virtual em *big data* pode ajudar. No entanto ainda existe algum trabalho a desenvolver no modo de visualização dos dados baseado em ambientes 3D e realidade virtual [60]. De forma a identificar o estado da arte da utilização de ambientes 3D em *Big data*, escolheu-se cinco trabalhos que demonstraram ser

relevantes devido à sua quantidade de informação e por não pertencerem todos à mesma área. Nos cinco trabalhos apresentados os ambientes 3D são associados a realidade virtual de forma a proporcionar uma maior imersão.

Na área da saúde existe um trabalho de realidade virtual [63] com o objetivo de visualizar de elementos humanos, como ossos ou músculos. Para este trabalho foi estudado a integração do VTK (Visualization Toolkit) dentro do motor de jogos Unity 3D, através do OpenGL de forma a gerar os objetos. Os autores relataram que o número de quadros por segundo obtidos não foram suficientemente altos, podendo causar algum desconforto, existindo então a necessidade de abdicar da qualidade da geração com o objetivo de obter uma boa quantidade de quadros por segundo. Mesmo assim, as suas primeiras demonstrações foram bastante positivas.

Na área da biologia também houve a necessidade de desenvolver uma aplicação para representar moléculas e as suas ligações [39]. A intenção era desenvolver uma aplicação que fosse facilmente modificada e estendida, sendo utilizada como ferramenta de investigação científica. Para este propósito, foi utilizada uma representação molecular, denominada HyperBalls, desenvolvida pelos autores num trabalho anterior [16].

Para tal, usou-se o Unity 3D para desenvolver e prototipar uma rede biológica e uma aplicação para visualização molecular, com vista a poder ser usada, tanto na área de investigação, quanto na área da educação. Esta aplicação de visualização de moléculas chama-se UnityMol. A UnityMol tem uma versão na forma de aplicação e uma versão na forma de plugin web.

Foi desenvolvida uma forma de visualização do potencial elétrico das moléculas. Nesta visualização, o utilizador podia mudar a cor, a altura, o comprimento e a velocidade das partículas, através de uma interface gráfica. Também é possível através de interface gráfica, alterar a textura e as representações HyperBalls para a iluminação das esferas que constituíam a molécula. O UnityMol apresenta ainda a possibilidade de visualizar os campos elétricos, ver as superfícies molecular através de planos de corte e apresenta ainda uma geração artística por sombreamento

da esfera iluminada.

Em 2014 foi apresentado uma aplicação, denominada iViz com o objetivo de representar dados científicos multidimensionais de forma imersiva em realidade virtual [22]. No iViz os cientistas podem interagir com os dados e com outros colegas dentro do mundo virtual de forma colaborativa, facilitando a exploração dos dados e o processo de análise dos mesmos.

Os autores do iViz também defendem o potencial da utilização de realidade virtual para representar grandes quantidade de dados nas diversas áreas. Para além disso, defendem que a realidade virtual também oferece bastante suporte para tarefas colaborativas, tendo provado o seu valor em cenários como condução remota [26], cirurgias [59], entre outros. Isto deve-se também ao facto da realidade virtual, quando usado em telepresença [58] conseguir aumentar a consciência da situação [23], a vivacidade [56], interatividade [23], a riqueza de media [35] e a cinestesia [32] da experiência.

Com o iViz os autores tencionaram desenvolver uma ferramenta mais geral de visualização de dados. A maioria das ferramentas deste género são focadas para um único propósito. Com esta ferramenta pretenderam conseguir arranjar uma alternativa para as “caves” (do inglês *Cave Automatic Virtual Environment*, consiste numa sala onde é projetado nas suas paredes gráficos em 3 dimensões), que são utilizadas tradicionalmente para este fim, criando assim uma ferramenta mais acessível e ao mesmo tempo igualmente poderosa.

O iViz é uma ferramenta multiplataforma, desenvolvida em Unity, que podia correr como aplicação ou num navegador de internet, permitindo ainda que se desenvolvesse mais funcionalidades para a aplicação. Entre as várias funcionalidades presentes no programa, foi adicionada uma funcionalidade com vista a melhorar a visualização colaborativa com vários utilizadores. O iViz suporta o sensor de Leap Motion, rato 3D, Kinect e Oculus Rift.

Outro trabalho desenvolvido visou melhorar a análise visual dos dados georreferenciados provenientes das redes sociais, de uma forma mais compreensível e ao

mesmo tempo mais interativa, recorrendo a modelos 3D do local [44]. Neste trabalho, desenvolvido pelo laboratório Lincoln do MIT, foi utilizado o Unity 3D para representar os dados referentes à justaposição de milhares de tweets do Twitter e referenciá-los ao longo do campus do MIT. Um dos motivos para a utilização de Unity 3D neste trabalho foi a disponibilidade de SDK para vários dispositivos de realidade virtual como LeapMotion, Oculus Rift, câmaras, rastreadores de posição, entre outros.

De forma a obter os dados para utilizar no ambiente 3D foram utilizados dados LADAR, tendo sido preciso tratar estes dados, porque os dados não continham só o campus do MIT. Os dados a serem representados foram obtidos do Twitter.

Após fazer um pré processamento dos dados foi necessário configurar o mundo virtual que os ia receber. Decidiram combinar os dados provenientes de LADAR com imagens do Google Earth para uma fácil identificação do local do campus e que levou a uma necessidade de um ajuste manual, porque foi usado como plano do chão uma imagem de satélite proveniente do Google Earth, enquanto os edifícios foram modelados em função dos dados provenientes do LADAR.

A visualização do mundo virtual é feita na primeira pessoa, onde o utilizador pode navegar ao longo do mapa, existindo limitações nas extremidades do mapa impedindo que saia de cena. Os edifícios, os tweets que são representados sobre a forma de objeto 3D, e outros elementos 3D apresentam sistema de colisões. Existe ainda o cursor fixo no centro do ecrã para uma fácil seleção de itens na cena. Quando se mete a visualização em pausa, o cursor deixa de estar fixo.

Em 2017 foi desenvolvido uma ferramenta denominada Urban Fusion [52]. O facto de os projetos desenvolvidos por outros autores serem focados numa só área e desenvolvidos para ecrãs 2D, trazendo limitações na imersão e visualização de outros dados, incentivaram ao desenvolvimento do Urban Fusion. O Urban Fusion tinha em vista ajudar a melhorar o processo de decisão no planeamento urbano e ter uma ferramenta para visualização de vários tipos de dados, sendo uma solução mais imersiva e mais amigável do utilizador para visualização de dados referentes a meios urbanos.

A ferramenta Urban Fusion tinha como principal ser uma ferramenta para utilizadores especialistas, que fundia dados urbanos sobre os táxis de Nova York que estavam disponíveis publicamente, e as publicações de redes sociais, nomeadamente o Twitter. Foi usado o Unity 3D como motor de desenvolvimento, ficando este encarregado do processamento e da geração.

O Urban Fusion baseia-se num mapa de densidade 3D para representar os dados georreferenciados no mapa da cidade e num histograma 3D baseado em cubos para representar as tendências dos utilizadores do início e termino das viagens de táxi. No mapa 3D são representados os locais onde os táxis apanham e largam os clientes. É ainda utilizado um painel em que é disposto, através de gráficos e histogramas 2D, a informação mais detalhada. Esse painel é dividido em quatro zonas. A primeira zona permite alterar parâmetros de visualização, a segunda zona permite navegar nos dados em função do tempo, a terceira zona contém informação geral sobre os dados de transportes e a quarta zona contém um gráfico de bolhas multicoloridas com os resultados da análise linguística das redes sociais. Foi utilizado o HTC Vive com rastreamento à escala da sala e o LeapMotion como rastreador das mãos. A utilização deste hardware aumentou a experiência de realidade virtual, que possibilitou aos utilizadores uma experiência mais imersiva.

Pode-se então concluir que existem várias soluções recorrendo a ambientes 3D para representar *Big Data*, geralmente associados à utilização de realidade virtual. No entanto, observa-se que não existe uma ferramenta capaz de dar resposta a vários projetos, sendo na maioria das vezes necessário desenvolver uma nova ferramenta para um caso específico. Observou-se nos testes realizados nos projetos apresentados nesta secção que os utilizadores conseguiam melhores resultados quando imersos num ambiente 3D levando a concluir que a utilização dos ambientes virtuais em 3D conseguem oferecer vantagens face aos ambientes 2D.

## 2.4 Trabalhos que resultaram em aplicações similares ao City On Stats

De seguida serão apresentados alguns trabalhos que apresentam diversas semelhanças com o que se pretende desenvolver no City On Stats.

Na cidade de Singapura, foi desenvolvido em 2015 um trabalho, com o nome de CityHeat [20]. Neste trabalho o principal objetivo era compreender o fenómeno da emissão de calor por parte do trânsito, tendo sido desenvolvida uma aplicação para simular o calor gerado pelos carros na estrada. Esta simulação era baseada em autómatos celulares.

É utilizado o motor Unity 3D para modelar o cenário de uma estrada local. Os edifícios foram modelados através 3dsMax e Rhino e importados usando formatos .obj e .fbx.

O movimento dos carros foi simulado utilizando o sistema de pooling do Unity 3D, em que os carros que apareciam no ponto de partida era a reutilização dos carros que saíam de cena. Este método foi utilizado com vista a diminuir a memória utilizada, o que causava uma queda na taxa de quadros. Segundo os autores, uma das vantagens principais deste motor de desenvolvimento é a possibilidade de exploração do mundo 3D, podendo alternar entre vários modos de perspetiva da câmara. Existe o modo de primeira pessoa, andar e voar pela cena, e o modo de terceira pessoa. É possível ainda guardar as definições da câmara do utilizador. Existe ainda um *slider* de tempo que permite ao utilizador observar a evolução e a forma como o calor é dispersado. É também possível ajustar as cores em que os dados são apresentados. Pode-se definir o limite máximo e mínimo da temperatura e controlar a evolução da cor enquanto a temperatura aumenta através da interface (Figura 2.1 a)). Este trabalho conta ainda com uma funcionalidade de filtro que permite que apenas algumas áreas apareçam com registo. Pode-se filtrar as áreas através de um dado intervalo de temperatura, com um dado tamanho ou com uma dada localização no mapa (Figura 2.1 c) e e)).

De forma a dar mais informação e com mais detalhe ao utilizador, é utilizado um painel informativo. Nesse painel pode-se encontrar informação dos edifícios, da

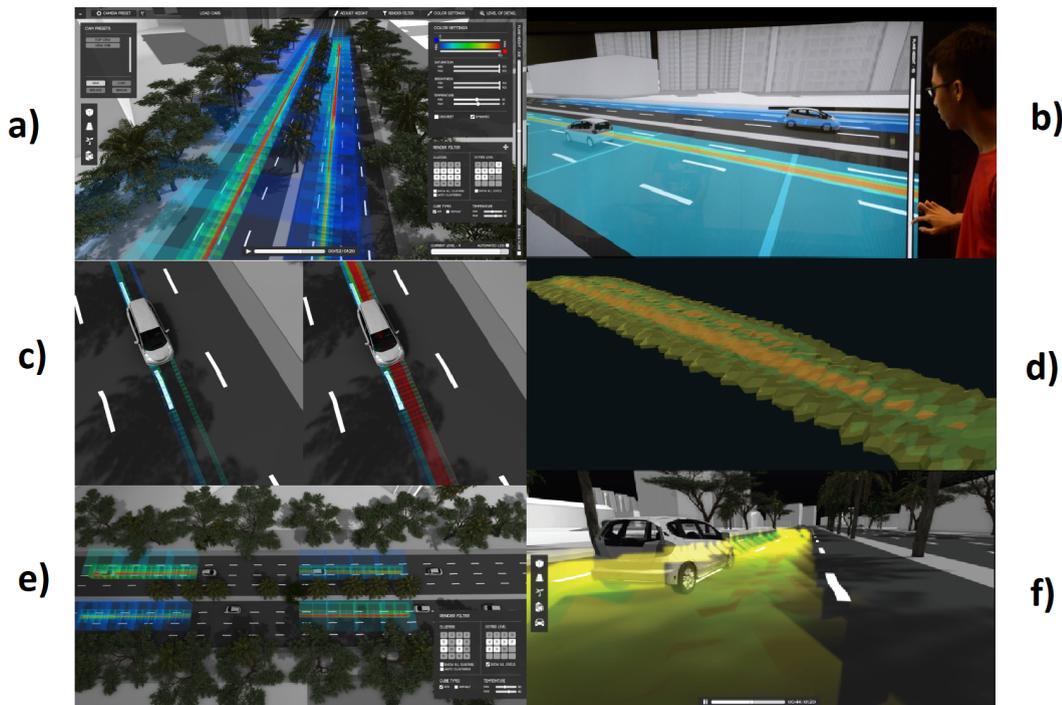


FIGURA 2.1: Apresentação da aplicação CityHeat. Em a) está representado a interface da aplicação, onde o utilizador pode filtrar dos dados que quer visualizar, podendo escolher filtrar por temperatura, ilustrado em c), ou por zona, ilustrado em e). Em b) pode-se observar a interação com a aplicação utilizando um ecrã sensível ao toque. Também em b) está representado a visualização planar enquanto que em d) e f) estão representadas a visualização de cubos. Em d) apresenta-se a estrutura dos cubos e em f) a sua utilização na aplicação.

vegetação, da estrada, entre outros.

Este trabalho permite três modos de visualização dos dados, sendo eles a visualização de cubos, visualização de cubos em andamento e visualização planar (Figura 2.1 b), d) e f)). Cada uma das visualizações oferece vantagens para determinadas tarefas. Por exemplo, a visualização de cubos é melhor para ter uma visão geral imediata, enquanto que a visualização planar é melhor para focar uma secção sem ter a oclusão dos cubos, é por este motivo que os autores dizem que os vários modos de visualização se complementam uns aos outros.

Na continuação do trabalho CityHeat, desenvolveu-se um estudo para o pré processamento visual de dados com vista a reduzir a quantidades de dados de modo a tornar as simulações mais fluidas [34]. Isto deveu-se ao facto da aplicação conter muitos elementos gráficos e estar a trabalhar com grandes quantidades de dados. Com este estudo, os autores conseguiram, reduzindo a qualidade dos elementos

gráficos e reorganizando os dados, reduzir em 98,9% as estruturas 3D e alcançar melhor performance durante as simulações.

Foi desenvolvido em 2017 pela empresa Fugro Roames um trabalho nesta área que tinha como principal foco a representação de linhas elétricas sobre o mapa da cidade [49]. No Roames World pode-se ver o modelo 3D das cidades. As nuvens de pontos deste modelo foram capturadas através de LIDAR e conseguem apresentar uma boa qualidade. As capturas das nuvens de pontos são realizadas anualmente, levando 8 meses para a obtenção completa das nuvens de pontos para uma cidade, usando duas aeronaves que obtêm os pontos ao longo de todo o dia. Este projeto originou cerca de 3 Petabytes de dados, com isto, houve a necessidade de desenvolver um algoritmo de agrupamento <sup>2</sup> para acelerar o acesso aos dados de forma a permitir o programa executar com fluidez.

Existem vários modos de visualização dos dados (Figura 2.2), sendo que o mais importante representa a proximidade da vegetação às linhas. São usados cubos para representar a vegetação em que a cor varia entre verde e vermelho caso a vegetação esteja muito perto da linha. Com esta informação é possível mobilizar de forma mais eficiente equipas para analisar estas situações.

Os desenvolvedores deste programa tentaram usar os dados do sistema de informações geográficas, mas não eram capazes de dar resposta às suas necessidades. Por este motivo decidiram desenvolver o programa em Unity por ser mais rápido de desenvolver, permite cross-platform e WebGL, é possível otimizar o sistema, permite a utilização de realidade virtual e realidade alternativa, e o Unity facilita bastante o trabalho uma vez que é ele que faz o trabalho difícil.

Este programa, tal como o Google Earth apresenta vários níveis de detalhe que são alterados consoante a distância da câmara ao solo, sendo que só é possível visualizar o modelo 3D das cidades quando a câmara está suficientemente próxima do solo, caso contrário é apenas mostrado o mapa em forma de imagem. Este trabalho engloba o planeta inteiro, no entanto nem todas as cidades estão contempladas com um modelo 3D. Apenas as cidades em que a Ergon Energy tem linhas elétricas, tem um modelo 3D. Pelo que foi possível investigar, não existe modelos

---

<sup>2</sup>Do inglês "Clustering"

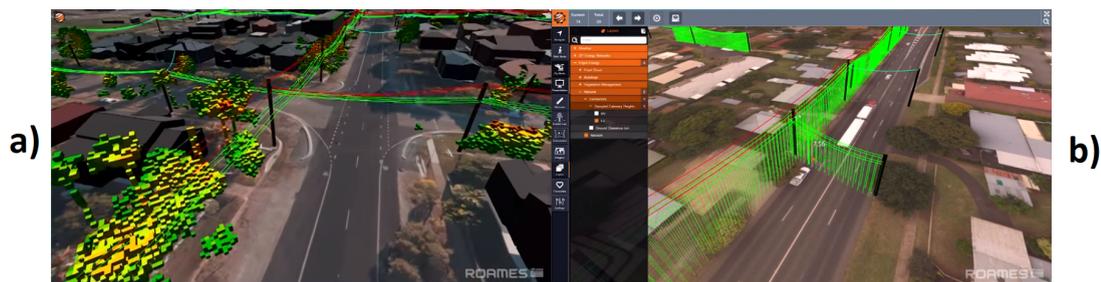


FIGURA 2.2: Apresentação da aplicação Roames World. Em a) pode-se observar a visualização que permite verificar a proximidade da vegetação às linhas elétricas, usando cubos vermelhos para representar muita próxima e a necessidade de intervenção. Em b) observa-se um modo em que é possível analisar a altura das linhas elétricas. Em b) pode-se observar as linhas de alta tensão a vermelho e as de baixa tensão a verde.

para nenhuma das cidades portuguesas uma vez que a empresa não trabalha em Portugal. Caso existisse dados para a cidade de Lisboa, poder-se-ia tentar ter acesso a esses dados para fazer a geração de um modelo 3D da cidade de Lisboa.

Com a análise destes trabalhos, pode-se concluir que a utilização de um ambiente 3D para representar dados é viável, devendo o City On Stats assimilar-se a estes dois projetos. Os trabalhos demonstram que será necessário desenvolver vários modos de visualização de forma a dar resposta às diversas necessidades do utilizador. Será também necessário desenvolver uma interface que auxilie o utilizador a realizar as suas tarefas.

## 2.5 Testes de experiência do utilizador

Para avaliar aplicações desenvolvidas para um determinado público, é importante garantir que a experiência que os utilizadores têm ao interagir com a aplicação é positiva. De forma a avaliar a experiência do utilizador com a aplicação, IJsselsteijn et al. desenvolveram um método padrão que consistia num questionário. O questionário em questão foi apelidado de Questionário de Experiência de Jogo (QEJ) [31]. O QEJ apresenta uma estrutura modular, sendo que cada módulo corresponde a um questionário em que são avaliadas várias componentes.

Este questionário é constituído por três módulos:

- O módulo principal - Classifica a experiência com o jogo;
- O módulo de presença social - Investiga e classifica o envolvimento psicológico e comportamental do utilizador com outras entidades sociais presentes no jogo como outros jogadores ou personagens não jogador (do inglês non-player character (NPC));
- O módulo de pós jogo - Classifica como o jogador se sentiu após terminar a sessão de jogo;

Existe ainda um quarto módulo, o módulo em jogo, que é uma versão concisa do módulo principal, sendo que para o módulo principal existem cinco questões por componente, enquanto que para o módulo em jogo são retiradas três questões do módulo principal por componente.

Os módulos importantes para avaliar o City On Stats são o módulo principal e o módulo pós-jogo. O módulo principal e o módulo em jogo apresentam sete componentes: (1) competência; (2) imersão sensorial e imaginativa; (3) fluxo; (4) tensão/Aborrecimento; (5) desafio; (6) afeto negativo; (7) afeto positivo. O módulo pós-jogo apresenta apenas quatro componentes: (1) experiência positiva; (2) experiência negativa; (3) cansaço; (4) retorno à realidade. O módulo de presença social não apresenta grande importância no City On Stats, porque a aplicação não contém elementos sociais.

Estes questionários devem ser feitos logo após a interação com o jogo. As alíneas são classificadas de 0 a 4, correspondendo a classificação de 0 ao caso em que o utilizador não concorda com a alínea e 4 quando a alínea descreve exatamente o sensação do utilizador. Das respostas, calcula-se a média para cada uma das componentes e analisam-se os resultados. Com o resultado obtido é possível classificar a interação que o utilizador teve com o jogo. Sendo o City On Stats uma aplicação que partilha bastantes semelhanças com um jogo é possível utilizar este método como forma de avaliar a experiência da interação do utilizador com a aplicação.



# Capítulo 3

## Descrição da Aplicação

Nesta secção será descrito o modo de funcionamento da aplicação City On Stats, incluindo a utilização dos menus, apresentação das diversas funcionalidades e modo de configurar a aplicação. No capítulo seguinte serão descritos os mecanismos usados para desenvolver as funcionalidades da aplicação.

Tendo sido identificada a existência de aplicações utilizando a componente de ambientes 3D em diversas áreas que trouxeram inúmeras vantagens face a ferramentas já existentes, tornou-se evidente a importância de explorar as vantagens de uma aplicação desenvolvida para representar dados das cidades com base nos circuitos dos autocarros. No entanto, não foi encontrado nenhuma ferramenta capaz de dar resposta à necessidade de representar dados de qualquer cidade real num mundo virtual, tendo como base a circulação e aquisição de dados através dos autocarros que circulam nas cidades. Tendo isto em mente, será apresentado a aplicação proposta que visa aproveitar as vantagens, demonstradas na capítulo anterior, de ambientes 3D em outras áreas, sendo neste trabalho apenas explorada a componente de ambientes 3D. Com esta abordagem, pretende-se estudar o desenvolvimento de ferramentas alternativas face às convencionais, como é o caso dos mapas com camadas coloridas como forma de representar dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos. Neste capítulo, será apresentada a aplicação e a forma de configuração da mesma para a representação dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos.

## 3.1 A Aplicação

Nesta aplicação, o City On Stats, o utilizador pode interagir utilizando o teclado e o rato, ou utilizando um comando para videojogos. O fluxo da aplicação pode ser encontrado no Anexo B. De seguida, serão apresentadas as várias componentes da aplicação. Das componentes apresentadas fazem parte os menus, tutoriais, funcionalidades da aplicação, modos de visualização e os autocarros guiados.

### 3.1.1 Menus

O City On Stats é uma aplicação constituída pelos menus e por um mundo virtual aberto, correspondente a um local físico real. A extensão do mundo virtual é delimitada pelas dimensões dos ficheiros de configuração do mundo que são definidos nos menus de configuração.

Existem dois menus no City On Stats, representados na Figura 3.1 a) e b). O menu inicial, apresentado na Figura 3.1 a), onde o utilizador pode iniciar a aplicação, visualizar os créditos ou sair da aplicação. Ao inicializar a aplicação, o utilizador entra no menu de configuração, apresentado na Figura 3.1 b). No menu de configuração, o utilizador pode escolher os ficheiros para iniciar o mundo virtual, sendo necessário um ficheiro `.osm`, correspondente a um ficheiro de dados do terreno, e de um ficheiro `.obj`, correspondente à malha de polígonos do mundo, sendo ainda facultativo a introdução de uma imagem correspondente ao mapa para ser utilizado no mini mapa da aplicação. Uma vez definidos os ficheiros de configuração, o utilizador pode carregar no botão de “Save Configuration” para abrir um painel (ver Figura 3.1 c)), onde se pode guardar a configuração, ou iniciar o mundo virtual carregando no botão “Go To Map”. O utilizador pode ainda, se já tiver uma configuração salva, carregar no botão “Load Configuration” para abrir um painel com a lista das configurações salvas (ver Figura 3.1 d)), e escolher a configuração que deseja carregar.



FIGURA 3.1: Menus da aplicação City On Stats. Em a) está representado o menu principal que aparece no início da aplicação. Em b) está o menu de configuração, já com os ficheiros .osm e .obj definidos. Em c) está representado o painel para guardar a configuração, por cima do menu de configuração. Neste menu o utilizador deve garantir que todos os requisitos são cumpridos e então poderá carregar no botão “Save” para guardar a configuração. Em d) está o painel para carregar configurações por cima do menu de configuração. No exemplo aparecem duas configurações disponíveis. O utilizador deverá escolher a configuração pretendida e carregar em “Load Selected”.

Após o utilizador entrar no mundo virtual, dispõe de dois modos para explorar o mundo. O modo de condução livre, em que o utilizador passeia pelo mundo virtual controlando um autocarro, e o modo de condução guiado, em que o utilizador selecciona uma rota de autocarro, de entre as disponíveis, e o autocarro conduz-se sozinho enquanto segue a rota definida.

### 3.1.2 Tutoriais e Ajudas

Sendo o City On Stats uma aplicação diferente das que o público alvo está habituado a utilizar, mesmo partilhando a mesma base dos jogos 3D e simuladores de corridas, surgiu a necessidade, com bases nos testes de desenvolvimento realizados, de integrar tutoriais para informar o utilizador das potencialidades da aplicação. Foram introduzidos dois tutoriais apresentados no arranque da aplicação, um que

informa o utilizador das funcionalidades disponíveis e um interativo apresentado durante os dois primeiros minutos de interação.

O tutorial inicial (Figura 3.2 a)) é constituído por um painel com uma imagem e um local de texto. A interação com utilizador é feita através do local de texto onde se fala sobre as funcionalidades, ao mesmo tempo que se apresenta uma captura de tela da funcionalidade.

No tutorial interativo (Figura 3.2 b)), a cada 30 segundos, a aplicação incentiva o utilizador a experimentar uma nova funcionalidade da aplicação que ainda não tenha experimentado. Se o utilizador experimentar uma função antes de a aplicação o incentivar a experimentar, a aplicação já não irá incentivar a usar essa funcionalidade, passando para a funcionalidade seguinte.

Existe no canto superior direito um botão de ajuda. A intenção deste botão é ajudar o utilizador quando ele não sabe como fazer alguma operação na aplicação. Este botão abre um pequeno painel (Figura 3.2 c)) onde o utilizador pode escolher voltar a ver o tutorial inicial ou ver a lista de comandos. A lista de comandos é constituída por um painel com uma tabela onde são indicados os botões do teclado e as suas respetivas funcionalidades (Figura 3.2 d)).

### **3.1.3 Funcionalidades**

De forma a tornar a experiência de interação mais enriquecedora e agradável, o City On Stats tem ao dispor do utilizador diversas funcionalidades que estão presentes enquanto se explora o mundo, sendo que algumas delas podem ser utilizadas quando o utilizador necessitar delas. Encontra-se abaixo listadas as funcionalidades presentes no City On Stats. As funcionalidades são:

- + Consultar a mapa e mini mapa;
- + Consultar a horas e ver posição do sol em função da hora do dia;
- + Aceder à localização atual;
- + Permitir teletransportar-se para outro ponto do mapa;



FIGURA 3.2: Tutoriais e Ajudas no City On Stats. Em a) esta representado o tutorial inicial, onde se pode observar uma captura de ecrã do modo de condução guiado na área da imagem e uma descrição sobre o mesmo na área de texto. Em b) é apresentado o tutorial interativo em que aparece um painel com um incentivo para o utilizador experimentar uma funcionalidade da aplicação que ainda não tenha experimentado e aparece um círculo vermelho no botão que abre essa funcionalidade. Em c) está apresentado o pequeno painel que se abre quando se carrega no botão de ajuda. Em d) está a lista de comandos.

- + Aceder à visão de drone;
- + Visualizar os dados utilizando diferentes representações gráficas;
- + Aceder a placar com evolução dos dados ao longo do dia;
- + Ver autocarros guiados disponíveis e aceder-lhes;
- + Aceder aos controlos dos autocarros guiados;

Das funcionalidades listadas, algumas encontram-se disponíveis só no modo de condução livre, como é o caso do teletransporte e da alteração para a vista de drone. A funcionalidade para a visualização dos dados encontra-se restringida no modo de condução guiado, apresentando apenas três representações gráficas. Os controlos dos autocarros guiados só se encontra disponíveis no modo de condução guiado.



FIGURA 3.3: Exemplo da interface utilizando uma imagem do mapa real. Em a) pode-se observar que o mini mapa, no canto inferior esquerdo, agora utiliza como fundo a imagem do mapa real fornecida no menu de configuração. Em b) está representado o painel com o mapa que pode ser chamado pelo utilizador. Este painel ajusta as dimensões da imagem de forma a que nunca sobressaia do painel, mantendo sempre a relação de altura e largura da imagem.

A funcionalidade do mapa, que apenas está disponível quando o utilizador fornece o mapa no menu de configuração, consiste num painel com a imagem do mapa do local onde se encontra. Este mapa irá depender da imagem que for fornecida no menu, podendo ser um mapa de estradas, de satélite, entre outros. A imagem do mapa é configurada de forma a nunca sair fora do painel. Esta funcionalidade pode ajudar o utilizador a conhecer melhor o local representado no mundo virtual. O mini mapa também depende da presença do mapa. Se existir mapa, o mini mapa representa o utilizador a navegar sobre o mapa. Se o mapa não estiver disponível, o mini mapa representa a posição do utilizador através de uma vista aérea. Na Figura 3.3 pode-se observar esta funcionalidade na aplicação.

De forma a representar a passagem do tempo no ambiente virtual, foi implementado um relógio no canto superior esquerdo. Quando o jogador inicia o mundo virtual, o relógio inicia marcando 12:00, avançando 1 minuto virtual por cada 2 segundos reais, de forma similar ao jogo Grand Theft Auto. A posição do sol e da lua seguem as horas do dia, começando com o sol a  $90^\circ$  e a lua a  $-90^\circ$ , relativamente ao plano do chão, quando são 12 horas e rodando ao longo do dia perfazendo  $360^\circ$  em 24 horas virtuais. Pode-se ver as diferenças na Figura 3.4.

O City On Stats representa o mundo real utilizando gráficos simples e sem usar relevo. De forma a ajudar o utilizador a reconhecer o local real a partir do mundo

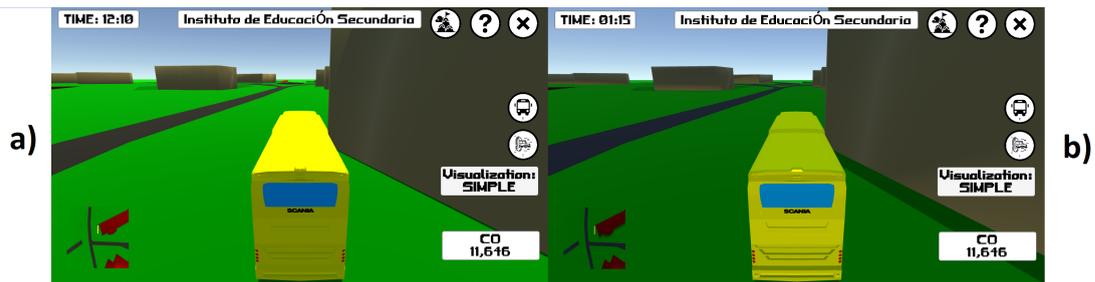


FIGURA 3.4: Comparação do cenário diurno com o cenário noturno. Em a) observa-se um cenário diurno em que as cores são mais amareladas e em b) observa-se um cenário noturno onde as cores são mais azuladas.



FIGURA 3.5: Localização da informação sobre a posição atual do utilizador. Parte superior da aplicação, com o relógio à esquerda, botões de desafios, ajuda e fecho à direita, e indicação do local em que o utilizador se encontra ao centro. Esta indicação, também serve de botão para abrir o painel de teletransporte.

virtual, implementou-se um sistema de localização que indica no topo do ecrã a localização onde o utilizador está, como mostra na Figura 3.5. Essa localização pode ser o nome de um edifício, caso o utilizador esteja muito perto desse ponto, ou algo mais geral como o nome de uma rua.

As ferramentas convencionais de visualização de dados georreferenciados geralmente apresentam uma barra de pesquisa para o utilizador encontrar uma determinada localização. Foi a pensar nisso que foi implementado uma funcionalidade que permitisse ao utilizador saltar para uma zona do mapa, através do nome da localização. Essa funcionalidade denomina-se teletransporte, permitindo ao utilizador escolher uma das localizações listadas no painel, como mostra a Figura 3.6, sendo teletransportado de imediato para a localização escolhida.

Para que o utilizador pudesse viajar pelo mapa mais depressa através do ar, foi desenvolvido a vista de drone. Na vista de drone o utilizador conduz um drone pelos céus do mapa, ajudando a conhecer melhor a cidade e encontrando pontos de interesse para posteriormente, usar o teletransporte para explorar na vista de



FIGURA 3.6: Painel com a lista de localizações disponíveis. O utilizador deverá escolher uma das localizações e ao carregar na localização, irá ser teletransportado para a localização escolhida.



FIGURA 3.7: Visão do utilizador do mundo virtual quando altera para vista de drone. Pode-se ver o autocarro principal ao fundo na figura e um autocarro guiado a sair da rotunda.

autocarro. A Figura 3.7 ilustra a visão do utilizador quando está na vista de drone.

De forma a analisar a evolução dos gases ao longo do dia, podendo assim informar o utilizador das horas de mais risco, foi desenvolvido um placar virtual que é chamado pelo utilizador e mostra a evolução da poluição ao longo do dia para aquele local. O placar aparece quando o utilizador carrega com o botão do lado direito do rato no chão e os dados representados referem-se a uma pequena área em volta daquele ponto. Quando o utilizador carrega no gráfico, abre um painel com o gráfico durante cinco segundos, de forma a facilitar a leitura do mesmo. O placar e o painel podem ser vistos na Figura 3.8.

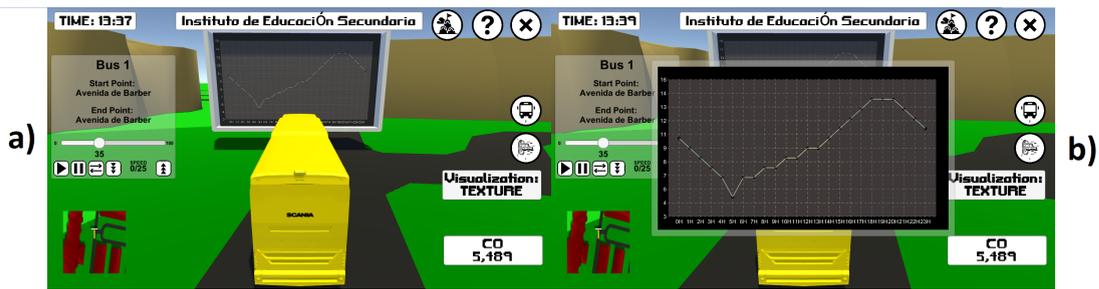


FIGURA 3.8: Placar e painel com o gráfico da evolução dos dados. A evolução da concentração de um gás ao longo do dia é feita através de um placar que aparece quando o utilizador carrega no chão com o botão do lado direito do rato, como se pode ver em a). O placar encontra-se sempre virado para o utilizador. Quando o utilizador carrega no gráfico do placar, abre-se um painel com o gráfico em grande, como se pode ver em b).

### 3.1.4 Modos de Visualização

Como o foco da aplicação é a visualização de dados georreferenciados referentes a poluentes atmosféricos, foram desenvolvidos sete modos de visualização dos dados, que estão apresentados na Figura 3.9.

O modo simples, é o modo em que o utilizador não tem nenhuma ajuda visual, apenas a informação do valor no canto inferior direito, que está presente em todos os modos. Este modo pretende ser o modo mais próximo dos métodos tradicionais e também o mais formal. Este modo é indicado para quando se necessita de obter os valores dos poluentes para um dado local.

O modo textura, é o modo em que a cor do autocarro varia em função dos valores dos poluentes atmosféricos registados no local em que se encontra. Este modo foi desenvolvido com a intenção informar o utilizador da qualidade do ar sem acrescentar elementos gráficos, utilizando apenas o próprio autocarro para passar a informação.

O modo de barra, é o modo em que é colocado um cilindro em cima do autocarro no qual a sua cor e altura variam em função dos dados. Este modo foi projetado como forma de estender a visualização que se pode encontrar em alguns mapas da visualização da qualidade do ar em 2.5D, em que são colocados cilindros estáticos sobre um mapa 2D. No caso do City On Stats, este cilindro irá sempre acompanhar o autocarro.

Os modos de cubos coloridos e cubos em altura, que são um conjunto de cubos

colocados no chão e acompanham o autocarro representando os valores dos dados onde cada cubo esta. No caso dos cubos coloridos os dados são representados através duma alteração de cor e no caso dos cubos em altura através de uma alteração da altura. Estes modos foram desenvolvidos para dar ao utilizador uma visão mais alargada da qualidade do ar ao longo da cidade, sendo que o objetivo inicial seria cobrir o mundo virtual inteiro com estes cubos.

No modo nevoeiro é o modo em que os dados são representados sobre a forma de nevoeiro, o nevoeiro torna-se mais denso quanto mais elevado for o valor dos dados naquele local. Este modo foi desenvolvido como forma de visualizar os dados utilizando elementos naturais e simulando o fumo que é associado à poluição.

O modo chuva é o modo em que é introduzida chuva através de gotas a cair no cenário e através de áudio, sendo o nível de poluição atmosférica representada através de uma alteração da intensidade da chuva. Neste modo é mais perceptível as alterações através do áudio. Este modo é particularmente indicado para visualizar dados de precipitação que possam acompanhar os dados de poluição do ar.

### **3.1.5 Autocarros Guiados**

Tratando-se de uma aplicação que tem como base a aquisição de dados através dos autocarros, foi implementado um sistema de autocarros guiados. Os autocarros guiados simulam a circulação dos autocarros nas cidades. Cada autocarro tem uma rota fixa que vai do ponto de partida ao ponto de chegada, definidos com as coordenadas do primeiro e do último nó definido para cada autocarro num ficheiro .xml que será analisado na secção seguinte. Uma vez que chegue ao ponto de chegada, o autocarro faz o percurso inverso. Na Figura 3.10 pode-se ver os autocarros a percorrer a cidade e a vista que o utilizador tem quando passa para o modo de condução guiado da aplicação.

De forma a tornar a experiência dos autocarros guiados mais interativa e mais interessante, foi acrescentado um painel de controlo baseado no paradigma de interação tipicamente utilizado nos leitores de vídeo, para que o utilizador pudesse ter

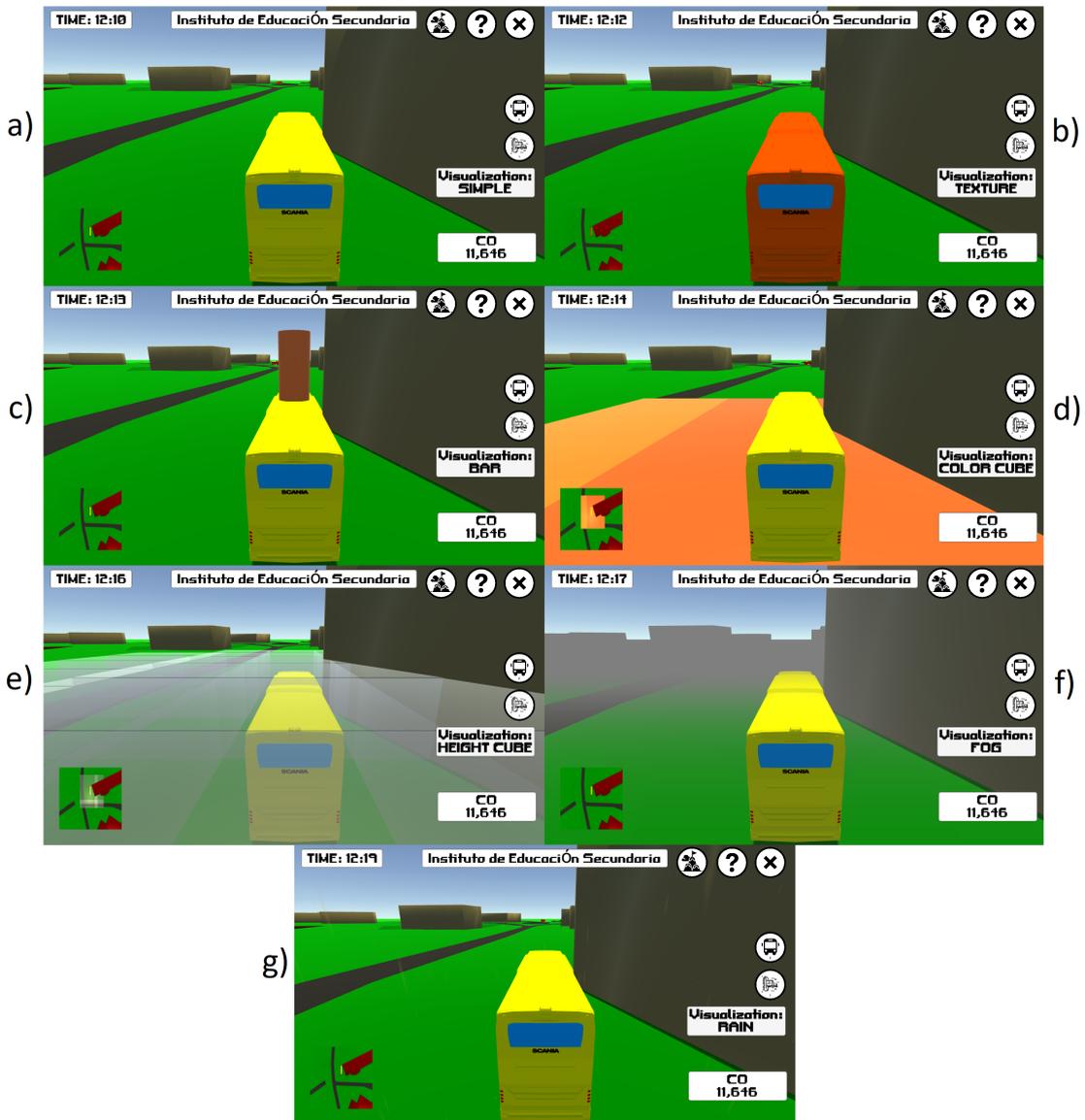


FIGURA 3.9: Modos de visualização da aplicação City On Stats. Em a) encontra-se o modo simples, sem nenhum auxílio visual ou de áudio, para além do valor no canto inferior direito sobre o local em questão. Em b) o modo textura, em que a cor do autocarro passou a ser laranja, indicando que a quantidade de CO naquela região não é saudável. Em c) encontra-se o modo barra, com uma barra laranja e com uma altura considerável, demonstrando uma elevada concentração de CO. Em d) o modo cubos coloridos e em e) o modo cubos em altura. Observa-se a existência de duas zonas com valores de concentração de CO diferentes. Uma zona a laranja escuro em d), correspondendo a uns cubos mais altos em e), indicando uma concentração de CO superior à zona representada a laranja mais claro em d) e com cubos ligeiramente mais baixos em e). Em f) o modo nevoeiro, apresentando uma grande densidade do nevoeiro devido ao valor elevado de CO. Em g) o modo de chuva, onde é possível ouvir-se o som da chuva e onde é possível ver algumas gotas a caírem no ecrã, durante a interação consegue-se observar de forma fácil a chuva a cair, no entanto a chuva é pouco perceptível através de uma imagem.



FIGURA 3.10: Autocarros guiados. Em a) é possível observar-se dois autocarros guiados a circular em na cidade. Ao carregar num desses autocarros, num dos pontos do percurso ou usando a lista de rotas de autocarros, é possível entrar no modo de condução guiado e deixar o autocarro seguir a sua rota, ilustrado em b).

algum controlo sobre estes autocarros. É possível escolher a posição do percurso, velocidade máxima de circulação e sentido, sem influenciar a rota dos autocarros. No painel é apresentada a informação do nome do autocarro, nome do local de partida, local de chegada, ambos os nomes sendo obtidos através das coordenadas geográficas do primeiro e último ponto do percurso, uma barra com a informação do ponto ao longo do percurso onde o autocarro se encontra e cinco botões de controlo para a circulação do autocarro. A barra do percurso funciona em percentagem, sendo que o 0 indica o início do percurso e o 100 indica o final do percurso. Nessa barra, o ponto que indica a posição atual do autocarro pode ser arrastado e ao largar, o autocarro irá para o ponto chave mais próximo dessa zona. A barra é atualizada, sempre que o autocarro passa por um ponto chave. Os botões do painel influenciam o comportamento dos autocarros. Os botões de começo e de pausa, retomam e param a simulação respetivamente. O botão para reverter o percurso permite o autocarro fazer o percurso no oposto ao que estava a fazer. Os botões para aumentar e diminuir a velocidade do autocarro, controlam o parâmetro da velocidade máxima, podendo o valor variar entre 5km/h e 100km/h. Na Figura 3.11 está representado o painel de controlo dos autocarros guiados.

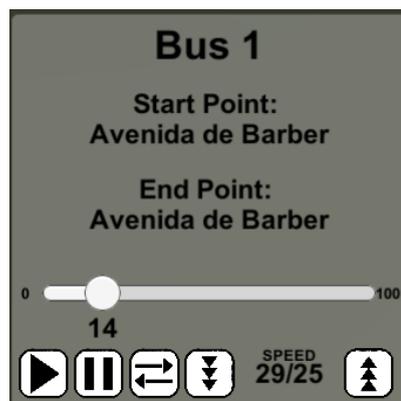


FIGURA 3.11: Painel de controlo dos autocarros guiados. No topo encontra-se o nome do autocarro, seguido do ponto de início e do ponto de fim do percurso. De seguida existe uma barra, que pode ser arrastada para saltar para um determinado ponto do percurso. Em baixo estão disponíveis 5 botões. Os dois primeiros servem para parar e retomar a circulação do autocarro, o terceiro serve para inverter o sentido do percurso e os últimos dois servem para delimitar a velocidade máxima do autocarro. No meio dos dois botões de controlo de velocidade, encontra-se a informação da velocidade atual e da velocidade máxima. A velocidade atual pode ser superior à velocidade máxima, como acontece no exemplo da figura, neste caso o autocarro irá deixar de acelerar até voltar a estar abaixo da velocidade máxima.

## 3.2 Configuração

O City On Stats é uma aplicação que não requer uma ligação à internet, baseando-se assim nos ficheiros que o utilizador lhe fornece. O utilizador pode fornecer à aplicação até oito ficheiros diferentes, sendo que cada ficheiro tem uma função diferente e desses oito ficheiros apenas dois dos ficheiros são obrigatórios para o arranque da aplicação. Os ficheiros encontram-se listados na Tabela 3.1 e a sua relação com a aplicação está representada na Figura 3.12.

Conteúdo do ficheiro	Formato	Obrigatoriedade
Ficheiro de dados do OpenStreetMap com informações do local representado	.osm	Obrigatório
Malha de polígonos 3D da cidade a ser representada, e.g. cidade de Lisboa	.obj	Obrigatório
Imagem do mapa, escolhida pelo utilizador, da cidade representada que é usado na funcionalidade mapa descrita anteriormente	Imagem	Facultativo
Conjunto de dados para representar no mapa com informação do local e registo dos valores dos poluentes	.csv	Facultativo
Conjunto de dados para representar no gráfico do placar virtual com informação do local e registo dos valores dos poluentes	.csv	Facultativo
Ficheiro de configuração dos dados, com informação do nome e limites dos valores dos poluentes e cor da visualização	.xml	Facultativo
Ficheiro com rotas dos autocarros descritas através de pontos intermédios	.xml	Facultativo
Ficheiro das configurações do menu de configurações salva pelo utilizador que é gerado pela aplicação	.los	Facultativo

TABELA 3.1: Tabela com informação dos ficheiros de configuração.



O ficheiro com a malha de polígonos contendo a representação 3D da cidade em formato .obj, é obtido utilizando uma ferramenta do OpenStreetMap denominada OSM2World. Esta ferramenta tem um executável java, a partir do qual se abre uma interface onde se obtém a malha de polígonos. É possível passar à ferramenta o ficheiro .osm obtido anteriormente ou introduzir manualmente as coordenadas dos cantos da área que se pretende representar. No final, uma vez gerada a malha de polígonos basta exportar como ficheiro .obj. O anexo B contém informação adicional sobre como utilizar o pacote de software OSM2World.

Para gerar a imagem com a mapa do mundo, que é usada opcionalmente no mini mapa, é utilizada uma ferramenta denominada SAS Planet. Nesta ferramenta, o utilizador poderá seleccionar a área do mapa pretendida, podendo usar o cursor ou introduzir as coordenadas desejadas. Uma vez seleccionada a área, aparece uma janela e no menu "Stitch" descarrega-se a imagem do mapa. De garantir que a imagem não tem mais de 8192 pixéis de largura nem de altura. Esta limitação é imposta pelo Unity 3D devido à configuração típica das placas gráficas.

Os ficheiros sumaria referidos são os ficheiros solicitados no menu de configuração. A forma aconselhável de os obter é começar por obter o ficheiro .osm usando uma das duas formas referidas, de seguida na ferramenta OSM2World gerar o mundo a partir desse ficheiro e por fim na ferramenta SAS Planet seleccionar a área pretendida usando as coordenadas disponíveis nas primeiras linhas do ficheiro .osm. Desta forma garante-se uma correta configuração do mundo.

De seguida serão apresentados os ficheiros responsáveis pelo funcionamento das diversas funcionalidades presentes no mundo virtual. Estes ficheiros devem ser colocados na pasta "Resources" da aplicação. O ficheiro das configurações salvas é gerado pela aplicação. O único propósito deste ficheiro é guardar as configurações que o utilizador decidiu guardar. O ficheiro apresenta uma estrutura própria que é compreendida pela aplicação. A extensão do ficheiro é .LOS para desincentivar o utilizador final a abri-lo e corresponde às iniciais do nome inicial deste projeto, Lisbon On Stats.

Os dois ficheiros correspondentes aos conjuntos de dados com informação do local e registo dos poluentes em formato .csv têm quatro colunas obrigatórias. A

primeira coluna correspondente ao tempo de sistema em Unix e é denominada “time”. A segunda e terceira correspondentes à latitude e longitude, denominadas “lat” e “lon” respetivamente. A quarta coluna correspondente à identificação do veículo que fez o registo, denominada “bus”. As posteriores colunas deverão ser os poluentes registados e identificados no ficheiro de configuração. Um dos ficheiros referidos serve para definir qual o valor que o autocarro deve registar no local onde se encontra enquanto que o outro serve para o placar com a evolução da poluição ao longo do dia ir buscar os dados para aquele local. A existência destes dois ficheiros deve-se à solução encontrada para a dificuldade de processar estes dados em tempo real, uma vez que o utilizador pode só querer representar os dados para uma determinada hora no mundo e ao mesmo tempo ter a possibilidade de ver o gráfico da evolução dos dados ao longo do dia no placar virtual. A ausência destes ficheiros leva a que não exista registos dos valores dos poluentes no mundo e/ou no gráfico do placar virtual.

O ficheiro de configuração dos poluentes em formato .xml serve para identificar os poluentes que irão ser representados, através do nome, valor mínimo, valor médio e valor máximo, definir as regras da sua visualização, definindo o código de cores utilizado, através do código RGB do valor mínimo, valor médio e valor máximo, e identificar os poluentes utilizadas.

De forma a ter autocarros guiados no mundo virtual, é necessário definir as suas rotas com base nas rotas realizados pelos autocarros que fizeram a aquisição dos dados, valores registados e código de cores a utilizar na representação gráfica, sendo este código similar ao usado no ficheiro de configuração dos poluentes. Estes elementos são definidos num ficheiro .xml cujo a sua estrutura encontra-se no Anexo A. Primeiro, é definido o código de cores e os poluentes utilizados, à semelhança do definido no ficheiro de configurações para o mundo. Por último, são definidos os autocarros. Cada autocarro é composto por nós com a informação da latitude e longitude do ponto. Cada nó é composto pela informação do valor do poluente registado para aquele ponto geográfico. Os valores dos poluentes registados e das suas posições geográficas neste ficheiro resultam da filtragem de uma rota de autocarro do ficheiro .csv para representar os dados do mundo.

# Capítulo 4

## Desenvolvimento e Implementação

O desenvolvimento do City On Stats deu-se em quatro fases principais. Na primeira fase foi avaliado e decidido como iria ser desenvolvida a aplicação, através de um levantamento de requisitos funcionais e da definição da forma de interação do utilizador com a aplicação. Na segunda fase, utilizando a ferramenta Unity 3D, desenvolveu-se as funcionalidades bases da aplicação. De seguida, e uma vez tendo a base feita, desenvolveu-se o mecanismo de autocarros guiados que iriam percorrer o mundo virtual e que o utilizador poderia interagir com eles. Por fim, tendo a aplicação completamente funcional, desenvolveu-se a interface gráfica e os menus de utilização da aplicação.

### 4.1 Desenho da Aplicação

Antes do início de desenvolvimento de qualquer aplicação, é necessário ter uma visão de como a aplicação irá ser quando terminada. Para tal, é necessário definir os requisitos funcionais e como a aplicação irá interagir com o utilizador.

### **4.1.1 Levantamento de Requisitos e Decisões de Desenho**

O primeiro passo na concepção da aplicação foi definir os requisitos principais para a aplicação: (1) representar uma cidade real num ambiente virtual; (2) existência de um sistema de coordenadas para representar os dados; (3) existência de modos de visualização alternativos desses mesmos dados para o utilizador escolher o modo de visualização que mais lhe agradasse; (4) existir um placar virtual com um gráfico da evolução dos dados ao longo do dia, que seria chamado pelo utilizador; (5) ter autocarros guiados a percorrer rotas pré definidas.

Como analisado na revisão bibliográfica, optou-se pela utilização do OSM2World para gerar as cidades em 3D. Com o uso do OSM2World, surgiu o problema de o utilizador conseguir identificar os locais vistos na aplicação com os locais físicos. Este problema surge devido ao facto de o mundo gerado pelo OSM2World representar o mundo utilizando formas simples e sem relevo do terreno. A solução aqui encontrada foi de fornecer informação adicional ao utilizador, através do nome de um ponto de referência, utilizando o sistema de coordenadas desenvolvido para a representação dos dados como forma de obter as coordenadas geográficas do utilizador. Tendo as coordenadas do utilizador, recorre-se ao ficheiro .osm para obter o nome do ponto de referência (e.g. nome de uma rua ou nome de um edifício) a ser apresentado ao utilizador, ajudando-o a fazer a ponte entre o local visto na aplicação e o local físico.

A segunda decisão tomada foi relativa aos modos de visualização. Pretendeu-se desenvolver uns modos de visualização mais tradicionais (por exemplo através do valor do poluente em cada ponto), uns mais dinâmicos (por exemplo recorrendo a forma gráficas integradas na cena que alteravam em função dos valores dos poluentes) e outros mais ligados a fenómenos naturais que estivessem ligados à poluição (por exemplo o fumo ou a chuva). O modo simples, que apresenta apenas o valor do poluente registado na posição em que o utilizador se encontra no canto inferior direito, foi desenvolvido com intensão de ser o modo representativo dos modos de visualização tradicional. Os modos de textura, barra, cubos coloridos e em altura

foram os modos desenvolvidos com vista a proporcionar maior dinamismo para o utilizador. Por fim o modo de nevoeiro e o modo de chuva, foram os modos desenvolvidos que se ligavam a fenómenos naturais. O modo nevoeiro está diretamente ligado à poluição, enquanto o modo de chuva está mais adequado para representar dados de precipitação.

Tendo os modos de visualização definidos, surgiu a necessidade de se desenvolver uma funcionalidade que permitisse ao utilizador saltar para uma dada localização sem ter de percorrer o caminho todo, à semelhança das ferramentas baseadas em mapas, de forma a otimizar o processo de busca. A funcionalidade desenvolvida baseia-se na informação presente no ficheiro .osm, listando para o utilizador todas as localizações encontradas nesse ficheiro.

A terceira decisão é relativa à forma de integração dos autocarros guiados. Pretendia-se ter autocarros virtuais a percorrer rotas pré-definidas que teriam sido obtidas a partir dos autocarros reais, de forma similar com o que acontece na realidade. A integração podia ser feita de duas formas: (1) escolher no menu inicial se se pretendia entrar no modo de condução livre ou no modo de condução guiado, sendo que ao entrar no modo de condução guiado escolhia-se logo a rota que se queria realizar, ou (2) ter os autocarros guiados a circular no mesmo mundo virtual que o autocarro livre. Optou-se pela segunda opção, sendo a que fazia mais sentido para o utilizador, uma vez que este não tinha de sair do mundo virtual para entrar no modo de condução guiado.

O planeamento da conceção e desenvolvimento da funcionalidade dos autocarros guiados requereu certas considerações. A primeira foi a existência de erros nas posições geográficas dos dados recolhidos pelos autocarros em que foi montada a rede de sensores. Isto pode acontecer devido a uma má obtenção das coordenadas causada por obstáculos, como é o caso dos prédios, levando a que alguns dos pontos se encontrem fora da estrada onde o autocarro que tinha montado o sensor passou. Este fenómeno acontece porque as velocidades de propagação das ondas do sinal de GPS são diferentes no ar e nos objetos, causando um ligeiro erro na triangulação da posição do sensor uma vez que os cálculos da posição do sensor são feitos admitindo que o sinal se transmite sempre pelo ar [30]. De forma a contornar

este problema, foi colocado na frente dos autocarros guiados dois sensores virtuais com vista a ajustar a rota dos autocarros de forma a se manterem na estrada virtual. Além desses dois sensores, existem mais quatro responsáveis por identificar obstáculos no percurso do autocarro de forma a permitir que o autocarro se possa desviar automaticamente destes.

A segunda consideração foi a possibilidade da existência de erros na geração do mundo virtual por parte da ferramenta utilizada, tendo, por exemplo, sido identificado em testes a existência de túneis subterrâneos que erradamente surgem representados à superfície do mundo virtual e carria a obstruírem a passagem do autocarro. Mesmo tendo-se optado por não representar os túneis subterrâneos que eram gerados de forma incorreta, optou-se por ignorar as colisões entre os autocarros guiados e os elementos da cidade, evitando que erros na geração do modelo 3D não detetados obstruíssem o autocarro. Desta forma, garantia-se que mesmo que não houvesse forma do autocarro virtual guiado contornar o obstáculo, este não iria ficar preso e iria continuar o seu percurso.

### **4.1.2 Interações e Ações**

Durante o planeamento de uma aplicação baseada em mecânicas de jogo, para além de se estudar o desenho da aplicação, é importante também estudar a forma como o utilizador irá interagir com a aplicação. Entenda-se que para cada interação que o utilizador executa no mundo real, executada através de rato e teclado/controlador, corresponderá uma ação no ambiente de jogo.

Na Tabela 4.1 encontram-se listadas as interações presentes no City On Stats e as respetivas ações, por exemplo, o pressionar do botão de vista de drone, correspondente ao botão "c" do teclado ou ao botão "x" do controlador, irá alternar entre visão do autocarro e visão do drone, no caso do utilizador não estar no modo de condução guiado da aplicação. Algumas das ações correspondem a funcionalidades previamente apresentadas, sendo o funcionamento destas analisado nas duas secções seguintes.

Interação	Teclado / Comando / Interface	Ação	Disponibilidade
Carregar nas teclas para acelerar e travar	Seta para a frente e para trás, tecla W e S/ LT e RT.	Acelerar e travar autocarro.	Modo de condução livre
Carregar nas teclas de direção	Seta esquerda e direita, tecla A e D/ Analógico.	Direção do autocarro	Modo de condução livre
Carregar no botão / ícone dos modos de visualização	V / A / Botão com o modo de visualização.	Mudar modo de visualização.	Ambos os modos
Carregar no botão / ícone do teletransporte quando em modo de condução livre	T / X / Botão com imagem de teletransporte, indicador de localização.	Abrir lista de locais para teletransporte.	Modo de condução livre
Carregar no botão / ícone do teletransporte quando em modo de condução guiado	T / X / Botão com imagem de teletransporte, indicador de localização.	Informa utilizador que a funcionalidade não está disponível.	Modo de condução livre
Carregar no botão / ícone dos autocarros	B / B / Botão com imagem do autocarro.	Abrir lista de autocarros guiados.	Ambos os modos
Carregar no botão para invocar um gráfico	Botão direito / — / —	Invocar placar da evolução dos dados.	Ambos os modos
Carregar com o botão esquerdo num botão	Botão esquerdo / — / —	Executar ação desse botão	Ambos os modos
Carregar com o botão esquerdo num elemento de um autocarro guiado	Botão esquerdo / — / —	Passar para modo de condução guiado desse autocarro	Modo de condução livre
Carregar no botão da vista de drone quando em modo de condução livre e em vista de autocarro	C / Y / —	Mudar para vista de drone.	Modo de condução livre
Carregar no botão da vista de drone quando em modo de condução livre e em vista de drone	C / Y / —	Mudar para vista de autocarro.	Modo de condução livre
Carregar no botão da vista de drone quando em modo de condução guiado	C / Y / —	Informa utilizador que a funcionalidade não está disponível.	Modo de condução livre
Carregar no botão de opções	ESQ / START / Botão com um "X"	Abrir menu de opções. Fechar painel. Sair modo de condução guiado.	Ambos os modos
Carregar no botão de ajuda	? / SELECT / Botão com um "?"	Abrir menu de ajuda	Ambos os modos
Carregar no botão de desafio	— / RB / Botão com desenho de uma montanha com uma bandeira	Abrir menu de desafios	Ambos os modos

TABELA 4.1: Tabela com informação das interações, respetivos botões, respetivas ações na aplicação e disponibilidade. A disponibilidade indica em que modos da aplicação, modo de condução livre e/ou modo de condução guiado, essa interação estará disponível.

## 4.2 Mundo virtual e Funcionalidades

Após definidos os requisitos, o desenho de aplicação e as interações com a aplicação, entra-se no processo de desenvolvimento da mesma. Tendo em conta os trabalhos analisados na revisão bibliográfica, escolheu-se o Unity 3D como motor de desenvolvimento para a aplicação. Nas seguintes subsecções, será analisado o desenvolvimento das funcionalidades presentes no City On Stats.

### 4.2.1 Geração do mundo virtual

Como referido no desenho da aplicação, a forma de geração do mundo virtual baseia-se nos dados provenientes do OpenStreetMap. Utilizando a ferramenta

OSM2World é fácil criar uma malha de polígonos que representa uma cidade real. Para integrar a malha de polígonos gerada foi necessário recorrer a uma extensão chamada OBJLoader, desenvolvida e disponibilizada na loja do Unity, que permite receber um ficheiro de uma malha de polígonos em formato .obj e carregá-la diretamente para a cena do Unity. No entanto, esta malha de polígonos não apresenta volumes delimitadores para serem usados no sistema de deteção de colisões do Unity. Para superar este problema, percorreu-se, através de um ciclo no *script*, todos os elementos da malha de polígonos e acrescentou-se volume delimitador sobre a forma de malha, de forma a que quando o autocarro tocasse em algum elemento da malha de polígonos o Unity conseguisse detetar a colisão.

Observou-se que a malha de polígonos gerada apresenta algumas falhas no chão que não são preenchidas por elementos da malha de polígonos, ilustrado na Figura 4.1. Essas falhas, levavam o autocarro a cair para fora do mapa. De forma a contornar este problema, foi acrescentado um terreno para evitar que o autocarro pudesse cair para fora do mapa na ausência de alguma componente da malha de polígonos. Foi atribuída uma cor verde claro ao terreno, uma vez que se observa que grande parte do solo gerado pela ferramenta apresentava a cor verde. Para além das falhas no chão, observou-se que a aplicação representava os túneis de metro como túneis à superfície e os carris dos comboios e elétricos de forma demasiado pronunciada. Optou-se então por não representar nenhum dos túneis e por não aplicar sistema de colisão aos carris, possibilitando assim que o autocarro pudesse passar por cima destes de forma suave.

Durante o desenvolvimento da aplicação observou-se que muitas vezes existiam casas ou outros elementos gráficos no ponto central do mapa que faziam com que no arranque da aplicação o autocarro ficasse preso ou fosse projetado no ar. Foi então necessário desenvolver uma função que indicasse uma estrada suficientemente larga para colocar o autocarro o mais próximo possível do centro do mapa. Desta forma, tendo a indicação de uma estrada suficientemente larga próxima do centro do mapa, é possível mover o autocarro para essa estrada evitando que o autocarro ficasse preso dentro de algum edifício ou fosse projetado no ar quando é gerado.



FIGURA 4.1: Falhas no chão da malha de polígonos da cidade. A figura demonstra, com a cor verde claro, a ausência de elementos na malha de polígonos da cidade que foi corrigida com um terreno verde claro por baixo da malha de polígonos.



FIGURA 4.2: Fluxo de trabalho para gerar e preparar o mundo virtual.

A Figura 4.2 ilustra o fluxo de trabalho necessário à geração do mundo virtual. Este fluxo de trabalho resume a secção apresentada.

## 4.2.2 Sistema de Coordenadas

Uma das dificuldades previamente identificadas era fazer corresponder as coordenadas do mundo real com os pontos do mundo virtual, decorrente da necessidade de representar os dados no mundo virtual. Para solucionar este problema, recorreu-se à fórmula de Haversine que permite calcular distâncias entre duas coordenadas geográficas diferentes tendo em conta a curvatura da Terra para desenvolver um sistema de coordenadas. O sistema de coordenadas desenvolvido visa mapear as coordenadas geográficas para as coordenadas do mundo virtual.

Para este trabalho, deve-se considerar os ângulos da latitude e longitude como um sistema de coordenadas ortonormado cuja origem se encontra colocada sobre o valor médio. Esta é a forma mais simples de identificar uma coordenada geográfica dentro do modelo 3D gerado. O primeiro passo para converter coordenadas

geográficas em cartesianas, é identificar um ponto de referência no mundo virtual em que se saiba as coordenadas geográficas exatas desse ponto para poder calcular as coordenadas geográficas dos restantes pontos virtuais a partir deste. Através do ficheiro .osm é possível obter as coordenadas dos cantos do mapa gerado. Com essas coordenadas pode-se calcular o ponto central do mapa para ser o ponto de referência, que corresponde ao ponto  $(0,0)$  do mundo virtual. Para calcular o ponto central basta calcular a média entre a latitude máxima e mínima e fazer o mesmo procedimento para a longitude.

Com as coordenadas do ponto central, pode-se usar a fórmula de Haversine para calcular a distância entre a latitude central e a latitude que se pretende representar para obter a coordenada Z do mundo virtual e a distância entre a longitude central e a longitude que se pretende representar para obter a coordenada X do mundo virtual, uma vez que as unidades no mundo virtual correspondem a um metro. Fazendo isto, para qualquer ponto no mundo real definido pelas suas coordenadas de latitude e longitude é possível calcular as coordenadas cartesianas desse ponto no mundo virtual (Figura 4.3). Caso se pretenda as coordenadas reais de um ponto no mundo virtual, utiliza-se a coordenada Z para identificar a latitude e a coordenada X para a longitude, sendo que estas coordenadas irão corresponder à distância ao ponto central.

O sistema de coordenadas é repetidamente utilizado na aplicação. A informação do local em que o utilizador se encontra é um dos exemplos onde este sistema é utilizado. As coordenadas cartesianas do utilizador são traduzidas em coordenadas geográficas e de seguida é analisado qual o nome da localização que deverá ser passada ao utilizador. O nome da localização do utilizador é obtido ao comparar a sua distância às localizações obtidas a partir do ficheiro .osm. No ficheiro .osm podem-se encontrar vários nós com informação da coordenada geográfica desse nó para o mesmo local, no entanto, quando carregado em memória, é apenas mantida a média das coordenadas geográficas desse nó, de forma a poupar memória.

A funcionalidade de teletransporte também tem como base este sistema de coordenadas. Começa-se por apresentar a lista dos locais carregados do ficheiro .osm e colocados em memória. Uma vez que o utilizador selecione um dos locais, são

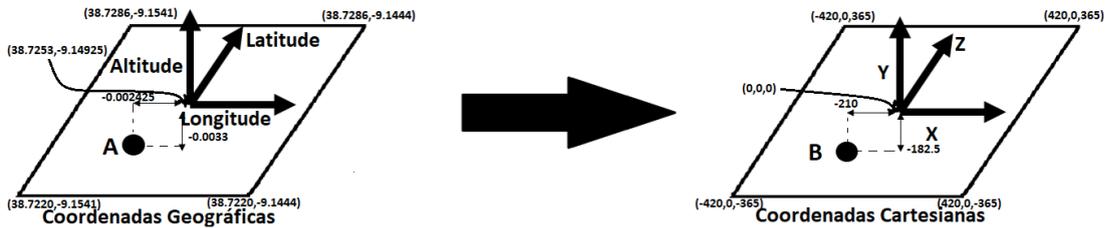


FIGURA 4.3: Esquema de funcionamento do sistema de coordenadas. Os ângulos da latitude e longitude são convertidos para um plano 2D em que os valores da latitude e da longitude crescem no sentido das setas, sendo esta a forma de interpretar os valores das coordenadas geográficas neste trabalho. O principal objetivo do sistema de coordenadas é traduzir as coordenadas geográficas associada aos locais do mapa para coordenadas cartesianas do mundo virtual. Como exemplo, ir-se-á demonstrar como se converte as coordenadas do ponto A para o seu equivalente no mundo virtual, denominado B. Começa-se por obter o ponto central das coordenadas geográficas, correspondendo a (38.7253,-9.14925). O algoritmo do sistema de coordenadas, recebe as coordenadas do ponto A e determina a diferença de latitudes (-0.0033) e de longitudes (-0.002425). Utilizando a fórmula de Haversine, é possível determinar que a distância ao ponto central apenas considerando a latitude é de -182.5 metros e que para a longitude é de -210 metros. Desta forma o ponto B deverá ser colocado nas coordenadas (-210,0,-182.5). O mesmo procedimento é realizado para calcular as coordenadas dos cantos do mapa.

obtidas as coordenadas geográficas desse local. Tendo as coordenadas do local, é calculado o ponto cartesiano virtual correspondente a essas coordenadas e o utilizador é teletransportado para esse ponto.

Este sistema também é utilizado para colocar os pontos chave do percurso dos autocarros guiados no mapa. Os autocarros guiados e a sua geração de percursos serão analisados mais à frente.

### 4.2.3 Modos de Visualização

De forma a visualizar os dados no mundo, desenvolveram-se os sete modos de visualização apresentados no Capítulo 3. No entanto, antes de começar a desenvolver os modos, desenvolveu-se uma forma de armazenar os dados de poluição do ar de forma que fosse possível aceder rapidamente a esses dados sem ter quebras na taxa de refrescamento.

Houve a necessidade de testar a aplicação durante o desenvolvimento e para tal

utilizou-se dados relativos à qualidade do ar de um trabalho realizado para a cidade de Zurique [29]. Observou-se a necessidade de um pré processamento dos dados de forma a reduzi-los. Esse pré processamento foi feito em Python, gerando um ficheiro .csv mais simples que o original. Para reduzir a quantidade de dados carregados em memória, com vista a acelerar o acesso a estes, as coordenadas são convertidas para coordenadas virtuais e os valores obtidos são truncados. Se, na lista de localizações na memória já existisse uma entrada com as mesmas coordenadas truncadas, acrescenta-se os dados das localizações a essa entrada. Caso ainda não exista nenhuma entrada, é criada uma nova.

Para obter os dados, é dada a posição do utilizador no mundo virtual para encontrar a entrada com as coordenadas mais próximas. Este processo é rápido, porque as coordenadas dos dados já foram convertidas para coordenadas do mundo virtual, não necessitando de tempo de computação para calcular a posição no mundo virtual de cada dado, sendo só necessário compará-las. Uma vez tendo a entrada mais próxima do utilizador, calcula-se a média dos dados associados a essa entrada. O City On Stats permite ter vários poluentes carregados em memória. Desta forma, uma vez tendo os dados dos poluentes carregados em memória, basta identificar o poluente pretendido e representar o seu valor. Os valores dos poluentes nos modos de visualização são atualizados a cada 0.5 segundos. Foi utilizada uma taxa de atualização dos dados de 0.5 segundos porque é uma taxa de atualização razoável para visualizar os dados e não requer excessivo poder de processamento em nenhum dos modos. Na Figura 4.4 pode-se observar o resultado da visualização de cada um dos modos.

No modo de visualização simples, é apenas apresentado o valor da entrada mais próxima para aquele poluente. O elemento gráfico do modo simples, ou seja, a indicação numérica no canto inferior direito do valor do poluente registado, está presente em todos os modos. Nos modos textura, barra, nevoeiro e chuva, utiliza-se o ficheiro de configuração dos poluentes para identificar qual o valor em norma, que é zero quando corresponde ao valor mínimo do poluente e um quando corresponde ao valor máximo do poluente que é definido nos ficheiros. No modo textura substitui-se a cor do autocarro pela cor obtida. No modo barra, substitui-se a cor

da barra pela cor obtida e multiplica-se a norma do poluente pela altura máxima que a barra pode tomar, de modo a que a cor e o tamanho acompanhem os dados. No modo nevoeiro e no modo chuva usa-se o valor da norma para definir a densidade do nevoeiro e a intensidade da chuva.

O modo de visualização dos cubos apresenta um funcionamento mais complexo. A sua base é constituída por 81 cubos centrados e solidários com o autocarro colocados no chão à volta do mesmo. Inicialmente não existia um número definido de cubos, sendo este número dependente da área do mapa, mas devido a limitações na capacidade de memória e no poder computacional teve de se restringir o número de cubos por cena. Cada cubo solicita ao sistema qual é o valor que deve representar. Solicita-se a cor no modo de cor e a norma no modo de altura. Devido ao elevado número de cubos a processar, este modo apresenta um peso computacional maior comparado com os outros modos desenvolvidos, tendo sido necessário otimizar o método de representar os dados. Quando o autocarro se move numa direção, é necessário colocar novos cubos à sua frente. No entanto, a criação de novos cubos acarreta mais peso à aplicação, fazendo com que a taxa de refrescamento caia abruptamente. Em vez de se criar novos cubos, utilizou-se a base de um algoritmo [47] para representar grandes dimensões de terreno. Este algoritmo recicla os cubos que ficam para trás quando o autocarro anda numa direção, colocando-os numa nova posição e com valores atualizados à frente do autocarro. Desta forma, existirão sempre cubos à frente do autocarro sem necessidade de criar novos, como se pode ver na Figura 4.5.

#### **4.2.4 Gráfico da Evolução dos Dados**

A evolução dos dados dos poluentes atmosféricos ao longo do dia pode ser bastante informativa, especialmente quando se trata de dados correspondentes a gases poluentes. Por essa razão, foi integrado no projeto um gráfico com a evolução dos dados por hora ao longo do dia.

Um dos requisitos no desenvolvimento deste gráfico era torná-lo o mais imersivo possível. Desta forma, a utilização de um painel sobre o ecrã não era suficiente,

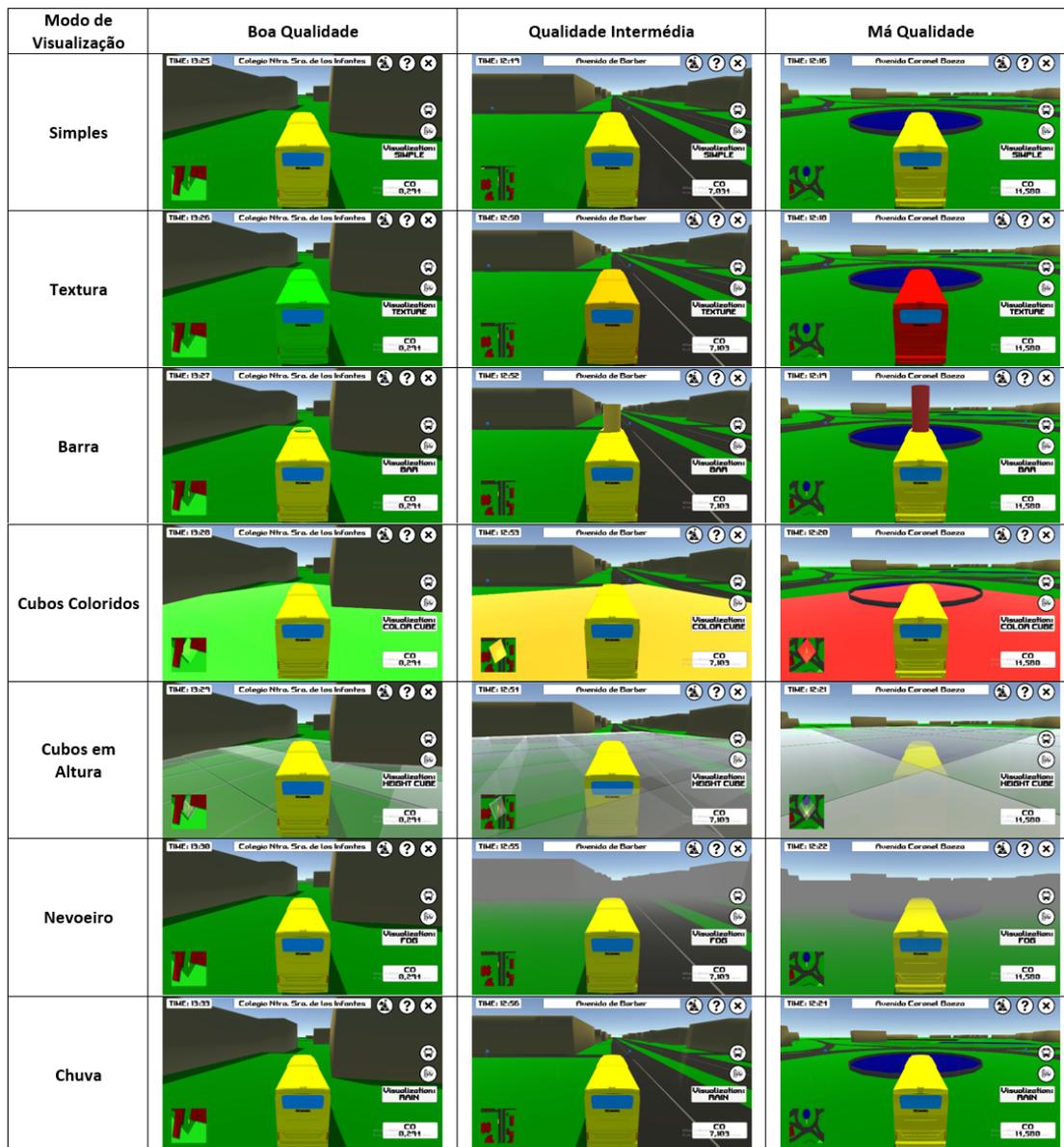


FIGURA 4.4: Diferentes Visualizações da Aplicação. A figura mostra um exemplo da representação de uma boa, media e má qualidade do ar para os diferentes modos de visualização.

dado os requisitos de uma ferramenta imersiva que explorasse mecânicas dos jogos. Escolheu-se utilizar um placar como base para representar o gráfico no centro. Esta escolha deveu-se ao facto de ser usual encontrar placar publicitários nas cidades, logo, fazia sentido utilizar um para passar informação porque é intuitivo. O placar apresenta uma rotação sobre o eixo vertical de forma a estar sempre orientado para o utilizador, evitando a necessidade de contornar o placar para ver o gráfico.

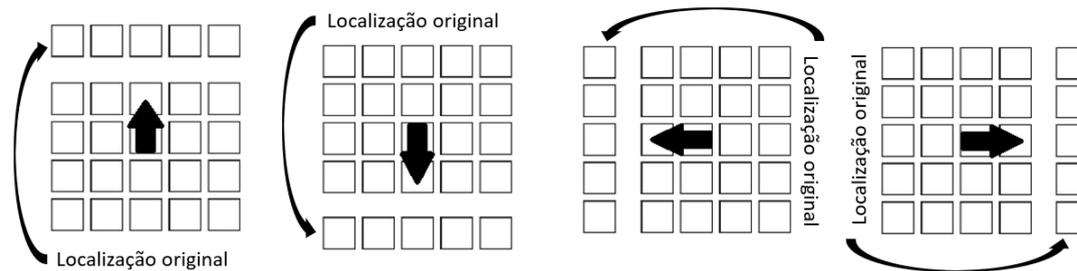


FIGURA 4.5: Funcionamento da reutilização dos cubos. Consoante a direção do movimento do autocarro, representado pela seta, o City On Stats reutiliza os cubos que ficaram para trás (na figura representado como "Localização original"), colocando-os à frente do autocarro. Quando a distância dos cubos ao autocarro passa um limite que garanta que o autocarro se encontre sempre no centro da grelha de cubos, uma linha de cubos, que inicialmente se encontrava numa posição inicial, passa para uma nova posição à frente do autocarro. Desta forma, não é necessário de criar novos cubos, baixando assim o peso computacional.

Foi utilizado o código para gerar o gráficos desenvolvido pelo grupo Code Mockey [43] dentro do City On Stats. Este código gera o gráfico que será colocado numa tela alternativa, que está a ser gravado por uma câmara virtual. Esta câmara fornece as imagens a serem apresentadas no placar recorrendo à síntese de texturas.

### 4.3 Modo de Condução Guiada

Existem dois algoritmos associados aos autocarros guiados no modo de condução guiada. O primeiro algoritmo gera de forma eficiente os percursos dos autocarros, tendo em conta os dados de poluição do ar recebidos, e o segundo algoritmo controla os autocarros guiados. Nas subsecções seguintes serão apresentados os algoritmos desenvolvidos.

#### 4.3.1 Geração de Percursos

A geração de um percurso bem definido, com uma estrutura simples e com um número de pontos adequado, é a chave para conseguir ter vários autocarros virtuais a percorrer uma cidade sem sobrecarregar a memória do computador. No

entanto, o espetável é que os dados provenientes do ficheiro que contém a descrição dos autocarros e das suas rotas apresentem uma grande densidade de registos, uma vez que geralmente a aquisição dos dados é feita várias vezes por segundo. Pode também acontecer o caso de o utilizador pretender utilizar a aplicação para demonstrar dados sintetizados com poucas amostras, apresentando apenas alguns pontos do percurso, esperando que a aplicação interpole os pontos restantes. O algoritmo de geração de percursos do City On Stats está preparado para trabalhar tanto com dados densos como com dados esparsos. O algoritmo está desenhado para colocar um ponto chave, ou seja, um ponto representativo no percurso que pode representar um conjunto de pontos originais, caso os dados sejam densos, ou um ponto entre dois pontos originais, caso os dados sejam esparsos, a cada 25 metros de distância com informação dos dados associado a esse ponto. Escolheu-se colocar a cada 25 metros um ponto chave porque foi um valor que verificou-se ser um bom compromisso entre pontos muito espaçados, fazendo com que o autocarro em cruzamentos cortasse o terreno, e distância de pontos muito próximos, fazendo com que o autocarro não conseguisse fazer curvas apertadas tendo de voltar atrás.

No caso de os dados fornecidos serem densos, a aplicação calcula o somatório das distâncias dos pontos originais consecutivos até perfazer 25 metros. Geralmente a marca dos 25 metros encontra-se entre dois pontos originais. De forma a manter a uniformidade da distância dos pontos, é colocado um ponto chave no exato local onde o somatório dá 25 metros, ou seja, entre os dois pontos originais anteriormente referidos, passando o excedente para o próximo ponto chave. Desta forma, garante-se um percurso uniformemente espaçado à exceção dos últimos dois pontos chaves do percurso, uma vez que o último nó do autocarro presente no ficheiro com informação dos autocarros é sempre colocado, mesmo que a distância seja curta. Os valores dos poluentes associados ao ponto chave correspondem à média dos valores obtidos entre o último ponto chave gerado e o próximo ponto chave a ser gerado. Nesta média, o peso de cada valor do ponto original, ponto obtido a partir das coordenadas geográficas para cada leitura dos poluentes, é multiplicado pela percentagem da distância que entra nos cálculos do ponto chave (e.g. um ponto original que se encontre espaçado 10 metros do original seguinte e que contribua

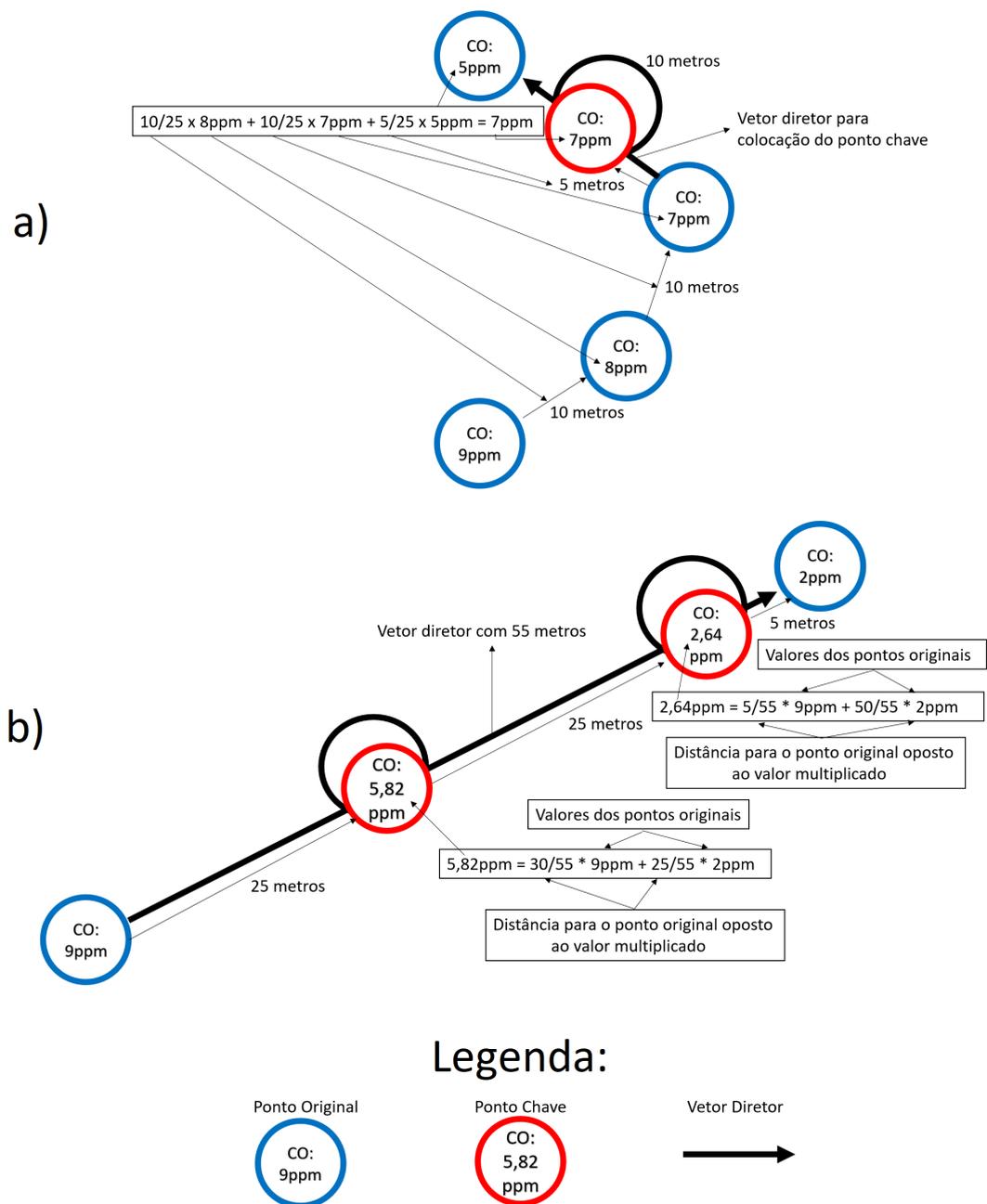


FIGURA 4.6: Algoritmo de geração de percursos. É apresentado a fórmula utilizada para calcular os valores dos intervenientes e é indicado a origem de cada valor dessa fórmula. Em a) está apresentado um exemplo denso com pontos originais espaçados 10 metros, tendo sido colocado o ponto chave entre os últimos dois pontos originais, onde a distância somada perfazia 25 metros. Em b) está apresentado um exemplo esparsos com os pontos originais espaçados 55 metros, tendo sido colocado dois pontos chaves, cada um espaçado 25 metros, sendo que o terceiro ponto chave seria colocado 20 metros após o último ponto original, porque entre o último ponto chave e o último ponto original já se tinha percorrido 5 metros.

com apenas 5 metros, porque deve ser colocado um ponto chave entre os dois, fazendo com que a sua contribuição para o ponto chave seja de 5 metros, fazendo com que o peso dos seus valores seja de  $5/25$  nos valores do ponto chave e o seu excedente de 5 metros entra nos cálculos do próximo ponto chave, como se pode observar na Figura 4.6 a)), fazendo com que no caso em que é colocado um ponto chave entre dois pontos originais, o valor do ponto original é apenas multiplicado pela distância considerada e não pela distância total entre os pontos originais.

No caso de os dados fornecidos serem esparsos, a aplicação irá interpolar os pontos de forma a que se garanta um ponto chave a cada 25 metros. Para tal começa-se por definir o vetor diretor que liga o ponto atual, que pode corresponder a um ponto original na primeira iteração, mas geralmente o ponto atual irá corresponder ao último ponto chave gerado, e o ponto original seguinte, que nesta situação se encontra a mais de 25 metros. Como a distância é superior a 25 metros, é colocado um ponto a 25 metros do ponto original atual, seguindo o vetor diretor definido anteriormente, e o ponto de origem do vetor passa a ser o ponto gerado. Esta ação repete-se até à distância entre o ponto chave gerado e o próximo ponto original ser menor de 25. Nesse caso, é subtraída a distância anterior e sobre o vetor diretor entre o ponto de origem e o ponto original seguinte é marcado um ponto chave na distância, que somada à distância anterior, perfaz 25 metros. De forma a ilustrar este caso, imagine-se que a distância entre o ponto gerado e o ponto original seguinte é de 15 metros, isto fará com que seja gerado um ponto a 10 metro do ponto original alcançado na direção do próximo ponto original seguinte. Os valores também são interpolados, fazendo com que o ponto original mais próximo tenha mais peso que o ponto original que se encontra mais distante. O algoritmo descrito consegue então gerar percursos com as mesmas características independentemente dos dados fornecidos. Desta forma permite-se diminuir o peso dos dados, mesmo no caso destes serem muito densos, e garantir sempre um percurso com pontos chaves suficientes mesmo quando os dados são esparsos, como se mostra na Figura 4.6.

#### 4.3.1.1 Sensores

De forma a obter informação sobre o mundo ao redor do autocarro, foram colocados quatro sensores virtuais na frente do autocarro. A intenção destes sensores é identificar a existência de obstáculos à frente do autocarro. Como para além de evitar obstáculos, também é necessário manter o autocarro na estrada, corrigindo algum problema de leitura de coordenadas ou configuração do sistema de coordenadas, foram acrescentados dois sensores para obter informação relativa à posição da estrada face ao autocarro, com o objetivo de corrigir a sua rota mesmo que os pontos chave se encontrem fora desta. A disposição dos seis sensores pode ser observada na Figura 4.7.

Os autocarros estão equipados com dois sensores para colisões no canto esquerdo, um orientado para a frente e outro orientado  $-45^\circ$  em torno do eixo perpendicular ao chão face ao primeiro sensor, estando ambos paralelos ao chão. O lado direito é similar ao lado esquerdo, existindo assim um sensor orientado para a frente e outro inclinado  $45^\circ$  segundo no eixo perpendicular ao chão.

Os sensores para manter o autocarro na estrada são colocados na mesma posição que os sensores frontais de colisões. Estes sensores sofrem uma inclinação de  $30^\circ$  em torno do eixo horizontal, fazendo os sensores apontarem para o chão, e rodando os sensores  $5^\circ$  para fora, ou seja, o sensor da direita é rodado  $5^\circ$  para a direita e o sensor da esquerda é rodado  $5^\circ$  para a esquerda de forma a obter informação da superfície que se encontra ao lado do autocarro.

#### 4.3.2 Condução

Tendo o percurso dos autocarros guiados definidos é necessário colocar estes autocarros a seguirem o percurso, simulando que alguém os estivesse a conduzir. Para desenvolver tal funcionalidade, tomou-se como ponto de partida um código [24] já desenvolvido, que teve de ser adaptado para o projeto em questão, tendo sido acrescentado dois sensores específicos e controlos. O código em questão baseia-se

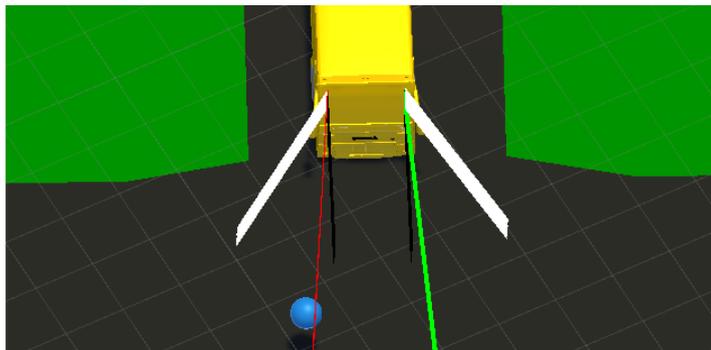


FIGURA 4.7: Demonstração da colocação dos sensores nos autocarros guiados, ilustrados apenas com uma extensão de 3 metros. Os sensores de colisões encontram-se representados a preto para os sensores frontais e a branco para os sensores laterais. A verde e a vermelho, encontram-se representados os sensores usados para manter o autocarro na estrada.

em cinco passos principais: (1) ajustar velocidade de forma seguir percurso desejado; (2) ajustar direção de forma a alinhar com percurso desejado; (3) recolher informação de distância a obstáculos através de sensores virtuais; (4) ajustar direção em função da distribuição de obstáculos em torno do autocarro e da sua posição à estrada; (5) verificar distância para o ponto chave para passar para o próximo ponto chave.

O primeiro passo é verificar se é preciso aplicar aceleração ao autocarro. Esta decisão é tomada em função da velocidade atual do autocarro e da velocidade máxima definida no painel de controlo do autocarro. Se a velocidade atual for inferior à velocidade máxima, aplica-se uma força para o autocarro acelerar. De seguida, ajusta-se a direção do autocarro para orientar o autocarro para o próximo ponto chave.

Como podem surgir obstáculos no percurso ou ser necessário corrigir a rota do autocarro, existem seis sensores distribuídos na frente do autocarro (ver detalhes na secção anterior) responsáveis por passar a informação ao algoritmo de condução do autocarro para identificar a necessidade de sair da rota. Com esta informação, o algoritmo de condução ajusta a direção das rodas dianteiras de forma a contornar um obstáculo ou corrigir uma rota. Para o algoritmo de condução, se um dos sensores de colisão orientados para a frente identificar um obstáculo, irá ser aplicada a mudança de direção máxima às rodas no sentido oposto para contornar o obstáculo. No entanto, se apenas for detetado um obstáculo nos sensores que têm

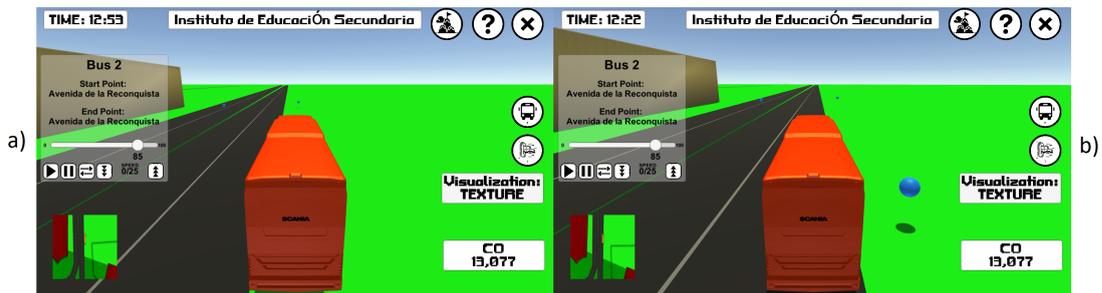


FIGURA 4.8: Exemplo da utilização dos sensores num caso específico em que foram colocados os pontos chave a 50 metros de forma a ilustrar melhor o efeito dos sensores. Em a) pode-se observar um exemplo da não utilização dos sensores onde se observa que o autocarro se encontra completamente fora da estrada. Em b) observa-se um exemplo no mesmo local onde o autocarro passou em a) em que são utilizados os sensores e observa-se que a rota do autocarro foi ajustada para ele passar dentro da estrada.

uma rotação de  $45^\circ$ , é aplicada apenas metade da mudança de direção máxima às rodas dianteiras, uma vez que não é necessário um desvio tão grande para contornar o obstáculo. No caso dos sensores para manter o autocarro na estrada, se os raios lançados intercetarem algum objeto, sabendo que todos os objetos da cena têm um nome, será comparado o nome do objeto mais próximo intercetado para cada um dos raios e no caso de um ter a nomenclatura de uma estrada e o outro não, irá ser aplicada metade da mudança de direção máxima às rodas dianteiras de forma ao autocarro retornar à estrada. Na Figura 4.8 pode-se observar o efeito da utilização destes sensores.

Por fim calcula-se a distância do autocarro ao ponto chave. Se a distância for menor que cinco metros, distância que verificou-se ser aceitável durante o desenvolvimento para a situação após várias tentativas, considera-se que o autocarro já alcançou esse ponto, passando para o ponto seguinte.

## 4.4 Interface

Uma boa interface constitui um papel muito importante no desenvolvimento de uma aplicação. De forma a obter uma boa interface, teve-se como objetivo desenvolver uma interface que respeitasse as 10 heurísticas de Nielsen [45]. Nielsen foi considerado por muitos como o "pai da usabilidade", tendo resumido dez processos

cognitivos a ter em consideração no desenvolvimento de uma boa interface de fácil usabilidade.

Como referido, são dez as heurísticas de Nielsen e todas elas foram consideradas durante o desenvolvimento da aplicação. Segue as descrições e exemplos de aplicação no city on stats, à exceção da nona heurística referente à recuperação de erros: (1) Manter o utilizador constantemente informado do estado da aplicação, podendo ser observado, por exemplo, na indicação do modo de visualização ativo que informa o utilizador do modo que está ativo; (2) fazer correspondências entre o sistema e o mundo real, sendo exemplo disso o controlador dos autocarros guiados que segue a estrutura de um leitor de vídeo; (3) garantir ao utilizador controlo e liberdade, em que no caso de executar alguma ação por engano deverá conseguir voltar atrás, sendo assegurado na aplicação através da tecla "esc" em que o utilizador consegue voltar ao estado inicial; (4) garantir a consistência e os padrões ao longo da aplicação, podendo ser observado através do texto e do grafismo utilizado; (5) prever os erros do utilizador, tendo esta heurística sido considerada através de restrições no código de forma a garantir que o utilizador não fizesse algo que não era suposto; (6) fazer prevalecer o reconhecimento sobre a memorização, tendo sido colocado botões alusivos às funcionalidade da aplicação no ecrã para que o utilizador não tivesse de memorizar as teclas para aceder às funcionalidades; (7) garantir flexibilidade e eficiência no uso da aplicação, garantido através dos atalhos nas teclas; (8) manter um design estético e minimalista, tendo sido apenas colocado no ecrã a informação estritamente necessária; (9) ajudar o utilizador a recuperar dos erros; (10) fornecer ajuda e documentação ao utilizador sobre a aplicação, tendo sido fornecido um botão de ajuda ao utilizador.

Neste trabalho os elementos gráficos foram o principal foco no desenvolvimento da interface. No City On Stats os elementos gráficos da interface são constituídos por ícones informativos, mini mapa e botões. Estes elementos sofreram várias alterações durante o processo de desenvolvimento da aplicação.

A primeira tarefa consistiu em distribuir pelo ecrã todos os elementos gráficos de forma a que fossem de fácil acesso e leitura. A decisão da localização dos elementos gráficos teve como base a localização mais típica destes elementos em jogos

atuais. Tendo isso em conta, começou-se por distribuir os ícones informativos. Decidiu-se colocar informação da hora no canto superior esquerdo, da localização no topo superior e do valor registado no canto inferior direito. O mini mapa foi colocado no canto inferior esquerdo, tendo sofrido um ajuste no tamanho, uma vez que inicialmente era muito grande. Os botões das funcionalidades foram colocados nas laterais do ecrã e os botões referentes aos desafios, ajudas e opções foram colocados no topo direito do ecrã.

Durante os testes de desenvolvimento informais, aproveitou-se para avaliar a interface gráfica. Da avaliação concluiu-se ser necessário remover os ícones do lado esquerdo, correspondentes à funcionalidade de mapa e da vista de drone, uma vez tendo-se mostrado dispensáveis da interface gráfica e tendo confundido muitos utilizadores.



# Capítulo 5

## Avaliação e Discussão

Nesta secção será apresentada a avaliação da aplicação City On Stats. Será analisado o método usado e discutido os resultados obtidos.

Após o fecho do desenvolvimento, com o objetivo de corrigir eventuais falhas e deficiências do sistema e validar a aplicação City On Stats, foram realizados dois tipos de testes com utilizadores dentro do público alvo. Com estes testes pretendia-se: (1) identificar a existência de problemas ao nível de interface, avaliando se a interface era intuitiva o suficiente para um utilizador conseguir utilizá-la sem treino prévio; (2) identificar a existência de erros na aplicação; (3) comparar o desempenho com aplicações convencionais (e.g. mapas com camadas a representar os dados); (4) avaliar a aplicação; (5) obter opiniões sobre melhoramentos e potencialidades a desenvolver no futuro.

### 5.1 Modelo de Avaliação

Para testar o City On Stats, optou-se por se considerar uma localização geográfica que fosse pouco provável o utilizador conhecer, com a intenção de evitar que o conhecimento prévio do utilizador sobre o local pudesse influenciar os resultados do teste. O local escolhido foi uma pequena zona em Toledo, Espanha. A existência de uma rotunda para o fonte de poluição atmosférica, uma zona de habitações e



FIGURA 5.1: Mapa da cidade usado nos testes. Na figura pode-se observar o mapa da cidade usada nos testes. Pode-se observar a rotunda que foi usada como foco da poluição, a zona onde circulavam os três autocarros guiados e a localização da Calle Uruguay (Rua usada para um dos desafios).

uma área mais verde foram os critérios para a escolha do local. Estes critérios foram escolhidos de forma a representar as principais zonas que se encontram geralmente numa cidade e ilustrá-las com a poluição típica das mesmas, ou seja, os espaços verdes com melhor qualidade do ar, a zona de habitação com uma qualidade intermédia e as rotundas com a pior qualidade do ar devido à circulação intensiva de trânsito. O mapa da zona escolhida apresenta uma área de aproximadamente  $0,280 \text{ km}^2$ . O mapa usado pode ser observado na Figura 5.1

Os dados utilizados para o teste, incluindo os ficheiros .csv com os conjuntos de dados e o ficheiro .xml com os percursos de autocarros, foram todos sintetizados de forma a evitar o ruído que dados reais naturalmente apresentam. Desta forma torna-se possível analisar de forma sistemática os aspetos da interface, da interação e da aplicação. Optou-se por este tipo de dados como forma de diminuir a influência das competências de visualização do utilizador e maximizar a análise da potencialidade e facilidade da aplicação para a realização de tarefas, ou seja, se os dados apresentarem muito ruído as capacidades de observação e síntese dos utilizadores iriam influenciar muito os resultados, tirando o foco das capacidades da aplicação.

O gás considerado nos testes foi o monóxido de carbono, do símbolo químico CO, que é um conhecido gás poluente. A concentração deste gás varia de 0 ppm, que significa uma boa qualidade do ar, e mais de 50 ppm, sendo que a partir de 12,5 ppm a qualidade do ar é já considerada má. Tendo isto em consideração, a concentração de CO gerada varia entre 0 ppm e 15 ppm na região mais poluída. Utilizou-se uma função para indicar a concentração de CO ao longo do mapa, em

que quanto maior a distância à rotunda principal menor seria o valor da concentração de forma linear, fazendo com que o ponto mais distante da cidade fosse aproximadamente 0 ppm. Garantiu-se ainda que o valor da concentração de CO do lado do mapa com a área verde descesse mais rapidamente do que no lado com a zona residencial.

Como referido, foram realizados dois tipos de testes. O primeiro tipo de teste, teste de desenvolvimento, foi um teste informal que contou com a participação de nove pessoas, tendo como principal objetivo, para além dos objetivos globais, o desenvolvimento de um guião sólido para avaliar a aplicação e a correção de aspetos dentro da aplicação. O segundo tipo de teste, teste final, correspondeu ao teste formal para validação e avaliação da aplicação em que se usou a aplicação com as alterações realizadas a partir dos comentários e observações feitas nos testes de desenvolvimento, tendo contado com a participação de 30 pessoas.

Em cada sessão de teste fez-se uma breve introdução da aplicação, identificaram-se informações básicas sobre o utilizador e a sua experiência com este tipo de aplicações. Foi ainda explicado ao utilizador que o objetivo da interação era exclusivamente avaliar a aplicação, garantindo que o utilizador não se sentisse pressionado de forma a obter resultados mais próximos aos obtidos se o utilizador estivesse em casa a experimentar comodamente a aplicação. De seguida pediu-se ao utilizador que interagisse com a aplicação de forma a completar os seguintes objetivos: (1) Identificar a zona com maior concentração de CO do mapa, em que o utilizador deveria indicar a rotunda central do mapa; (2) identificar a concentração de CO numa dada rua específica, neste teste em Calle Uruguay com o valor de 8,423 ppm; (3) identificar período associado à maior concentração de CO, que seria entre as 18 e as 20 horas; (4) identificar a rota de autocarros sujeito à maior exposição de CO, que seria a rota do autocarro número 2.

Foi adicionado um desafio extra, que visava comparar o tempo necessário para obter um valor de monóxido de carbono para uma determinada rua na aplicação e para obter um valor de dióxido de nitrogénio (do símbolo químico NO<sub>2</sub>) numa página da internet utilizando uma forma de visualização tradicional. A página de internet utilizada foi o LondonAir, que contém informações sobre a quantidade

de dióxido de nitrogénio, ozono (do símbolo químico  $O_3$ ),  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ , para a região de Londres. Foi solicitado a cada utilizador para, recorrendo à página de internet, identificar a quantidade de dióxido de nitrogénio na região de Barking-side. Esta região não é visível ao início, tendo o utilizador de utilizar uma barra de pesquisa para encontrar a região, tornando o processo o mais idêntico possível com o associado ao uso da aplicação.

Após o utilizador ter completado todos os desafios, foram colocadas perguntas que visavam comparar a aplicação com a página de internet em três aspetos: (1) "no caso de ficar 30 minutos aqui, qual seria a opção, aplicação ou página de internet, que optava para passar esses 30 minutos?", (2) "imaginando que se encontrava a realizar um trabalho académico, qual seria a opção, aplicação ou página de internet, que utilizaria para obter valores?" e (3) "imaginando que precisava de apresentar dados da poluição a crianças, qual seria a opção, aplicação ou página de internet, que usaria para tal?". Por fim o utilizador respondia ao questionário de experiência de jogo e terminava o teste.

De forma a proceder a uma análise posterior das várias sessões de teste, para cada sessão foi gravado a interação do utilizador com a aplicação. Esta gravação foi realizada utilizando um tripé com aproximadamente 50 centímetros de altura, onde foi acoplada uma câmara na vertical, como pode ser visto na Figura 5.2. As gravações foram realizadas numa resolução de 1280x720 a 30 quadros por segundo.

### **5.1.1 Testes de Desenvolvimento**

Os testes de desenvolvimento contaram com três fases, sendo que para cada fase eram feitos ajustes e melhoramentos, tendo em conta os resultados obtidos na fase anterior. Na primeira fase, após as perguntas iniciais e a observação do tutorial de funcionalidades, eram apresentados os quatro desafios que o utilizador ia livremente completando. No final eram realizadas as perguntas subjetivas e era pedido que fosse preenchido o questionário de experiência de jogo.

Para a segunda fase, foi acrescentado um tutorial interativo, em que, durante 2

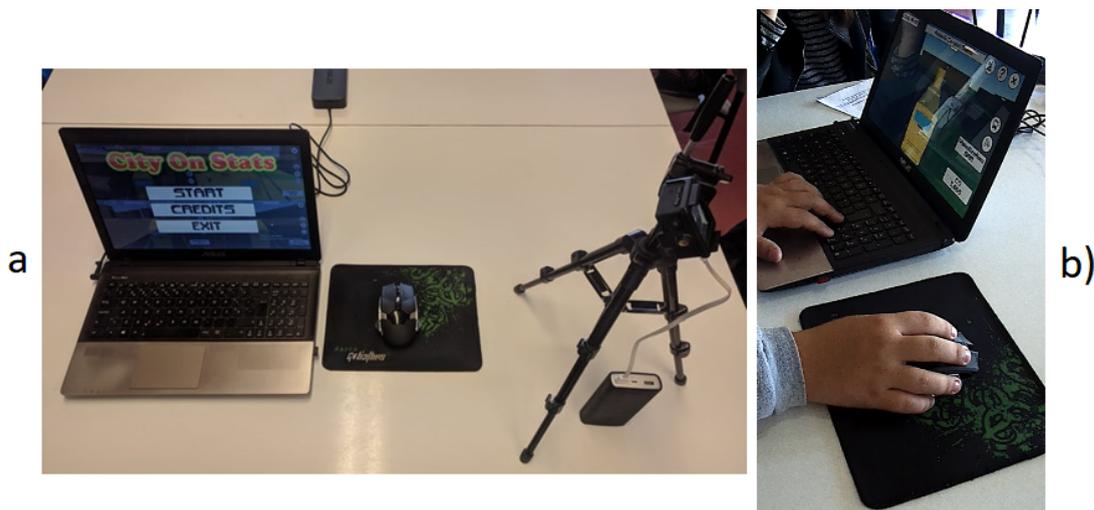


FIGURA 5.2: Cenário utilizado durante a realização dos testes. O cenário é constituído pelo portátil onde é executada a aplicação, acompanhado por um rato para maior comodidade do utilizador. É ainda colocado um tripé com uma câmara para capturar a interação do utilizador com a aplicação para análise posterior como é apresentado em a). Em b) encontra-se um quadro da gravação de um teste onde se pode ver o utilizador a interagir com a aplicação.

minutos o utilizador explorava a aplicação e a cada 30 segundos aparecia a explicação de uma funcionalidade e o botão que a ativava. Tendo o utilizador acesso ao tutorial, levantava-se o problema de não se conseguir avaliar o desenho da interface porque era apresentado logo a forma de aceder às funcionalidades e não seria possível avaliar se a interface da aplicação era autoexplicativa. De forma a resolver este problema, antes do início do tutorial interativo o utilizador era questionado sobre como iria proceder para ativar cada uma das funcionalidades. Para a segunda fase também foi desenvolvido um guião detalhado, de forma a garantir que todos os testes seriam feitos da mesma forma. A partir desta fase, foram realizados os testes a três pessoas, o utilizador que interagia com a aplicação, o facilitador que interagia com o utilizador guiando o teste e colocando os desafios, e o observador que operava a câmara, tirava notas, registava os tempos dos desafios e anotava as respostas das perguntas subjetivas.

Para a terceira fase, houve a necessidade de remover os botões do lado esquerdo, correspondentes à abertura do mapa e à alteração entre vista de autocarro e vista de drone. Observou-se durante os testes que a presença destes botões estava a confundir os utilizadores e eram botões dispensáveis, uma vez que existem as teclas para ativar estas funções e essas teclas estão listadas no menu de ajuda. Foi

ainda acrescentado uma funcionalidade, a conselho de alguns utilizadores, que faz com que se abra um painel com o gráfico da evolução da poluição ao longo do dia, assim que se carrega no placar, ficando visível durante 5 segundos, de forma ao utilizador ter tempo suficiente de visualizar o gráfico e ao mesmo tempo não sendo excessivamente longo, facilitando assim a leitura do gráfico.

### **5.1.2 Testes Finais**

Para avaliar e validar a aplicação, realizaram-se 30 testes com utilizadores enquadrados no público alvo e com uma duração dos testes geralmente entre 15 a 20 minutos. No Anexo D pode ser encontrado o guião e os questionários utilizados nestes testes. As idades dos utilizadores variaram entre os 17 e os 29 anos, apresentando uma média de idades de 21,9 anos com um desvio padrão de 2,96. As distribuições das idades podem ser observadas na Figura 5.3. Foram realizados 21 testes com utilizadores do sexo masculino e 9 testes com utilizadores do sexo feminino, resultando assim em 77% dos testes realizados com utilizadores do sexo masculino. Esta diferença no número de utilizadores do sexo masculino e feminino não constitui à partida uma limitação na amostra dos utilizadores, uma vez que em Portugal também se observa uma maior percentagem de utilizadores do sexo masculino a jogarem videojogos do que do sexo feminino [15], sendo o facto de jogar videojogos uma das características do público alvo. Dos 30 utilizadores, 17 enquadravam-se na área de informática, 12 na área dos negócios e um na área de letras. A ocupação profissional de 26 utilizadores era ser estudante sem outra ocupação profissional, de dois era ser estudante e programador, de um era ser investigador e de um era ser estudante e gestor de eventos.

Foi questionado aos utilizadores a sua experiência com dados georreferenciados, realidade virtual e jogos 3D. Estas três perguntas visavam identificar a experiência do utilizador com as três componentes principais do projeto. A experiência média dos utilizadores com dados georreferenciados foi pouca, com realidade virtual foi

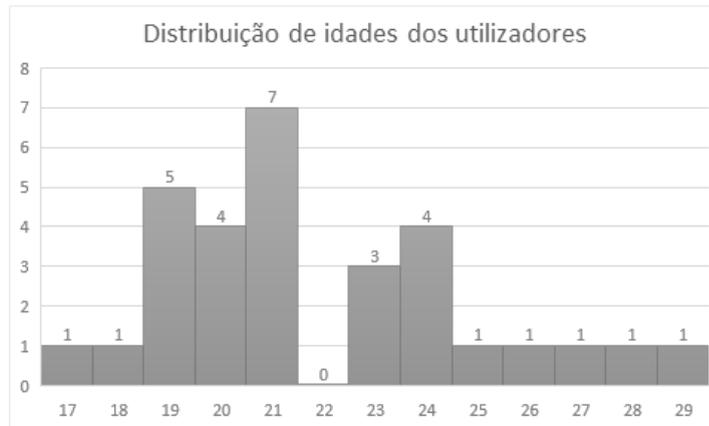


FIGURA 5.3: Histograma da distribuição das idades das pessoas que participaram nos testes. A idade média dos utilizadores foi de 21,9 anos, sendo 21 anos a moda de idades com sete pessoas.

moderada e com jogos 3D foi bastante. As distribuições da experiência dos utilizadores podem ser observadas na Figura 5.4.

A distribuição da experiência dos utilizadores com dados georreferenciados foi adequada, uma vez que foi possível analisar o impacto da aplicação com utilizadores com vários níveis de experiência com estes dados. O mesmo ocorreu com a distribuição da experiência dos utilizadores com realidade virtual. A distribuição da experiência dos utilizadores com jogos 3D foi a indicada para os testes, uma vez que se pretendia realizar a maioria dos testes com utilizadores com muita experiência, mas ao mesmo tempo ver como utilizadores com pouca experiência se comportavam a utilizar a aplicação.

## 5.2 Resultados

### 5.2.1 Avaliação da Interface

Depois de serem apresentadas as quatro funcionalidades principais da aplicação ao utilizador (os modos de visualização, o teletransporte, o gráfico com evolução da poluição e os autocarros guiados), foi-lhe questionado verbalmente como ele

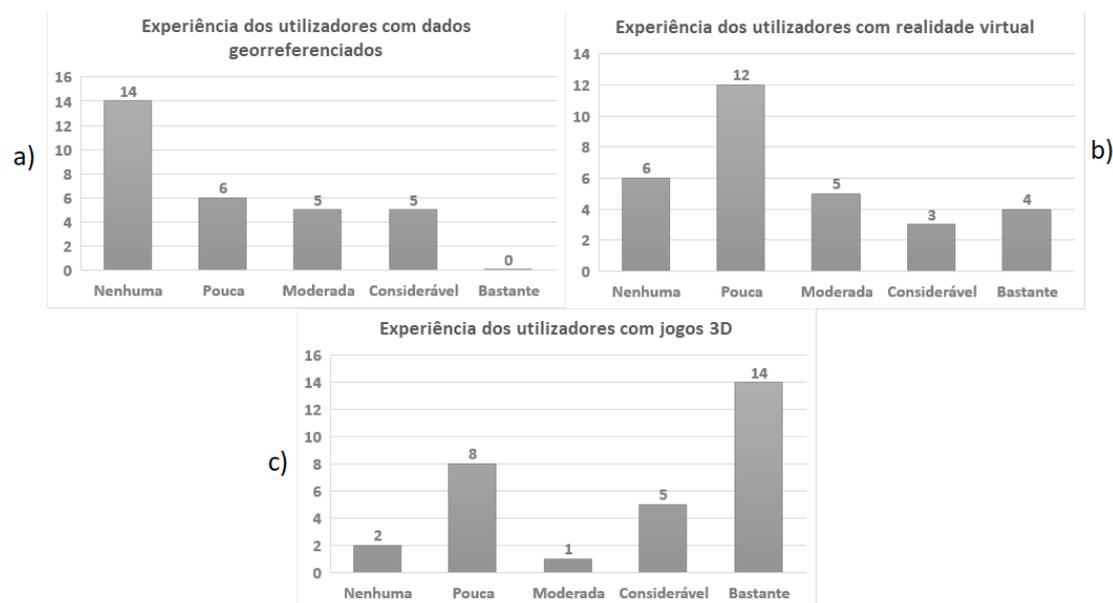


FIGURA 5.4: Histogramas da distribuição da experiência dos utilizadores. Em a) está representado um histograma da experiência dos utilizadores com dados georreferenciados, em b) um histograma da experiência dos utilizadores com realidade virtual e em c) um histograma da experiência dos utilizadores jogos 3D.

julgava que deveria proceder para aceder a essas funcionalidades, de forma a avaliar se o desenho funcional e da interface gráfica da aplicação eram intuitivos. Na Tabela 5.1 encontram-se os resultados dessa avaliação.

Os resultados são na sua maioria satisfatórios. A mudança dos modos de visualização, em que o utilizador deveria indicar a utilização do botão a dizer "visualization" e com o modo de visualização ativo, e a utilização da funcionalidade de teletransporte, em que o utilizador deveria indicar a utilização do botão com o símbolo de teletransporte, obtiveram uma percentagem de sucesso com 80 % e 74 % respetivamente.

O acesso aos autocarros guiados, onde o utilizador deveria indicar a utilização do botão com o símbolo de um autocarro, teve apenas 67 % de sucesso, no entanto, suspeita-se que a forma como tarefa foi colocada possa ter causado confusão no utilizador. Para esta tarefa, solicitou-se que o utilizador indicasse como acederia às rotas dos autocarros, levando-o a procurar um botão com um símbolo parecido a uma rota e não um autocarro, tendo-se assim obtido piores resultados.

A tarefa com piores resultados foi a de fazer aparecer o placar com o gráfico. Para

Porcentagem de sucesso nas tarefas de avaliação de interface			
Mudar modo de visualização	Teletransportar para outra localização	Fazer aparecer gráfico da evolução da poluição	Apanhar autocarro guiado
80 %	74 %	13 %	67 %

TABELA 5.1: Resultados da avaliação da interface.

Desafio	Tempo da Médio do Desafio com Sucesso	Taxa de Sucesso
Identificar foco da poluição	65 ± 47 segundos	80 %
Indicar concentração de CO numa rua específica	25 ± 10 segundos	100 %
Indicar hora do dia com maior concentração	31 ± 20 segundos	72 %
Indicar autocarro com a rota mais poluída	43 ± 30 segundos	92 %
Indicar concentração de NO <sub>2</sub> numa cidade específica usando o site	49 ± 16 segundos	87 %

TABELA 5.2: Taxa de sucesso, tempo médio necessário para realizar cada desafio com sucesso e desvio padrão do tempo médio.

esta tarefa, o utilizador deveria carregar no chão do mapa utilizando o botão do lado direito do rato. Esta informação era a única a ser transmitida ao utilizador durante o tutorial de funcionalidades, no entanto, a sobrecarga de informação para o utilizador fez com que apenas uma minoria se lembrasse dessa informação. Esta situação pode ser corrigida com a introdução de um botão que faz aparecer o placar à frente do autocarro, informando ainda que o utilizador também pode carregar no chão com o lado direito do rato para fazer aparecer o placar, de forma a incentivar os utilizadores a usarem o rato em vez do botão.

### 5.2.2 Tempo das Tarefas e em Cada Modo de Visualização

Durante a interação dos utilizadores com a aplicação foi cronometrado o tempo que cada utilizador levou para realizar cada desafio. Os desafios, o tempo para cada desafio e a taxa de sucesso encontram-se resumidos na Tabela 5.2.

Pode-se observar pelos resultados que os utilizadores conseguiram realizar os desafios na aplicação em média entre os 25 e os 65 segundos e com uma elevada taxa

de sucesso. O desafio realizado com maior taxa de sucesso e com um menor tempo foi o segundo, que consistia em identificar a concentração de monóxido de carbono numa rua específica utilizando o teletransporte, sendo esta a tarefa mais simples, tendo tido um tempo médio de 25 segundos com 100 % de sucesso.

O primeiro desafio era identificar o foco da poluição. Para tal o utilizador deveria explorar o mapa até encontrar esse foco de poluição, sendo auxiliado pelos modos de visualização. Pretendia-se com esta tarefa avaliar os modos de visualização, mas durante os testes de desenvolvimento observou-se que os utilizadores não exploravam os modos de visualização porque ainda não estavam confortáveis o suficiente com a aplicação e o modo de visualização simples era suficiente para realizar a tarefa, mesmo não sendo o mais eficaz, uma vez que os restantes modos acrescentavam componentes visuais aos componentes do modo de visualização simples, auxiliando o processo de análise dos dados. Por esta razão, foi necessário indicar ao utilizador que poderia explorar os diferentes modos de visualização para completar a tarefa. Esta tarefa apresentava uma exigência intermédia, no entanto, era uma tarefa que demorava tempo a ser realizada, como se pode observar nos resultados. O tempo médio necessário para a realização do primeiro desafio foi de 65 segundos, com uma taxa de sucesso de 80 %. Tendo em conta que para este desafio o utilizador tinha de explorar um mapa que não conhecia à procura da região mais poluída, pode-se considerar que o tempo para a realização da tarefa foi bom, com grande parte dos utilizadores a conseguirem completar o desafio.

O terceiro desafio consistia em indicar a hora do dia na qual foi observada um maior nível de poluição. Para tal o utilizador deveria utilizar o placar com o gráfico da evolução da poluição. Este desafio apresentou uma taxa de sucesso de 72 % com um tempo médio de 31 segundos. Este foi o desafio com a taxa de sucesso mais baixa devido a um problema de interface, uma vez que era solicitado ao utilizador que se lembrasse que ao carregar no chão com o lado direito do rato iria aparecer o gráfico, em vez de se utilizar um botão para o utilizador reconhecer a funcionalidade associada. No entanto, os utilizadores que se lembraram como se chamava o gráfico conseguiram rapidamente completar a tarefa.

O quarto desafio era identificar a rota de autocarro mais poluída. Para tal o utilizador deveria passar pelos três autocarros guiados e identificar qual o que percorria a rota mais poluída. A tarefa não era de resposta direta, no entanto obteve uma taxa de sucesso de 92% com um tempo médio de realização de 43 segundos, o que é bastante positivo. Com estes valores pode-se concluir que a utilização da funcionalidade dos autocarros guiados está bem desenhada e que é fácil através da aplicação ter uma visão geral da poluição que uma pessoa iria ser exposta ao circular numa determinada rota de autocarro, podendo ajudar os cidadãos a escolherem rotas de autocarro com menor exposição à poluição atmosférica.

O último desafio foi realizado fora da aplicação, numa página da internet onde eram utilizados métodos tradicionais de visualização de dados georreferenciados. No Anexo E estão disponíveis capturas de ecrã da página de internet utilizada. O objetivo deste desafio era identificar a poluição numa dada região, sendo que para isso o utilizador deveria procurar pelo nome da região numa caixa de pesquisa. A taxa de sucesso neste desafio foi de 87% com um tempo médio de 49 segundos. Com este desafio pretendia-se comparar o seu tempo de realização com o tempo do segundo desafio (indicar concentração de CO numa rua específica com um tempo médio de 25 segundos e taxa de sucesso de 100%), de forma a identificar se os utilizadores eram mais rápidos e obtinham os dados de forma mais eficaz na aplicação face às ferramentas de visualização de dados georreferenciados tradicionais que esta página usava. Conclui-se que o tempo necessário para a realização da mesma tarefa é menor na aplicação, nomeadamente 25 segundos na aplicação contra 49 segundos na página de internet. No entanto, não é possível concluir que a aplicação oferece um acesso mais eficaz aos dados de poluição porque verificou-se em diversos testes que o desenho da página apresenta problemas de usabilidade, tais como, a utilização de uma caixa de procura com o nome "Post-code", causando confusão, assim como uma legenda do mapa que muitas vezes não está visível enquanto o utilizador explora o mapa. No entanto, pode-se concluir que a aplicação apresenta resultados bastante competitivos face aos métodos tradicionais de visualização, tendo obtido maior taxa de sucesso na realização da tarefa.

De forma a fazer uma avaliação objetiva dos modos de visualização da aplicação, foi registada a informação do tempo que o utilizador esteve em cada modo num ficheiro de texto, durante a realização dos vários desafios. O tempo considerado neste ficheiro não incluía o tempo passado no tutorial das funcionalidades e na avaliação da interface, apenas começava a contar no início do tutorial interativo e até ao final do último desafio realizado na aplicação.

Os ficheiros revelaram que o tempo médio para realizar o total dos desafios na aplicação foi de seis minutos e 38 segundos, tendo sido a interação mais rápida de um minuto e 41 segundos e a mais longa de 13 minutos e 30 segundos. Reparou-se que o modo de visualização mais utilizado foi o simples, seguido do modo textura. No entanto, estes dois modos são os modos de visualização predefinidos do modo de condução livre e do modo de condução guiado, não se podendo assim concluir que estes são os modos de visualização preferidos dos utilizadores. No entanto, o modo de visualização textura apresenta um tempo de utilização considerável, uma vez que este é apenas predefinição do modo de condução guiado em que grande parte dos utilizadores só interagiram no último desafio da aplicação e que teve um tempo médio de 38 segundos. Dos restantes modos, o que apresentou melhores resultados foi o modo barra e o que apresentou piores resultados foi o modo cubos em altura. Toda esta informação pode ser consultada na Tabela 5.3.

Para tentar identificar quais os modos de visualização desenvolvidos que foram os preferidos dos utilizadores, será descartado o modo de visualização simples desta análise porque não apresenta o acréscimo de elementos gráficos dentro da cena e é o modo predefinido do modo de condução livre, tendo influenciado a sua utilização. Com esta consideração, os modos de visualização que os utilizadores mais utilizaram foram o modo textura e o modo barra. Mesmo sendo o modo textura o modo de visualização predefinido para o modo de condução guiado, este facto influencia pouco os resultados, uma vez que o modo de condução guiado é utilizado durante pouco tempo nos testes e o tempo de utilização do modo de visualização textura é bastante superior aos restantes. Este resultado demonstra que os utilizadores procuraram uma forma direta e simples de visualizar os dados que é conseguido nos modos de visualização através da utilização de um código de cores. Observou-se

Tempo utilizado pelo utilizador em cada modo de visualização [segundos]						
Simple	Textura	Barra	Cubos Coloridos	Nevoeiro	Chuva	Cubos em Altura
148 ± 81	123 ± 65	67 ± 97	22 ± 41	19 ± 29	11 ± 14	7 ± 13

TABELA 5.3: Tempo de utilização de cada modo de visualização por parte do utilizador, desde o momento em que se inicia o tutorial interativo até terminar o último desafio na aplicação.

que os utilizadores utilizaram mais os modos de visualização que utilizam o código de cores, levando a concluir que os utilizadores preferiram utilizar modos de visualização com código de cores para realizar os desafios propostos, fazendo com que os modos nevoeiro, chuva e cubos em altura tenham tido menor utilização . Os modos nevoeiro e chuva revelaram ser interessantes por parte dos utilizadores, no entanto, foram menos utilizados. Pensa-se que o motivo para os utilizadores terem utilizado pouco estes modos esteja relacionado com a eficácia na visualização dos dados, uma vez que não usam um código de cores direto a que os utilizadores estão habituados. Por outro lado, eram os que se pretendiam que trouxessem maior imersão, no entanto, seria necessário realizar testes focados na imersão dos modos de visualização para poder tirar conclusões sobre a sua capacidade de imersão.

### 5.2.3 Questionário da Experiência de Jogo

No final de cada teste foi solicitado ao utilizador que preenchesse um questionário QEJ (ver Secção 2.5) que continha o módulo em jogo e o módulo pós jogo do questionário da experiência de jogo, de forma a avaliar a experiência do utilizador com a aplicação. Na Tabela 5.4 estão apresentados os resultados do módulo em jogo e na Tabela 5.5 estão apresentados os resultados do módulo pós jogo.

Os resultados do módulo em jogo mostram que em média os utilizadores sentiram bastante imersão na aplicação e afeto positivo. Os utilizadores sentiram-se moderadamente competentes e a aplicação proporcionou uma sensação de fluxo moderado.

Competência	Imersão Sensorial e Imaginativa	Fluxo	Tensão / Aborrecimento	Desafio	Afeto Negativo	Afeto Positivo
2,47 ± 0,64	2,95 ± 0,57	1,68 ± 0,79	0,13 ± 0,26	1,38 ± 0,70	0,28 ± 0,36	2,77 ± 0,51

TABELA 5.4: Resultados do módulo em jogo do questionário de experiência de jogos (QEJ). Os valores apresentados são a média das respostas dos utilizadores. Os valores variavam entre 0 e 4, sendo os valores ótimos de 4 nas componentes positivas e de 0 nas componentes negativas.

As componentes com menor classificação foi a componente do desafio, em que os sentiram-se pouco desafiados, e o afeto negativo em que os utilizadores não sentiram, ou sentiram muito pouco afeto negativo o que é um resultado positivo para esta componente. Estes resultados são positivos, uma vez que demonstram que as componentes positivas apresentam um maior valor que as componentes negativas, demonstrando assim que a experiência em jogo dos utilizadores foi positiva.

Experiência Positiva	Experiência Negativa	Cansaço	Retorno à realidade
1,17 ± 0,59	0,20 ± 0,22	0,05 ± 0,20	0,50 ± 0,47

TABELA 5.5: Resultados do módulo pós jogo do questionário de experiência de jogos (QEJ). Os valores apresentados são a média das respostas dos utilizadores. De igual forma à Tabela 5.4, os valores variavam entre 0 e 4, sendo os valores ótimos de 4 nas componentes positivas e de 0 nas componentes negativas.

O módulo pós jogo apresentou resultados numéricos bastante baixos. Suspeita-se que isto deve-se ao facto de aplicação não se tratar de um verdadeiro jogo, limitando assim os resultados da experiência. Para ser um verdadeiro jogo seria necessário desenvolver uma história, colocando desafios ao longo da mesma, em que o utilizador teria de completá-los e tendo uma pontuação associada. Contudo, os resultados são globalmente positivos, uma vez que as componente negativas tiveram resultados bastante próximos de zero.

Analisando a experiência do utilizador, observa-se que os valores da experiência positiva são bastante superiores ao componente da experiência negativa, indicando assim que a experiência do utilizador na aplicação foi positiva. A maioria dos utilizadores não sentiu cansaço ao interagir com a aplicação e sentiu muito pouca dificuldade em regressar à realidade, indicando assim que a aplicação não consegue ser muito imersiva, possivelmente um resultado da inexistência de uma história,

como a encontrada na maioria dos jogos, para fazer o utilizador se envolver mais. No entanto, a capacidade de imersão da aplicação é aceitável, uma vez que está ao nível dos valores registado de outros jogo sem história desenvolvidos com fins académicos (e.g., [9]).

#### **5.2.4 Perguntas Subjetivas**

De forma a obter mais parâmetros de comparação entre a aplicação e métodos tradicionais de visualização, como o presente na página da internet usado nos testes, foram colocadas três perguntas subjetivas aos utilizadores. Na Tabela 5.6 pode-se ver a distribuição das respostas dos utilizadores às várias questões e no Anexo F pode-se ver os motivos dados pelos utilizadores para a escolha da opção mais escolhida para cada pergunta subjetiva.

A primeira pergunta visava perceber qual dos meios, aplicação ou página de internet, era melhor para o utilizador passar mais tempo a explorar. A escolha de 77 % dos utilizadores foi a aplicação, sendo que os motivos mais vezes referidos foram o facto da aplicação ser mais divertida e mais interativa.

A segunda pergunta pretendia identificar qual era a ferramenta que os utilizadores usariam para recolher dados. A escolha de 87 % dos utilizador foi a página de internet, tendo sido muitas vezes referido que esta seria mais rápida e direta a obter os dados do que a aplicação. Esta escolha já era esperada, uma vez que é o método que os utilizadores estão mais habituados a utilizar e apresenta-se de uma forma mais formal. Para além disso, aparenta ser mais rápido e direto na obtenção dos dados, no entanto, os resultados demonstram que a aplicação é competitiva para obter os dados de uma localização exata. Acredita-se que a escolha dos utilizadores pudesse mudar no caso da aplicação ter uma funcionalidade de vista aérea geral da poluição, similar ao da página de internet.

A última pergunta visava perceber se esta aplicação poderia vir um dia a servir para um público diferente, mais concretamente crianças. Foi pedido ao utilizador que identificasse qual a ferramenta que escolheria para transmitir conhecimento

Percebeu a aplicação		Usaria por mais tempo		Usaria para recolha de dados		Usaria para crianças	
Sim	Não	City On Stats	Site	City On Stats	Site	City On Stats	Site
90 %	10 %	77 %	23 %	13 %	87 %	93 %	7 %

TABELA 5.6: Resultados das perguntas subjetivas dos testes finais.

a crianças. A escolha de 93% dos utilizadores foi a aplicação, sendo que o motivo mais recorrente foi o facto de ser mais interativa, mais didática, era capaz de manter a criança a interagir por mais tempo e porque as crianças estão mais habituadas a jogos com componentes idênticas à aplicação.

# Capítulo 6

## Conclusões e Trabalho Futuro

### 6.1 Conclusões

A aplicação apresentada no seguimento deste projeto, City On Stats, trata-se de uma aplicação que visa representar dados georreferenciados referentes à poluição. Esta foi a solução proposta, no âmbito do projeto EXPOLIS, de uma ferramenta para visualização dos dados recolhidos pela rede de sensores móveis e representados num ambiente 3D.

Nas três áreas em que a aplicação se enquadra, foi possível tirar algumas conclusões chave. Na área da utilização de ambientes 3D em Big Data, os resultados obtidos são geralmente melhores que os métodos equivalentes tradicionais, demonstrando as vantagens da utilização de ambientes 3D, que geralmente são usados sobre a forma de realidade virtual, para estas tarefas. Em termos de monitorização da qualidade do ar, esta é geralmente baseada em estações fixas que têm menor área de atuação e apresentam maior custos de manutenção que a utilização de uma rede de sensores móveis. Por fim, na área da geração de terrenos 3D, geralmente utiliza-se a tecnologia de LIDAR para obter os dados para o modelo 3D, no entanto, esta tecnologia envolve custos acrescidos e requer algum tempo para se obter os dados, tendo sido encontrado no OpenStreetMap uma ferramenta gratuita com resultados interessantes.

A literatura revelou que as áreas referidas anteriormente são áreas em desenvolvimento e que as soluções propostas são geralmente específicas para um caso de uso. A necessidade de uma ferramenta capaz de gerar cidades em 3D tendo como base cidades reais, representar grandes quantidades de dados referentes à poluição, proporcionar ao utilizador uma sensação de imersão geralmente associada aos jogos 3D e sendo completamente gratuita, levou ao desenvolvimento do City On Stats, uma vez que não existia ferramentas capazes de responder a todos os requisitos do projeto em simultâneo.

Tendo em conta os requisitos para o projeto, o City On Stats apresenta dois modos principais, o modo de condução livre, em que o utilizador pode explorar livremente o mapa, e o modo de condução guiado, em que o utilizador entra num autocarro virtual que percorre uma rota realizada pelo autocarro real de forma automática (i.e., sem requerer controlos por parte do utilizador). A aplicação contém diversas funcionalidades, entre elas uma funcionalidade de teletransporte, um gráfico que pode ser invocado pelo utilizador e que apresenta a evolução da poluição ao longo do dia, um modo drone em que o utilizador pode voar pela cidade, assim como a funcionalidade mais importante e que apresentou maior peso neste trabalho, a presença de sete modos de visualização diferentes.

Os testes da aplicação revelaram que adultos e jovens adultos que tenham experiência com jogos 3D conseguem encontrar no City On Stats uma ferramenta divertida e imersiva de explorar a poluição da sua cidade. Os testes revelaram que a maioria das funcionalidades são intuitivas e de fácil acesso, proporcionando um bom desempenho à aplicação, conseguindo ser tão eficaz quanto os métodos tradicionais de visualização, como por exemplo os mapas com camadas e gráficos 2D.

A aplicação surpreendeu no tempo necessário para realizar tarefas similares às realizadas em métodos tradicionais. Nos testes foi comparado o tempo necessário para ver o nível de poluição numa dada localização esperando que o tempo necessário para realizar esta tarefa fosse muito inferior nos métodos tradicionais, uma vez que estes métodos estão feitos para este fim. No entanto, os resultados obtidos demonstram que os utilizadores precisaram de menos tempo para realizar a tarefa

na aplicação do que no meio tradicional. Por outro lado, a escolha preferencial dos utilizadores para tarefas de obtenção de dados de forma eficaz continua a ser os meios tradicionais, porque estes, de momento, ainda são aqueles que fornecem acesso mais eficaz aos dados.

Os modos de visualização demonstraram-se enquadrarem-se bem com a aplicação, tendo o modo textura e o modo barra destacando-se por serem os modos de visualização mais utilizados durante os testes, devido à sua facilidade de leitura sem comprometer a experiência de imersão do utilizador. O modo de visualização nevoeiro e chuva, sendo estes os modos de visualização a utilizarem elementos gráficos associados aos efeitos visuais da poluição do ar, revelaram não serem tão eficazes na visualização e na realização de tarefas face à utilização do código de cores tradicional.

Com os resultados obtidos, pode-se concluir que o projeto cumpre com os requisitos impostos. No entanto, para além das potencialidades que ferramentas como estas possam trazer, ainda existe muito trabalho de desenvolvimento a ser realizado, podendo o futuro destas ferramentas passa pela sua integração em ferramentas de localização e navegação existentes, tais como Google Maps e Google Street View.

## **6.2 Trabalho Futuro**

O City On Stats ainda precisa de mais funcionalidades e desenvolvimento para ser completamente integrado no projeto EXPOLIS. Algo que se pretendia com o City On Stats era a visualização em tempo real dos valores dos poluentes. Durante este trabalho não foi possível implementar tal funcionalidade porque toda a estrutura da rede móvel ainda se encontra em desenvolvimento à data da escrita deste documento. Futuramente pretende-se ter uma base de dados onde a rede de sensores móveis coloca os dados recolhidos, à qual o City On Stats se liga para obter os valores dos poluentes atualizados e, podendo assim, apresentar ao utilizador informação de qualidade do ar atualizada.

Um dos aspetos a explorar no futuro é a integração de relevo no mapa para facilitar o processo de reconhecimento dos locais e aumentar a interatividade. Para

concretizar esta funcionalidade, será necessário desenvolver uma metodologia para adquirir o mapa de relevo de forma fácil para o utilizador, evitar que eventuais erros nos dados de elevação criem erros na malha de polígonos e adaptar o modo de visualização por cubos para que estes acompanhem o relevo.

Será interessante estudar a utilização dos modos de visualização desenvolvidos para um fim que seja a de sensibilização em vez de obtenção e visualização de dados. Um caso específico a estudar seria o impacto que a ferramenta tem na sensibilização dos jovens. Neste caso será necessário acrescentar uma componente pedagógica à aplicação. Também seria interessante estudar se o tempo de utilização dos modos de visualização que recorrem ao código de cores (e.g. modo barra e modo textura) apresenta uma correlação com o tempo de realização de tarefas de visualização de dados.

É possível estudar no futuro a utilização da ferramenta como jogo. Para tal deverão ser adicionados desafios que serão classificados em função do tempo que o utilizador demorará a completá-los, assim como o nível de exposição aos poluentes. Seria interessante validar futuramente a utilização da aplicação para visualizar dados que não sejam referentes à poluição. Desta forma, o City On Stats deixaria de ser uma aplicação para visualizar apenas dados de poluentes para passar a ser uma aplicação para visualizar dados da cidade em geral.

# Appendices



## Apêndice A

### Anexo A - Estrutura do Ficheiro .xml dos Autocarros Guiados

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<BUSES>

  <color min="0,1,0" ave="1,1,0" max="1,0,0"/>

  <colorcode name="Example" min="0" ave="0.5" max="1"/>

  <bus name="Bus 1">
    <path>
      <node lat=" 38.715802000000004 " lon=" ="-9.23501 ">
        <gas name="Example" value="0.4"/>
      </node>
      <node lat="38.7158020001" lon="-9.23505">
        <gas name="Example" value="0.42"/>
      </node>

      ●
      ● (Inserir todos os nós desejados)
      ●

    </path>
  </bus>

  <bus name="Bus 2">

    ●
    ● (Inserir todos os nós desejados)
    ●

  </bus>

  ●
  ● (Inserir todos os autocarros desejados)
  ●

</BUSES>
```

FIGURA A.1: Estrutura do ficheiro Bus.xml.

# Apêndice B

## Anexo B - Códigos para usar as ferramentas do OpenStreetMap no Linux

```
bruno@Bruno-Ubuntu:~$ bin/osmosis --rx file="/home/bruno/Desktop/portugal-latest.osm.bz2" --bounding-box left=-9.237459 right=-9.120374 top=38.730000 bottom=38.705323 --wx file="portugal-route.osm"
```

FIGURA B.1: Código exemplo da utilização do Osmosis em Linux. O utilizador deve começar por dar o comando `--rx`", para ler o ficheiro, seguido do ficheiro `.BZ2` obtido do servidor Geofabrik. Deve dar de seguida as coordenadas dos limites da área a representar, seguido do comando `--wx`", para escrever o ficheiro, seguido do ficheiro de destino com a extensão `.osm`.

```
bruno@Bruno-Ubuntu:~$ ./osm2world.sh --input /home/bruno/Desktop/portugal-route2.osm --output /home/bruno/Desktop/portugal-route2.obj
```

FIGURA B.2: Código exemplo da utilização do OSM2World em Linux. Para tal, o utilizador deve executar o ficheiro `osm2world.sh`, passando-lhe o ficheiro `.osm` e o ficheiro destino com a extensão desejada, neste caso `.obj`.



## Apêndice C

### Anexo C - Fluxo do City On Stats

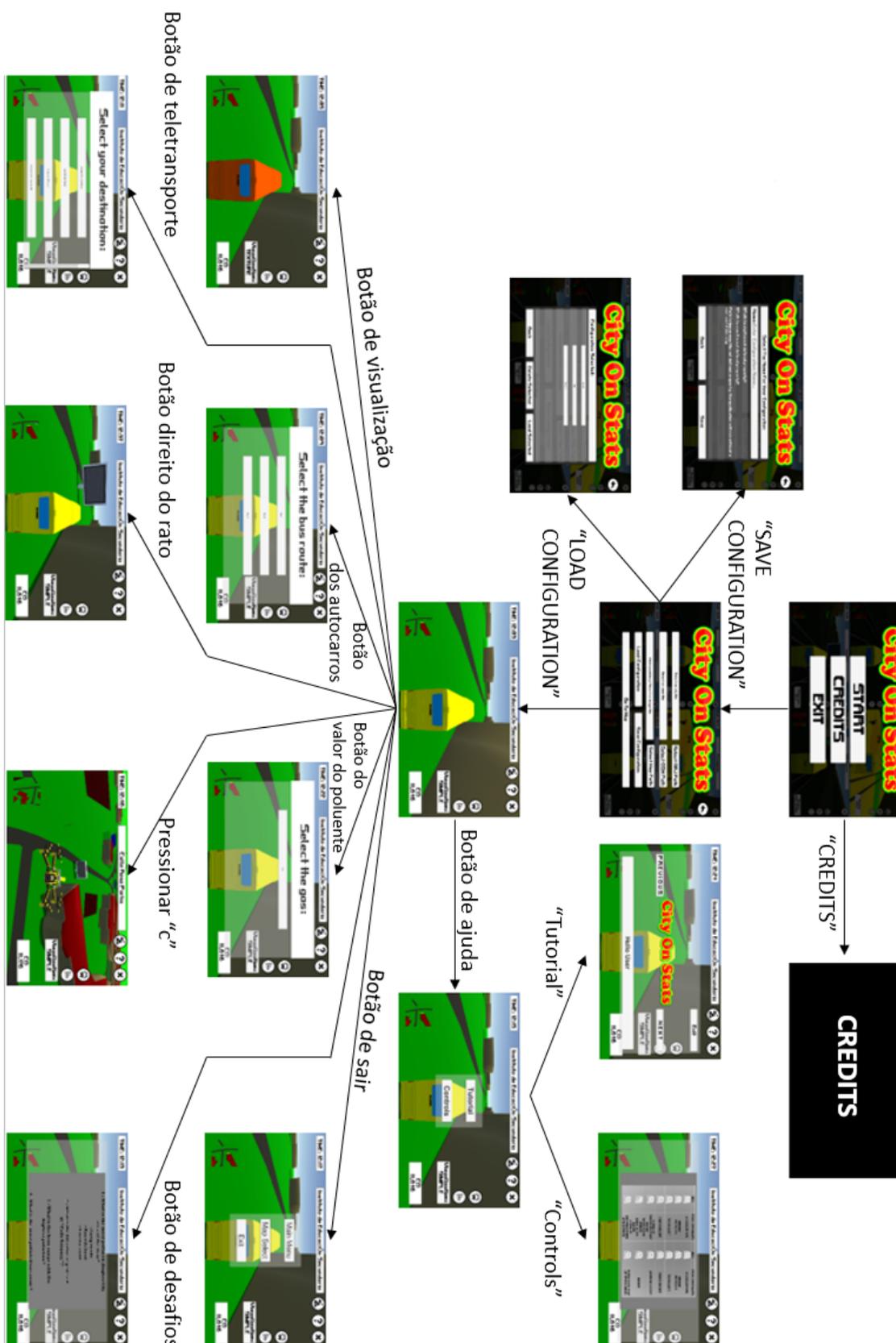


FIGURA C.1: Fluxo da aplicação.

## Apêndice D

### Anexo D - Guião e Questionário dos Testes Finais

## **Guião**

### **Primeira Interação**

- Boa tarde/Bom dia, poder-nos-ia ajudar a testar uma aplicação desenvolvida no âmbito de uma dissertação de mestrado?

### **Apresentação**

#### **FAZER PERGUNTAS BASES**

- A aplicação que irá experimentar, visa representar dados sobre as nossas cidades, nesta interação os dados correspondem à concentração de CO em ppm na atmosfera. A concentração de CO pode variar entre 0ppm numa região com uma boa qualidade, sendo que valor superiores a 15ppm correspondem a uma péssima qualidade do ar. De salientar que o que está a ser avaliado é a aplicação e não as suas skills, o que quer dizer que caso não consiga fazer algo, a culpa não será sua, mas sim da aplicação que não é intuitiva o suficiente.

#### **INICIAR O MAPA**

### **Tutorial**

- Agora poderá visualizar as funcionalidades presentes na aplicação através deste tutorial inicial.

#### **DEIXAR UTILIZADOR VER TUTORIAL ATÉ AO FIM**

### **Avaliação dos ícones**

- Agora que viu as funcionalidades disponíveis, sem carregar em nada, indique-me como é que procedia para mudar o modo de visualização? Como é que faria para escolher uma rota de autocarro? Como faria para se teletransportar para outra região do mapa? Por fim, lembra-se como é que fazia aparecer um gráfico com a evolução da poluição ao longo do dia?

### **Exploração da aplicação**

#### **CARREGAR “h” PARA INICIAR TUTORIAL INTERATIVO**

- Agora terá algum tempo para explorar a aplicação à sua vontade.

### **Desafios**

#### **2 MINUTOS PARA EXPLORAR AS 4 FUNCIONALIDADE E APARECEREM OS TUTORIAIS**

- Agora que já teve algum tempo para explorar a aplicação, consegue-me indicar a região mais poluída do mapa, sabendo que pode recorrer aos modos de visualização para ajudar.

- Imagine agora que queria saber o valor de poluição em “Calle Uruguay”

- Consegue-me dizer com base na aplicação qual a hora do dia mais poluída?

- Imaginando que queria evitar apanhar o autocarro que tem uma rota mais poluída, que autocarro é que evitava apanhar?

- Terminamos agora a interação com a aplicação, vou-lhe só pedir que me diga neste site, qual a poluição para "Barkingside".

- Muito obrigado, iremos só colocar agora umas questões sobre a sua experiência com este tipo de tecnologia e sobre a aplicação.

#### **FAZER PERGUNTAS DE EXPERIÊNCIA**

- Desde já pedimos desculpa pelo incomodo, mas agradecemos que respondesse a estas perguntas rápidas para ser possível classificar a sua experiência com a aplicação, enquanto eu vou falar com o meu colega sobre algum problema que a aplicação possa ter apresentado.

#### **DEIXAR RESPONDER AO QUESTIONÁRIO SOZINHO**

#### **Final da interação**

- Muito obrigado pela sua participação, a sua participação significa muito para nós.

## Teste

Nos tempos atuais, observa-se a imergência de novas tecnologias que conseguem facilitar tarefas que sem elas seriam mais complicadas ou trazer formas alternativas de realizar essas tarefas. A aplicação apresentada, é uma proposta de uma ferramenta de visualização de dados georreferenciados alternativa às existentes.

<b>Idade:</b>	<b>Género:</b>
<b>Curso:</b>	<b>Ocupação Profissional:</b>

**Classifique de 0 a 5:**

	<b>0</b> (Nenhuma)	<b>1</b> (Pouca)	<b>2</b> (Moderada)	<b>3</b> (Considerável)	<b>4</b> (Bastante)
<b>Experiência com dados georreferenciados</b>					
<b>Experiência com ambientes virtuais</b>					
<b>Experiência com jogos</b>					

**Desempenho (Interface e duração de cada tarefa)**

<b>Teletransporte</b>	<b>Modos</b>	<b>Gráfico</b>	<b>Autocarros</b>

<b>1ª Tarefa</b>	<b>2ª Tarefa</b>	<b>3ª Tarefa</b>	<b>4ª Tarefa</b>	<b>Site</b>

**Perguntas informais:**

Entendeu qual a finalidade desta aplicação? \_\_\_\_\_

Entre a aplicação e o site, qual a opção que utilizaria por mais tempo? E porquê?

---

---

---

---

---

**TESTE N°:** \_\_\_\_\_



## QUESTIONÁRIO DE EXPERIÊNCIA DE JOGO

	<b>0</b> <small>Nada</small>	<b>1</b> <small>Levemente</small>	<b>2</b> <small>Moderadamente</small>	<b>3</b> <small>Bastante</small>	<b>4</b> <small>Extremamente</small>
<b>Eu senti que poderia explorar coisas</b>					
<b>Eu senti-me bem</b>					
<b>Eu senti-me entediado(a)</b>					
<b>Eu achei impressionante</b>					
<b>Eu esqueci-me de tudo ao meu redor</b>					
<b>Eu senti-me frustrado(a)</b>					
<b>Eu achei cansativo</b>					
<b>Eu senti-me irritado(a)</b>					
<b>Eu senti-me hábil</b>					
<b>Eu senti-me completamente imerso(a)</b>					
<b>Eu senti-me satisfeito(a)</b>					
<b>Eu senti-me desafiado(a)</b>					
<b>Eu tive de colocar muito esforço nisto</b>					
<b>Eu senti-me bem</b>					
<b>Eu senti-me renovado(a)</b>					

**TESTE Nº: \_\_\_\_\_**

	<b>0</b> Nada	<b>1</b> Levemente	<b>2</b> Moderadamente	<b>3</b> Bastante	<b>4</b> Extremamente
<b>Eu senti-me mal</b>					
<b>Eu achei difícil voltar à realidade</b>					
<b>Eu senti-me culpado(a)</b>					
<b>Parecia uma vitória</b>					
<b>Eu achei um desperdício de tempo</b>					
<b>Eu senti-me energizado(a)</b>					
<b>Eu senti-me satisfeito(a)</b>					
<b>Eu senti-me desorientado(a)</b>					
<b>Eu senti-me exausto(a)</b>					
<b>Eu senti que poderia ter feito coisas mais úteis</b>					
<b>Senti-me poderoso(a)</b>					
<b>Eu senti-me cansado(a)</b>					
<b>Eu senti-me arrependido(a)</b>					
<b>Senti vergonha</b>					
<b>Senti orgulho</b>					
<b>Eu tive a sensação de que tinha voltado de uma jornada</b>					



## Apêndice E

Anexo E - Captura de ecrã da  
página de internet usada nos testes

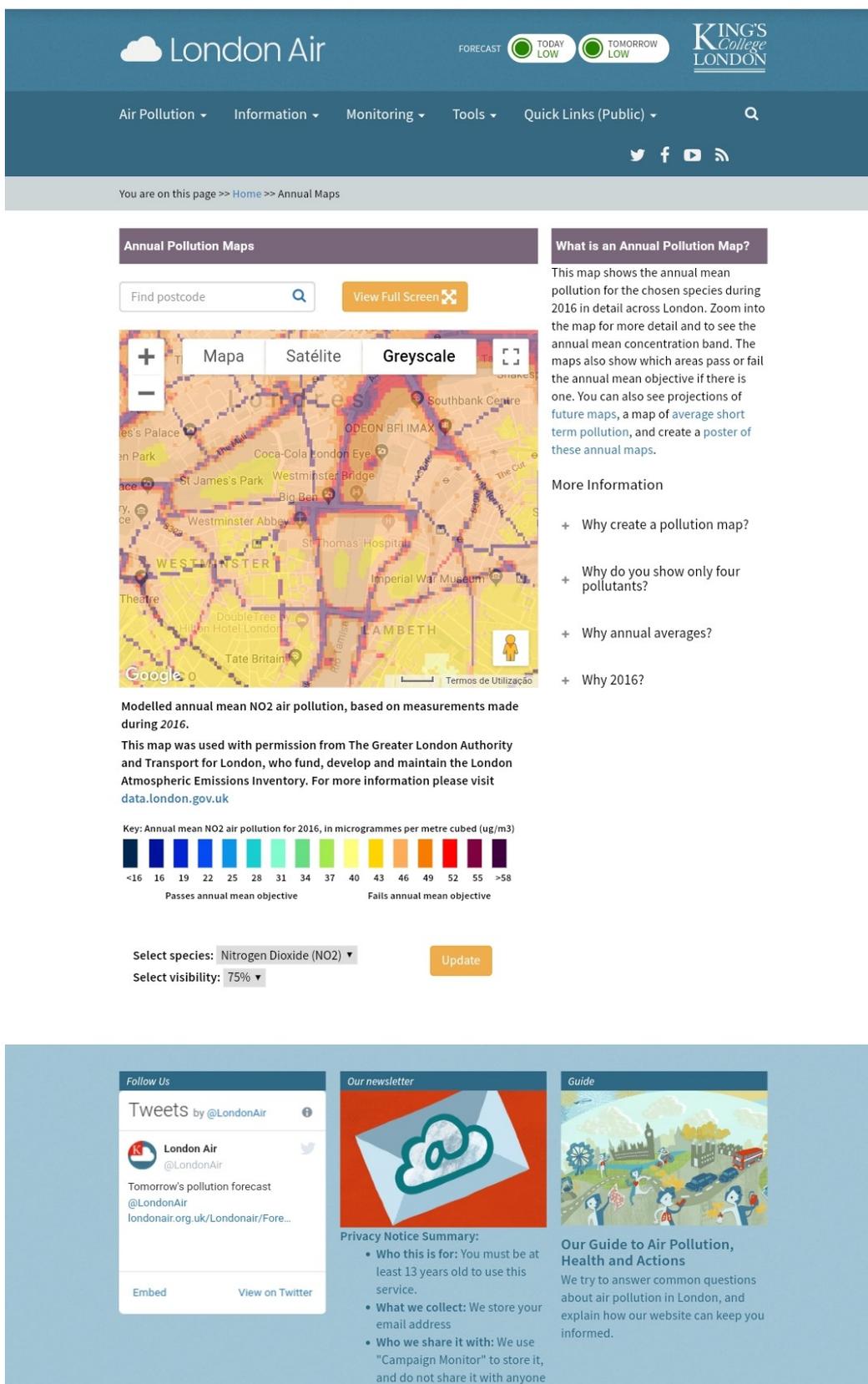


FIGURA E.1: Visão inicial quando o utilizado utiliza a página de internet.

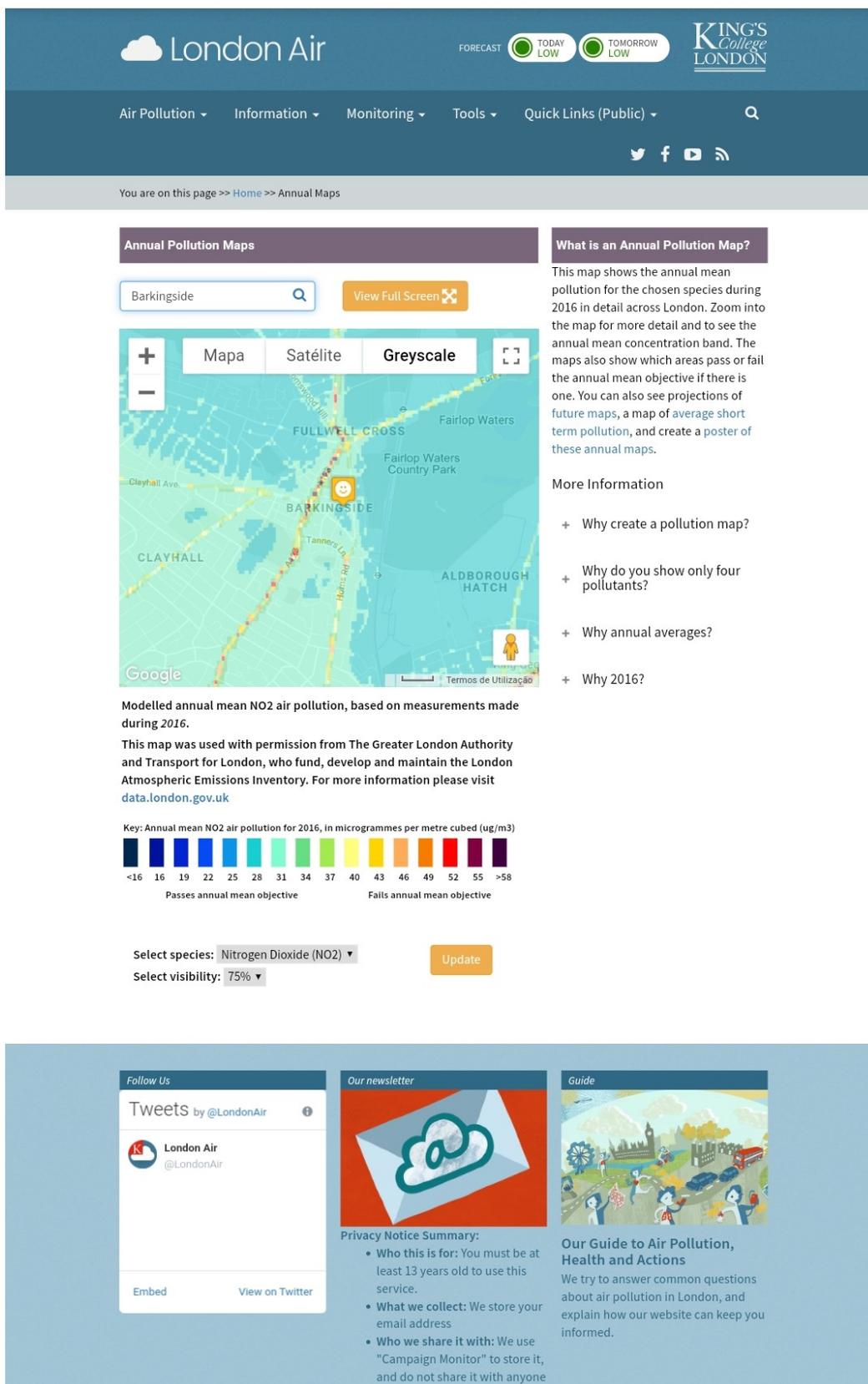


FIGURA E.2: Visão do utilizador quando encontra Barkingside na página de internet.



# Apêndice F

## Anexo F - Motivos para as respostas subjetivas

Motivos dados para as escolhas nas perguntas subjetivas					
Motivos para escolher a aplicação como opção para despendar mais tempo		Motivos para escolher a página de internet como opção para obter valores		Motivos para escolher a aplicação como opção para apresentar dados a crianças	
Razão	Nº de respostas	Razão	Nº de respostas	Razão	Nº de respostas
Mais divertido	9	Mais direto	11	Mais interativo	9
Mais interativo	8	Mais rápido	10	Mais didático	4
Mais interessante	3	Mais fácil	6	Maior capacidade de prender a atenção	4
Mais didática	2	Mais dados	2	Mais habituados	4
Mais coisas para fazer	1	Mais ferramentas	1	Mais fácil de perceber	3
Contem rotas de autocarros	1			Mais apelativo	2
Mais prático	1			Maior capacidade de exploração	1
				Gamificação	1
				Maior imersão	1
				Mais prático	1
				Mais intuitivo	1
				Mais divertido	1
				Mais dinâmico	1

TABELA F.1: Motivos dados para as escolhas nas perguntas subjetivas.



# Bibliografia

- [1] "air pollution in world: Real-time air quality index visual map". <http://aqicn.org/map/world>. Accessed: 2018-12-30.
- [2] "dce". <http://lpdv-en.spatialsuite.dk/spatialmap>. Accessed: 2018-12-30.
- [3] "google maps platform". <https://cloud.google.com/maps-platform>. Accessed: 2019-08-20.
- [4] "koala - gold coast". <http://www.sensors.net.au/>. Accessed: 2018-12-30.
- [5] "trax real-time data display". <http://meso1.chpc.utah.edu/mesotrax/>. Accessed: 2018-12-30.
- [6] "uataq home". <https://air.utah.edu/>. Accessed: 2018-12-30.
- [7] H. Aamer, R. Mumtaz, H. Anwar, and S. Poslad. A very low cost, open, wireless, internet of things (iot) air quality monitoring platform. In *Proceedings of the 2018 15th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT & IoT (HONET-ICT)*, pages 102–106. IEEE, 2018.
- [8] C. N. Alam, K. Manaf, A. R. Atmadja, and D. K. Aurum. Implementation of haversine formula for counting event visitor in the radius based on android application. In *Proceedings of the 2016 4th International Conference on Cyber and IT Service Management*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [9] J. E. Antunes. Gaze-directed gameplay in first person computer games. Master's thesis, ISCTE-IUL, Lisboa, 10 2017.

- [10] S. Arnab, S. de Freitas, F. Bellotti, T. Lim, S. Louchart, N. Suttie, R. Berta, and A. De Gloria. Pedagogy-driven design of serious games: An overall view on learning and game mechanics mapping, and cognition-based models. *Serious Games Institute*, 2012.
- [11] T. Avanesov, N. Louveton, R. McCall, V. Koenig, and M. Kracheel. Towards a simple city driving simulator based on speed dreams and osm. In *Adjunct Proceedings of 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, volume 2, pages 32–33. ACM SIGCHI, 2012.
- [12] S. Bilas and G. P. Games. The continuous world of dungeon siege. In *Proceedings of the Game Developers Conference*, volume 3, 2003.
- [13] S. M. Biondi, V. Catania, S. Monteleone, and C. Polito. Bus as a sensor: A mobile sensor nodes network for the air quality monitoring. In *Proceedings of the 2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pages 272–277. IEEE, 2017.
- [14] G. Buyuksaliha, S. Bayburta, A.P. Baskaracaa, H. Karimb, and A. A. Rahmanb. Calculating solar energy potential of buildings and visualization within unity 3d game engine. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4/W5), 2017.
- [15] Rúben de Melo Carvalho. Padrão de utilização de videojogos e sintomas de hiperatividade e déficit de atenção em adolescentes. Master’s thesis, 2015.
- [16] M. Chavent, A. Vanel, A. Tek, B. Levy, S. Robert, B. Raffin, and M. Baaden. Gpu-accelerated atom and dynamic bond visualization using hyperballs: A unified algorithm for balls, sticks, and hyperboloids. *Journal of computational chemistry*, 32(13):2924–2935, 2011.
- [17] J. Chen, H. Cai, A. P. Auchus, and D. H. Laidlaw. Effects of stereo and screen size on the legibility of three-dimensional streamtube visualization. *IEEE transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12):2130, 2012.

- [18] N. R. Chopde and M. Nichat. Landmark based shortest path detection by using a\* and haversine formula. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(2):298–302, 2013.
- [19] C. Correia, V. Martins, P. Santana, P. Mariano, A. Almeida, P. Baptista, and S.M. Almeida. Expolis – an air quality exposure sensing system aiming to change the way people move in cities. In Proceedings of the 2019 7th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology, 2019.
- [20] V. Cristie, M. Berger, P. Bus, A. Kumar, and B. Klein. Cityheat: visualizing cellular automata-based traffic heat in unity3d. In *SIGGRAPH Asia 2015 Visualization in High Performance Computing*, page 6. ACM, 2015.
- [21] C. Demiralp, C. D. Jackson, D. B. Karelitz, S. Zhang, and D. H. Laidlaw. Cave and fishtank virtual-reality displays: A qualitative and quantitative comparison. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, (3):323–330, 2006.
- [22] C. Donalek, S. G. Djorgovski, S. Davidoff, A. Cioc, A. Wang, G. Longo, J. S. Norris, J. Zhang, E. Lawler, S. Yeh, et al. Immersive and collaborative data visualization using virtual reality platforms. *arXiv preprint arXiv:1410.7670*, 2014.
- [23] M. R. Ensley. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, 37:85–104, 1995.
- [24] EYEmaginary. "car ai tutorial". <https://www.youtube.com/watch?v=o1XOUkYUDZU&list=PLB9LefPJI-5wH5VdLFPkWfnPjeI60Sys1>. Accessed: 2019-09-11.
- [25] G. Ferrand, J. English, and P. Irani. 3d visualization of astronomy data cubes using immersive displays. *arXiv preprint arXiv:1607.08874*, 2016.
- [26] T. Fong, C. Thorpe, and C. Baur. Active interfaces for vehicle teleoperation. *Robotics and Machine Perception Working Group Newsletter*, 10, 2001.

- [27] S. Fotouhi, M. H. Shirali-Shahreza, and A. Mohammadpour. A sensitivity analysis on the air quality index based on the pollutants concentrations in tehran. In *Proceedings of the 2018 8th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, pages 333–338. IEEE, 2018.
- [28] I. Georgieva and V. Ivanov. Air quality index evaluations for sofia city. In *Proceedings of the 17th IEEE International Conf. on Smart Technologies IEEE EUROCON 2017*, pages 6–8, 2017.
- [29] D. Hasenfratz, O. Saukh, C. Walser, C. Hueglin, M. Fierz, T. Arn, J. Beutel, and L. Thiele. Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes. *Pervasive and Mobile Computing*, 16:268–285, 2015.
- [30] Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, and James Collins. *Global positioning system: theory and practice*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [31] W. A. IJsselsteijn, Y. De Kort, and K. Poels. The game experience questionnaire. *Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven*, 2013.
- [32] W. A. IJsselsteijn and A. Haans. Touch, tools, and telepresence: embodiment in mediated environments. In *Human vision and electronic imaging XIII*, volume 6806, page 68060J. International Society for Optics and Photonics, 2008.
- [33] P. V. Ingole and Mr. M. K. Nichat. Landmark based shortest path detection by using dijkstra algorithm and haversine formula. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3:162–165, 2013.
- [34] B. Klein. Managing the scalability of visual exploration using game engines to analyse uhi scenarios. *Procedia Engineering*, 169:272–279, 2016.
- [35] G. Klein and L. Militello. Some guidelines for conducting a cognitive task analysis. In *Advances in human performance and cognitive engineering research*, pages 163–199. Emerald Group Publishing Limited, 2001.

- [36] N. Künzli, R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, F. Horak Jr, V. Puybonnieux-Textier, P. Quénel, et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a european assessment. *The Lancet*, 356(9232):795–801, 2000.
- [37] B. Laha, D. A. Bowman, and J. J. Socha. Effects of vr system fidelity on analyzing isosurface visualization of volume datasets. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, (4):513–522, 2014.
- [38] M. A. Lala, O. A. Adesina, A. S. Yusuff, L. A. Jimoda, and J. A. Sonibare. Air quality index pattern of criteria air pollutants around a haulage truck stop. *Petroleum & Coal*, 60(6), 2018.
- [39] Z. Lv, A. Tek, F. Da Silva, C. Empereur-Mot, M. Chavent, and M. Baaden. Game on, science-how video game technology may help biologists tackle visualization challenges. *PloS one*, 8(3):e57990, 2013.
- [40] R. Che Mat, A. R. M. Shariff, A. N. Zulkifli, M. S. M. Rahim, and M. H. Mahayudin. Using game engine for 3d terrain visualisation of gis data: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, volume 20, page 012037. IOP Publishing, 2014.
- [41] C. McGregor, B. Bonnis, B. Stanfield, and M. Stanfield. Integrating big data analytics, virtual reality, and ar/aug to support resilience assessment and development in tactical training. In *Proceedings of the 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, pages 1–7. IEEE, 2017.
- [42] T. Monawar, S. B. Mahmud, and A. Hira. Anti-theft vehicle tracking and regaining system with automatic police notifying using haversine formula. In *Proceedings of the 2017 4th International conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, pages 775–779. IEEE, 2017.
- [43] Code Monkey. "https://unitycodemonkey.com". <https://unitycodemonkey.com>. Accessed: 2019-09-11.

- [44] A. Moran, V. Gadepally, M. Hubbell, and J. Kepner. Improving big data visual analytics with interactive virtual reality. In *Proceedings of the 2015 IEEE high performance extreme computing conference (HPEC)*, pages 1–6. IEEE, 2015.
- [45] Jakob Nielsen and Rolf Molich. Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 249–256. ACM, 1990.
- [46] Air Now. Air quality index (aqi)—a guide to air quality and your health. *Air Now*, 2013.
- [47] R. Oates. "unite 2013 - gis terrain unity". <https://www.youtube.com/watch?v=VKWvAuTGvrQ>, Dec 2013. Accessed: 2018-12-30.
- [48] Interactive Software Federation of Europe. "isfe key facts 2019". <https://www.isfe.eu/wp-content/uploads/2019/08/ISFE-Key-Facts-Brochure-FINAL.pdf>.
- [49] P. O’Loughlin and G. Ross-Sampson. "unite europe 2017 - visualizing geospatial big data in unity". <https://www.youtube.com/watch?v=F6vtgGY-aLs>, Jul 2017. Accessed: 2018-12-30.
- [50] E. Olshannikova, A. Ometov, Y. Koucheryavy, and T. Olsson. Visualizing big data with augmented and virtual reality: challenges and research agenda. *Journal of Big Data*, 2(1):22, 2015.
- [51] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee. A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, 24(3):45–77, 2007.
- [52] J. Perhac, W. Zeng, S. Asada, S. M. Arisona, S. Schubiger, R. Burkhard, and B. Klein. Urban fusion: visualizing urban data fused with social feeds via a game engine. In *Proceedings of the 2017 21st international conference information visualisation (IV)*, pages 312–317. IEEE, 2017.

- [53] M. Pfeiffer, Ha. Kenngott, A. Preukschas, M. Huber, L. Bettscheider, B. Müller-Stich, and S. Speidel. Imhotep: virtual reality framework for surgical applications. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 13(5):741–748, 2018.
- [54] E. D. Ragan, R. Kopper, P. Schuchardt, and D. A. Bowman. Studying the effects of stereo, head tracking, and field of regard on a small-scale spatial judgment task. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(5):886–896, 2012.
- [55] A. Shelestov, A. Kolotii, M. Lavreniuk, K. Medyanovskyi, V. Vasiliev, T. Bulanaya, and I. Gomilko. Air quality monitoring in urban areas using in-situ and satellite data within era-planet project. In *Proceedings of the IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pages 1668–1671. IEEE, 2018.
- [56] M. Stefik, D. G. Bobrow, G. Foster, S. Lanning, and D. Tatar. Wysiwis revised: early experiences with multiuser interfaces. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 5(2):147–167, 1987.
- [57] I. Suryati, H. Khair, and D. Gusrianti. Analysis of air quality index distribution of pm 10 and o 3 concentrations in ambient air of medan city, indonesia. *Journal of Physical Science*, 29, 2018.
- [58] R. Szeliski and H.-Y. Shum. Creating full view panoramic image mosaics and environment maps. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 251–258. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997.
- [59] Russell H Taylor, Arianna Menciassi, Gabor Fichtinger, Paolo Fiorini, and Paolo Dario. Medical robotics and computer-integrated surgery. In *Springer handbook of robotics*, pages 1657–1684. Springer, 2016.
- [60] M. Teras and S. Raghunathan. Big data visualisation in immersive virtual reality environments: Embodied phenomenological perspectives to interaction. *ICTACT Journal on Soft Computing*, 5(4), 2015.

- [61] F. Tsuruta, N. J. de Carvalho, C. M. da Silva, and G. Arbilla. Air quality indexes in the city of rio de janeiro during the 2016 olympic and paralympic games. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(6):1291–1303, 2018.
- [62] Z. Wang and A. Zipf. Using openstreetmap data to generate building models with their inner structures for 3d maps. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4, 2017.
- [63] G. Wheeler, S. Deng, N. Toussaint, K. Pushparajah, J. A. Schnabel, J. M. Simpson, and A. Gomez. Virtual interaction and visualisation of 3d medical imaging data with vtk and unity. *Healthcare technology letters*, 5(5):148–153, 2018.
- [64] E. A. Widjojo, W. Chinthammit, and U. Engelke. Virtual reality-based human-data interaction. In *2017 International Symposium on Big Data Visual Analytics (BDVA)*, pages 1–6. IEEE, 2017.
- [65] T. Yang, B. C Wuensche, and R. J. Lobb. *Game engine support for terrain rendering in architectural design*. PhD thesis, University of Auckland, 2004.
- [66] S. Zhang, C. Demiralp, D. F. Keefe, M. DaSilva, D. H. Laidlaw, B. D. Greenberg, P. J. Basser, C. Pierpaoli, E. Antonio Chiocca, and T. S. Deisboeck. An immersive virtual environment for dt-mri volume visualization applications: a case study. In *Proceedings Visualization, 2001. VIS'01.*, pages 437–584. Ieee, 2001.