



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE
INFORMÁTICA

BRUNO MIGUEL CAMPOS PEREIRA
Licenciado em Engenharia Informática

ASSISTÊNCIA À NAVEGAÇÃO EM MUNDOS VIRTUAIS DE LARGA ESCALA

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA
Universidade NOVA de Lisboa
fevereiro, 2022



ASSISTÊNCIA À NAVEGAÇÃO EM MUNDOS VIRTUAIS DE LARGA ESCALA

BRUNO MIGUEL CAMPOS PEREIRA

Licenciado em Engenharia Informática

Orientador: Prof. Doutor Fernando Pedro Reino da Silva Birra
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Coorientador: Prof. Doutor João Carlos Gomes Moura Pires
Professor Associado, FCT-NOVA

Júri

Presidente: Prof. Doutor Artur Miguel de Andrade Vieira Dias
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Arguente: Prof. Doutor Frutuoso Gomes Mendes da Silva
Professor Auxiliar, Universidade da Beira Interior

Orientadores: Prof. Doutor Fernando Pedro Reino da Silva Birra
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Prof. Doutor João Carlos Gomes Moura Pires
Professor Associado, FCT-NOVA

Assistência à Navegação em Mundos Virtuais de Larga Escala

Copyright © Bruno Miguel Campos Pereira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero deixar uma palavra de agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, participaram e ajudaram-me neste importante marco na minha vida académica.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Prof.Fernando Birra e ao Prof.João Moura Pires por toda a ajuda durante a preparação e o desenvolvimento desta dissertação, mostrando sempre um grande espírito de ajuda e disponibilidade para orientarem o meu trabalho.

Gostaria também de deixar uma palavra de agradecimento à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pela disponibilização de um espaço e do material necessário para o desenvolvimento desta dissertação.

Quero agradecer à minha família pelos incentivos e por acompanharem e suportarem o meu percurso académico até aqui. Espero que estejam orgulhosos de mim. Junto com este agradecimento, por serem outra família, uma que escolhi, agradeço aos meus amigos, em especial ao grupo Funil, pelas horas de boa disposição e companhia ao longo destes já muitos anos, e sobretudo nestes últimos.

Agradeço também a dois amigos mais recentes, que trabalharam comigo durante estes meses e que tornaram todo este processo menos solitário. Obrigado César e Pedro.

Por último, mas não menos importante, quero deixar um obrigado especial à minha Catarina, por ter sido o meu apoio incondicional, o ouvido às minhas queixas e a melhor leitora e editora deste documento.

Muito obrigado a todos.

Resumo

Incêndios florestais são catástrofes naturais que todos os anos causam a perda de vidas humanas, produzem efeitos negativos no meio ambiente e destroem o património animal e florestal de vários territórios, incluindo o português.

Combater de forma eficaz este tipo de catástrofes requer uma manutenção preventiva das florestas bem como a delineação consciente de estratégias de combate e, durante o incêndio, uma tomada de decisões baseada em informação realista das frentes de fogo e dos meios de combate disponíveis num teatro de operações. Neste último ponto, o desenvolvimento de ferramentas de simulação de mundos virtuais que espelhem a zona de um teatro de operações e de sistemas de apoio à decisão para incêndios florestais é um contributo fundamental para a resposta a estas ocorrências.

A eficácia de uma aplicação que combine um Sistema de Apoio à Decisão para combate a incêndios florestais com mecanismos de Realidade Virtual é plenamente influenciada pela capacidade que um utilizador tem em movimentar-se e orientar-se no mundo virtual. É fundamental dotar este tipo de aplicações com mecanismos de assistência aos movimentos, orientação e à consciência espacial global dos utilizadores num mundo virtual.

O objetivo desta dissertação passa por desenvolver mecanismos de auxílio à navegação e orientação do utilizador num SAD para incêndios florestais bem como a avaliação dos mecanismos implementados com potenciais utilizadores finais do sistema.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Sistema de Apoio à Decisão, Conhecimento Espacial, Movimentação em RV, Orientação em RV, Unreal Engine, Dados Geoespaciais

Abstract

Forest fires are natural disasters that every year cause the loss of human lives, negatively affect the global environment and destroy the animal and forest habitats of several territories, including Portugal.

Effectively combating such disasters requires preventive maintenance of forests as well as conscious design of firefighting strategies and, during a fire, a decision making process based on realistic information of the fire fronts and available fighting means in a theater of operations. In this last point, the development of tools for simulating virtual worlds and decision support systems for forest fires are a key contribution to the response to these occurrences.

The effectiveness of an application that combines a Decision Support System for fighting forest fires with Virtual Reality mechanisms is fully influenced by the ability of a user to move and orient himself in the virtual world. It is essential to equip such applications with mechanisms to assist the movements, orientation and global spatial awareness of users in a virtual world that intends to mirror real areas.

The objective of this dissertation is to develop mechanisms to assist the user's navigation and orientation in a DSS for forest fires and the evaluation of the proposed objectives with potential users of the system.

Keywords: Virtual Reality, Decision Support Systems, Navigation in Virtual Worlds, Orientation, Spatial Knowledge, Unreal Engine, Geospatial Data

Índice

Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xix
Siglas	xxv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Contexto	2
1.3 Descrição do Problema	3
1.4 Contribuições do Trabalho	4
1.5 Estrutura do Documento	4
2 Estado da Arte	7
2.1 Navegação	7
2.2 Conhecimento Espacial	10
2.3 Realidade Virtual	11
2.4 Navegação em Realidade Virtual	12
2.5 Movimentação em Mundos Virtuais	14
2.5.1 Modo de Voo	14
2.5.2 Modo de Imersão no Terreno	16
2.6 Orientação em Mundos Virtuais	17
2.6.1 Orientação Indireta	18
2.6.2 Orientação Direta	19
2.6.3 Mecanismos de Orientação Dependentes do Objetivo	20
2.7 OpenStreetMap	24
2.7.1 Estrutura dos Dados	24
2.7.2 Alternativas	25
2.8 Base do trabalho	25
2.8.1 Geração de Estruturas Permanentes	25

2.8.2	Geração de Vegetação	26
2.8.3	Visualização e Interação com dados Geoespaciais	26
2.9	Unreal Engine	28
2.9.1	Blueprints	29
2.9.2	Suporte de Realidade Virtual	30
2.9.3	Widgets	30
3	Abordagem	33
3.1	Formas de Visualização do Cenário	33
3.2	Movimentação no Mundo Virtual	34
3.3	Assistência à Orientação	36
3.3.1	Orientação Indireta	37
3.3.2	Configuração de Marcadores	38
3.3.3	Pontos Cardeais e Minimapa	38
3.3.4	Orientação Direta	39
3.4	Processamento de dados do OpenStreetMap	39
3.5	Avaliação	40
4	Implementação	41
4.1	Processamento de Dados	41
4.1.1	Extração de Dados do OSM	41
4.1.2	Modelo de Dados	42
4.2	Assistência à Orientação Indireta	42
4.2.1	Marcadores de Localizações	43
4.2.2	Configuração de Marcadores	43
4.2.3	Solução para Sobreposição de Marcadores	47
4.2.4	Deteção de Colisões de Visualização	53
4.2.5	Marcadores de Estradas	56
4.3	Assistência à Orientação Direta	59
4.3.1	Pesquisa de Localizações	61
4.3.2	Movimentação Automática para um Marcador	61
4.3.3	Definição de Pontos de Interesse	64
4.3.4	Orientação para Pontos Fora do Campo de Visão	65
4.4	Movimentação pelo Mundo	69
4.4.1	Direção do Movimento	69
4.4.2	Velocidade	69
4.4.3	Visão Focada	71
5	Avaliação	73
5.1	Introdução	73
5.2	Procedimento Experimental com utilizadores	74
5.2.1	Participantes	75

5.3	Avaliação dos Mecanismos de Movimentação	75
5.3.1	Plano de Tarefas	75
5.3.2	Resultados	77
5.4	Avaliação dos Mecanismos de Orientação	79
5.4.1	Plano de Tarefas - Orientação Indireta	79
5.4.2	Resultados	79
5.4.3	Plano de Tarefas - Orientação Direta	80
5.4.4	Resultados	81
5.5	Desempenho Computacional dos Marcadores	82
5.6	Conclusões	88
6	Conclusão e Trabalho Futuro	91
	Bibliografia	93
	Apêndices	
A	Questionários	101
A.1	Questionário Q1	101
A.2	Questionário Q2	101
A.3	Questionário Q4	101
A.4	Questionário Q5	102
A.5	Questionário Q6	102
A.6	Questionário Q7	102
A	Sugestões/Observações após a sessão experimental	103
A.1	Comentários aos Mecanismos de movimentação	103
A.2	Comentários à Orientação Indireta	104
A.3	Comentários à Orientação Direta	105
	Anexos	
I	Questionários de Presença I	107
II	Questionário de Presença II	109

Índice de Figuras

2.1	Esquemática dos tipos de conhecimento espacial (retirado de [58]). . . .	10
2.2	Categorização das componentes de uma técnica de navegação (retirado de [9]).	13
2.3	Comparação da utilização de sistemas 3DoF e 6DoF (retirado de [18]). . .	14
2.4	Técnicas de navegação. a) <i>One-Handed Flying</i> . b) <i>Two-Handed Flying</i> . c) <i>Teleportation</i> . Esquema adaptado de [21].	15
2.5	a) Visualização sem alterações de FOV. b) Redução do FOV para 90° (retirado de [23]).	16
2.6	À esquerda: Seleção do destino sem orientação (mantém-se a mesma). À direita: Seleção do destino e especificação da orientação final [56].	16
2.7	Captura de ecrã do <i>Google Earth</i> onde é possível visualizar alguns elementos que servem de apoio à orientação que poderão ser transportados para o SAD em RV. (modelos 3D de edifícios, identificação do nome das zonas, delimitação dos espaços verdes, entre outros)	19
2.8	Exemplo de representação de técnicas de orientação independentes do ambiente. Minimapa (esquerda). Indicação de Caminhos (centro). Mapa de Calor (direita) (retirado de [1]).	20
2.9	Exemplo de representação de um mecanismo de orientação dependente do objetivo onde a seta contém o nome de um ponto de referência e a distância entre este e o utilizador (retirado de [10]).	21
2.10	Exemplo de representação da técnica <i>Halo</i> num contexto 2D. (retirado de [7]).	22
2.11	Esquema da técnica 3DWedge [19].	23
2.12	Exemplo de estruturas edifícios, estradas e linhas de comunicação geradas (retirado de [36]).	26
2.13	Exemplo de vegetação gerada proceduralmente e sinalética de trânsito, retirado de [36]	27
2.14	Interface da Bússola implementada no trabalho anterior (retirado de [11]).	27
2.15	Interface do Minimapa implementado no trabalho anterior (retirado de [11]).	28
2.16	Diagrama de Classes base incluídas na API do UE [68].	29
2.17	Exemplo de edição de um Widget no modo Designer.	31

3.1	Formas de vista de um cenário 3D: Mapa, Voo e Imerso no Terreno (exemplo retirado de [71]).	34
3.2	Exemplo de uma grelha estática usada como atenuação de efeitos de <i>motion sickness</i> (retirado de [16]).	36
3.3	Exemplo de Orientação Indireta, também chamado de Marcadores (retirado do Google Earth).	37
4.1	Modelo de Dados de suporte a informação geográfica (retirado de [36]). . .	42
4.2	Interface de configuração de um tipo de marcador colocado no mundo. . .	44
4.3	Diagrama de classes usadas no processo de configuração e geração de marcadores.	45
4.4	Editor Visual da classe <i>WidgetMarker</i>	46
4.5	Demonstração da primeira tentativa de disposição de marcadores.	47
4.6	Exemplo de sobreposição visual de marcadores.	47
4.7	Exemplo de pontos agrupados, após a execução do algoritmo de <i>clustering</i> (esquema adaptado de [14]).	49
4.8	Exemplo dos índices, relativos às distâncias de visualização, atribuídos aos pontos dentro de um grupo.	50
4.9	Resultado dos marcadores dispostos no modo de visualização em mapa. A esta distância, só estão visíveis os pontos <i>centroid</i> dos clusters.	51
4.10	Resultado dos marcadores dispostos na modo de visualização em voo. . . .	51
4.11	Resultado dos marcadores dispostos em três níveis de zoom diferentes. À medida que nos aproximamos de um local são mostrados mais marcadores nas redondezas de um ponto <i>centroid</i>	52
4.12	Exemplo de sobreposição visual de marcadores, quando vistos de um ângulo em relação ao solo inferior.	53
4.13	Projeção dos dois raios a partir de um marcador, vistos de cima. A vermelho o raio até à câmara e a verde o projetado a partir do marcador em sentido oposto.	54
4.14	<i>RayCast</i> projetado em forma de caixa.	55
4.15	Exemplo de sobreposição visual de marcadores e dos raios detetores de colisões. O olho representa a câmara.	55
4.16	Disposição de marcadores sem sobreposições, após a deteção de colisões. . .	56
4.17	Marcação quilométrica de vias (retirado de [33]).	57
4.18	Primeira tentativa de marcadores de estradas. Existem demasiados pontos e estão muito próximos uns dos outros. Neste exemplo, só estão definidos pontos de estradas municipais (M) e restantes estradas (N).	58
4.19	Disposição dos marcadores de estrada sem aglomerações.	58
4.20	Distância de visualização relativa em função do índice do marcador na estrada.	59
4.21	Marcadores de estrada em vários níveis de altura.	60
4.22	Interface de Pesquisa de Marcadores.	62
4.23	Sugestões de pesquisa, após inserção na caixa de texto.	63

4.24	Cálculo da posição final da animação.	64
4.25	Posição e Rotação final após a animação de deslocamento, neste caso, para a localidade de Amêndoa.	65
4.26	Definição de um ponto de interesse e escolha da respetiva cor.	66
4.27	Posição e Rotação final após a animação de deslocamento, neste caso, para a localidade de Amêndoa.	67
4.28	Diferenças de larguras nas pirâmides. O ponto de interesse a azul tem uma base maior por se encontrar mais perto.	68
4.29	Cálculo da velocidade de voo em função da altura.	70
4.30	Efeito de Visão Focada Implementado.	71
4.31	Texturas usadas na implementação do efeito de visão focada. À esquerda a textura da grelha do horizonte simulado e, à direita, a textura usada para mapear a opacidade do campo de visão.	72
5.1	Caracterização dos participantes.	75
5.2	Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de movimentação.	76
5.3	Dificuldade de aprendizagem e execução das técnicas e preferência geral dos utilizadores.	78
5.4	Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação indireta.	79
5.5	Análise das dificuldades de leitura e perceção da posição geográfica dos marcadores.	80
5.6	Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.	81
5.7	Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.	83
5.8	Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.	83
5.9	Tempo de renderização de cada <i>frame</i> , sem marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 2.84ms.	85
5.10	Tempo de renderização de cada <i>frame</i> , com 200 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 24ms.	86
5.11	Impacto da função <i>CheckCollisions</i> (a amarelo) no processamento total das frames.	86
5.12	Tempo de renderização de cada <i>frame</i> , com 400 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 29.25ms.	87
5.13	Tempo de renderização de cada <i>frame</i> , com 800 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 36.83ms.	87
5.14	Análise aos sintomas registados pelos participantes, após a sessão de testes.	89
A.1	Sugestões/Observações sobre os mecanismos de movimentação em modo voo.	103
A.2	Sugestões/Observações sobre os mecanismos de orientação indireta (marcadores de localidades e estradas.	104
A.3	Sugestões/Observações sobre os mecanismos de orientação direta.	105

Índice de Tabelas

2.1	Comparação da importância dada a cada elemento do mapa cognitivo espacial, de acordo com alguns testes com vários indivíduos (adaptado de [3]).	9
3.1	Propriedades necessárias de cada tipo de marcador. As propriedades que contenham (DSL) deverão estar definidas na DSL de pontos geográficos.	38
4.1	Análise dos principais pontos geográficos de interesse na região de Mação, exportados do OSM	43
5.1	Nível de completude de uma tarefa, adaptado de [11].	75

Índice de Listagens

1	Cálculo da largura da base F em função do número de pontos seleccionados.	23
2	Exemplo de um Nó com etiquetas (<i>name</i> e <i>traffic_sign</i>) personalizadas exportado do OSM	25

Siglas

3DoF	<i>3 Degrees of Freedom</i>
6DoF	<i>6 Degrees of Freedom</i>
FOV	<i>Field of View</i>
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library
HMD	<i>Head-mounted Display</i>
OHF	<i>One-Handed Flying</i>
OSM	OpenStreetMap
OSRM	Open Source Routing Machine
RV	Realidade Virtual
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
THF	<i>Two-Handed Flying</i>
UE4	Unreal Engine 4

Introdução

1.1 Motivação

Desastres naturais como incêndios florestais são fenómenos devastadores em grande parte do planeta. Todos os anos este tipo de catástrofes resultam em consequências graves como a perda de vidas humanas e a destruição do património florestal, animal e infraestruturas e habitações de muitos países. Tais fenómenos resultam em elevados custos económicos e ambientais para as nações, sendo este último um impacto extremamente negativo que vai além-fronteiras dos territórios afectados.

Em setembro de 2019 deu-se início a uma série de grandes incêndios florestais na Austrália, que se estenderam durante um período de sete meses. Estima-se que terá sido o pior registo de incêndios florestais na história do país e que a área ardida terá ultrapassado os 17 milhões de hectares, o que corresponde a uma área consideravelmente maior (praticamente o dobro) que todo o território português [59]. Relatórios da organização *World Wide Fund for Nature Australia* estimam cerca de três mil milhões de animais afetados pelo desastre [45].

Este é um dos exemplos mais recentes que refletem a destruição que incêndios florestais de grandes dimensões podem originar. No entanto, em Portugal, basta recuar quatro anos para se dar conta do pior registo da última década de área ardida. Em 2017, estima-se que arderam cerca de 540 000 hectares de povoamentos florestais, matas e zonas agrícolas [32].

Combater de forma eficaz este tipo de catástrofes requer uma manutenção preventiva das florestas bem como a delimitação consciente de estratégias de combate e, durante o incêndio, uma tomada de decisões baseada em informação realista das frentes de fogo e dos meios de combate disponíveis num teatro de operações.

Considerando este segundo ponto, o desenvolvimento de Sistemas de Suporte à Decisão (SAD) para combate a incêndios florestais é fundamental para que as autoridades

possam intervir de forma eficaz [47]. A estes sistemas, que tipicamente apresentam aos seus utilizadores cenários 2D, é possível acrescentar mecanismos de visualização e interação com um mundo tridimensional e em Realidade Virtual (RV). Tais formas de visualização podem oferecer outras perspectivas das zonas florestais e urbanas de uma ocorrência, dando ao utilizador uma maior imersão no teatro de operações bem como a hipótese de interagir de uma forma mais realista e intuitiva com objetos e recursos ao seu dispor para o combate. Para além destes aspetos, um SAD em 3D e em RV oferece as vantagens claras de complementar a imagem do mundo que o utilizador tem ao seu dispor com elementos que demonstrem informações importantes (que não são possíveis mostrar a um agente em situações reais), poder ter imagens e perspectivas diferentes do mundo com muito mais rapidez, bem como a capacidade de simular diferentes tipos de cenários, algo tipicamente útil em contexto de treino de agentes.

A eficácia de uma aplicação que combine um SAD com mecanismos de RV é plenamente influenciada pela capacidade que um utilizador tem a movimentar-se e orientar-se no mundo virtual. Em comparação com um contexto físico, um utilizador de um sistema em RV não tem ao seu dispor a simulação de todos os sentidos (geralmente menos sensações e pistas visuais, auditivas e de locomoção) o que facilmente pode resultar em desorientação e perda da consciência espacial necessária para realizar uma tarefa num mundo virtual [70]. Posto isto, é fundamental dotar estas aplicações com mecanismos de assistência aos movimentos, orientação e à consciência espacial e geográfica dos utilizadores.

1.2 Contexto

A presente dissertação insere-se num projeto de investigação em curso do grupo SIMORENA (Sistemas Inteligentes para Monitorização de Recursos Naturais e Cidades). O objetivo do projeto consiste na criação de um SAD direccionado a auxiliar equipas de emergência no combate a diversas ocorrências, sejam elas inundações, incêndios ou outro tipo de catástrofes naturais. Na presente dissertação, o foco principal é suportar o combate aos incêndios florestais no território português, mais concretamente nas zonas florestais dos concelhos de Sintra e Mação.

Para isso, estas zonas encontram-se modeladas num mundo virtual, com recurso a informação georreferenciada proveniente de várias fontes de dados em Sistemas de Informação Geográfica. Neste momento, as simulações estão dotadas com a modelação de estruturas permanentes (como estradas, habitações e outros edifícios) e a modelação automática de vegetação. Ambos os trabalhos surgem de dissertações anteriores, realizadas por outros alunos de mestrado.

Aliada a este protótipo de um SAD está a visualização dos cenários e a navegação nos mesmos com recurso à Realidade Virtual, quer estes sejam para treino e preparação de agentes ou em tempo real. O principal objetivo é dar ao utilizador diferentes perspectivas

do local da ocorrência bem como um elevado nível de imersão no teatro de operações, oferecendo um conjunto de visões e interpretações que em 2D não seriam possíveis.

1.3 Descrição do Problema

O problema da navegação e orientação em mundos virtuais não é uma questão particularmente recente na comunidade científica. É consensual que, para os seres humanos, a navegação em ambientes não familiares, como o caso de uma floresta, é uma tarefa naturalmente difícil, quer estes ambientes sejam reais ou representados virtualmente [73]. Em ambientes urbanos, para manter a orientação navegacional, a espécie humana tipicamente apoia-se em guias como mapas, estradas e sinalização nas ruas. Em ambientes como uma floresta, estas guias correm o risco de ser insuficientes [54]. Mesmo usando mapas bidimensionais de um mundo, existe sempre a possibilidade de induzir o utilizador em erro, ou deste não o interpretar corretamente, o que leva a problemas de orientação e navegação [74].

Torna-se fundamental dotar este tipo de aplicações com mecanismos de assistência que visem melhorar a adaptação dos utilizadores à navegação em mundos virtuais. Num contexto maioritariamente florestal, dada a densidade da vegetação, é ainda mais importante que o utilizador tenha conhecimento espacial do mundo que o rodeia e noção de como navegar pelo cenário.

No caso da navegação em realidade virtual, existem ainda outros problemas subjacentes aos movimentos e conforto de utilização da aplicação. Tipicamente estas dificuldades estão relacionadas com a falta de informações e pistas sensoriais (quer sejam visuais ou auditivas) em comparação com experiências na realidade física. Para além disso, os utilizadores são por vezes deparados com movimentos ou ações numa realidade virtual que não se espelham na realidade física (por exemplo a velocidade do movimento ou rotação do campo de visão podem ser consideravelmente diferentes) [70]. Estes e outros fatores tendem a levar utilizadores de aplicações em RV à desorientação e enjoo (muitas vezes denominada por *motion sickness* [8]), tornando a experiência de navegação globalmente insatisfatória. É necessário que os mecanismos de assistência aos movimentos e orientação tenham em conta estas dificuldades que um utilizador normalmente revela quando está num ambiente em RV.

Em suma, o objetivo desta dissertação passa por complementar cenários virtuais, de uma ocorrência de um incêndio florestal, com mecanismos de assistência à orientação e movimentação no mundo e, para além de assistências diretas a estes dois aspetos, as contribuições desta dissertação poderão também incluir a ampliação do mundo com outros elementos que possam contribuir para melhorar a eficácia da navegação, como por exemplo identificação de sítios e subsectores do terreno de combate ao incêndio e identificação de habitações e postos de abastecimento de água. Apesar de inicialmente serem inseridos num SAD para incêndios florestais, os mecanismos de orientação propostos

nesta dissertação visam também ser genéricos o suficiente para poderem ser alargados a outros contextos em que seja necessário complementar um mundo virtual com pistas visuais georeferenciadas.

Sendo este projeto uma extensão do que já foi feito, o ambiente de desenvolvimento será o mesmo das dissertações anteriores e terá como base o motor de jogos Unreal Engine 4. O acesso a dados georreferenciados será feito tirando partido de fontes públicas, como o caso do OpenStreetMap [48], que mais à frente será detalhado.

1.4 Contribuições do Trabalho

No final desta dissertação, espera-se que esta contribua fundamentalmente para melhorar a experiência de utilização do SAD para incêndios florestais, cujo mundo virtual já se encontra criado resultante de um projeto de investigação do grupo SI-MORENA, não obstante o facto de, no correr desta dissertação, poder-se efetuar melhorias e correções ao trabalho feito ou acrescentar funcionalidades novas ao mesmo, nomeadamente elementos de apoio à navegação e orientação ou que possam servir de base para o seu desenvolvimento. Espera-se, sobretudo, que as contribuições desta dissertação ofereçam às equipas de combate os meios necessários para auxiliar as tomadas de decisão no teatro de operações, nomeadamente na navegação no mundo virtual e no sentido de orientação no cenário. Mais concretamente, os objetivos desta dissertação são:

- **Assistência aos movimentos em RV:** perceber quais são as formas de locomoção em RV que mostrem níveis elevados de eficácia e preferência de utilização.
- **Conforto de movimento em RV:** acrescentar aos mecanismos de movimento implementados formas de atenuação dos efeitos de enjoo e desorientação dos utilizadores.
- **Assistência à orientação do utilizador:** dotar o mundo virtual com elementos visuais e estruturas que auxiliem a navegação do utilizador e o reconhecimento espacial do território modelado.
- **Definição de pontos de interesse:** acrescentar formas de definição de pontos de interesse geográfico e, eventualmente, de interesse estratégico ao combate de incêndios. Deverão existir formas de orientação e guias concretas para a localização destes pontos.

1.5 Estrutura do Documento

O documento desta dissertação está dividido em seis capítulos, apresentando:

- **Capítulo 1 - Introdução:** a motivação desta dissertação, o contexto, o problema em questão e possíveis contribuições que este trabalho trará.

- **Capítulo 2 - Estado de Arte:** conceitos e princípios básicos de navegação no mundo real e o paralelismo deste problema em mundos virtuais. Será feita uma análise e exposição do trabalho relacionado nesta área e das principais técnicas de navegação e orientação em mundos virtuais, mais concretamente em sistemas com suporte a Realidade Virtual.
- **Capítulo 3 - Abordagem:** a abordagem inicial deste trabalho e algumas propostas de mecanismos de movimentação e orientação em Realidade Virtual que poderão ser implementados no SAD, fundamentando a pertinência dos mecanismos, neste contexto, bem como a eficácia e eficiência dos mesmos. Para além disso serão apresentadas diferentes formas de visualização do cenário: em modo de mapa, em modo voo e em modo imerso no terreno.
- **Capítulo 4 - Implementação:** o trabalho implementado, detalhando as abordagens iniciais ao problema levantado nos capítulos anteriores, os problemas enfrentados e as soluções técnicas encontradas.
- **Capítulo 5 - Avaliação:** a planificação dos testes com utilizadores, com detalhes das tarefas a realizar, e os resultados obtidos após a avaliação da eficácia e do conforto de uso dos mecanismos de orientação e movimentação desenvolvidos.
- **Capítulo 6 - Conclusões e Trabalho Futuro:** as conclusões da dissertação e contributos que poderão eventualmente surgir para melhoramentos desta implementação.

Estado da Arte

Ao longo da preparação da dissertação, foram levantados conceitos e princípios básicos de navegação e orientação em mundos 3D e, em particular, em representações desses mundos para Realidade Virtual. No entanto, para compreender da melhor forma estes princípios, é necessário recuar e perceber o que é a navegação e como os animais e humanos, de forma natural e instintiva, a executam. Neste capítulo será descrito o processo de navegação bem como capacidades fundamentais de orientação (*Spatial Knowledge* e *Procedural Knowledge*), será feita uma contextualização do estado da arte de conceitos e princípios base de orientação e movimentação usados em aplicações de Realidade Virtual e abordar-se-á a base do trabalho deste projeto, resultante de dissertações anteriores.

2.1 Navegação

O termo navegação foi originalmente criado para descrever a viagem de um navio num corpo de água. Hoje em dia, usamos o termo navegação quando nos referimos ao processo que descreve os movimentos de um indivíduo (quer seja pessoa, animal ou objeto) para determinar um caminho, desde um ponto de partida a um ponto de chegada. Toda a espécie animal tem a capacidade de navegar pelo mundo, facto que é essencial à sua sobrevivência. No entanto, nem todas revelam as mesmas capacidades e eficácia de navegação e existem diferenças substanciais nas capacidades de algumas espécies em comparação com o ser humano.

Podemos considerar um exemplo desta capacidade nas aves, mais concretamente no seu processo de migração. Periodicamente, grupos de aves percorrem milhares de quilómetros no planeta Terra em busca de melhores condições meteorológicas e de alimento. Durante este fenómeno, estes animais recorrem a um sofisticado sistema de pontos de referência para navegarem, criando um mapa cognitivo que inclui pontos como abrigos, corpos de água e quais os caminhos mais curtos e seguros, como descrito em [6]. Estes mapas cognitivos são criados através de capacidades tanto visuais e auditivas como olfativas e só é possível criá-los dada a altitude a que estas aves sobrevoam o planeta, dando uma perspectiva mais ampla e extensa dos territórios sobrevoados. Esta capacidade de voar a

altas altitudes pode ser simulada num contexto de Realidade Virtual, pelo que a análise ao mecanismo de criação de pontos de referência das aves é importante e pertinente.

Os seres humanos, quando navegam pelo mundo, também produzem mapas cognitivos do ambiente que os rodeia [25, 34]. Em [38, 39, 40], o autor apresenta alguns exemplos de componentes destes mapas cognitivos, criados pelo cérebro humano com o objetivo de facilitar a navegação em ambientes tipicamente urbanos. São estes:

- **Caminhos (*Paths*):** elementos lineares como passeios, passadeiras e outros elementos que referenciam por onde um indivíduo pode movimentar-se.
- **Limites (*Edges*):** separadores lineares como paredes ou barreiras.
- **Pontos de Referência (*Landmarks*):** elementos cuja forma e posição geográfica são facilmente reconhecíveis.
- **Nós (*Nodes*):** secções no ambiente com características semelhantes como, por exemplo, ruas com o mesmo tipo de casas, ou zonas numa floresta com o mesmo tipo de vegetação.
- **Zonas (*Districts*):** áreas, ou subsecções, mais abrangentes com posições geográficas e características marcadas por uma distinção maior entre elas.

A Tabela 2.1 apresenta uma comparação de algumas experiências cujo objetivo era saber que componentes são mais importantes na criação dos mapas cognitivos espaciais de alguns indivíduos. É possível aferir que a identificação de pontos de referência, caminhos e a divisão de um local em diferentes zonas são as capacidades cognitivas que mais relevância têm na criação destes mapas.

Em ambientes não familiares ou de grande dimensão e densidade, como é o caso de uma zona com uma elevada abundância florestal, é necessário desenvolver técnicas e novas ferramentas que criem, ou auxiliem a criação destes mapas cognitivos e que sejam direcionadas principalmente para o desenvolvimento destas componentes.

Ao longo dos anos os seres humanos têm desenvolvido e aprimorado estas técnicas bem como novas ferramentas de orientação e navegação. A técnica considerada mais primitiva denomina-se Navegação Estimada, ou *Dead Reckoning*, que consiste no cálculo da orientação e posição atual com base na posição inicial, distância média percorrida, direção de rumo e velocidade [17]. Estas técnicas eram especialmente úteis para marinheiros que não tinham acesso a instrumentos de navegação astronómica. Existe ainda a técnica da marcação de sítios por onde se tenha passado com alguma indicação que os diferenciasses, sendo esta técnica bastante útil para a modelação dos pontos de referência no mapa cognitivo.

Com o passar do tempo, estas técnicas foram evoluindo com a criação de representações visuais, principalmente bidimensionais, como o caso de cartas náuticas [12], mapas

Researcher (s)	Cities studied	Number of Participants	Important Elements				
			Land-mark	Node	Path	Edge	District
Lynch (1960)	Jersey City, Los Angeles (United States)	60 (Professional, managerial)	●	●	●	○	●
de Jonge (1962)	Amsterdam, The Hague, Rotterdam (Netherlands)	72 (Wives of white-collar workers)	●	●	●		○
Gulick (1963)	Tripoli (Lebanon)	35 (students, upper middle class)		○	○		●
Klein (1967)	Karlsruhe (Germany)	1118 (Residents)	●	●	○		
Saarinén (1969)	Chicago (United States)	72 (students, workers)	●		●	○	●
Appleyard (1969)	Giudad Guayana (Venezuela)	320 (Residents from selected settlements)		○			●
Blanch (1970)	Mexico City, Puebla, Guanajuato, San Cristobal las Casas (Mexico)	769 (Residents, students)	●	●	●		○
Francescato and Mebane (1973)	Milan and Rome (Italy)	183 (residents)	●	●	○	●	
Yan (1990)	Beijing (China)	432 (residents, professional)	●	○	●	●	●
Lynch (1984)	Theoretical arguments			●	●		●
Jacobs (1993)	Theoretical arguments				●		

Notes: ○ Important element, ● Very important element.

Tabela 2.1: Comparação da importância dada a cada elemento do mapa cognitivo espacial, de acordo com alguns testes com vários indivíduos (adaptado de [3]).

de regiões e mapas de contornos e relevos de um terreno [30]. Estes são particularmente interessantes no auxílio ao desenvolvimento de algumas componentes do mapa cognitivo como pontos de referência, limites e caminhos.

Os problemas de navegação e orientação no mundo real são igualmente transportados para os mundos virtuais [35] e, na maior parte dos casos, podem ser resolvidos (ou parcialmente resolvidos) usando técnicas semelhantes. Em [15] é apresentado um estudo em que os sujeitos tinham de realizar tarefas de procura e exploração num mundo virtual de grandes dimensões. Apesar de nestes contextos virtuais poder-se repetir a aprendizagem e desenvolver mais rapidamente os mapas cognitivos, os resultados sugerem que é fundamental que estes mundos virtuais tenham mecanismos de ajuda à orientação e que os sujeitos aos quais não foram dadas pistas adicionais ficaram desorientados e revelaram enormes dificuldades em terminar a tarefa, com resultados estatisticamente semelhantes aos obtidos com a mesma tarefa desempenhada no mundo real.

Existem essencialmente duas capacidades que os utilizadores têm de possuir para construir com sucesso mapas cognitivos espaciais e navegacionais de um mundo: Conhecimento Espacial (*Spatial Knowledge*) e Noção/Consciência Navegacional (*Procedural Knowledge*) [70], que normalmente surge como parte da capacidade da primeira.

2.2 Conhecimento Espacial

Conhecimento Espacial, ou *Spatial Knowledge*, é o nome dado ao conjunto das capacidades cognitivas que um indivíduo tem que determinam a facilidade deste em determinar caminhos, saber onde está e para onde tem de ir num dado espaço, quer este seja físico ou virtual. Exemplos destas capacidades podem ser a identificação de nomes de sítios, reconhecer distâncias e direções entre os mesmos bem como a organização espacial de diferentes zonas numa área. Em [4], o autor sugere que o conhecimento espacial divide-se, essencialmente, em três tipos (figura 2.1):

- **Landmark Knowledge:** conhecimento de objetos e locais que são proeminentes e facilmente reconhecíveis.
- **Procedural/Route Knowledge:** conhecimento da sequência de pontos de referência e respetivas decisões navegacionais, isto é, os passos a seguir, que levam o indivíduo de um ponto ao outro.
- **Survey Knowledge:** conhecimento do espaço como um todo. O indivíduo que possui estas capacidades tem não só consciência dos pontos de referência, mas também conhecimento em como navegar no espaço (conhece várias formas alternativas de chegar ao mesmo sítio). Em suma, é o conjunto das capacidades anteriores.

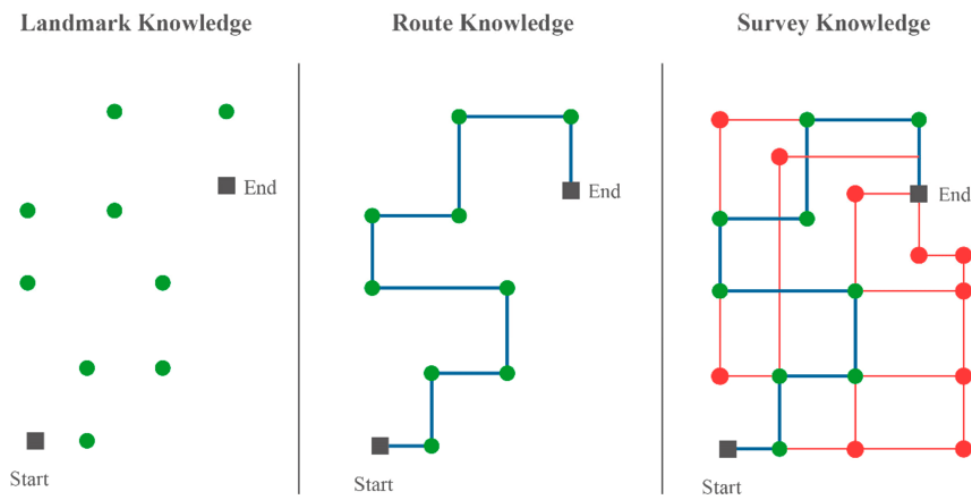


Figura 2.1: Esquematização dos tipos de conhecimento espacial (retirado de [58]).

Para que um indivíduo crie um mapa cognitivo de um mundo, quer este seja físico ou representado virtualmente, é necessário saber alguns pontos de referência e rotas de navegação, tipicamente obtidos após exploração do espaço.

No contexto desta dissertação, uma das principais vantagens de um SAD em RV para apoio a incêndios florestais é a possibilidade de aumentar o mundo 3D, que é um modelo/simulação de uma parte real do mundo, com elementos visuais que transmitam

pontos de referência e sítios por onde navegar. Os utilizadores deste tipo de sistemas são normalmente indivíduos que já possuem algum conhecimento do espaço modelado (os agentes destacados sabem pontos de referência dos locais da ocorrência), pelo que o mapa cognitivo espacial do local pode ser mais facilmente modelado se se fornecer pistas visuais dos pontos de referência mais importantes da zona e das possíveis rotas de navegação entre várias regiões no mundo.

2.3 Realidade Virtual

Atualmente, o desenvolvimento de aplicações com recurso a Realidades Virtuais acontece a uma velocidade sem precedentes. O progresso da qualidade e capacidade do *hardware* aliado ao cada vez melhor processamento gráfico e à melhoria geral dos equipamentos de RV permite a criação de experiências cada vez mais realistas e, conseqüentemente, com maior grau de imersão. Além disso, a crescente evolução dos motores de jogos e do respetivo suporte ao desenvolvimento em RV facilita e agiliza a criação de aplicações deste género, levando ao rápido lançamento de novas experiências de entretenimento no mercado.

Para além de experiências de entretenimento, estas aplicações podem ser importantes e bastante úteis noutras vertentes, como o caso da simulação e treino de diversas situações do mundo real. Desde sistemas para treino de condução de veículos (ou *test drives*) [5], a sistemas de treino de cirurgiões com a simulação de um bloco operatório [61], ao treino para deteção de doenças através da simulação da palpação [20] e à preparação de trabalhadores em diversas áreas de indústria e construção civil [53], as vertentes da utilização de aplicações em RV são inúmeras e com tendências claramente crescentes.

Um dos principais usos da RV, na preparação de utilizadores para situações na vida real, reside no desenvolvimento de aplicações para suporte a decisões e treinos de resposta em ocorrências de alto risco ou de emergência [72, 69], como é o caso de um incêndio florestal.

Um SAD para catástrofes, como incêndios florestais, é uma aplicação que permite aos agentes, destacados para o combate a fogos, analisar e tomar decisões sem necessitar de estar presentes no teatro de operações, tendo à disposição todos os dados no terreno (agentes, viaturas, frentes de fogo, condições meteorológicas) tanto em tempo real como em cenários simulados para treino. É possível acrescentar mecanismos de RV a estes sistemas, sendo que a vantagem principal é a de poder aumentar o mundo virtual, no qual o utilizador está imerso, com elementos importantes e pistas visuais que auxiliem a tomada de decisões no local.

Neste contexto, parte do mundo real é modelada virtualmente, o que significa que os cenários têm normalmente uma dimensão grande (e no caso das florestas, alta densidade de vegetação) e os utilizadores podem revelar os mesmos problemas de navegação

e orientação espacial que surgiriam no mundo real [13]. Estes problemas são ainda mais evidentes e agravados num contexto de RV, visto que os utilizadores não têm à disposição a simulação de todos os sentidos e existe a falta de *feedback* proprioceptivo ao movimentarem-se (na imagem os utilizadores têm a sensação de estar em movimento mas o corpo não demonstra esse movimento) [62, 60]. Posto isto, é de extrema importância que um SAD em RV disponha de mecanismos que auxiliem e facilitem a navegação do utilizador pelo mundo virtual.

2.4 Navegação em Realidade Virtual

Um dos principais fatores que dita a qualidade da experiência de um utilizador numa aplicação em RV é a forma como este navega no mundo 3D. Num contexto de um SAD para apoio a incêndios florestais, a produtividade, conforto e usabilidade da aplicação, no que toca à movimentação pelo teatro de operações, são características de elevada importância para o utilizador e influenciam inteiramente a eficácia do sistema.

Em [71], é sugerido um conjunto de modos de visualização possíveis num contexto de um SAD em RV, que disponha ao utilizador informação maioritariamente de cariz geográfico. Existem, tipicamente, três formas de visualização dos cenários:

- **Plant View**: interface em formato 2D onde os dados e o mundo são dipostos em forma de mapa.
- **Model View**: interface em formato 2.5D onde se obtem uma vista aérea do mundo, no entanto os objetos modelados são somente representações simples e simbólicas.
- **World View**: interface em formato 3D onde o utilizador está imerso diretamente no teatro de operações, simulando movimentos e ações do mundo real.

Existem várias formas de o utilizador se movimentar num ambiente de RV, dependendo do contexto e do objetivo da aplicação. Em [9], o autor sugere uma taxonomia de categorização de técnicas de movimentação em ambientes virtuais. Esta categorização contém três componentes principais, que refletem as várias hipóteses e características do modo de movimentação da câmara numa aplicação, sendo estas: **Escolha da Direção/Destino**, **Velocidade/Aceleração** e **Condições de Input**, como mostra a figura 2.2.

Dentro desta categorização, a componente que mais diferencia a forma de o utilizador se movimentar no mundo é a escolha da direção de deslocação. Neste mesmo estudo, o autor sugere que se opte por uma navegação *Gaze-Directed*, isto é, cuja direção é selecionada pela orientação do capacete (HMD), apenas em contextos muito específicos visto que a cabeça do utilizador tem de estar em constante movimento, o que pode ser desconfortável e resultar em desorientações como *motion sickness*. Noutro estudo [46], a conclusão é praticamente a mesma e mostra que separar a orientação da cabeça do utilizador com a direção

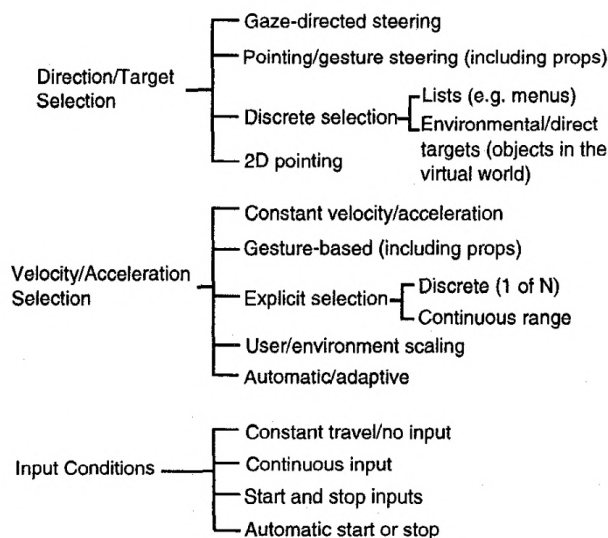


Figura 2.2: Categorização das componentes de uma técnica de navegação (retirado de [9]).

de movimento resulta numa navegação mais rápida, maior taxa de sucesso em chegar ao destino e mais facilidade em manter a câmara centrada nos caminhos a percorrer. Posto isto, neste capítulo será colocado o foco em descrever as técnicas de movimentação que utilizam os movimentos e a direção dos controladores de mão como *input* principal.

Para além de ter consciência em como navegar no mundo virtual, é igualmente importante que o utilizador saiba essencialmente onde está e para onde quer ir. Para complementar a orientação global do utilizador, uma aplicação de RV tem de ser aumentada com elementos gráficos e pistas visuais que auxiliem a criação do mapa cognitivo espacial do mundo. Além de técnicas navegacionais, neste capítulo serão apresentadas algumas técnicas base que, de um modo geral, contribuem para a criação destes mapas de referências de orientação, tendo em consideração questões como a exatidão e o conforto na utilização do HMD e dos controladores de mão.

3DoF vs 6DoF

Em RV, o grau de liberdade (ou *Degree of Freedom* - DoF) refere-se à liberdade de movimento da cabeça do utilizador (num HMD) no espaço físico e como a posição e orientação da mesma é considerada na câmara do ponto de vista de uma aplicação.

Os HMD mais simples apresentam três graus de liberdade (*3DoF*). Isto implica que o utilizador só pode alterar a orientação da câmara, ou seja, para onde está a apontar o centro de projeção da imagem, tendo liberdade nos três eixos do espaço tridimensional, tipicamente referidos como *pitch* (coordenada X), *yaw* (coordenada Y) e *roll* (coordenada Z). Estes sistemas de RV são tipicamente mais baratos e ideais quando aplicados a experiências que requerem menos imersão num cenário, como a visualização de filmes.

Em sistemas RV mais avançados, para além da orientação da câmara, são acrescentados mais sensores e é possível alterar a posição da câmara em relação ao mundo através do movimento do HMD, perfazendo um total de seis graus de liberdade. Estes sistemas mais recentes apresentam um nível de imersão superior aos anteriores e são os mais indicados para o desenvolvimento de experiências mais realistas ou que coloquem o foco do utilizador em explorar os cenários do mundo virtual. As diferenças entre as duas abordagens de graus de liberdade podem ser vista na Figura 2.3. Nos próximos capítulos, as técnicas apresentadas têm em consideração sistemas com *6DoF*.

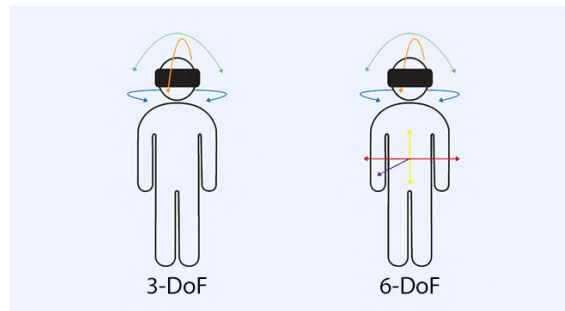


Figura 2.3: Comparação da utilização de sistemas 3DoF e 6DoF (retirado de [18]).

2.5 Movimentação em Mundos Virtuais

2.5.1 Modo de Voo

Dado o exposto na secção anterior, as técnicas apresentadas dizem somente respeito à navegação feita com os controladores de mão de um *set* de RV. Em modo de voo, isto é, com a câmara a uma altitude elevada em relação ao terreno, existem essencialmente três principais formas de movimentação: *One-Handed Flying*, *Two-Handed Flying* e *Teleportation*. A Figura 2.4 mostra estas técnicas e as respetivas diferenças entre as posições dos controladores de mão.

One-Handed-Flying (OHF) consiste numa técnica de navegação em que o utilizador aponta, com o controlador de mão, para a direção onde quer navegar. A velocidade e aceleração de movimento da câmara é diretamente proporcional à distância entre a mão e o corpo do utilizador - quanto mais esticado está o braço, maior é a velocidade de deslocamento da câmara (*Gesture-Based Velocity/Acceleration Selection*). O sistema Google Earth VR [27] é uma das principais aplicações de referência no mercado onde esta técnica de movimentação é usada na experiência de navegar pelo mundo em RV, que é uma simulação virtual, à escala 1:1, de locais no planeta Terra.

Two-Handed-Flying (THF) consiste numa técnica de navegação usando ambos os controladores de mão, onde a direção de voo é dada pelo vetor criado pelas mãos do utilizador e a velocidade de deslocamento é diretamente proporcional à distância entre estas [42].

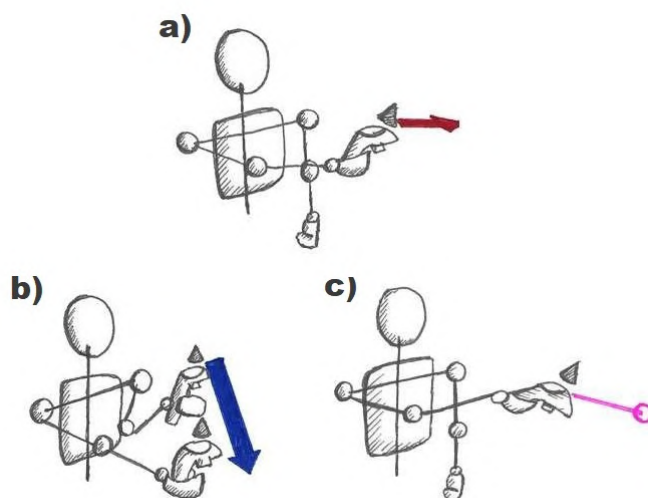


Figura 2.4: Técnicas de navegação. a) *One-Handed Flying*. b) *Two-Handed Flying*. c) *Teleportation*. Esquema adaptado de [21].

Caso os controladores estejam a uma distância mínima (*dead-zone*), por exemplo 10 centímetros, não existe movimento e o utilizador fica parado no mesmo sítio. Em comparação com OHF, esta técnica não oferece vantagens significativas em termos de conforto e usabilidade, já que o utilizador tem de estender ambos os braços para controlar tanto a direção como a velocidade, tornando mais provável o cansaço físico ao voar pelo mundo virtual.

Ao aplicar cada uma destas técnicas, é importante considerar tornar o campo de visão (FOV) dinâmico, quer estejamos no modo de voo ou no modo de imersão no terreno. Como a câmara descreve um movimento contínuo de um ponto a outro, a sensação de deslocação para o utilizador é aumentada e são emitidos mais sinais de locomoção ao cérebro que não são refletidos no corpo do utilizador (capacidade de propriocepção reduzida), o que poderá causar um maior desconforto e *motion sickness* ao indivíduo que se movimenta pelo mundo virtual.

Em [23] os autores conduziram uma experiência que consistia em reduzir o FOV enquanto os utilizadores estavam em movimento contínuo numa aplicação em RV. Os resultados sugerem que restringir o FOV para valores entre 90° e 120° (como demonstrado na Figura 2.5) aumenta o conforto do utilizador ao mover-se pelo mundo virtual, reduzindo o risco de *motion sickness*, e a maior parte dos indivíduos testados não notaram a redução enquanto se moviam.

Teletransportation consiste numa técnica de navegação aplicada com um só controlador de mão, onde o utilizador escolhe o destino para onde se quer movimentar, apontando para o destino com a mão. Após confirmar a ação, a câmara é transportada instantaneamente para o local escolhido. Esta técnica de compensação de movimento é geralmente usada em aplicações de cariz comercial, como videojogos e experiências de simulação de

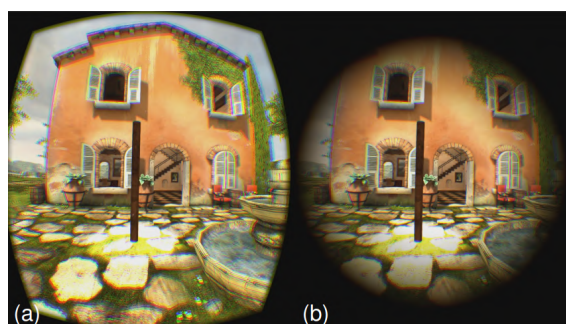


Figura 2.5: a) Visualização sem alterações de FOV. b) Redução do FOV para 90° (retirado de [23]).

lugares, como uma sala de estar [65, 67] e é aplicada tanto em modo de voo como em modo de imersão no terreno.

Alguns testes com utilizadores indicam que este tipo de navegação reduz substancialmente colisões entre a câmara e objetos no mundo virtual, o que revela ser uma vantagem evidente no uso desta técnica [56]. Um aspeto importante ao incluir o teletransporte como meio de movimentação é a orientação do ponto de vista do utilizador após execução da ação. As duas alternativas principais são: 1) manter a orientação da câmara igual durante o transporte; 2) desenvolver um mecanismo de pré-seleção da orientação final (após o deslocamento). A diferença entre estas está exemplificada na Figura 2.6, onde são mostradas pistas visuais usadas durante a seleção do destino. Idealmente, a segunda forma deve ser aplicada somente em ambientes virtuais cujos espaços sejam mais reduzidos (como uma sala ou um labirinto), visto que se acrescenta um passo extra e não intuitivo à navegação em RV, que pode diminuir a qualidade da experiência do utilizador.

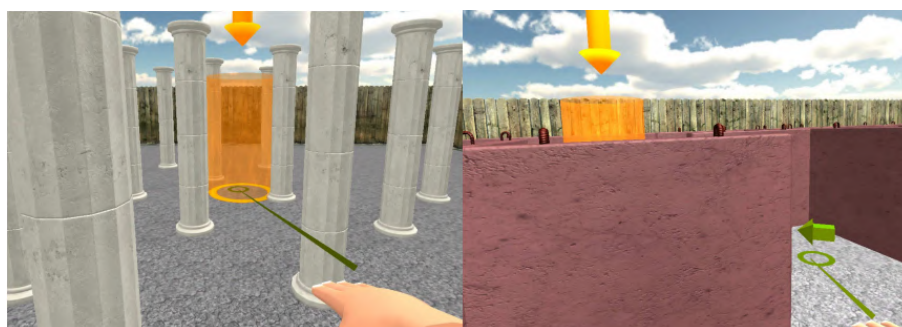


Figura 2.6: À esquerda: Seleção do destino sem orientação (mantém-se a mesma). À direita: Seleção do destino e especificação da orientação final [56].

2.5.2 Modo de Imersão no Terreno

Em modo imerso no terreno, ou seja à altura do chão, existem também algumas alternativas ao movimento do utilizador que se podem ter em consideração. Entre estas estão: *Blink*, *Shift*, *Continuous* e *Continuous Hand*. Exemplos mais recentes da utilização destas técnicas de movimentação podem ser encontrados em vários videojogos no mercado

(retirado de [64]).

As técnicas *Blink* e *Shift* são ambas técnicas que usam teletransporte da câmara do ponto de vista, à semelhança do mecanismo de seleção de destino apresentado anteriormente. A diferença entre estas está no que acontece durante o movimento. Na primeira a imagem da câmara é desvanecida entre a localização do utilizador e o destino final, enquanto na segunda existe uma transição linear entre os dois pontos. Geralmente, a primeira revela-se ser mais confortável porque reduz os sinais de movimento (que neste contexto é simulado) enviados para o cérebro diminuindo a hipótese de o utilizador revelar *motion sickness* durante o uso da aplicação.

Continuous e *Continuous Hand* são técnicas usadas para simular o movimento real de um ser humano. Nestas, a ação é despoletada pelo *joystick* do controlador de mão e a câmara simula os passos dados durante o movimento do utilizador. A diferença entre estas técnicas está na escolha da direção do destino: na primeira é feita com a orientação do HMD enquanto na segunda pela orientação da mão do utilizador. Ambas as formas de movimento são desaconselhadas devido ao elevado número de utilizadores que revela desorientação e *motion sickness* durante a utilização de aplicações com este tipo de movimentação, especialmente na utilização excessiva do HMD para orientação da escolha da direção do movimento.

2.6 Orientação em Mundos Virtuais

Além da assistência aos movimentos, as aplicações em RV que implicam a exploração do mundo e um elevado sentido de orientação do utilizador necessitam de mecanismos eficazes que auxiliem a criação dos mapas cognitivos espaciais do ambiente virtual. Neste contexto particular, em que o mundo virtual que se pretende modelar é um espelho do terreno real, dada a grandeza do espaço torna-se ainda mais importante que estes auxílios sejam implementados. Os ambientes de RV são muitas vezes usados para estudar as capacidades de navegação e orientação de um indivíduo. Por exemplo, as pesquisas e os testes feitos em ambientes de realidade virtual em [2] e [43], mostraram o quanto a idade e o género de um indivíduo influenciam essas capacidades. Estes testes mostraram que, num contexto de RV, é fundamental aumentar o mundo e o ponto de vista do utilizador com ferramentas de apoio à orientação. Em [1], os autores categorizaram as ferramentas de apoio visual à orientação de acordo com três características:

- **Dependentes do Ambiente:** Técnicas de orientação onde o ambiente, neste caso o cenário 3D, tem de ser adaptado e aumentado. As pistas visuais (que são objetos) estão presentes nos modelos do mundo, como pontos de referência (edifícios, estradas, entre outros). Em contrapartida, técnicas independentes do ambiente são abordagens onde as pistas visuais não são inseridas no cenário modelado, sem ser necessária a sua alteração. Exemplos destas técnicas podem ser minimapas ou bússolas de navegação pelos pontos cardeais.

- **Dependentes do Objetivo/Destino:** indicam o caminho ou a orientação a seguir para um dado ponto no mundo, conhecido pelo sistema de navegação, dependendo do objetivo/destino do utilizador. Exemplos destas técnicas podem ser um mini-mapa com a sugestão de um caminho ou um radar/setas a apontar a direção de um ponto de destino.
- **Dependentes da Ação:** Estas técnicas de orientação requerem a interação do utilizador com o mundo. Um exemplo desta técnica pode ser a colocação, feita pelo utilizador, de pontos de referência (ou outras pistas) num mapa ou no próprio mundo 3D.

2.6.1 Orientação Indireta

Como visto na Figura 2.1, geralmente os elementos cognitivos espaciais mais significativos são os pontos de referência, caminhos e zonas ou subzonas de um mapa. A adição destes elementos visuais implica a preparação e mudança do mundo virtual, pelo que se enquadram na categoria de Dependentes do Ambiente, também mencionados como técnicas de orientação indireta. É bastante comum encontrar estes tipos de elementos em aplicações *geobrowsers*, que são sistemas de informação geográfica que simulam o planeta Terra e permitem ao utilizador navegar e explorar os modelos e mapas gerados [26, 44]. Sendo o objetivo do projeto desta dissertação a modelação de certas regiões do mundo real, estes mesmos elementos visuais, que servirão de auxílio à orientação, podem ser adaptados e inseridos no SAD num contexto de RV. Tipicamente, nestas aplicações podemos encontrar modelados os seguintes elementos:

- **Estradas e Transportes Públicos:** representação visual saliente, geralmente com uma cor de destaque, de estradas e caminhos por onde seja possível navegar. Estações de transportes públicos também são assinaladas com destaque (pontos de referência como estações de barco, metro, comboio, entre outros).
- **Edifícios:** representações 3D de habitações, monumentos e outros edifícios de destaque que ofereçam bons pontos de referência à orientação do utilizador.
- **Nomes de locais:** os nomes dos locais (e de outros pontos de referência importantes) são assinalados tanto em perspetivas 2D como em modo imerso no terreno.
- **Delimitação de zonas verdes e de corpos de água:** formas de destacar zonas que contenham florestas e corpos de água, geralmente com um contorno saliente delimitando a respetiva área. Este tipo de marcações é fundamental para o contexto desta dissertação e terão de ser tidas em conta formas de representar estas delimitações tanto em perspetivas 2D/2.5D como em modo imerso no terreno.



Figura 2.7: Captura de ecrã do *Google Earth* onde é possível visualizar alguns elementos que servem de apoio à orientação que poderão ser transportados para o SAD em RV. (modelos 3D de edifícios, identificação do nome das zonas, delimitação dos espaços verdes, entre outros)

2.6.2 Orientação Direta

As técnicas de orientação direta (ou independentes do cenário ambiente) permitem auxiliar a orientação do utilizador sem a necessidade de adicionar ao mundo elementos tridimensionais estáticos. Tipicamente, estas ferramentas são disponibilizadas no ponto de vista do utilizador ou estão inicialmente escondidas e podem ser acedidas a qualquer momento, a pedido do utilizador. Exemplos destas técnicas podem ser minimapas, radares, bússolas, mapas de calor de trajetos e indicação de caminhos.

Minimapas: são técnicas frequentemente usadas em aplicações que requerem exploração e orientação no mundo virtual. Tipicamente, o *design* destes mapas é construído para que o norte esteja sempre representado no topo do mapa. No contexto de RV, não é aconselhável que os mapas estejam sempre visíveis no ponto de vista do utilizador, pelo que, geralmente, são ligados a um dos controladores de mão, com liberdade de movimentos, e acedidos através de *input* do utilizador.

Radares: (Figura 2.9) são técnicas de orientação que aumentam o ponto de vista do utilizador com indicações visuais da direção de pontos de referência (com os nomes dos locais) e as respetivas distâncias entre o ponto de vista do utilizador. Neste caso, as pistas visuais poderão estar sempre presentes, não sendo necessário *input* para as ativar.

Bússola: é uma forma simples, no entanto prática e eficaz, do utilizador ter consciência

para onde está direcionado o seu ponto de vista. No contexto deste SAD, é particularmente importante existir este mecanismo visto que as indicações e informações trocadas entre agentes num teatro de operações, frequentemente, têm por base referências a pontos cardeais. A bússola não precisa ser totalmente modelada, bastando somente ter uma representação evidente para onde está direcionado o ponto cardinal.

Mapas de Calor: esta técnica, representada na Figura 2.8, permite ao utilizador saber a frequência de visita de um dado sítio. Este mecanismo pode ser especialmente útil em mundos virtuais que sejam densos em informação e objetos (como o caso de uma zona florestal), onde seja difícil saber se o utilizador já esteve num dado local.

Indicação de Caminhos: este mecanismo de orientação é tipicamente usado em sistemas de informação geográfica que oferecem ao utilizador auxílio sobre os trajetos que ligam um ponto a outro. São colocadas pistas visuais nas estradas e caminhos que guiam o utilizador nos movimentos que tem de fazer para chegar a um dado ponto. Estas informações podem ser complementadas e aumentadas com outras ajudas, como setas orientadores no centro do ecrã e com os respetivos nomes de locais próximos.



Figura 2.8: Exemplo de representação de técnicas de orientação independentes do ambiente. Minimapa (esquerda). Indicação de Caminhos (centro). Mapa de Calor (direita) (retirado de [1]).

2.6.3 Mecanismos de Orientação Dependentes do Objetivo

Técnicas dependentes do objetivo do utilizador oferecem ao utilizador perspectivas da distância e direção de pontos de interesse que, tipicamente, foram definidos pelo mesmo. Destacar o ponto de interesse pode ser feito ao colocar pistas visuais que realcem o mesmo mas, num contexto de uma aplicação em RV onde é dada toda a liberdade ao utilizador para se mover e olhar para onde quiser (ver secção 2.3), estes pontos podem estar fora do campo de visão. Além disso, num mundo de larga escala modelado em 3D, é possível que sejam obstruídos por outros elementos dispostos no mapa. Estas duas possibilidades tornam a localização destes pontos uma tarefa difícil, dificultada ainda mais pelo uso em contexto de RV.

Posto isto, é necessário desenvolver mecanismos de orientação visual que ajudem a localizar pontos de interesse fora do campo de visão do utilizador e, estando num contexto

de RV onde o utilizador terá de movimentar a cabeça para os localizar, estes terão de ser o mais intuitivos e menos invasivos à visão possível.



Figura 2.9: Exemplo de representação de um mecanismo de orientação dependente do objetivo onde a seta contém o nome de um ponto de referência e a distância entre este e o utilizador (retirado de [10]).

Localização de Pontos Fora do Campo de Visão

Existem várias soluções frequentemente usadas em aplicações de diversos contextos para localizar objetos fora do campo de visão do utilizador. Uma destas soluções é o *Halo* [7] (Figura 2.10), uma técnica onde os pontos de interesse fora do ecrã são rodeados por uma circunferência com tamanho suficiente para ser representada parte nas bordas do ecrã. Através do raio da circunferência, é possível aferir tanto a direção como a distância (relativamente ao tamanho comparado com outras circunferências) até ao ponto de interesse.

Apesar de ser uma técnica bastante eficaz, a sua implementação e adaptação para RV não é propriamente trivial. Para além disso, esta técnica, por si só, não representa diferenças na altura dos pontos, o que, no contexto desta dissertação, é razão suficiente ser à priori descartada.

Outra técnica dependente do objetivo comumente usada diz respeito a um conjunto de setas que indicam a direção de um dado ponto de interesse, dispostas no centro (ou perto) do campo de visão do utilizador. Um exemplo de uma destas setas pode ser consultado em 2.9. Apesar da direção do ponto de interesse ser mais facilmente identificada através da seta, a distância não é uma propriedade intuitiva de perceber, especialmente se existir um conjunto grande de setas. Tipicamente, a solução proposta para este problema é inserir, textualmente, a distância ao ponto o que, num contexto de RV, aumenta a dificuldade cognitiva de perceber esse valor, num curto espaço de tempo.

Em [19] os autores sugerem um mecanismo de orientação em RV que pretende solucionar estes dois problemas: mostrar altura e distância visualmente sendo o menos intrusivo



Figura 2.10: Exemplo de representação da técnica *Halo* num contexto 2D. (retirado de [7]).

possível no campo de visão do utilizador.

A proposta, com o nome *3DWedge* (Figura 2.11), apresenta as pistas visuais como pirâmides invertidas, com os vértices no ponto de referência (tipicamente perto do centro de visão do utilizador) e base apontada para a direção pretendida. A altura da pirâmide é linearmente proporcional à distância até ao ponto e a largura da base é escalada não linearmente em função da distância e do número de pontos de interesse selecionados, seguindo o algoritmo descrito na Listagem 1.

Os autores concluem que, de um modo global, os utilizadores preferem esta técnica às concorrentes, argumentando que a organização visual e a precisão são mais eficazes e fluidas de usar num contexto de RV. No entanto, os testes foram realizados num contexto estático, isto é, o utilizador não tem de estar em movimento ao mesmo tempo que visualiza as indicações e tenta localizar o ponto. Esta técnica requer uma análise posterior onde se deve aferir se os resultados, globalmente, vão de acordo ao dos autores, e se a técnica é eficaz com os utilizadores parados ou em movimento no mundo virtual.

```

1  n = largura mínima pré-definida
2  m = largura máxima pré-definida
3  p = número de pontos selecionados
4  se p > 1 então
5       $F(i) = n + \frac{(m-n)}{(p-1)} * (i-1)$ 
6  senão
7       $F(i) = n$ 

```

Listing 1: Cálculo da largura da base F em função do número de pontos selecionados.

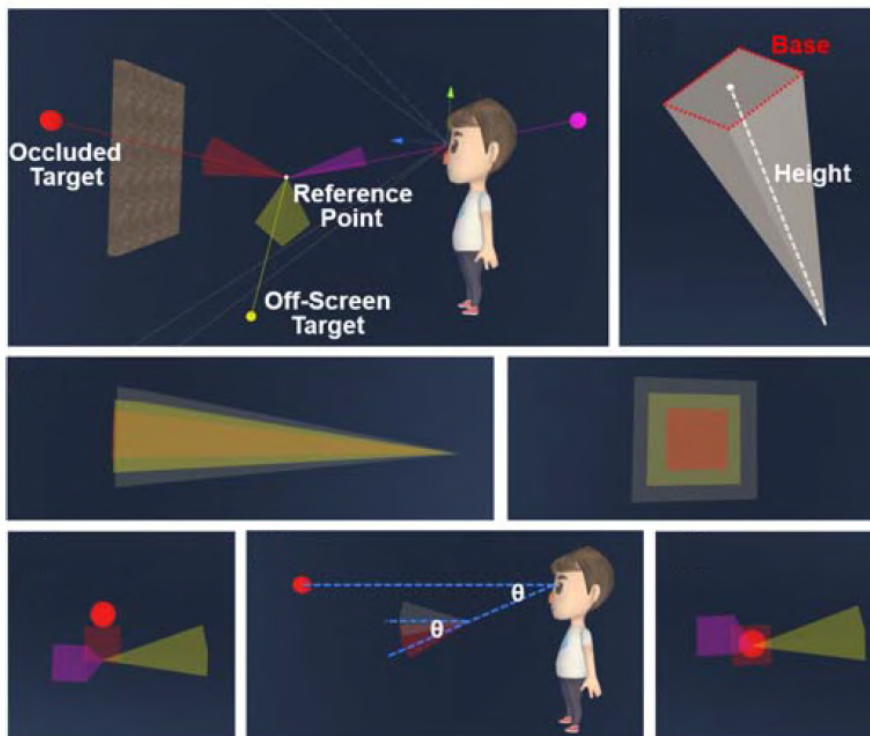


Figura 2.11: Esquema da técnica 3DWedge [19].

Avaliação com Utilizadores

Para além do mecanismo de orientação, os autores em [19] propõem um conjunto de testes que podem ser feitos para avaliar, com utilizadores, a eficácia das técnicas. Os testes são divididos em duas categorias principais: Tarefas Relacionadas com **Distância** e Tarefas Relacionadas com a **Direção**.

Na primeira categoria, são propostos três testes:

- Identificar o ponto mais próximo do utilizador (avaliando o tempo de seleção e a percentagem de erros)
- Identificar o par mais próximo de pontos do utilizador (avaliando o tempo de seleção e a percentagem de erros)

- Ordenar por distância os pontos (avaliando o tempo de seleção por objeto e a percentagem de erros cometidos)

Na segunda categoria é proposto um teste onde, sem o ponto disposto no mapa, o utilizador terá de indicar a direção do mesmo com recurso à pirâmide. Em conformidade com este teste, também é proposto uma tarefa onde o utilizador para além da direção, tem de indicar diretamente a localização expectável do ponto. Ambos os testes avaliarão a proporção da diferença entre o respondido pelo utilizador e a verdadeira localização do ponto, e o tempo que o utilizador levou para dar a resposta.

2.7 OpenStreetMap

Para que seja possível o desenvolvimento de mecanismos de orientação e navegação, como os anteriormente apresentados, será necessário a disponibilização da informação geográfica das regiões modeladas no SAD, que poderá ser extraída de várias fontes de dados geoespaciais.

O *OpenStreetMap* (OSM) é uma plataforma *online* de informação geográfica com um cariz colaborativo, voluntário e de acesso livre. O OSM disponibiliza uma licença de dados abertos, pelo que o acesso aos mapas e à informação geoespacial dos mesmos, bem como o uso em aplicações, é gratuito, o que se revela uma enorme vantagem face a outros sistemas de informação geográfica disponíveis no mercado. Existem várias formas de aceder à informação presente no sistema, desde bibliotecas para serem usadas em *browsers* a APIs que disponibilizam formas estruturadas de aceder a partes da informação dos mapas. Para além disso, existem também formas de descarregar toda a informação presente no sistema, que inclui informação geoespacial de todo o planeta [55].

A *Overpass API* [52] é uma API, só de leitura de informação, que disponibiliza *end-points* HTTP para extrair dados disponíveis no OSM. O seu funcionamento é equivalente a uma base de dados, onde o cliente pode fazer pesquisas de dados com filtragens e outros critérios de seleção.

2.7.1 Estrutura dos Dados

Os dados presentes no OSM seguem todos uma estrutura predefinida. A estrutura de dados contém três tipos de elementos [49]: **nós**, que representam pontos geográficos no mapa (com latitude e longitude) ; **caminhos**, uma estrutura linear que conecta nós ou delimita áreas; **relações**, que representam agrupamentos de elementos.

A descrição da informação de cada elemento é feita usando pares etiquetas em pares chave-valor, num ficheiro com estrutura em formato XML. Estas etiquetas descrevem os elementos num conjunto ilimitado de características e tipos de características (*map features* [50]), que podem ser adicionadas livremente pelos colaboradores do OSM.

```
1 <node id="1831881213" version="1" changeset="12370172" lat="54.0900666"  
2 lon="12.2539381" user="lafkor" uid="75625" visible="true"  
3 timestamp="2012-07-20T09:43:19Z">  
4 <tag k="name" v="Neu Broderstorf"/>  
5 <tag k="traffic_sign" v="city_limit"/>  
6 </node>
```

Listing 2: Exemplo de um Nó com etiquetas (*name* e *traffic_sign*) personalizadas exportado do OSM

2.7.2 Alternativas

Existem vários sistemas de dados geoespaciais que poderão ser considerados como alternativa ao OSM. As características destes são globalmente semelhantes, no entanto trazem a desvantagem dos dados não serem de acesso livre, implicando um pagamento por acessos aos mesmos. As características mais importantes oferecidas por estas plataformas residem na disponibilização de mapas, mecanismos de navegação e otimização de trajetos e a pesquisa de locais com base em palavras-chave dos mesmos (por exemplo, a pesquisa de hospitais e parques mais próximos). Dentro destas alternativas no mercado, as mais populares correspondem ao *Google Maps Platform* [28] e ao *Mapbox* [41].

2.8 Base do trabalho

Como dito anteriormente, a base do trabalho deste projeto de dissertação já se encontra desenvolvida, não obstante o facto de, no decorrer desta dissertação, poder-se efetuar alterações e correções ao trabalho feito ou acrescentar funcionalidades novas ao mesmo. O mundo virtual de suporte ao SAD está modelado, mais concretamente as regiões de Sintra e Mação. Para além dos objetos dispostos no mundo, que modelam regiões urbanas e florestais com recurso a dados reais, é já possível visualizar e interagir com outras informações geoespaciais (e não só), que servirão de suporte ao combate e à tomada de decisões no teatro de operações de um incêndio florestal. Em suma, os temas das dissertações anteriores, que serão explicadas de forma breve neste capítulo, são: Geração de Estruturas Permanentes, Geração de Vegetação e Visualização e Interação com Dados Geoespaciais.

2.8.1 Geração de Estruturas Permanentes

O principal foco deste trabalho foi a modelação de elementos geográficos permanentes, como edifícios, estradas e monumentos com recurso a dados provenientes de fontes abertas e voluntárias (como o OpenStreetMap). Dado o contexto florestal deste SAD, a existência deste tipo de estruturas permanentes auxilia, de forma global, a orientação

do utilizador, servindo como alguns pontos de referência no mundo e como guias de navegação. Mais concretamente, as estruturas permanentes geradas e incluídas no mundo virtual foram:

- Edifícios (habitações e monumentos);
- Estradas;
- Caminhos de Ferro;
- Linhas de Comunicação;
- Sinalética de trânsito e locais;

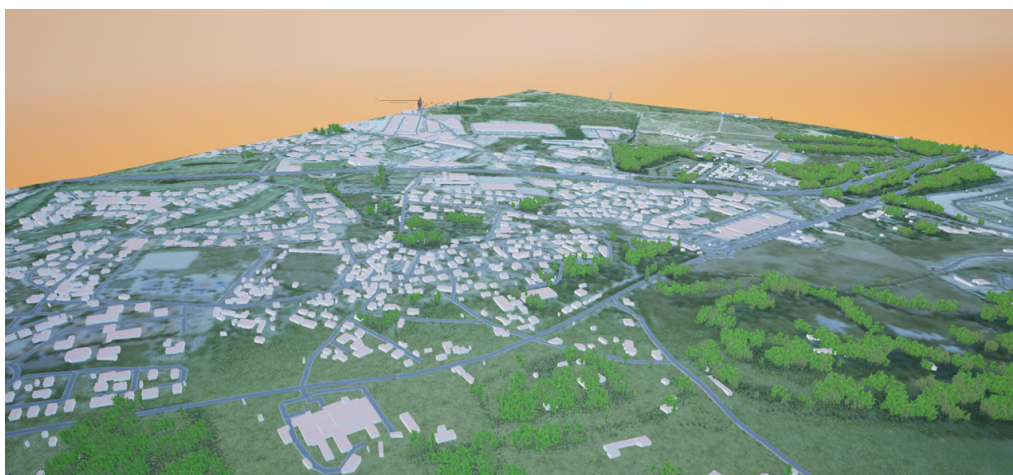


Figura 2.12: Exemplo de estruturas edifícios, estradas e linhas de comunicação geradas (retirado de [36]).

2.8.2 Geração de Vegetação

O objetivo desta dissertação incluiu a geração de árvores e outro tipo de vegetação nas zonas florestais do mundo, sendo possível identificar e distinguir os diferentes tipos de elementos, sem ter em conta o detalhe visual dos mesmos (ver Figura 2.13). O foco da dissertação passou pela geração automática destas áreas com recurso a dados reais, provenientes de múltiplas fontes, tanto de acesso público como de acesso restrito, como o caso de dados disponibilizados por Câmaras Municipais.

2.8.3 Visualização e Interação com dados Geoespaciais

Tendo o mundo virtual modelado, com estrutura permanentes e vegetação das áreas florestais, o trabalho desta dissertação incide na visualização e interação com dados reais relevantes para o combate a incêndios florestais, obtidos de fontes externas. As informações sobre emergências que podem ser visualizadas neste momento são:



Figura 2.13: Exemplo de vegetação gerada proceduralmente e sinalética de trânsito, retirado de [36]

- Condições Atmosféricas;
- Frentes de Fogo (intensidade, propagação, entre outros);
- Localização de Recursos;
- Localização de Veículos e Agentes;
- Outros dados relevantes ao combate operacional;

De entre outros dados relevantes ao combate operacional existem dois mecanismos de orientação que o trabalho desta dissertação teve com objetivo implementar, são estes a bússola (Figura 2.14) e um minimapa (Figura 2.15). O mapa permite saber onde se encontra o jogador e visualizar pontos de interesse pré-definidos e áreas de interesse, neste caso tipicamente aplicadas a frentes de fogo ou áreas ardidas. Ambas as interfaces implementadas estão disponíveis tanto para um ecrã regular a 2D como para RV.

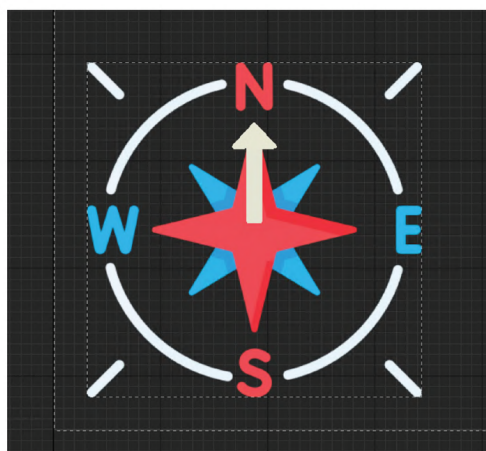


Figura 2.14: Interface da Bússola implementada no trabalho anterior (retirado de [11]).

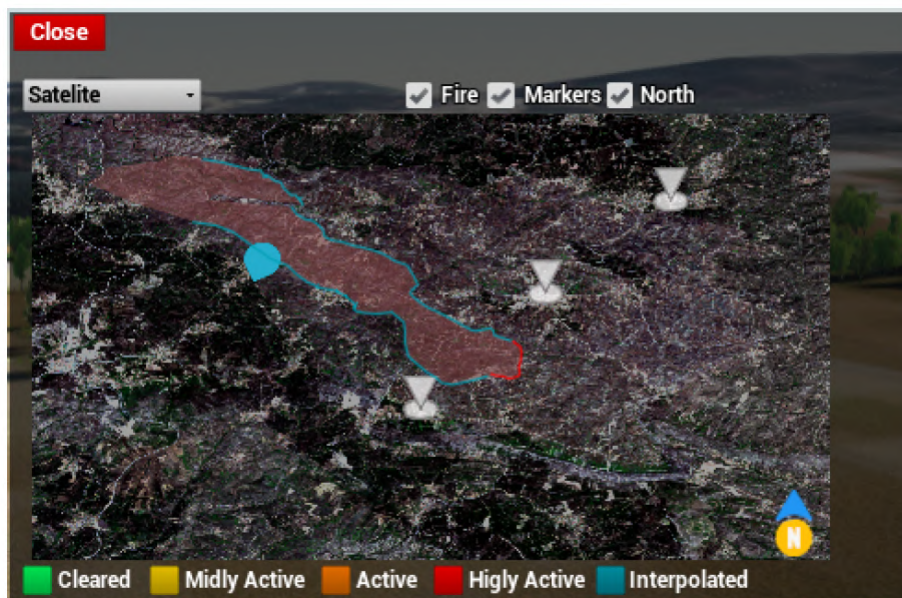


Figura 2.15: Interface do Minimapa implementado no trabalho anterior (retirado de [11]).

2.9 Unreal Engine

O Unreal Engine (UE) ¹ é um motor de jogos desenvolvido e publicado pela Epic Games desde 1998. O UE, tal como outros motores, oferece um vasto conjunto de funcionalidades e ferramentas de criação de elementos gráficos de alta fidelidade.

Apesar de ser usado maioritariamente para a criação de videojogos, atualmente a utilização deste motor foi expandida para outros mercados onde a componente gráfica é fundamental como a produção de filmes ², a demonstração de projetos de arquitetura ³ e a simulação de cenários reais para visualização e treinos. Este último mercado é cada vez mais combinado com projetos em realidade virtual/aumentada onde, mais recentemente, surgem exemplos de aplicações para simulação e treino de cirurgia num bloco operatório [57] e treino de pilotos da força aérea em situações de emergência [31].

Ao longo das várias iterações de atualizações do motor, o UE superou a maior parte da concorrência com enormes avanços na produção gráfica fotorealista, desde técnicas avançadas de *Ray-Tracing* em tempo real, sistemas avançado de partículas, até ao motor de simulação da física de objetos, incluindo a destruição dos mesmos.

Ao longo desta dissertação, nomeadamente no Capítulo 4, serão usados alguns termos, derivados do sistema hierárquico de classes base do UE (Figura 2.16) que será explicado, de forma breve, seguidamente.

¹<https://www.unrealengine.com/en-US/>

²<https://www.unrealengine.com/en-US/solutions/film-television>

³<https://www.unrealengine.com/en-US/solutions/architecture>

Cada elemento inserido no mundo virtual, que executa uma determinada ação no decorrer do jogo/simulação é designado de *Actor* ou ator (em português). Cada ator é composto por um conjunto de objetos chamados *Components* (componentes) que representam funcionalidades e características do mesmo. Estes componentes podem ser componentes de Ator, sem representação gráfica no mundo virtual ou componentes de cena que incluem coordenadas de posição, rotação e escala e são representados graficamente no mundo.

Ao objeto controlado pelo utilizador, e a todos os atores que podem ser controlados por *input* ou por inteligência artificial, dá-se o nome de *Pawn*. Estes objetos, quando associados a um *Pawn* não artificial, incluem o componente da câmara usada para renderizar a imagem no ecrã do utilizador.

No início do jogo/simulação toda a configuração e regras do mesmo, desde que classe deverá ser o *Pawn* principal, quantos utilizadores jogadores deverão existir e qual deverá ser o mundo virtual carregado, é especificada no *GameMode*. Este ator é especialmente útil quando o objetivo é testar vários cenários e testar variações do modo de controlo do jogador, visto que uma simples troca do modo de jogo ativo é assumida automaticamente pelo motor de jogo e as respetivas alterações são efetuadas.

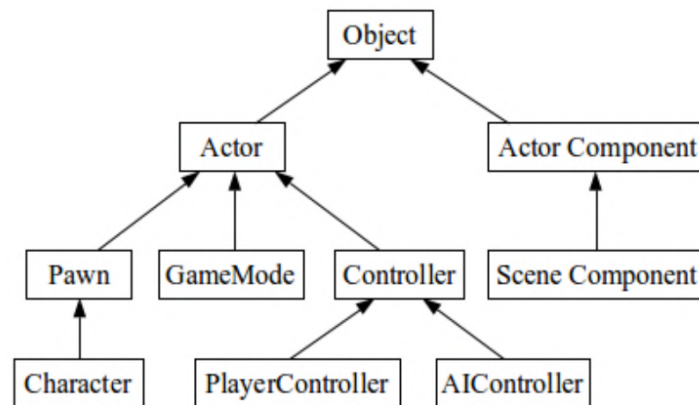


Figura 2.16: Diagrama de Classes base incluídas na API do UE [68].

2.9.1 Blueprints

As funcionalidades dos atores e dos respetivos componentes podem ser programadas usando a API em C++ ou através de um sistema de *scripting* visual chamado *Blueprints*, criado pela própria Epic Games especialmente para este motor de jogos. Esta forma visual de código fonte é baseada na criação de nós e respetivas ligações para gerar o fluxo lógico de uma dada funcionalidade.

Em comparação à programação clássica em texto, esta ferramenta é popular por oferecer algumas vantagens, nomeadamente a facilidade de aprendizagem, a rapidez de desenvolvimento e a simplicidade de criação de lógica computacional, especialmente

útil para artistas não familiarizados com a lógica de programação. Apesar disto, existem situações específicas onde é preferível criar funcionalidades a partir da API em C++, nomeadamente quando a prioridade da performance computacional é crucial, já que o código criado a partir de *Blueprints* passa por um processo de tradução para C++ que atrasa a execução do mesmo.

2.9.2 Suporte de Realidade Virtual

A capacidade de alta computação gráfica do UE permite às empresas criar experiências cada vez mais realistas e imersivas nas áreas de RV, Aumentada e Mista ⁴. O UE dispõe progressivamente mais capacidade de suporte ao desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual.

Para além do motor de jogo incluir alguns modelos exemplo e *assets*, este oferece suporte à criação de aplicações para vários dispositivos de RV, desde que cumpram com os requisitos estabelecidos pelos padrões *OpenXR* ⁵, disponibilizando interfaces nativas para deteção de movimento, orientação e *inputs* tanto dos controladores usados na mão como dos óculos HMD. Isto permite aos criadores agilizar todo o processo, desenvolvendo jogos de uma só forma e publicando-os para diferentes óculos de RV.

2.9.3 Widgets

Para além de suporte à criação de objetos fotorealistas, o UE dispõe também de uma ferramenta própria para a criação de elementos de interface com o utilizador, tipicamente elementos 2D como texto, botões e outros componentes usados em menus e na HUD (*Heads-Up Display*) de um jogo. Esta ferramenta, denominada *Unreal Motion Graphics UI Designer* (UMG), possui uma classe base chamada *Widget* que engloba um conjunto de funções pré-construídas que permitem a criação e configuração de vários tipos de interfaces. Existem, essencialmente, dois grandes módulos para criar e editar o visual e as funcionalidades dos *Widgets*:

- **Modo Designer:** onde é possível editar a parte visual do elemento de interface;
- **Modo Graph:** um editor de funcionalidades igual a um editor de classes *Blueprint* onde é possível criar e conectar nós para definir o comportamento e fluxo lógico do *Widget* aquando da interação ou a cada frame do jogo/simulação.

⁴<https://www.unrealengine.com/en-US/xr>

⁵<https://www.khronos.org/openxr/>

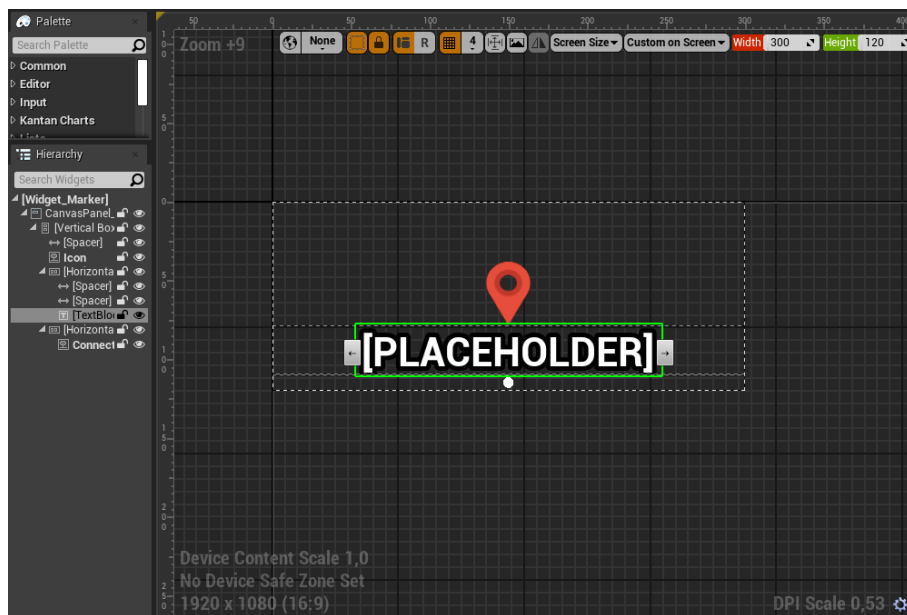


Figura 2.17: Exemplo de edição de um Widget no modo Designer.

Abordagem

Neste capítulo será apresentada uma abordagem para a resolução dos problemas, anteriormente discutidos, que este projeto de dissertação pretende resolver. Serão apresentados quais os dados geográficos que se pretendem extrair, que servirão de suporte para a criação de alguns mecanismos de navegação e orientação no mundo virtual bem como a criação de diferentes formas de visualização dos cenários simulados no SAD para incêndios florestais. Tanto a abordagem proposta nesta dissertação como os mecanismos de orientação criados foram pensados num contexto de um mundo virtual genérico de larga escala, não obstante o facto de inicialmente serem inseridos num SAD para incêndios florestais.

No final do capítulo, serão apresentadas propostas de como avaliar os mecanismos criados com utilizadores do SAD tendo em conta critérios como a eficácia de orientação e satisfação de uso dos mesmos.

3.1 Formas de Visualização do Cenário

Acrescentou-se ao ao SAD essencialmente três formas de visualizar o cenário (Figura 3.1): **Modo Mapa 2D** (*Plant View*), **Modo Voo** (*Model View*) e **Modo Imerso no Terreno** (*World View*), cujas diferenças foram explicadas no Capítulo 2.4. O utilizador poderá alterar os modos de visualização enquanto está a explorar o mundo virtual. Para isso, serão criadas três *Camera Actors* diferentes, no Unreal Engine 4, e quando o utilizador decidir alternar a perspetiva que tem, num dado momento, a câmara seguinte será posicionada e direcionada com base na vista corrente. Para atingir este efeito serão usadas funções pré-implementadas no motor de jogos que recebem como argumentos a referência para a câmara e a direção para onde apontará. Neste contexto de RV deverão ser implementados mecanismos de suavização de alternância de pontos de vista de modo a diminuir a movimentação rápida da câmara e prevenir eventuais efeitos de *motion sickness* no utilizador.

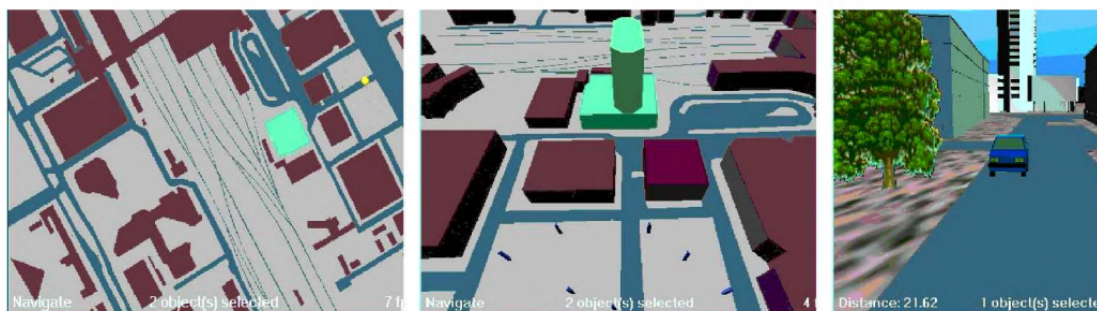


Figura 3.1: Formas de vista de um cenário 3D: Mapa, Voo e Imerso no Terreno (exemplo retirado de [71]).

3.2 Movimentação no Mundo Virtual

Apesar do objetivo principal desta dissertação ir de encontro à orientação do utilizador em RV, é igualmente importante considerar a forma como o utilizador se movimenta pelo mundo virtual, não só porque é uma tarefa recorrente em aplicações como SAD (ou outras que geralmente modelam mundos de larga escala) mas também porque tem influência direta no modo como o utilizador visualiza o cenário, desloca-se pelo mundo e cria o conhecimento necessário para se orientar no mesmo.

Os mecanismos de movimentação fornecidos deverão ser o mais simples e intuitivos possível, para que o utilizador encontre formas naturais e imersivas de se movimentar, tentando espelhar ao máximo o que aconteceria na realidade se fosse possível estar a grandes altitudes, voar pelo mundo e visualizar o planeta Terra na perspetiva de um mapa.

Neste caso é necessário ter em conta a posição da câmara em função da perspetiva que estiver a usar nos três modos de visualização possíveis:

- No **modo de mapa**, ou *plant view*, será dada a possibilidade de movimentar a câmara nos dois eixos, horizontal e vertical, e de aumentar ou reduzir a altura da mesma. O input destas ações será dado por um dos controladores de mão do *set* de RV. Para que o utilizador não tenha que inclinar a cabeça para baixo para olhar para o terreno, o que levaria a desconforto e cansaço físico, quando este modo de visualização é selecionado, a câmara deverá ser colocada num ângulo entre 15-30° em relação ao solo.
- No **modo voo**, ou *model view*, serão consideradas as técnicas de movimentação descritas no Capítulo 2.5.1 e foi dada prioridade ao tipo de movimentação com um controlador (*One-Handed flying*). Esta decisão foi suportada não só pelos resultados obtidos nas experiências em [21], onde é concluído que esta forma de voo corresponde à que os utilizadores mais facilmente se adaptam, mas também pelo facto de aplicações familiares como o Google Earth VR também adotarem este método. É importante

que seja escolhida uma velocidade de movimentação da câmara adequada, que será, preferencialmente, baixa, por forma a atenuar possíveis efeitos de enjoo. Um dos problemas levantados desta técnica nas referidas experiências foi o elevado esforço físico em controlar a velocidade de deslocamento de voo consoante a distância do controlador ao corpo do utilizador. Para facilitar e evitar este desconforto extra, a implementação desta técnica deverá incorporar uma forma discreta (com um clique num dos botões do controlador) para aumentar a velocidade de voo.

- No **modo imerso no terreno**, serão consideradas as três formas de movimentação descritas no Capítulo 2.5.2: movimento contínuo (com o controlador de mão), *blink/shift* e teletransporte para uma localização próxima. Poderá ser dada opção de escolha ao utilizador, seleccionando o modo de deslocação que mais se adequa à sua tarefa, no entanto, a solução mais simples poderá passar por manter a movimentação igual ao modo voo.

Em qualquer dos modos de perspectiva, deverá ser possível teletransportar a posição da câmara para outro lado do mundo, sendo que, para pontos possíveis de destino, serão considerados pontos de referência geográfica do local (como os descritos no Capítulo 3.3) ou poderão ser definidos através de um minimapa, versão 2D e em imagem estática com uma maior resolução do mundo. Para além disso, durante um incêndio florestal, tipicamente são definidos setores de combate, que são sub-zonas que delimitam uma zona dentro da área florestal, que deverão também ser zonas possíveis de teletransporte. Neste ponto, deverão ser desenvolvidos mecanismos de automatização de identificação e de sugestão destes pontos de referência, com base nos dados identificados no Capítulo 3.4. Esta sugestão poderá ser feita com base na proximidade em relação ao utilizador ou com base no histórico de transporte para estes pontos.

Atenuação dos efeitos de *Motion Sickness*

Os efeitos no conforto do utilizador ao navegar, em modo voo, por um mundo virtual usando equipamentos de RV são bem conhecidos e foram descritos no Capítulo 2.3. É importante que, qualquer que seja o modo de deslocamento pelo mundo virtual escolhido, existam mecanismos para atenuar estes efeitos, nomeadamente a colocação de uma Visão Focada, reduzindo o campo de visão do utilizador enquanto este se encontra em voo (Figura 2.5), em conjunto com uma grelha orientadora ao nível do chão.

Esta grelha estática, exemplificada na figura 3.2, permite transmitir ao utilizador que, embora esteja imerso e a navegar visualmente num mundo virtual (que é visível através do campo de visão reduzido no centro do ecrã), na realidade o seu corpo não está em movimento. Tentando ao máximo não retirar imersão à utilização da aplicação, esta técnica tenta dar uma sensação de chão e horizonte pseudo-virtual, isto é, não deixam de ser elementos gráficos virtuais colocados no mundo, mas transmitem a noção de não

fazerem parte do mundo virtual no qual o utilizador se está a movimentar. Deste modo, reduz-se a necessidade da percepção sensorial inconsciente do utilizador se sentir em movimento, quando na realidade não está.

Este mecanismo de atenuação terá de ser testado com utilizadores, onde deverão ser testados o conforto de utilização, os níveis de enjoo e o tempo que o utilizador demorará a efetuar uma tarefa com e sem o mecanismo de Visão Focada para perceber tanto a redução dos efeitos de *motion sickness* como a usabilidade do mecanismo.

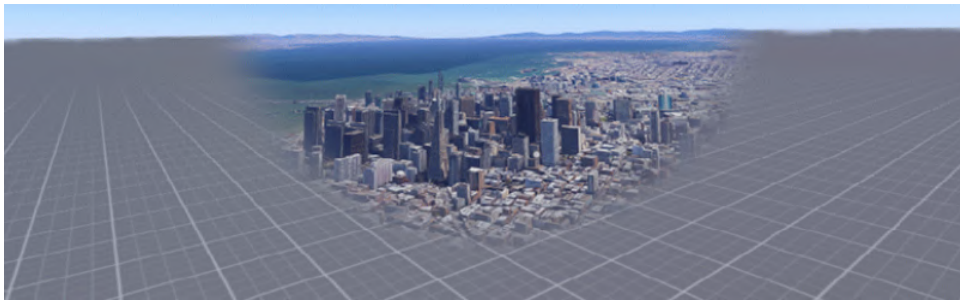


Figura 3.2: Exemplo de uma grelha estática usada como atenuação de efeitos de *motion sickness* (retirado de [16]).

3.3 Assistência à Orientação

A assistência à orientação do utilizador é talvez o objetivo desta dissertação por onde poderão ser consideradas mais alternativas e diferentes formas de auxiliar o mesmo a criar mapas cognitivos, de forma rápida, do local modelado no mundo para que o uso da aplicação decorra com a maior fluidez possível. Algumas destas alternativas foram levantadas e descritas no Capítulo 2.6.

Existem essencialmente dois tipos de técnicas de orientação que se podem considerar, às quais a literatura tipicamente denomina de Dependentes/Independentes do Ambiente Virtual e Dependentes/Independentes do Objetivo. (ver Capítulo 2.6). Nesta dissertação não serão exploradas técnicas Dependentes do ambiente, isto é, técnicas que adicionem ao mundo virtual elementos estáticos que auxiliem a orientação, como edifícios e vegetação. Como explicado no Capítulo 2.8, este tipo de técnicas já foram exploradas em trabalhos anteriores no mesmo âmbito deste projeto.

No contexto desta dissertação, para facilitar a denominação dos termos, chamaremos respetivamente a estas técnicas, de técnicas de orientação indireta e direta, isto é, técnicas que indiretamente dão algum sentido de orientação ao utilizador no mundo virtual em contraste com técnicas que indicam diretamente qual a direção, distância e eventualmente outras propriedades de um dado ponto de interesse definido.

3.3.1 Orientação Indireta

Foi dada prioridade à implementação de técnicas de orientação indireta, com marcadores de localizações. Estas caracterizam-se por serem elementos estáticos no mundo que indicam de forma permanente informação de pontos geográficos. Tipicamente, nestes pontos, aos quais chamaremos de Marcadores, está representado o nome da localização e uma imagem ilustrativa do tipo de ponto. Para além de localizações, deverão também ser assinalados no mundo marcadores correspondentes a estradas ou outras vias de acesso, indo de encontro a dois dos componentes principais de orientação, levantados na secção 2.1.



Figura 3.3: Exemplo de Orientação Indireta, também chamado de Marcadores (retirado do Google Earth).

Os pontos marcadores de referência de uma determinada zona poderão ser quaisquer pontos que sejam usados na orientação no mundo real. Dado o contexto a que se insere esta dissertação, por defeito e caso existam dados disponíveis, os tipos de marcadores que poderão ser colocados no mundo, e que se prevêem ser úteis no contexto de combate a uma situação de emergência serão:

- Cidades, Vilas e Aldeias;
- Estradas;
- Edifícios Distintivos;
- Frentes de Fogo;
- Pontos de abastecimento de água;

3.3.2 Configuração de Marcadores

A lista de tipos de pontos acima apresentada não é final, podendo ser acrescentados mais estruturas e tipos de pontos de referência, se existir essa necessidade. Para isso, é necessário criar mecanismos de edição que permitam a importação e configuração de marcadores, para que esteja ao cargo de quem utilizará o sistema de definir quais os tipos de marcadores que pretendem ver, bem como as suas características. Deverá ser possível definir uma estrutura de configuração que contenha, para cada tipo de marcador, pelo menos as propriedades apresentadas de forma genérica na Tabela 3.1.

As propriedades enumeradas nesta tabela foram pensadas assumindo que existe uma *domain specific language* (DSL) que especifique pontos georeferenciados e respectivas propriedades. As restantes deverão ser configuradas no contexto do sistema onde serão utilizadas. Ao longo deste documento, quando pertinente, serão apresentadas outras propriedades, acrescentadas a esta lista, que servirão de suporte à implementação dos marcadores de orientação.

Tabela 3.1: Propriedades necessárias de cada tipo de marcador. As propriedades que contenham (DSL) deverão estar definidas na DSL de pontos geográficos.

Propriedade	Descrição
<i>Type (DSL)</i>	Em que conjunto se insere o marcador. Poderá ter valores como "cidade", "aldeia"ou "road".
<i>Text (DSL)</i>	A propriedade cujo valor deverá ser mostrado no texto do marcador.
<i>Color</i>	A cor que o texto do marcador deverá ter.
<i>Font Size</i>	O tamanho da fonte no texto do marcador. Tanto esta propriedade como a cor são importantes para diferenciar a importância geográfica dos marcadores.
<i>Icon</i>	O tamanho da fonte no texto do marcador. Tanto esta propriedade como a cor são importantes para diferenciar a importância geográfica dos marcadores.

3.3.3 Pontos Cardeais e Minimapa

No que diz respeito ao mecanismo de indicação de pontos cardeais tentar-se-á ao máximo manter a implementação anterior (ver Capítulo 2.8.3), colocando a bússola num dos controladores de mão, perto da zona do pulso, para que esteja sempre disponível para ser consultada. Este mecanismo será importante para perceber, durante a fase de avaliação com utilizadores, a direção e orientação do utilizador em relação ao mundo virtual.

O minimapa deverá ser atualizado com os marcadores de interesse configurados e exportados do OSM, colocando o texto e o ícone correspondente na posição geográfica

do ponto, projetada na textura da ortofoto do mapa. Deverá existir uma propriedade na estrutura de configuração dos marcadores que permite definir se aquele tipo de marcador deverá ou não ser adicionado ao minimapa.

3.3.4 Orientação Direta

Quanto aos mecanismos de orientação direta será dado foco à implementação de técnicas dependentes do objetivo (ver Capítulo 2.6.3), isto é, técnicas visuais que diretamente indiquem a orientação e distância de um dado ponto de interesse e que sejam, orientadas a um objetivo, tipicamente definido pelo utilizador. Para isso deverá ser criada uma interface para pesquisa de pontos de interesse onde deverão ser listados todos os pontos e, através da inserção de palavras-chave numa caixa de texto, ser apresentados marcadores cujo nome seja igual ao critério de busca do utilizador.

Deverão ser criados os mecanismos necessários para navegar a câmara do utilizador automaticamente até a um ponto de interesse selecionado. Após a navegação, a câmara deverá ser colocada a uma distância e a um ângulo em relação ao solo favorável para visualizar o marcador em RV. Para o caso de o utilizador não querer ser transportado automaticamente deverá existir uma forma de assinalar um marcador, ou vários, como ponto de interesse e, nesta fase de implementação, as técnicas descritas no Capítulo 2.6.3 serão adaptadas para o contexto desta dissertação, nomeadamente a técnica de assistência à orientação para pontos fora do campo de visão, proposta pelos autores em [19]. Nesta técnica, são usadas malhas estáticas de pirâmides invertidas, escaladas proporcionalmente à distância aos pontos e ao número de pontos de interesse selecionados. A avaliação desta técnica pelos autores foi efetuada com testes estáticos, isto é, os utilizadores tinham de completar algumas tarefas e dar respostas sobre a direção e distância aos pontos, estando parados. Nesta dissertação, tentar-se-á avaliar o mesmo mecanismo adaptado a um contexto onde os utilizadores se movem pelo mundo virtual.

3.4 Processamento de dados do OpenStreetMap

A eficácia e qualidade dos mecanismos de orientação no mundo virtual dependerá, em grande parte, da qualidade e fiabilidade dos dados usados. Grande parte dos mecanismos de orientação abordados são implementados tendo por base dados geográficos reais e, neste caso particular, testados em zonas portuguesas de especial interesse no combate a incêndios florestais, como é o caso do município de Mação. Para isso foi necessário identificar qual a melhor fonte de dados que poderia suportar estes mecanismos.

Desde o início do trabalho, tanto na preparação da dissertação como no desenvolvimento da mesma, identificou-se que a plataforma OpenStreetMaps¹ teria o maior potencial para servir de suporte e fonte de dados georeferenciados ao projeto. A ideia do OSM

¹<https://pt.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>

ser a melhor opção para a implementação destes mecanismos de orientação surge não só porque a plataforma é de acesso livre e gratuito, mas também pelo facto da manutenção da base de dados ser feita pelos utilizadores da mesma, o que significa que, caso haja necessidade, é possível adicionar e editar pontos geográficos e segmentos de estradas em qualquer ponto do mundo.

Deste modo, serão usadas bibliotecas C++ de extração da informação geográfica, como a Overpass API. Outro aspeto que será necessário ter em consideração será o mapeamento de dados geoespaciais, que geralmente se encontram sobre o standard WGS84, para o sistema de coordenadas do mundo virtual. Para isso serão utilizadas bibliotecas que auxiliem essa conversão, para C++, como o *Geospatial Data Abstraction Library* [24].

Para ser possível implementar os mecanismos de orientação propostos, onde maioritariamente será necessário colocar o nome de localidades e outras pistas visuais em pontos de referência, será necessário obter nós que tenham propriedades (ou *tags*) com valores que representem pontos distintivos numa zona, como referenciado no Capítulo 2.7.1 e utilizar as coordenadas dos mesmos para apoiar os auxílios de orientação. Serão consideradas, em primeiro lugar, *tags* que contenham valores para **Route** (estradas e vias de acesso), **Amenity** (sítios distintivos) que incluem pontos como escolas, hospitais e transportes públicos, **Emergency** (instalações específicas para emergências), **Water** (corpos de água) e **Landuse** (identificação de uso de terrenos como florestas e terras agrícolas). Para além disso, poderão ser considerados nós, se existirem, classificados como pontos de referência geográfica [51].

Para facilitar a integração deste processo com o projeto atualmente desenvolvido, será útil criar módulos de *software* e *plugins* para o Unreal Engine de abstração aos pedidos ao OSM e ao tratamento dos dados a serem usados nas ferramentas de apoio à orientação, que serão explicados mais detalhadamente no Capítulo 4.

3.5 Avaliação

Tendo em conta que o principal objetivo desta dissertação é desenvolver mecanismos que suportem a eficácia da orientação e o conforto do utilizador durante a navegação num mundo em RV, a avaliação das propostas será feita testando a navegação e orientação com e sem os mecanismos desenvolvidos. Deverão ser considerados preferencialmente utilizadores finais do SAD para incêndios florestais, isto é, utilizadores especializados no combate às ocorrências e responsáveis dos postos de tomada de decisões no teatro de operações. Na fase de avaliação serão consideradas heurísticas pré-estabelecidas de avaliação de uma aplicação em RV como as descritas em [66] que incluem, entre outras, a expressão natural das ações, a facilidade de aprendizagem, o conforto de utilização, o *feedback* realístico de movimentos e a compatibilidade dos mecanismos com a tarefa desempenhada pelo utilizador.

Implementação

Este capítulo apresenta as soluções técnicas implementadas, que vão de acordo com a abordagem especificada para o desenvolvimento de mecanismos de orientação e movimentação no mundo virtual. Esta descrição é iniciada pela explicação do processamento dos dados provenientes do OSM, seguindo-se a implementação dos mecanismos de orientação direta e indireta. Na explicação dos mecanismos de orientação são apresentadas as abordagens iniciais, alguns problemas que se foram deparando e as propostas de soluções para os resolver. No final do capítulo será descrita a implementação da forma de movimentação, proposta na abordagem, de voo em RV.

4.1 Processamento de Dados

Recordando a secção 3.4, os mecanismos de orientação que se pretenderam implementar terão por base dados geográficos provenientes do OpenStreetMap (OSM)¹.

O processo de captura desta informação e de tradução para estruturas de dados do projeto assenta em duas fases: a extração dos dados do OSM e a leitura e interpretação da informação geográfica (e outras propriedades) para o projeto no ambiente do UE.

4.1.1 Extração de Dados do OSM

Existem várias alternativas para obter dados da plataforma, desde a exportação manual de ficheiros OSM a partir da página web, ao uso de APIs desenvolvidas por terceiros que contém abstrações sob a camada de dados do OSM e linguagens próprias de interrogação, seleção e filtragem de dados. Optou-se pela segunda via, não só por não haver necessidade de intervenção humana, mas também porque existem funcionalidades nas linguagens de interrogação que agilizam o processo de filtragem.

Seguindo o trabalho feito anteriormente em [36], usou-se a camada de importação de dados usando a *API Overpass* ², que utiliza a linguagem de *queries* de dados do OSM

¹<https://www.openstreetmap.org>

²https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API

*Overpass QL*³. Após a execução da *query*, o ficheiro com os dados extraídos é inserido nas diretorias do projeto do UE onde é possível ler os dados em XML e convertê-los em estruturas de dados criadas para cada tipo de representação geográfica.

4.1.2 Modelo de Dados

O modelo de dados genérico para representar a informação proveniente do OSM não sofreu alterações substanciais do desenvolvido na referência [36]. Como se planeou a criação de mecanismos de orientação apenas para localizações e estradas (ver secção 3.3.1), dá-se particular destaque às classes **GISPoint** e **GISLine**.

A classe **GISPoint** permite representar um ponto geográfico singular, contendo um número de identificação proveniente do OSM, a posição em coordenadas do mundo real (latitude e longitude) e a posição mapeada em coordenadas do UE. Além destes atributos foi criada ainda uma interface, **GISAttributesMap**, que permite ter todos os atributos de um nó exportado do OSM numa estrutura chave-valor.

A classe **GISLine** representa geometricamente uma linha contínua de pontos e contém apenas na sua estrutura um conjunto de objetos **GISPoint**.

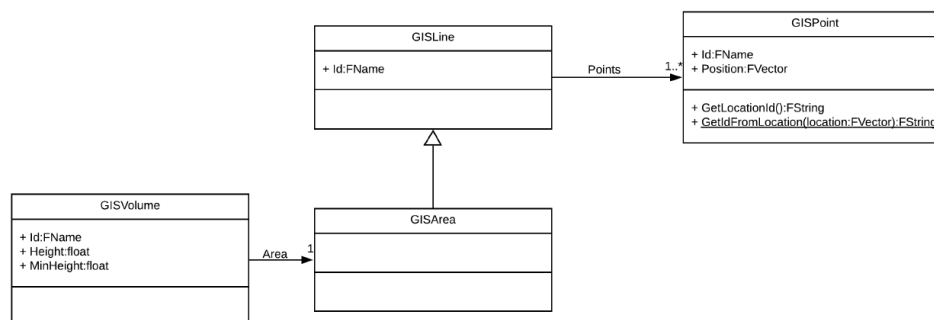


Figura 4.1: Modelo de Dados de suporte a informação geográfica (retirado de [36]).

4.2 Assistência à Orientação Indireta

Como descrito na abordagem, Capítulo 3, a principal forma de orientação indireta implementada diz respeito à identificação de localidades e pontos de referência no mundo virtual, colocando o respetivo texto juntamente com algumas propriedades gráficas que distinguem os vários tipos de pontos escolhidos como Marcadores.

O foco deste tipo de orientação será dado a dois tipos de representações geométricas: **pontos** singulares de localizações (ou outros pontos de interesse) e **linhas** que representam um conjunto de pontos próximos uns dos outros formando uma silhueta contínua, tipicamente estradas e outras vias de acesso.

³https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API/Overpass_QL

A colocação e disposição destes dois tipos de marcadores no mundo virtual traz alguns desafios, que variam consoante o tipo de representação geométrica. Ao longo deste Capítulo será mostrada a implementação dos marcadores tanto de localizações (pontos) como de estradas (linhas), bem como os problemas que se foram encarando e as soluções propostas para as suas resoluções.

4.2.1 Marcadores de Localizações

A escolha dos tipos de Marcadores tem por base a informação disponível no OSM e, previamente à implementação dos marcadores, foi feita uma análise aos nós mais comuns inseridos numa área perto de Mação - Vila de Rei, que é onde inicialmente se insere o contexto desta dissertação. O programa desenvolvido faz uma análise da frequência com que surgem pares com as propriedades *etiqueta-valor* nos nós exportados. Os tipos de nós mais comumente encontrados podem ser consultados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Análise dos principais pontos geográficos de interesse na região de Mação, exportados do OSM

Etiqueta	Descrição do Tipo	Valores Encontrados (Mação)
<i>place</i>	Usado para descrever qual o tipo de localização do nó.	Town (cidade) Village (vila) Hamlet (aldeia)
<i>man_made</i>	Usado para identificar estruturas feitas por pessoas.	survey_point (Vértices geodésicos (RGN ⁴) Tower (poste de comunicações)
<i>amenity</i>	Usado para identificar várias estruturas importantes tanto para residentes como para turistas.	pharmacy (Farmácia) place_of_worship (Igrejas) bench (bancos)
<i>natural</i>	Usado para descrever pontos geológicos e de cobertura terrestre natural.	tree (árvores) peak (o topo de um monte/montanha)

4.2.2 Configuração de Marcadores

Depois de identificados os pontos principais passíveis de serem marcadores de interesse no SAD, foi criada uma estrutura de dados de configuração de cada tipo de marcador. É importante frisar que esta lista de pontos não é final, e optou-se por uma abordagem dinâmica onde, dado um ficheiro com extensão do OSM e com todos os marcadores de uma dada zona exportados (sem filtro), é possível, e ficará ao cargo do utilizador, configurar quaisquer tipos de pontos de interesse para serem assinalados no terreno.

A estrutura criada (classe *MarkerType*) permite definir algumas propriedades de cada tipo de marcador, muitas destas explicadas na abordagem, Capítulo 3.3.2. Foi tirado partido da API de edição de *Blueprints* do Unreal Engine ⁵ que possibilita a criação de editores de propriedades de um dado objeto, especificando apenas qual o tipo de dados da mesma, bastando para isso assinalar a variável da classe com *UPROPERTY(BlueprintReadWrite)*. A interface gerada está demonstrada na figura 4.2.

Para cada tipo de marcador é possível definir qual a etiqueta e o valor que os nós do OSM deverão conter para serem inseridos no mesmo. No exemplo da figura 4.2, o objetivo é filtrar todos os nós que contenham a propriedade *place=hamlet* (aldeias). Caso o valor contenha o caractere "*", serão considerados todos os nós que contenham a etiqueta "place", independentemente do valor que possam ter.

A terceira propriedade, *Marker Text*, define qual deverá ser a etiqueta do nó OSM considerada para ser colocada como texto do marcador, neste caso a etiqueta "name". Os atributos *Text Color*, *Font Size* e *Icon* permitem definir configurações do texto do marcador e a imagem associada ao mesmo. Os restantes atributos serão explicados ao longo deste capítulo, quando a sua introdução for pertinente.

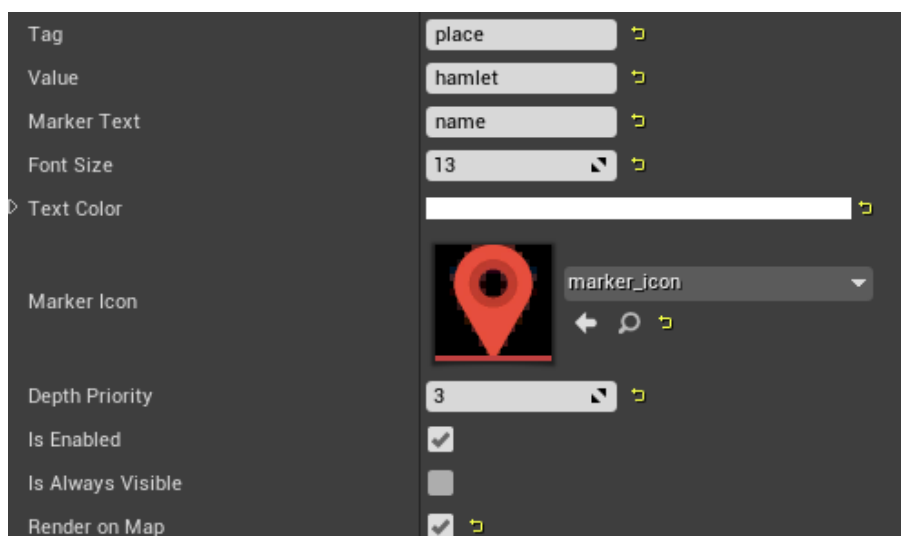


Figura 4.2: Interface de configuração de um tipo de marcador colocado no mundo.

Após a configuração dos tipos de marcadores que deverão ser mostrados, desenvolveu-se mecanismos automáticos para a geração e colocação dos atores no mundo. As classes criadas e usadas neste processo foram esquematizadas na Figura 4.3.

Uma destas classes criadas para o processo de configuração e geração de marcadores foi a classe *MarkerGenerator*. Esta é responsável pela leitura do ficheiro exportado do OSM, pelo retorno dos pontos que deverão ser criados e pela geração e colocação dos atores dos marcadores no mundo virtual. Os pontos que deverão ser filtrados e criados

⁵<https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/ProgrammingAndScripting/GameplayArchitecture/Properties/Specifiers/>

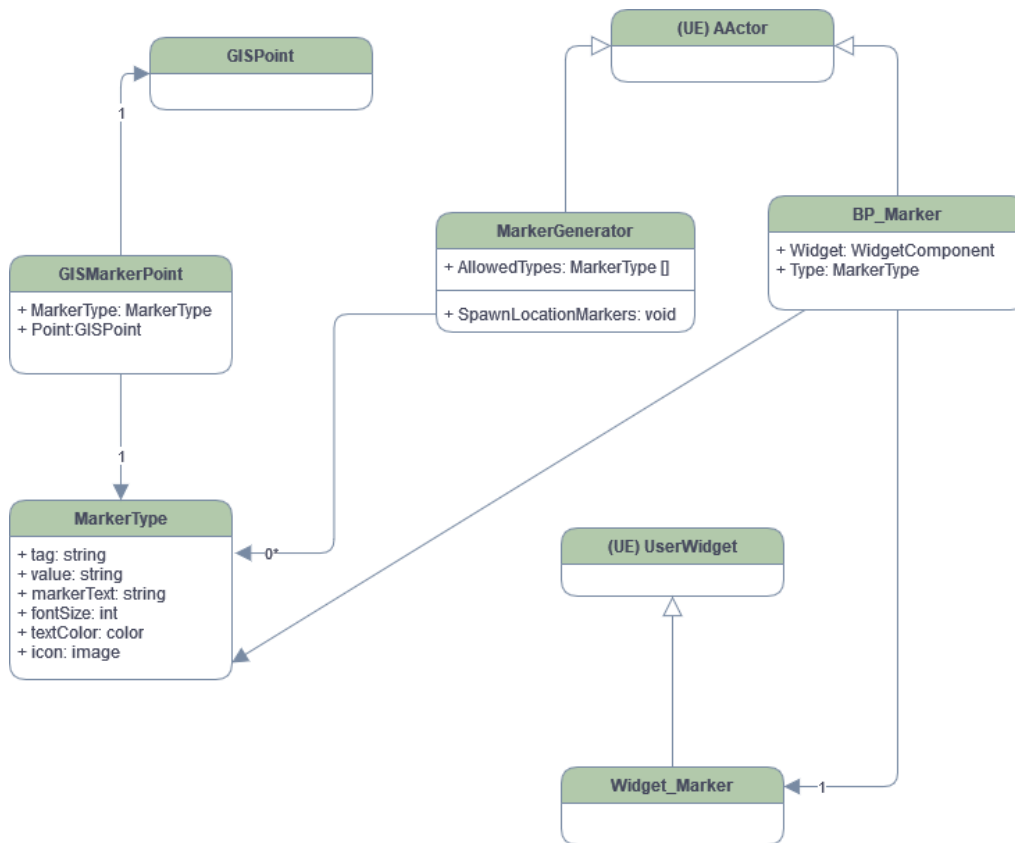


Figura 4.3: Diagrama de classes usadas no processo de configuração e geração de marcadores.

estão definidos no atributo *AllowedTypes*, que é definido por um *array* de objetos do tipo *MarkerType*.

Cada ponto retornado pelo processo de configuração representa um objeto da classe *GISMarkerPoint*, que contém 2 atributos principais: (1) *MarkerType* (classe *MarkerType*): objeto de configuração do tipo de marcador; (2) *Point* (classe *GISPoint*): camada de dados do ponto extraído do ficheiro, contendo todos os valores do nó OSM, a posição geográfica real (latitude e longitude) e a respetiva posição traduzida para coordenadas do mundo virtual, que será usada durante e instanciação do ator do marcador. Caso o marcador contenha informação sobre a altura da localização (no caso de nós do OSM, é dada pelo atributo *height*, em metros) o marcador será criado na altura correspondente, depois de se ter mapeado o valor em metros para Unidades do Unreal (uu) ⁶.

Cada marcador é representado pela classe *BP_Marker*, que inclui todos os atributos, componentes e funções necessárias para a gestão da apresentação e funcionalidades aquando instanciação, bem como o comportamento do marcador a cada *frame* atualizada durante a simulação.

⁶Cada Unidade do Unreal (uu) corresponde sensivelmente a 1cm em medições à escala real.

Um dos componentes adicionados a esta classe foi um *Widget Component*⁷. Este componente é um mecanismo essencial para mostrar elementos de interface com o utilizador, criados com *Widgets*, servindo de uma superfície no mundo 3D onde estes são renderizados primeiramente num *target 2D* e posteriormente mostrados como objetos normais no ambiente virtual. Em suma, este mecanismo permite renderizar elementos de interface com o utilizador em objetos 3D. Neste componente, é possível especificar qual a classe *Widget* que deverá ser mostrada.

Separando a camada de dados da camada visual, foi criada uma classe de *Widget*, *WidgetMarker*, para suportar toda a representação gráfica dos marcadores. Esta classe é responsável por receber o objeto *GISMarkerPoint* referente a um marcador e combinar a camada de dados e de configuração para produzir a representação do marcador.

O texto e a imagem, representados na Figura 4.4 e exibidos no editor de *Widgets* do Unreal Engine, são populados com as propriedades provenientes do objeto configurador, nomeadamente o nome da localidade (substituindo *[Placeholder]*), o tamanho e cor da fonte e o ícone que deverá aparecer.

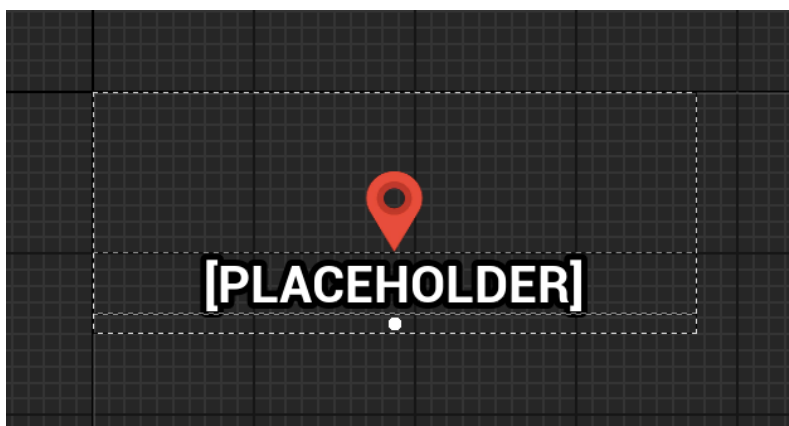


Figura 4.4: Editor Visual da classe *WidgetMarker*.

Após a composição visual dos *Widgets*, a primeira tentativa de colocação de marcadores de orientação no mundo virtual foi testada e pode ser vista na figura 4.5. Nesta figura é possível verificar que os marcadores foram instanciados corretamente, com a imagem definida e o texto específico de cada ponto extraído do OSM. Existe, porém, alguns problemas de visualização, facilmente identificáveis.

O primeiro prende-se pelo facto de existirem demasiados marcadores, o que torna a tarefa de compreensão geográfica demasiado complexa. O segundo problema, visível com mais detalhe na Figura 4.6, diz respeito ao facto de, por terem sido colocados todos os marcadores configurados sem qualquer critério, existem demasiadas aglomerações e sobreposições visuais do texto e dos ícones das interfaces, o que torna impossível a leitura e compreensão correta do texto, quando a câmara é colocada a grandes distâncias.

⁷<https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/Basics/Components/Widget/>

No capítulo seguinte são apresentadas as soluções encontradas para resolver o problema da sobreposição visual de marcadores.



Figura 4.5: Demonstração da primeira tentativa de disposição de marcadores.

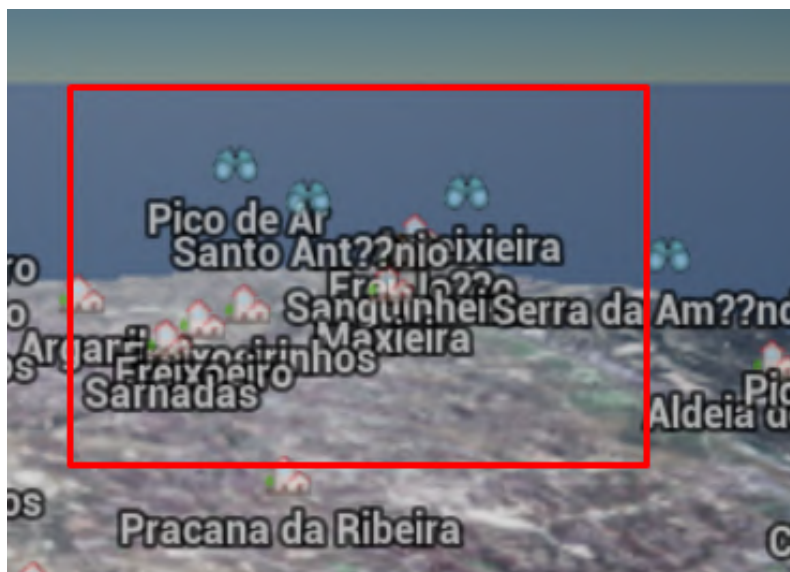


Figura 4.6: Exemplo de sobreposição visual de marcadores.

4.2.3 Solução para Sobreposição de Marcadores

A solução inicialmente pensada para o problema de sobreposição de marcadores tinha de chegar a dois objetivos principais:

- Reduzir a quantidade de pontos mostrados, vistos a uma grande distância, que estejam geograficamente próximos.
- Organizar a disposição dos marcadores para que não existam sobreposições visuais de texto e imagem;

A realização do primeiro objetivo permite também ir de encontro a uma boa estratégia de visualização de pontos geográficos, inspirada noutras aplicações *standard* no mercado atual. Esta estratégia baseia-se na disposição visual de pontos com foco em dois fatores: (1) distância do ponto à câmara; (2) importância geográfica do ponto. Isto significa que à medida que a câmara se aproxima de um dado local, o mecanismo deve ir revelando pontos geograficamente mais pequenos e menos relevantes (tipicamente localizações com menos área geográfica), contrastando com a visualização a grandes distâncias que deverá mostrar apenas os pontos mais relevantes e esconder os restantes.

Para isso, a estratégia de implementação passou por pré-aglomerar os pontos georeferenciados através de um algoritmo de *clustering*. O objetivo final desta aglomeração seria agrupar pontos que estejam, pelo menos, a uma dada distância, por isso optou-se por uma abordagem usando um algoritmo de *Greedy Clustering*. Uma das grandes vantagens do uso de algoritmos de *clustering* para agrupar marcadores é o facto da solução ser facilmente escalável, o que significa que poder-se-á facilmente criar uma hierarquia de marcadores caso, por exemplo, se queira expandir a zona de intervenção do SAD, bastando para isso correr o algoritmo várias vezes com os mesmos pontos (agrupando vários níveis da hierarquia, onde em vez de pontos se pode agrupar pontos e *clusters*) ou aumentar a distância mínima de procura de pontos próximos.

O algoritmo de *Greedy Clustering* apresenta uma natureza e lógica bastante simples para criar grupos, esquematizada na Figura 4.7. Este, segue os seguintes passos:

1. É escolhido um ponto *pivot* p de forma aleatória;
2. São procurados todos os pontos a uma dada distância máxima d (definida como parâmetro do algoritmo);
3. Todos os pontos encontrados, incluindo o ponto p , formam um *cluster*;
4. É escolhido outro ponto de forma aleatória, que não esteja atribuído a nenhum *cluster*, e o processo é repetido até todos os pontos estarem num grupo.

Dado que os pontos ainda não estavam dispostos no terreno do mundo virtual, o cálculo da distância entre os pontos, usada para agrupá-los no 3º ponto do algoritmo descrito anteriormente, foi feito no decorrer da execução dos *clusters*, usando a Fórmula de Haversine [29]. Esta fórmula permite calcular a distância geográfica entre dois pontos no globo terrestre, fornecendo como parâmetros as coordenadas de longitude e latitude de ambos, retornando a distância mais curta entre dois pontos à superfície de uma esfera.

Depois de ter todos os pontos agrupados é necessário atribuir uma distância mínima de visualização para cada marcador, isto é, atribuir a uma distância absoluta que deverá existir entre o ponto e a câmara para que este seja visível pelo utilizador. Para isso, optou-se por primeiro definir um ponto central do grupo, que deverá estar visível a grandes distâncias, ou seja, ser o ponto mais significativo do *cluster*. A escolha deste ponto central,

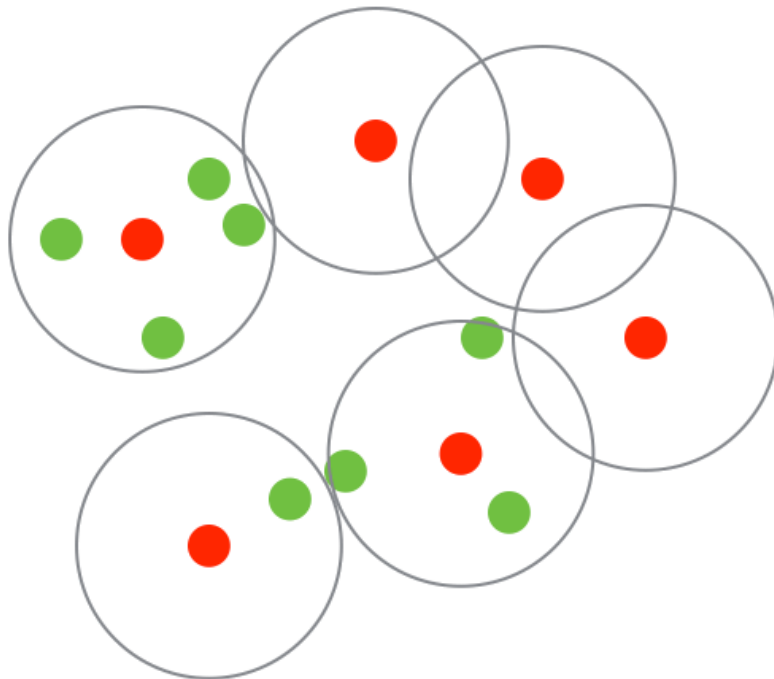


Figura 4.7: Exemplo de pontos agrupados, após a execução do algoritmo de *clustering* (esquema adaptado de [14]).

ao qual deu-se o nome de **ponto *centroid***, foi feita usando o ponto mais próximo da média aritmética das longitudes e latitudes de todos os pontos dentro do conjunto.

De seguida, a implementação trabalha com as vizinhanças desse ponto central tal que, à medida que a câmara se aproxima do *cluster*, sejam revelados, progressivamente, os pontos mais distantes ao *centroid* diminuindo assim a probabilidade de colisão visual do texto, embora não garantido totalmente esse objetivo, como poderemos concluir mais à frente. Para simplificar a implementação, a função que executa o algoritmo de agrupamento, no final, coloca em cada ponto o índice correspondente à distância, sendo que posição 1 corresponde ao *centroid* e a posição N ao ponto mais próximo do centro. Para o efeito, foi adicionado o atributo *ClusterIndex* à classe **GISMarkerPoint**.

Pegando no exemplo da Figura 4.8, o ponto a vermelho representa o *centroid* do grupo (na imagem está mesmo exatamente no centro do *cluster* mas na verdade, como é calculado baseado na média das posições dos pontos, não tem de ser necessariamente assim), ao qual foi atribuído o valor de índice 1. Seguidamente atribui-se o índice 2 ao ponto mais distance do *centroid*, o 3º ao seguinte mais distante e assim sucessivamente.

As distâncias mínimas de visualização de cada marcador são ponderadas por este índice, sendo que foram criados dois parâmetros, na classe geradora **MarkerGenerator**, para o controlo deste valor: (1) ***Centroid Distance View***: a distância, metros, a que o marcador central deverá ser visível (O valor por defeito deste parâmetro é 7000m); (2) ***NonCentroid Distance View Multiplier***: a distância a dividir pelo índice do ponto, para todos os pontos que não sejam *centroids* (O valor por defeito deste parâmetro é 4500m).

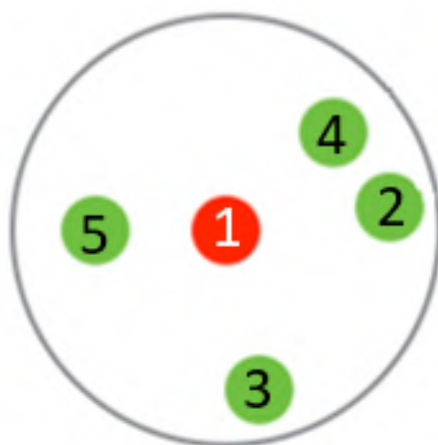


Figura 4.8: Exemplo dos índices, relativos às distâncias de visualização, atribuídos aos pontos dentro de um grupo.

No *cluster* exemplo da Figura 4.8, o ponto 2 ficaria com 4500m de distância, o ponto 3 com 2250m, e assim por diante até a um mínimo estabelecido (para que não existam distâncias mínimas de visualização demasiado curtas).

O cálculo da distância entre a câmara e cada marcador é feito usando a função disponível na API do UE *GetDistanceTo* que, dados dois atores como argumento, retorna a (*unreal units*) distância entre ambos, em Unidades do Unreal (uu). Cada unidade corresponde sensivelmente a 1cm em medições na escala do mundo real.

Para mostrar e esconder os marcadores foram adicionados métodos que reproduzem, respetivamente, uma animação de *fade in* e *fade out*, com duração de 1.5 segundos. Optou-se por usar uma animação suavizada, em detrimento de esconder e mostrar os marcadores de forma abrupta, de modo a diminuir a carga visual do utilizador.

Resultados Após a Aglomeração de Marcadores

De uma forma geral, o resultado após a aglomeração dos pontos pode ser considerado bastante satisfatório. Na Figura 4.9 é possível verificar que, colocando o ponto de vista a uma altitude elevada e distante do terreno, deixaram de existir aglomerações de demasiados marcadores e são mostrados apenas os marcadores *centroid* de cada grupo pré-calculado e geograficamente próximo. A figura seguinte mostra numa perspetiva de voo o mesmo resultado, onde não se visualiza nenhuma aglomeração nem excesso de informação no campo de visão do utilizador, contrastando com a primeira tentativa, mostrada na figura 4.5.

No exemplo apresentado na Figura 4.11 verifica-se que, ao aproximar a câmara de um dado *cluster* de pontos, são mostrados cada vez mais pontos, pela ordem explicada anteriormente, o que permite ir de encontro a um dos objetivos desta solução, também apresentada por outras aplicações, de mostrar pontos mais pequenos e menos relevantes geograficamente à medida que a câmara se aproxima de um local de maiores dimensões.

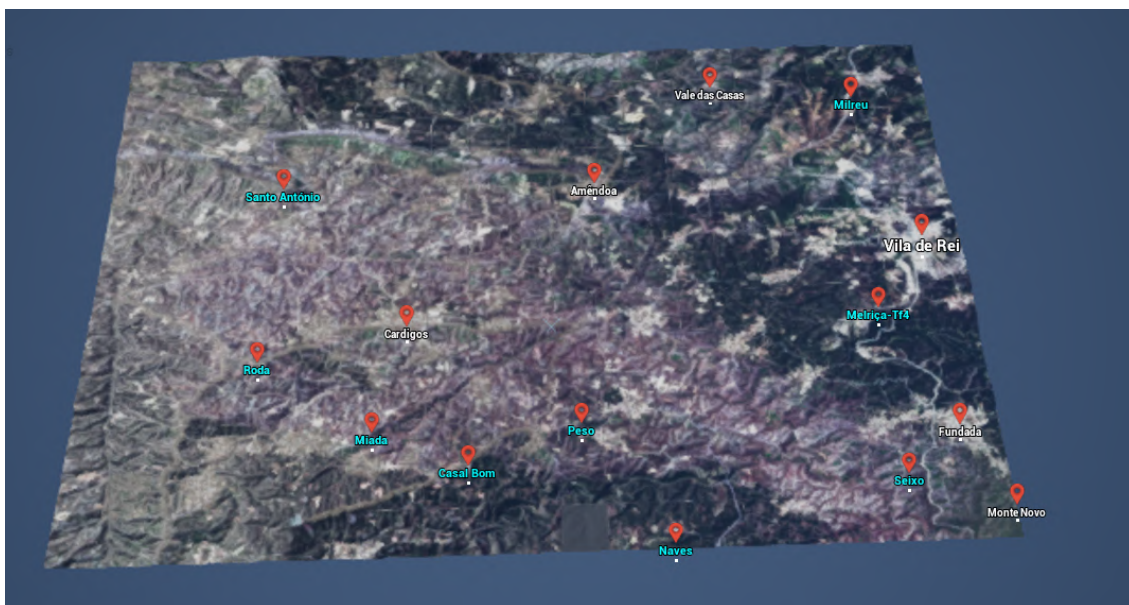


Figura 4.9: Resultado dos marcadores dispostos no modo de visualização em mapa. A esta distância, só estão visíveis os pontos *centroid* dos clusters.

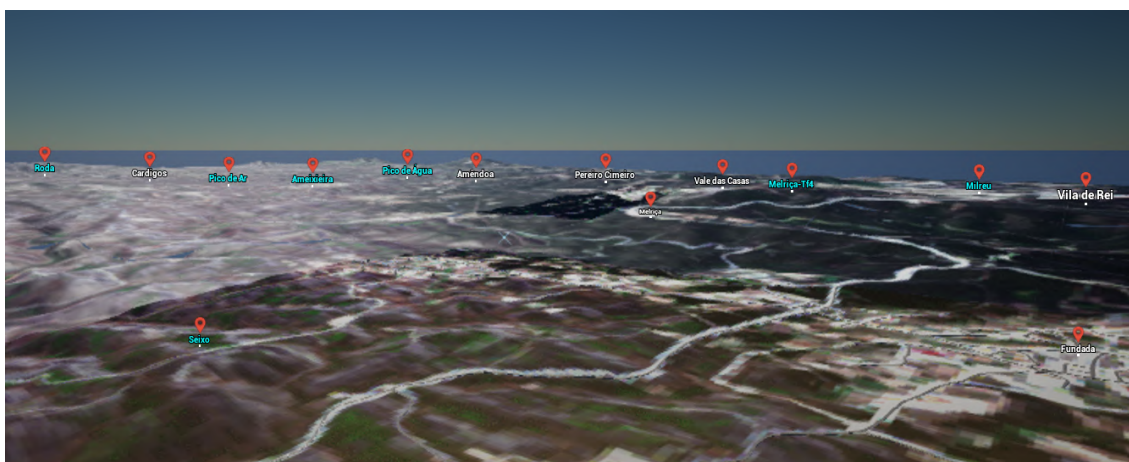


Figura 4.10: Resultado dos marcadores dispostos na modo de visualização em voo.

Apesar destes resultados satisfatórios, a atual disposição e forma de organização dos marcadores apresenta ainda alguns problemas.

Esta forma de aglomeração funciona perfeitamente em mapas a duas dimensões (ou no modo de visualização em mapa) e com o ponto de vista do utilizador colocado a um ângulo superior a sensivelmente 15°. No entanto, e atendendo ao facto de neste contexto

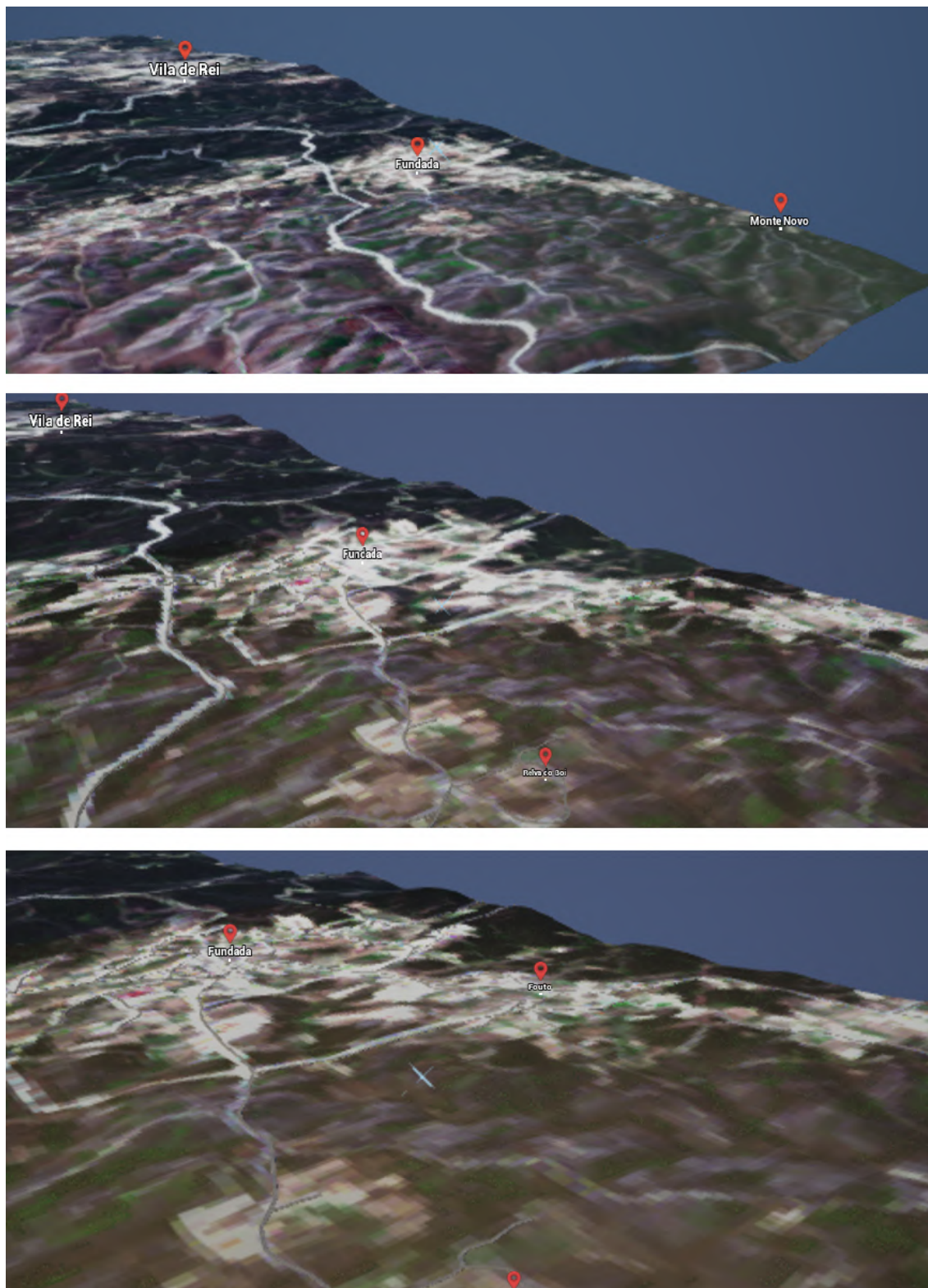


Figura 4.11: Resultado dos marcadores dispostos em três níveis de zoom diferentes. À medida que nos aproximamos de um local são mostrados mais marcadores nas redondezas de um ponto *centroid*.

de RV é dada total liberdade ao utilizador para se mover e olhar para qualquer lado, se colocarmos a perspetiva num ângulo em relação aos marcadores próximo de 0° , verifica-se que pontos *centroid* de grupos diferentes ainda se sobrepõem visualmente. Este problema pode ser identificado na Figura 4.12.

Com o intuito de tornar os marcadores uma solução de orientação indireta viável é necessário complementar a solução de aglomeração com outros mecanismos de deteção de colisões de visualização, para que não existam sobreposições do texto e das imagens do marcadores, deixando mais fácil a leitura dos mesmos e a utilização da aplicação em RV mais fluída e satisfatória. No capítulo seguinte é apresentada uma possível solução para o problema descrito.



Figura 4.12: Exemplo de sobreposição visual de marcadores, quando vistos de um ângulo em relação ao solo inferior.

4.2.4 Deteção de Colisões de Visualização

Para que os marcadores de orientação sejam totalmente visíveis e legíveis foi necessário acrescentar à abordagem anterior um mecanismo que diretamente avaliasse se um marcador está ou não sobreposto visualmente a outro.

A ideia principal que se optou por seguir foi a verificação de colisões usando raios projetados a partir do próprio ator do marcador, tirando partido tanto do sistema de *RayCast*⁸ como do mecanismo de deteção de colisões do UE.

Em cada *frame* da simulação, são projetados, a partir do ator do marcador, 2 raios em sentidos opostos: (1) em direção à câmara e (2) em direção contrária à câmara onde se encontra o ponto de vista do utilizador. Os raios são projetados em forma de caixa, usando a função do UE *BoxTraceByChannel*. Esta função recebe como parâmetros o vetor posição inicial, o vetor posição final, e o tamanho da caixa a ser projetada.

⁸<https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/InteractiveExperiences/Tracing/HowTo/SingleLineTraceByChannel/>

Os raios em forma de caixa (figura 4.14) são úteis porque cada marcador instanciado, objeto da classe *BP_Marker*, contém um componente *Static Mesh*, chamado *WidgetCollider* em forma de cubo, cujo propósito é detetar as colisões provenientes de qualquer *RayCast*. Deste modo, a deteção da colisão é feita mais facilmente e com mais rigor, já que a área da caixa projetada tem o mesmo tamanho da malha estática do marcador.

Foi adicionado à classe *BP_Marker* a função *CheckCollisions*, responsável por projetar os dois raios e verificar se existem colisões. No que diz respeito ao raio traçado em direção à câmara, a posição inicial é o mesmo vetor de posição do ator do marcador e a final corresponde à posição atual da câmara.

O raio projetado em sentido contrário tem igualmente como posição inicial o marcador e final a posição obtida através da inversão do vector obtido pela função *GetUnitDirectionVector*⁹, que devolve um vetor unitário da direção entre dois atores, neste caso entre o marcador e a câmara. Após calculado, o vetor é multiplicado por um valor extremamente pequeno (neste caso -10^8 unidades do UE) e é adicionado posteriormente o vetor da posição do marcador, para que a projeção do raio seja feita para um ponto a larga distância no sentido oposto.

Na figura 4.13 é possível verificar o raio disparado em direção à câmara a vermelho e o raio em sentido oposto a verde.

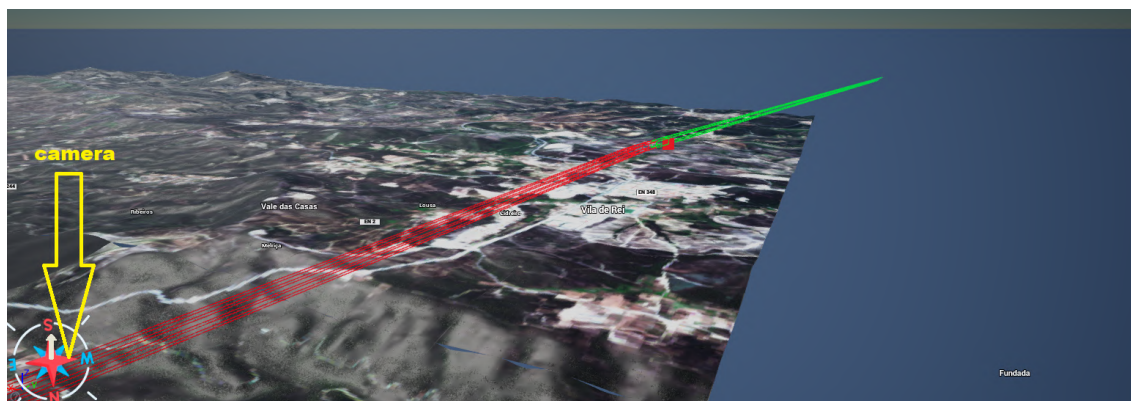


Figura 4.13: Projeção dos dois raios a partir de um marcador, vistos de cima. A vermelho o raio até à câmara e a verde o projetado a partir do marcador em sentido oposto.

Além destas projeções, a função *CheckCollisions* é também responsável por verificar se existem colisões entre os raios e algum ator e agir em conformidade. Se se der caso de um dos raios colidir com um *collider* de outro marcador é necessário esconder um deles para que não estejam sobrepostos visualmente.

A ideia será esconder o marcador que é menos importante ou menos geograficamente relevante, isto é, marcadores que sejam relativos a áreas maiores (como cidades ou vilas) deverão ter prioridade em relação a outros de áreas mais pequenas (como aldeias). Para

⁹https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/BlueprintAPI/Math/Vector/GetUnitDirection_Vector/

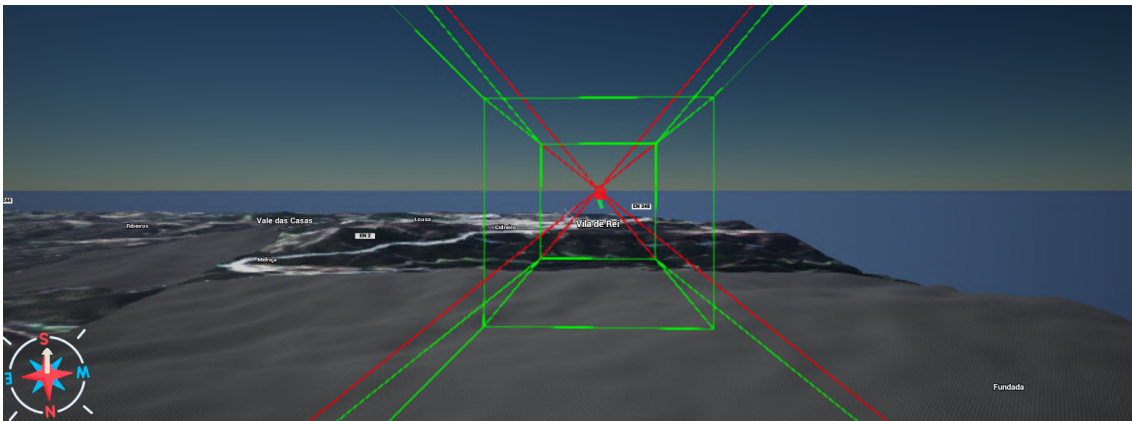


Figura 4.14: *RayCast* projetado em forma de caixa.

isso, foi adicionado o atributo de configuração *DepthPriority* à classe *MarkerType*. Este atributo, que é um valor inteiro maior ou igual a 0, permite definir uma ordem de prioridades de marcadores para que, em caso de colisão, sejam mostrados os marcadores que tenham um tipo mais prioritário.

A fim de evitar problemas de sincronismo, cada marcador é apenas responsável por esconder-se a si próprio, ou seja, em caso de colisão com um marcador com prioridade inferior o comportamento da função *CheckCollisions* é nulo.

Suponhamos que no exemplo da figura 4.15, o marcador **A** está a ocultar a visibilidade do marcador **B**, e vice-versa. Caso o marcador **A** tenha prioridade superior, a função executada no marcador **B**, ao detetar que a colisão foi feita contra um marcador com prioridade superior, esconde o mesmo, reproduzindo as animações para o desvanecer (na classe do *Widget Component*) e desativando a malha estática de colisão do ator do marcador **B**. O marcador **A**, apesar de ter detetado a colisão, não produz nenhum efeito.

Caso as prioridades sejam iguais o critério é esconder o ponto mais distante. Se se der este caso, ambos os objetos poderão tentar esconder o mesmo marcador (**B** - o mais distante da câmara) sem problemas de sincronismo.

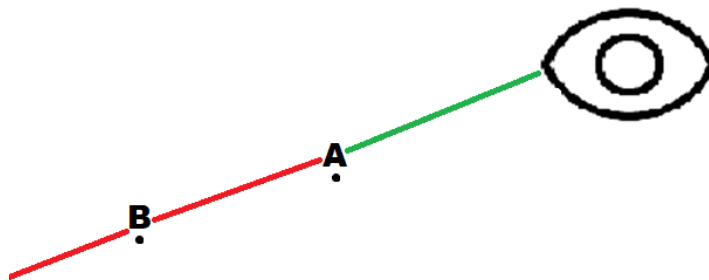


Figura 4.15: Exemplo de sobreposição visual de marcadores e dos raios detetores de colisões. O olho representa a câmara.

Resultados Após Detecção de Colisões de Visualização

Os resultados da deteção de colisões usando *RayCasting*, e incluindo à mesma o mecanismo de aglomeração de marcadores descrito em 4.2.3, pode ser considerado bastante positivo. Após a aplicação do mecanismo de prioridades de tipos de marcadores, qualquer que seja a posição da câmara e o ângulo de visualização, em comparação direta com figuras dos resultados anteriores, a Figura 4.16 mostra que já não existem sobreposições visuais de marcadores, sendo que as colisões são verificadas a cada *frame* de execução.

Apesar dos resultados serem satisfatórios, o facto de a cada *frame* ser executado uma porção de código com alguma complexidade - *Número de Marcadores Dispostos X 2 X Verificação de Colisões* implica que tenha de ser feita uma análise do impacto no desempenho da execução da simulação, antes e depois deste mecanismo ser adicionado.

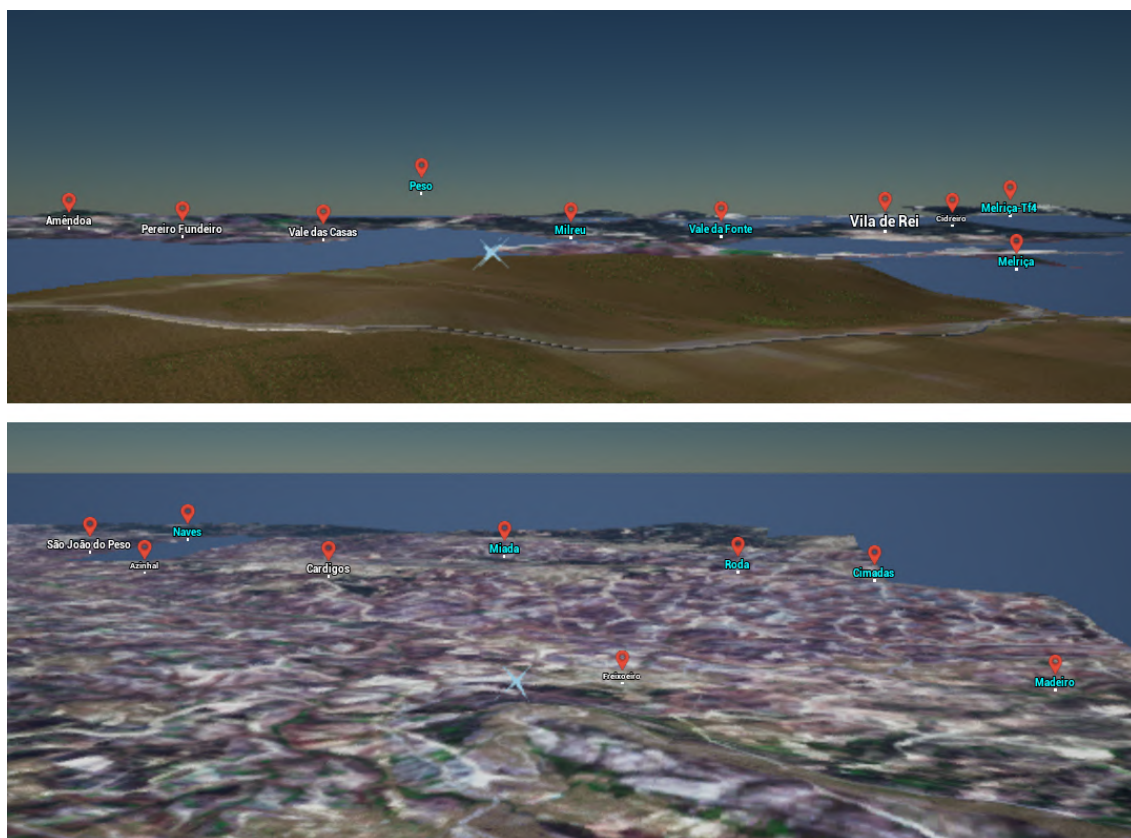


Figura 4.16: Disposição de marcadores sem sobreposições, após a deteção de colisões.

4.2.5 Marcadores de Estradas

Para além de marcadores em pontos de interesse e localizações, o mecanismo de orientação indireta contempla também a identificação de representações geométricas em linha, isto é, estradas. A ideia principal é mostrar marcadores, semelhantemente aos de localizações, ao longo da silhueta da estrada.

As estradas assinaladas no OSM estão demarcadas com a etiqueta *way* e contém as propriedades da via e um conjunto de nós (iguais a outros nós de localizações) com latitude e longitude definida.

Requer-se que o comportamento de cada marcador da estrada seja igual ao dos marcadores de localizações, isto é, que contenha uma distância mínima e máxima para estar visível ao utilizador e que verifique colisões com outros marcadores, sendo que se decidiu que os marcadores de localizações têm prioridade em caso de colisão. Posto isto, foi criada a classe **BP_RoadMarker** para representar cada ator do marcador de estradas. Esta classe é herdada de **BP_Marker** pelo que, todas as funcionalidades, nomeadamente a função *CheckCollisions* executada a cada *frame*, é transitada para a mesma.

Quanto ao *widget* que é mostrado, optou-se por colocar o nome da estrada dentro de um segmento de imagem que já é familiar ao utilizador, isto é, a demarcação quilométrica das vias, (Figura 4.17) usada nas estradas portuguesas. Para isso foi criada uma classe de *widget*, **Widget_RoadMarker** que recebe o nó, contendo a referência da estrada à qual pertence, atualiza o texto e renderiza a textura da via correspondente.



Figura 4.17: Marcação quilométrica de vias (retirado de [33]).

À semelhança das localizações, a classe **MarkerGenerator** é responsável por ler o ficheiro exportado do OSM e instanciar os atores dos marcadores de cada ponto da estrada. A primeira tentativa de colocação de marcadores de estradas teve o resultado mostrado na Figura 4.18. Ao colocar todos os nós da estrada definidos no ficheiro, verifica-se que existe uma quantidade enorme e desnecessária de marcadores dispostos, que se tentou resolver logo de seguida.

Os melhoramentos a esta disposição foram feitos partindo do pressuposto que não são necessários tantos marcadores, nem colocados tão próximos uns dos outros, para que se compreenda corretamente a silhueta da estrada. Para resolver o primeiro problema, juntou-se todos os marcadores de cada estrada num conjunto, ordenado pela posição relativa na via (por defeito, os nós no ficheiro OSM seguem esta ordem) e definiu-se um valor de percentagem de salto. Este valor de salto permite, ao percorrer o *array* de pontos para instanciar os marcadores, saltar uma percentagem do número máximo do conjunto. Por defeito, o salto dá-se a cada 5%.



Figura 4.18: Primeira tentativa de marcadores de estradas. Existem demasiados pontos e estão muito próximos uns dos outros. Neste exemplo, só estão definidos pontos de estradas municipais (M) e restantes estradas (N).

Olhando para o exemplo da Figura 4.2.5, é possível verificar que não existem grandes aglomerados de marcadores de estradas e que estes se encontram corretamente organizados e dispostos no mundo.



Figura 4.19: Disposição dos marcadores de estrada sem aglomerações.

Apesar de estarem dispostos de forma legível, estradas que estejam a uma distância elevada não deverão conter demasiados marcadores visíveis, como acontece no canto superior esquerdo do exemplo. Quanto a esse problema de proximidade de pontos, de igual forma para os marcadores de localizações, a ideia é ir detalhando cada vez mais a silhueta da estrada à medida que o utilizador se aproxima do terreno, definindo uma distância mínima de visualização para cada marcador.

Aproveitando o facto de os marcadores se encontrarem por ordem geográfica relativa, no ficheiro do OSM, optou-se por colocar o marcador do meio da estrada com a maior distância mínima de visualização e, progressivamente em sucessivas metades, ir diminuindo a distância mínima. Concretamente, no 1º nível o marcador na posição 1/2 é o único visível, no 2º nível acrescentam-se os marcadores 1/4 e 3/4, e assim sucessivamente.

O resultado da definição destas distâncias de visualização em função do índice do marcador no *array* pode ser visto na Figura 4.21 onde é possível verificar que ao chegar cada vez mais perto da Estrada Nacional 2 (EN2), são revelados cada vez mais pontos pela ordem estabelecida em 4.20.

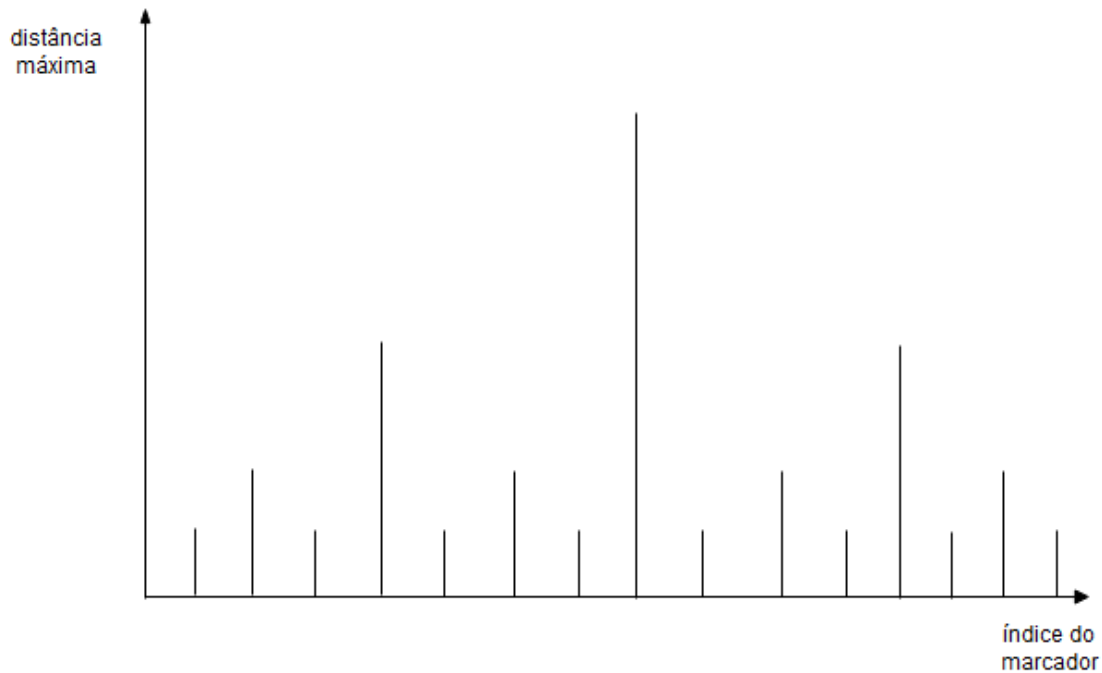


Figura 4.20: Distância de visualização relativa em função do índice do marcador na estrada.

4.3 Assistência à Orientação Direta

Como referido no Capítulo 2 e na abordagem ao problema (ver secção 2.6), existem essencialmente dois tipos de assistência à orientação: Indireta e Direta. Colocando o foco no último tipo, a abordagem desta implementação prende-se com técnicas dependentes do objetivo/*target*, isto é, técnicas onde existem pistas visuais concretas que indicam a direção e distância (e eventualmente outras propriedades) de pontos de interesse, tipicamente definidos pelo utilizador.

Posto isto, e indo de encontro à abordagem inicial, a implementação deste mecanismo de orientação dividiu-se em quatro partes essenciais: a pesquisa de localizações (marcadores); uma forma de movimentação automática para um dado ponto, uma interface de definição de pontos de interesse pelo utilizador e, por último, a implementação de uma orientação visual para os pontos escolhidos, que poderão estar fora do campo de visão da câmara.

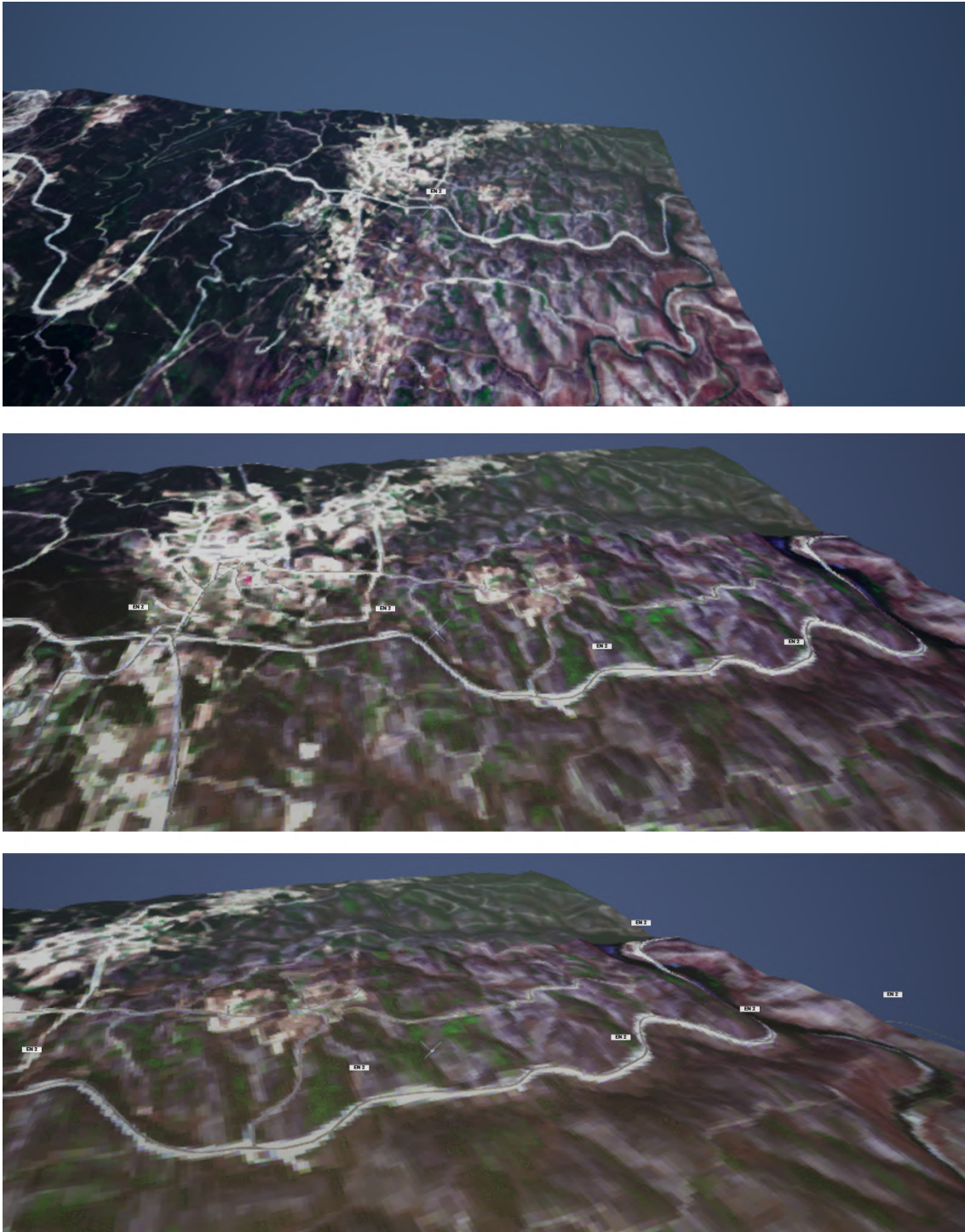


Figura 4.21: Marcadores de estrada em vários níveis de altura.

4.3.1 Pesquisa de Localizações

Foi desenvolvido uma interface de pesquisa de marcadores para poder não só explorar quais as localizações que existem (e se existem como marcadores) mas também para ser possível executar algumas tarefas num dado marcador disposto no mundo. O menu foi desenvolvido recorrendo a *widgets* de interação e foi criada a classe **MarkerSearchMenu**.

Quando o menu é mostrado, após interação com um dos botões do controlador, o evento *OnShow* é despoletado. Neste evento, são obtidos todos os atores da classe *BP-Marker* através da função *GetAllActorsOfClass*, disponibilizada pela API do UE, e são guardados e retidos em memória.

Depois disso, é mostrada a interface da Figura 4.22, no centro do campo de visão do utilizador. Neste menu, está disponível uma caixa de texto onde, pesquisando por localizações, são mostradas sugestões de marcadores na lista abaixo, como demonstra o exemplo da Figura 4.23. Por defeito, estão listados os cinco marcadores que foram pesquisados e interagidos mais recentemente, sendo que esta informação é guardada num ficheiro XML na diretoria do projeto.

A lista de marcadores foi implementada com recurso ao componente *ListView*, onde é definida qual a classe *widget* para cada entrada e qual o *array* de dados com que deverá ser populada a lista. Para isso, foi criado um *widget*, **MarkerSearchButton**, que representa cada sugestão na lista, recebendo automaticamente pelo motor do UE o objeto instanciado **BPMarker** a que corresponde a entrada.

A representação visual da **MarkerSearchButton** contém uma seta indicativa da direção do marcador em relação à posição da câmara, para que o utilizador possa, de forma rápida e não exata, ter uma perceção onde se situa a localização. Esta direção foi obtida pela função *GetUnitDirection* calculada desde a câmara até ao ator. Este vetor de direção normalizado é posteriormente convertido para o ângulo correspondente com recurso à função *Atan2*.

De seguida é mostrado o ícone, definido na estrutura de configuração do marcador **MarkerType**, o nome da localização e a distância da câmara que se encontra o marcador, atributos extraídos do próprio objeto **BPMarker**.

À direita de cada entrada na lista encontram-se dois botões. O primeiro, com seta a vermelho na Figura 4.22, permite definir uma localização como ponto de interesse, cujo processo será explicado mais à frente. O segundo botão, com a seta amarela, permite movimentar o ponto de vista do utilizador automaticamente para a localização do marcador correspondente.

4.3.2 Movimentação Automática para um Marcador

Após interação com o segundo botão, o menu de pesquisa é escondido e o utilizador é automaticamente transportado para perto do marcador, colocando a localização e rotação

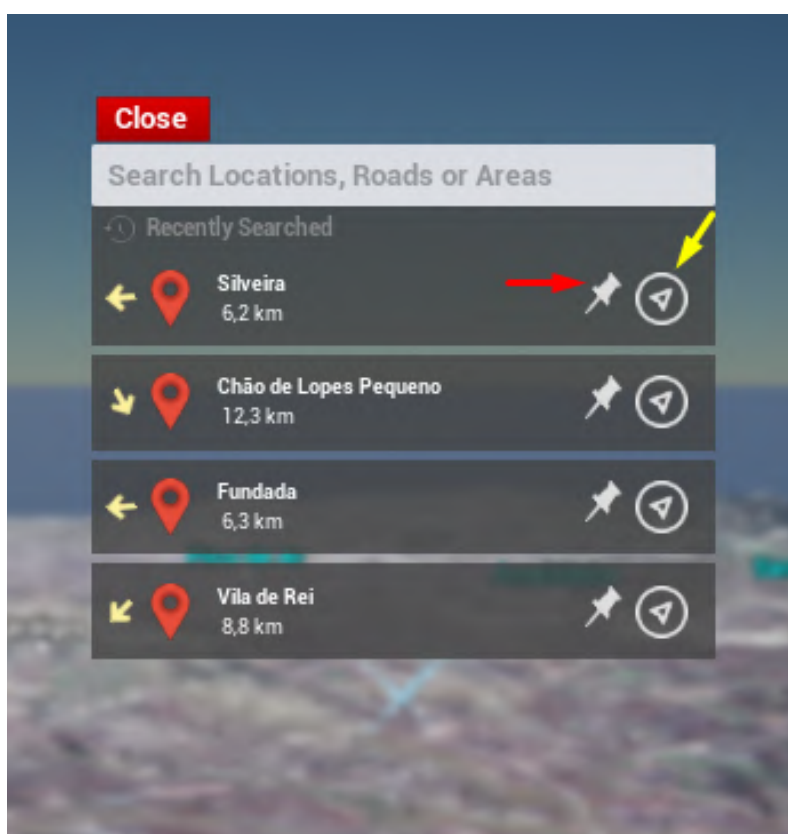


Figura 4.22: Interface de Pesquisa de Marcadores.

da câmara no ponto de interesse escolhido.

Foi criada a classe **MarkerGlider**, responsável pela translação da câmara ao ponto de interesse. Esta contém a função *SlideToMarker*, que recebe como argumento um objeto do tipo **BPMarker** e é responsável por movimentar a câmara. Existem dois parâmetros de configuração para definir a posição e rotação final da câmara: qual a distância desejada e qual o ângulo em relação ao solo a que deve ficar a câmara, centrada no marcador escolhido. De seguida é explicado como é feita a animação de translação tanto de rotação da câmara como de deslocação da mesma até ao ponto, tendo em consideração os parâmetros configurados.

Rotação

Ambas as animações, de rotação e deslocação da câmara, fazem uso de uma **Timeline**. Este mecanismo do UE permite a criação de animações com base num período temporal, definindo qual o valor que deve variar, em quanto tempo, e qual a função delineadora da variação do valor ao longo do tempo. Para este caso particular, definiu-se uma variação linear de um parâmetro, *alpha*, durante 5 segundos. Tendo este valor *alpha* a variar, é necessário reproduzir a **Timeline** e alimentar uma função de interpolação com este valor.

Para a animação de rotação da câmara, focando o ponto marcador selecionado, fez-se



Figura 4.23: Sugestões de pesquisa, após inserção na caixa de texto.

uso de uma interpolação linear de rotação (*Lerp Rotator*) que recebe um vetor de rotação inicial, um vetor de rotação final e um *alpha*, valor a interpolar. Esta função *built-in* do UE4 possui também um argumento chamado *shortest path* que permite definir se a rotação de A para B será feita pelo lado onde esta interpolação seja mais curta, ou seja minimizando as diferenças entre as orientações iniciais e finais. Para este efeito de animação de rotação esta propriedade deverá estar ativada.

Os vetores de rotação iniciais e finais são dados, respetivamente pela rotação original da câmara e pelo vetor de rotação obtido pela função do UE, *FindLookAtRotation*, que, passadas duas posições como argumentos, devolve o vetor de rotação entre ambas.

Posição Final

A animação do deslizamento para a localização final segue a mesma ideia base da rotação: é definida uma **Timeline** para variar um *alpha* e é feita uma interpolação linear em função desse valor entre duas posições no mundo. Neste caso, a função de interpolação, **Ease**, permite suavizar o início e o fim da animação.

A posição final do deslocamento é calculada com base na distância pretendida ao marcador e no ângulo de visão, demonstrado na Figura 4.24. Em primeiro lugar calcula-se o vetor unitário da direção entre a câmara e o marcador selecionado. De seguida, desloca-se um vetor auxiliar e arbitrário, que guardará a posição final, até ao ponto A, onde o ponto estará à distância horizontal pretendida. Por fim, calcula-se a altura necessária a que a câmara tem de estar para que o utilizador veja o marcador num ângulo em relação ao solo, previamente definido (por defeito são 15°). Tendo o vetor auxiliar no ponto B, a animação final desloca a câmara diretamente para esse ponto, colocando como argumentos iniciais e finais da interpolação, respetivamente, a posição atual da câmara e a determinada pelo vetor auxiliar.

Velocidade da Animação

Estando em RV, é necessário ter alguma cautela em relação à velocidade com que estas animações são executadas. Para que não existam grandes discrepâncias em relação à velocidade da animação entre marcadores próximos e distantes da posição da câmara (no momento em que se inicia), optou-se por variar a velocidade em função dessa mesma distância, já que, por defeito, as animações seriam reproduzidas sempre durante 5 segundos.

Para isso, a função *GetAnimationDurationByDistance*, recebe como argumento a velocidade de deslocação da câmara pretendida, e, com base na distância entre a câmara e o ator do marcador, calcula a duração em segundos da animação. Por defeito, colocou-se a velocidade em 500 km/h, valor que poderá ser ajustado no futuro.

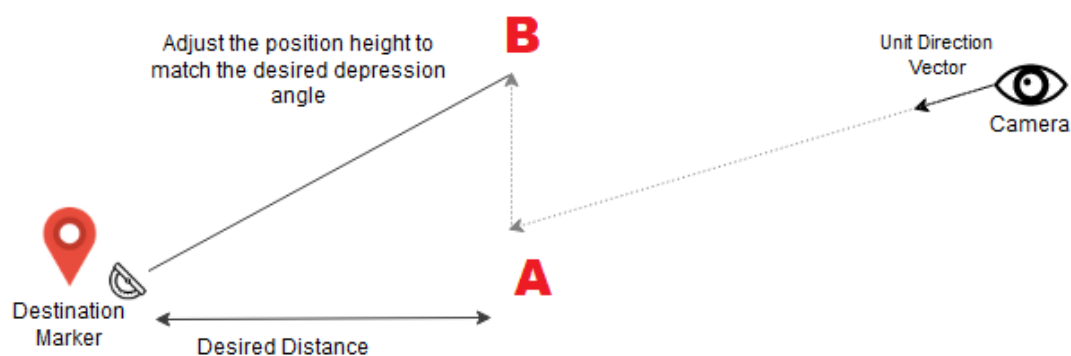


Figura 4.24: Cálculo da posição final da animação.

4.3.3 Definição de Pontos de Interesse

Como referido anteriormente, caso o utilizador não queira navegar automaticamente para o marcador, pode definir este como ponto de interesse e ter um auxílio visual permanente que indique a direção e a distância a que se encontra desse ponto. Após selecionar um marcador desejado e ao clicar no primeiro botão que surge numa das entradas da lista

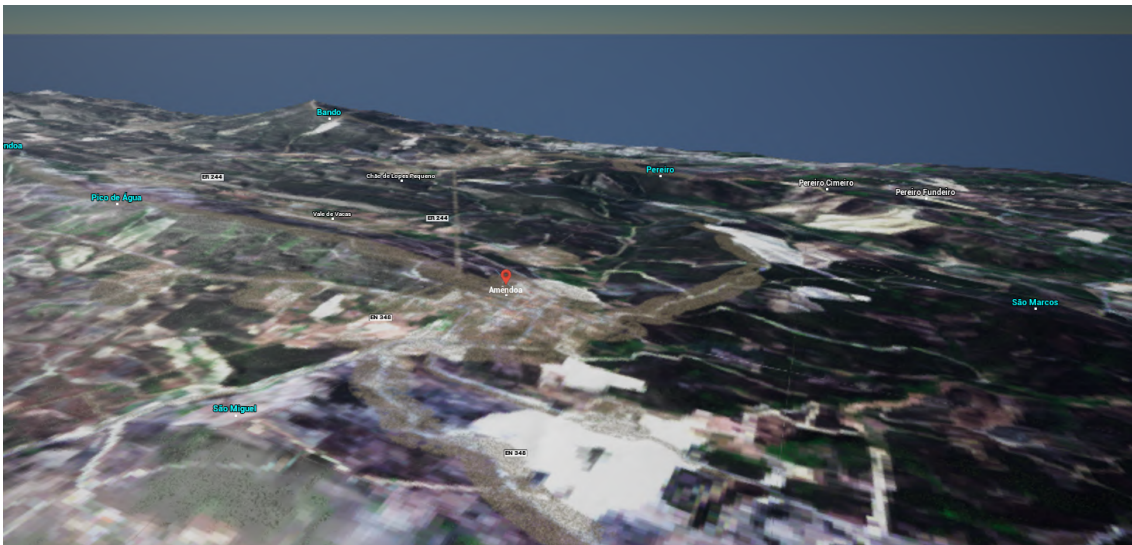


Figura 4.25: Posição e Rotação final após a animação de deslocamento, neste caso, para a localidade de Amêndoa.

de pesquisa (4.22), a classe *widget* **PinColorPicker** é instanciada e colocada à direita do menu de pesquisa. Nesta classe é possível escolher qual a cor que deverá ter o ponto de interesse, contendo nove botões em forma de grelha com cores suficientemente diferentes para se distinguirem facilmente. Após clicar numa das cores, o marcador é definido como ponto de interesse e o respetivo *pin* fica com a cor escolhida, como mostra a Figura 4.26.

Existe ainda a possibilidade de alterar a cor ponto de interesse, bastando, para isso, repetir o processo acima ou remover o mesmo, clicando sobre o ícone do *pin*, na entrada respetiva da lista.

4.3.4 Orientação para Pontos Fora do Campo de Visão

Após a definição do ponto de interesse, é necessário criar as pistas visuais para auxiliar permanentemente o utilizador quanto à direção e distância a que este se encontra do marcador. Como referido na secção de abordagem, tentou-se adaptar o mecanismo de orientação para pontos fora do campo de visão do utilizador, proposto pelos autores em [19] (ver secção 2.6.3).

Em primeiro lugar, foi criada a malha estática da pirâmide, com o referencial de origem no vértice da mesma. De seguida definiu-se o material da textura a aplicar a cada pirâmide, que incluiu um parâmetro vetorial referente à cor a usar na mesma.

Atendendo ao facto deste mecanismo de orientação estar preso ao ponto de vista do utilizador, as malhas estáticas das pirâmides foram adicionadas como componentes filhas da câmara de jogo, componente esta que se encontra na classe **MotionControllerPawn**. Desta forma, a localização da pirâmide tem sempre como referencial de origem a câmara.

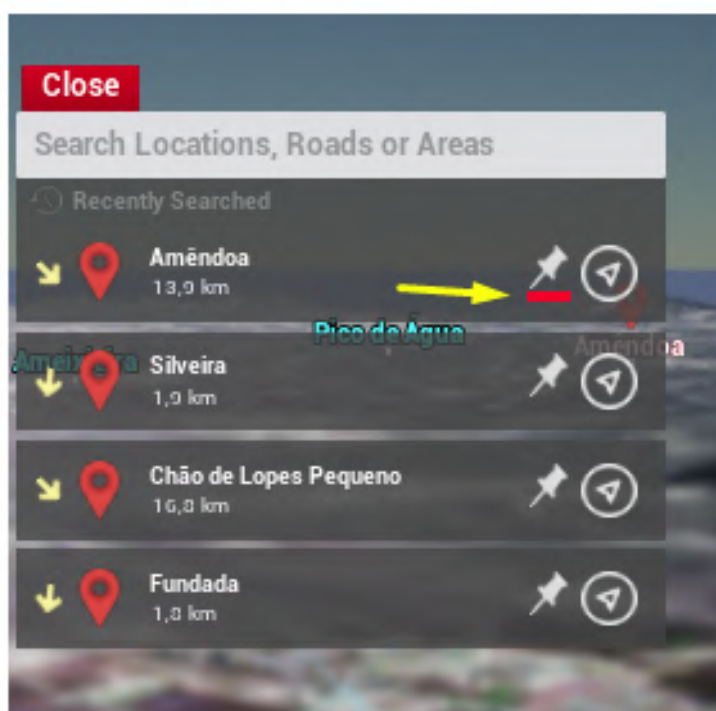
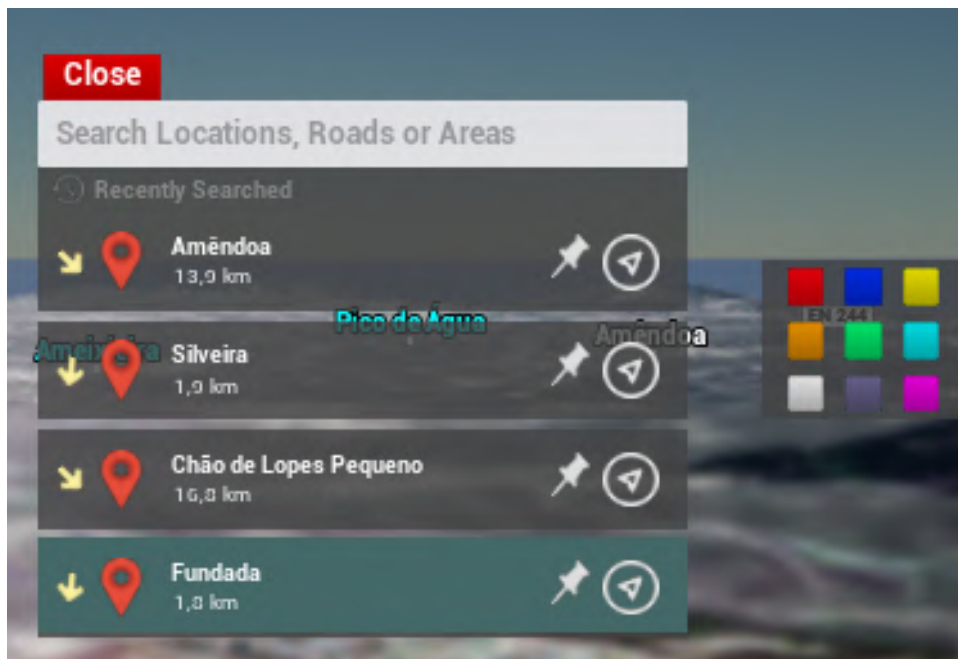


Figura 4.26: Definição de um ponto de interesse e escolha da respectiva cor.

Assim que o utilizador define o ponto de interesse é executada a função *AddMarkerWedge*, adicionada à classe **MotionControllerPawn**. Esta função, recebe como argumentos um objeto da classe **BPMarker** e uma cor, e é responsável por instanciar um componente de malha estática, definir a malha da pirâmide e atribuir o material com a respetiva cor. Por fim, esta malha é colocada como filha do componente da câmara, com recurso à função *AttachComponentToComponent*. A Figura 4.27, demonstra a definição de três pontos de interesse e as respetivas pistas visuais a surgirem em baixo da lista.



Figura 4.27: Posição e Rotação final após a animação de deslocamento, neste caso, para a localidade de Amêndoa.

Na classe **MotionControllerPawn** foi definido um *array* com objetos instanciados da classe **MarkerPin**. Esta classe tem o único propósito de servir como tipo de dados juntando o marcador referente ao ponto de interesse, a malha estática instanciada e a cor da mesma.

A cada *frame* de execução, a orientação e o tamanho das malhas estáticas das pirâmides são alteradas dinamicamente. Pelo facto de o referencial de origem ser o vértice das pirâmides, a rotação da mesmas é dada pela função *FindLookAtRotation*, tendo como

começo a localização atual da câmara e como objetivo de *look at* a localização do marcador.

Em relação à escala da pirâmide existem duas partes da mesma que são alteradas dinamicamente: o tamanho da base e a largura dos lados. O tamanho da base é uma das pistas visuais para perceber a diferença das distâncias entre os pontos.

A ideia é que a largura da base seja escalada não linearmente em função da distância até ao ponto e do número de pontos existentes, seguindo a fórmula na Listagem 1. Isto permite distinguir mais facilmente quais os pontos que estão mais próximos (largura da base maior), dando destaque aos mesmos (Figura 4.28), ao mesmo tempo que se ajusta as larguras para poderem existir mais pontos em simultâneo e diminuir a probabilidade de se colidirem. A função F , recebe argumento o índice do objeto **MarkerPin** no *array*, que deverá estar ordenado pelas distâncias aos respetivos pontos. O valor do índice no conjunto ordenado entra diretamente na multiplicação na fórmula, o que implica que a escala das bases seja não linear.

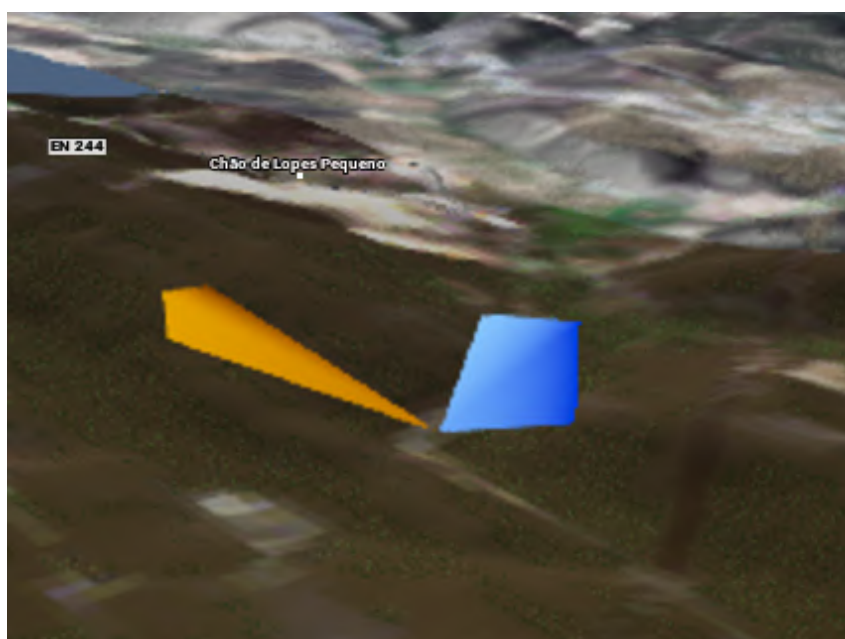


Figura 4.28: Diferenças de larguras nas pirâmides. O ponto de interesse a azul tem uma base maior por se encontrar mais perto.

Quanto à largura dos lados, estes são escalados linearmente em função da distância ao ponto. Para isso é usada uma percentagem da distância obtida e calculada na classe **BP-Marker**, referente ao marcador específico da pirâmide. Após a multiplicação da distância pela percentagem, ao valor é colocado um limite mínimo e máximo para que não existam demasiadas discrepâncias entre os tamanhos das pirâmides, no caso dos marcadores estarem muito longe ou muito perto da câmara.

4.4 Movimentação pelo Mundo

Um dos principais fatores que dita a qualidade da experiência da utilização de uma aplicação em RV é a forma como o utilizador navega pelo mundo virtual. Este aspeto, não só influencia a qualidade global da aplicação como também a orientação espacial do utilizador no ambiente simulado.

Apesar de esta ser a última secção deste capítulo, optou-se por começar a implementação pelos mecanismos de movimentação pelo mundo, não só por se terem considerado de baixa complexidade (existe bastante suporte por parte da API do UE para controlos em RV) mas também por ter uma importância considerável e afetarem diretamente os mecanismos de orientação eventualmente implementados.

Existem três fatores a considerar: (1) Como é que a direção de movimento é definida; (2) Qual a velocidade de deslocamento e a variação da mesma em função da altura; (3) A implementação de formas de atenuação de *motion sickness*, mais especificamente Visão Focada (ver Capítulo 3.2).

4.4.1 Direção do Movimento

Como referido na secção 3.2, a proposta desta dissertação é que a direção do movimento, quer no modo voo quer em modo imerso no terreno, seja dada pelo controlador e não pela orientação da cabeça do utilizador, sendo que é dada total liberdade para o utilizador, enquanto se move, olhar para qualquer lado.

Para isso, é necessário obter a direção do controlador. Cada controlador de RV usado na mão corresponde a uma instância da classe **MotionController**. No início da simulação são instanciados dois componentes deste tipo, um para a mão esquerda e outro para a mão direita. Ambos os componentes instanciados são colocados como filhos da câmara de jogo, no ator **MotionControllerPawn**. O mapeamento entre o *input* dos comandos, orientação e botões, é feito automaticamente pela API do UE, através do componente **MotionController**.

Assim, basta que, quando for feito o *input* para mover a câmara, a direção do movimento seja obtida através da função *GetActorForwardVector*, que retorna o vetor da direção frontal de um ator/componente, passando como argumento o componente de um dos *MotionControllers* (por defeito passou-se o direito). O movimento é dado pela função nativa *AddMovementInput* que recebe como argumentos o ator a mover, neste caso o próprio objeto **MotionControllerPawn**, e a direção desejada.

4.4.2 Velocidade

A velocidade de movimento, especialmente no modo voo, é importante não só para criar uma experiência mais imersiva - permite perceber a grandeza relativa das distâncias e da altura a que se encontra a câmara - mas também porque influencia diretamente o

conforto e usabilidade do SAD em RV. As recomendações gerais para desenvolvimento de aplicações em RV indicam que a velocidade deve ser o mais baixa possível e, para atenuar efeitos de enjoo e desconforto, deverá ser constante, isto é, sem aceleração e sem desaceleração da locomoção ¹⁰.

Ainda assim, para que exista um elevado nível de imersão no mundo virtual e para não retirar nenhum sentido de grandeza do modelo 3D ao utilizador, optou-se por variar a velocidade constante em função da altura da câmara em relação ao solo. Para que esta variação tenha um crescimento suavizado, foi usada uma expressão logarítmica em função da altura. Esta expressão foi calculada a partir de um regressão, onde foi definida uma velocidade ideal para 15 pontos de altura, para que a função logarítmica seja ajustada ao máximo ¹¹. A função logarítmica que resultou da regressão pode ser vista na figura 4.29. Tanto a altura como a velocidade estão expressas em unidades do unreal. Ambas equivalem a centímetros e metros/s, respetivamente.

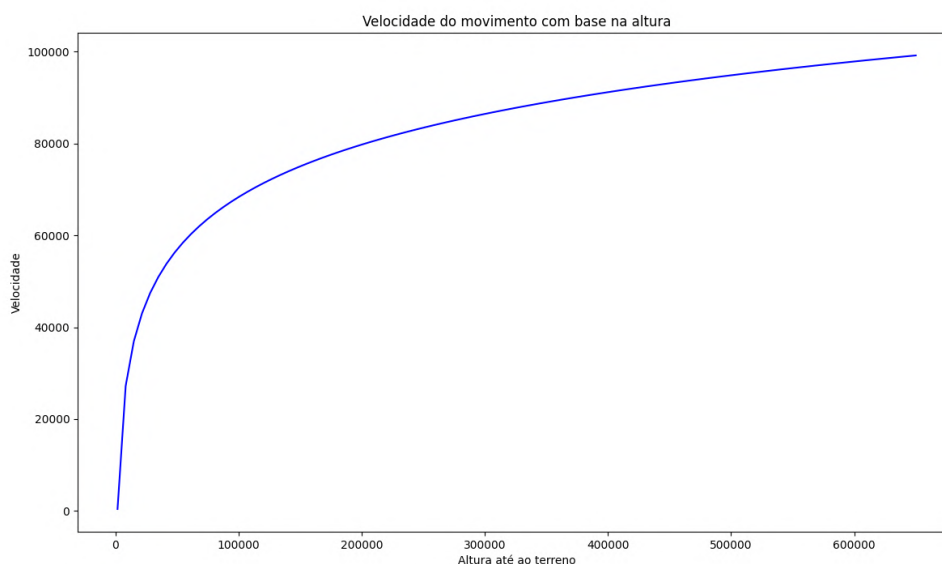


Figura 4.29: Cálculo da velocidade de voo em função da altura.

A altura em relação ao solo, usada como argumento na expressão acima, foi calculada através de um *RayCast*, em linha (função *LineTraceByChannel*), desde a posição da câmara até ao solo, colocando como posição final o mesmo vetor do começo, em que as coordenadas do eixo z têm um valor extremamente pequeno, extraindo como altura final a distância percorrida pelo raio até colidir com um ator do modelo do terreno.

¹⁰<https://blog.google/products/google-ar-vr/daydream-labs-locomotion-vr/>

¹¹<https://keisan.casio.com/exec/system/14059930226691>

4.4.3 Visão Focada

A técnica de visão focada, descrita no Capítulo 3.2, divide-se em duas características principais: a disposição de um horizonte virtual, dado por uma grelha, e a redução do campo de visão, sendo que o mundo virtual fica apenas visível no centro do ecrã.

Para o efeito de visão focada foi criada uma malha estática de um cubo com grandes dimensões, e adicionado como componente à classe **MotionControllerPawn**, tendo largura e altura suficientemente grandes para envolver toda a visão da câmara. A esta malha foi adicionado um material *custom*, **M_VRGrid**, criado a partir das duas texturas da Figura 4.31. A cor emissiva deste material é a textura da grelha, à esquerda da Figura 4.31, com uma componente de suavização da mesma a grandes distâncias (função *CameraDepthFade*), o que permite criar a sensação de um horizonte de visão infinito.

Para criar o efeito da redução do campo de visão alterou-se a opacidade do material, definindo uma profundidade a partir da textura que se encontra à direita da Figura 4.31. Usando a função *SceneTextureCustom Depth*, é possível, através da cor da textura, definir qual o nível de profundidade. Neste caso, se for branco define-se profundidade 0 (opacidade máxima), se for preto define-se profundidade máxima (opacidade 1) e interpola-se os restantes valores.

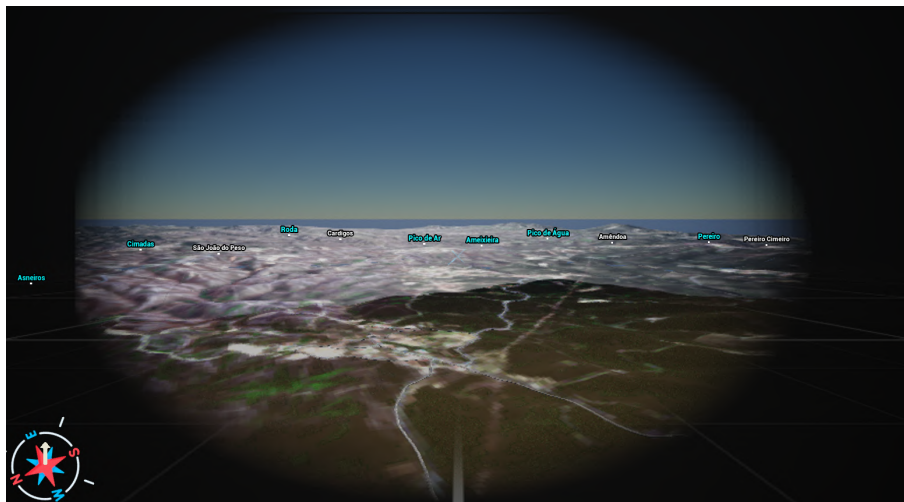


Figura 4.30: Efeito de Visão Focada Implementado.

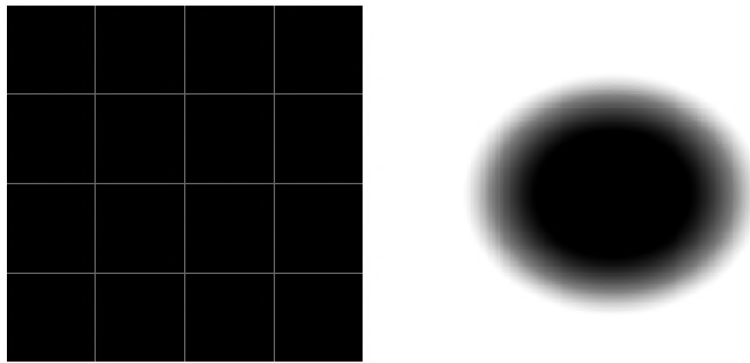


Figura 4.31: Texturas usadas na implementação do efeito de visão focada. À esquerda a textura da grelha do horizonte simulado e, à direita, a textura usada para mapear a opacidade do campo de visão.

Avaliação

Depois da explicação em detalhe dos mecanismos de movimentação e orientação implementados, neste capítulo serão apresentados os planos de avaliação dos mesmos, e os resultados após a efetivação destes testes com utilizadores. Para além desta avaliação será feita, no final do capítulo, uma análise ao desempenho computacional da colocação dos marcadores (e das soluções encontradas para o problema da sobreposição), avaliando se existem perdas de desempenho significativas o suficiente, nomeadamente no número de imagens por segundo renderizadas, para que sejam necessárias correções e melhoramentos ao método atual ou para que outra abordagem alternativa tenha de ser pensada.

5.1 Introdução

Tendo em conta a proposta dos objetivos estabelecidos no capítulo introdutório, durante a fase de experimentação com utilizadores serão testadas as abordagens propostas e desenvolvidas que complementam o sistema de apoio à decisão para o combate de incêndios florestais com mecanismos de assistência à orientação e à movimentação no mundo, com o foco principal para o uso deste sistema em Realidade Virtual.

Como a ideia é testar duas componentes distintas da navegação em RV, optou-se por separar os testes em duas sessões diferentes, para que se possa tirar conclusões de ambos sem que os resultados estejam correlacionados. Por isso, e pelo facto de para realizar os testes dos mecanismos de orientação ser necessário que o utilizador esteja em movimento, a primeira sessão será dedicada aos testes da abordagem proposta de movimento de voo em RV e atenuação dos efeitos de enjoo.

Com os resultados deste primeiro teste tentar-se-á chegar a conclusões pertinentes que evidenciem que a nova proposta de movimento é significativamente melhor que a anterior e que os mecanismos de atenuação dos efeitos de *motion sickness* são de facto eficazes na generalidade dos utilizadores. A partir destas conclusões, os testes relacionados com a orientação deverão refletir os resultados anteriores, isto é, adaptar a aplicação, a meio da sessão, para a forma de movimento que se deduziu ideal, e a inclusão ou não das atenuações de *motion sickness* implementadas.

Nas seções que se seguem serão detalhados os procedimentos experimentais para as duas sessões de testes, respetivamente para a avaliação dos mecanismos de movimentação e orientação implementados, e descrever-se-á o plano de tarefas que cada participante terá de realizar.

5.2 Procedimento Experimental com utilizadores

Os testes com utilizadores serão realizados no projeto atual, que inclui o modelo 3D do terreno da zona do município de Vila de Rei, malhas estáticas de estradas e alguns edifícios, vegetação gerada procedimentalmente (árvores e vegetação rasteira) e, no contexto desta dissertação, marcadores de orientação de localizações e estradas extraídos do OSM, na mesma área geográfica de Vila de Rei.

As sessões, que serão individuais e com uma duração estimada de uma hora, ocorrerão no laboratório de Realidade Virtual, nas instalações da FCT, onde será disponibilizado todo o equipamento para a realização do mesmo, incluindo os óculos de RV *HTC Vive*, devidamente higienizados.

Durante ambas as sessões serão realizados questionários a meio do teste, não só para perceber o nível de desconforto e enjoo do utilizador mas também para ir percebendo as preferências e as dificuldades de cada um dos participantes. Estes questionários serão detalhados nos capítulos seguintes.

Como em todas as aplicações desenvolvidas para RV, a sensação de presença no ambiente virtual permite melhorar a experiência de utilização e, em certos casos, a imersão melhora de forma significativa a aprendizagem e a eficiência de execução de tarefas, o que num SAD é uma característica fundamental. Por isso, qualquer componente visual adicionado ao ponto de vista do utilizador deverá ser escrutinado, de modo a avaliar se este afeta diretamente este sentido de presença no mundo virtual. Para averiguar estes fatores, no final dos testes será disponibilizada uma compilação de dois questionários de presença. Um deles é a versão portuguesa do *Igroup Presence Questionnaire* (IPQ), retirado de Oliveira Magalhães [22]. O outro é uma adaptação de um questionário de presença por Witmer e Singer [75], onde, a autora Marta Carlos [11] retirou todas as questões relacionadas com a audição, *feedback* tátil e outras questões que, indiretamente, estavam incluídas no primeiro questionário, adaptando assim o questionário original para o contexto do SAD a ser desenvolvido. Ambos os questionários seguem uma escala de *Likert* com cinco níveis e poderão ser consultados nos anexos desta dissertação em I e II.

Por último, incluiu-se um questionário para avaliar possíveis sintomas de enjoo dos utilizadores após o uso da aplicação, nomeadamente, após o tempo passado a voar no mundo virtual. Este questionário, adaptado de [63], permite indicar sintomas e a respetiva gravidade, numa escala que inclui as opções *Nenhum*, *Ligeiro*, *Moderado* e *Severo*. Os principais sintomas a ter em conta, neste contexto, são Vista Cansada, Tonturas, Náusea e Vertigens.

Todas as tarefas executadas, em qualquer fase do procedimento experimental, terão registado um nível de completude que o participante obteve na mesma (Tabela 5.1), adaptado de [11].

Tabela 5.1: Nível de completude de uma tarefa, adaptado de [11].

Descrição	Nível
Não conseguiu completar	1
Participante não sabia o que tinha de fazer	2
Participante sabia o que fazer, mas não como (necessitou de ajuda)	3
Completo, sem ajuda	4

5.2.1 Participantes

Foram realizados, no total, 10 testes com participantes voluntários, cujas idades variam entre os 14 e os 54 anos. Foi também aferida a experiência anterior que cada utilizador tinha em aplicações de RV, analisando a frequência de contacto desde *Nunca* a *Muitas Vezes*, sendo que a maior parte dos participantes (60%) era bastante inexperiente no que toca a esse ponto. Estes dados foram levantados no final de cada sessão experimental e estão discretizados nos gráficos da figura 5.1.

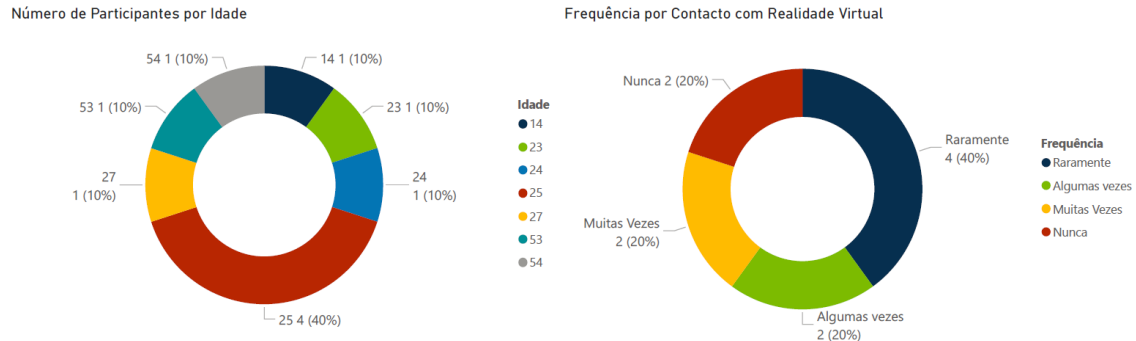


Figura 5.1: Caracterização dos participantes.

5.3 Avaliação dos Mecanismos de Movimentação

5.3.1 Plano de Tarefas

Foi delineado um planeamento completo da sessão de testes para a avaliação dos novos mecanismos de movimentação propostos e da atenuação dos efeitos de enjoo. Neste plano, que pode ser consultado na Figura 5.2, estão definidas todas as tarefas do teste que o utilizador terá de realizar, bem como algumas observações e ações que o responsável pelo testes deverá executar. As tarefas, cuja a referência se encontra na primeira coluna, estão dispostas por ordem cronológica da sessão.

A ideia base por detrás desta sessão é, não só a comparação dos dois métodos de voo em RV (*One-Handed-Flying* e *Head-Tilt*) mas também a avaliação dos impactos dos mecanismos de atenuação de *motion sickness*. No início do teste dá-se oportunidade para o participante se ambientar ao mundo virtual e aos controlos de movimentos antigos (*head-tilt*), executando voos de pequena duração. Nesta etapa será explicado o procedimento para alternar as vistas da câmara (modo voo, modo mapa e modo terreno), para que o participante saiba que é possível navegar desta forma. No final destes voos de teste, será feito o questionário Q1 (ver apêndice A.1) ao participante. Todos os questionários, realizados a meio do teste, deverão ser lidos pelo responsável e deverão também surgir no mundo virtual para que o participante possa ler as questões.

Depois disto, é trocado o modo de voo para o proposto por esta dissertação (*One-Handed-Flying*) e é feito um voo sem destinos propriamente estabelecidos, em várias direções, de forma semelhante ao voo anterior. Na tarefa seguinte é adicionado o efeito de visão focada e feitos novos testes de voo. No final desta sessão deverá ser feito o questionário Q2 (ver apêndice A.2).

Ref	Observador	Descrição da Tarefa	Test Index
M1		Ambientação aos Controlos de Movimentos Antigos. O utilizador deverá aprender os controlos antigos (head-tilt) e ambientar-se aos mesmos, executando voos de pequena duração ao seu critério. Deverá também ser explicado como alternar os modos de vista do mundo entre, voo, mapa e terreno.	0
M2		Voo de pequena duração, sem destinos objetivos, nas 6 direções.	1
M3		Voo até uma das extremidades do mapa, à escolha do utilizador.	2
Q1		Resposta ao Questionário 1.	3
M4	Mudar o modo de Voo para OHF	Voo de pequena duração, sem destinos objetivos, nas 6 direções para ambientação aos novos controlos de voo	4
M5		Voo de pequena duração, sem destinos objetivos, nas 6 direções para ambientação à Visão Focada	5
M6	Acrescentar Visão Focada	Voo até uma das extremidades do mapa, à escolha do utilizador.	6
Q2		Resposta ao Questionário 2.	7

Figura 5.2: Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de movimentação.

5.3.2 Resultados

A análise dos resultados dos testes aos mecanismos de movimentação será feita tendo em conta, sobretudo, a eficácia e o conforto de utilização das técnicas de voo *Head-Tilt* e *One-Handed-Flying*, e será feita uma comparação direta entre estas. As tarefas de movimentação, representadas no plano (figura 5.2), foram, no global, completadas sem ajuda do observador, pelo que a completude, neste caso, não tem uma análise substancialmente relevante. Após a execução das tarefas, para cada modo de voo, são elaborados os Questionários 1 e 2, onde se pretende avaliar a dificuldade de aprendizagem e de execução das técnicas. As respostas às questões feitas durante esta fase seguem uma escala de *Likert*, de 1 a 5, cujos extremos, respetivamente, indicam *Muito Fácil* e *Muito Difícil*.

Na figura 5.3, estão representadas, em diagramas de caixas, as respostas obtidas em cada uma das perguntas, sendo que o primeiro par corresponde à comparação da dificuldade de aprendizagem e o segundo à dificuldade de execução. De um modo global, pode-se concluir que ambas as técnicas não apresentam níveis de dificuldade de aprendizagem altos. A média obtida nas duas técnicas ronda os 1.54 valores, indicando respostas entre o *Muito Fácil* e o *Fácil*.

Quanto à dificuldade de execução, é possível verificar uma discrepância maior entre as duas formas de movimentação, sendo que a técnica *One-Handed-Flying* (OHF) apresenta, em média, uma dificuldade menor de execução. Tal resultado seria esperado, até porque a proposta desta dissertação foi pensada com base na facilidade e conforto em executar estes mecanismos onde, neste caso, o utilizador apenas necessita de mover o braço e não a cabeça. Em conformidade com estes resultados, as respostas à pergunta referente à preferência global, entre as duas variantes, caem em maior parte sobre o modo OHF.

No final da sessão experimental, foi pedido aos participantes que fizessem algumas observações e sugestões que achassem pertinentes em relação aos mecanismos de movimentação. Tais comentários, que poderão ser consultados na figura A.1, em apêndice, evidenciam a preferência pela nova variante de movimentação. Na globalidade, os participantes concluíram que o facto de existir liberdade de olhar para qualquer lado, sem que isso afete a direção do voo, torna a movimentação mais intuitiva e permite manter uma rota de navegação mais estável já que, para ajustar a altura, basta rodar o controlador em conformidade.

Quanto aos efeitos da visão focada, dada a curta duração do teste, não é possível tirar ilações significativas quando ao impacto da redução de possíveis efeitos de *motion sickness*. No entanto, foi importante perceber que a redução do campo de visão, no geral, não tem impactos negativos na imersão da simulação nem afeta a eficácia da deslocação em modo voo.

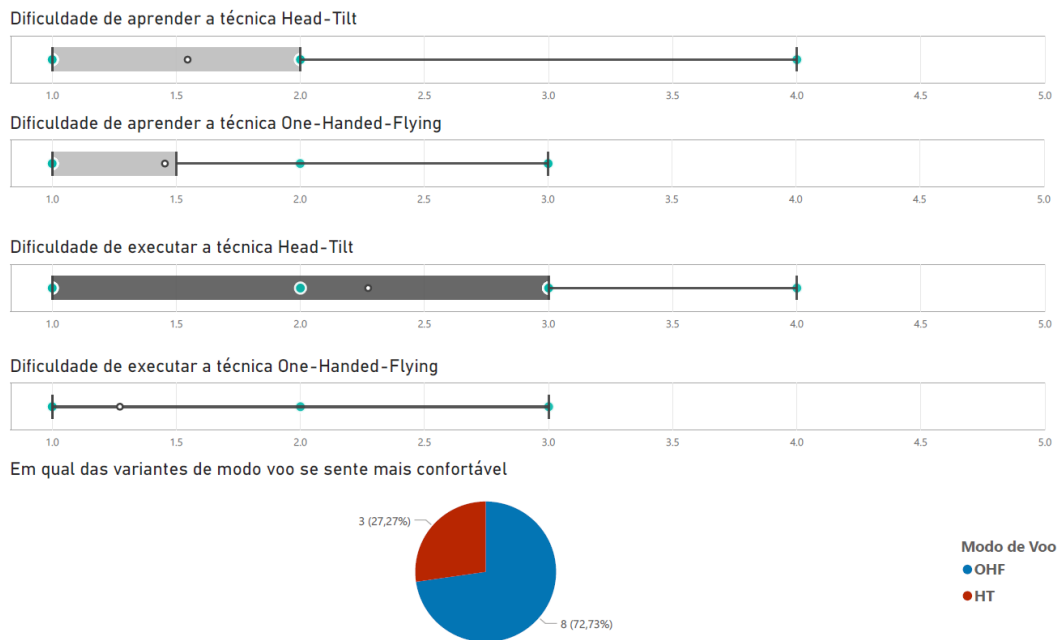


Figura 5.3: Dificuldade de aprendizagem e execução das técnicas e preferência geral dos utilizadores.

5.4 Avaliação dos Mecanismos de Orientação

5.4.1 Plano de Tarefas - Orientação Indireta

Nesta sessão de testes deverão ser avaliados os mecanismos de orientação indireta, isto é, os marcadores tanto de localizações como de estradas dispostos no mundo virtual. Será pedido ao utilizador que navegue pelo mundo virtual de forma contínua. Neste sentido, o modo de voo, bem como a inclusão das atenuações dos efeitos de enjoo, terão de ser ponderados pelos resultados obtidos nas sessões anteriores, definindo o estes aspetos de acordo com as preferências do participante.

Durante esta fase do teste, será pedido ao participante que olhe para marcadores dispostos e que se desloque até próximo deles, tentando perceber se o texto nos pontos é visível e legível e se se mantêm dessa forma enquanto o utilizador está em movimento. O participante terá de voar entre localizações e localizar pontos pedidos. No que diz respeito aos marcadores de estradas será pedido que se identifique a EN2, perto do marcador de **Vila de Rei**, e que se siga a silhueta da estrada até à junção com a EM2. Será feita uma comparação direta com e sem estes marcadores dispostos no mundo, para que se perceba se a adição dos marcadores, à malha estática da estrada já existente, facilita a compreensão da silhueta da mesma. Durante esta sessão, serão realizados os questionários Q4 e Q5 (ver apêndices A.3 e A.4).

Ref	Observador	Descrição da Tarefa	Test Index
OI1		Olhar para três marcadores à escolha (preferencialmente um que esteja sempre visível) e identificar as respetivas localizações.	8
OI2		Voo até próximo de um dos marcadores identificados.	9
	Colocar câmara perto de Vila de Rei		10
OI3		Voar de Vila de Rei até Cardigos	11
Q4		Resposta ao Questionário 4.	12
OI4		Voo de regresso para perto de Vila de Rei	13
OI5		Identifique um marcador da estrada EN2 a norte de Vila de Rei	14
OI6		Siga a silhueta da estrada para Norte até não encontrar mais marcadores	15
OI7	Tornar os marcadores de estradas invisíveis	Seguir a silhueta da estrada e retornar a Vila de Rei	16
Q5		Resposta ao Questionário 5.	17

Figura 5.4: Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação indireta.

5.4.2 Resultados

A análise aos resultados deste conjunto de testes será focada na dificuldade de leitura do texto dos marcadores, tanto de localidades como de estradas, e na dificuldade de perceção da localização geográfica de cada marcador. Para além disso, dada a relevância

dos mecanismos implementados para impedir oclusão visual de marcadores, foi também pedido aos participantes que tentassem identificar alguma sobreposição. Em nenhum teste foram identificadas tais oclusões, concluindo que, o mecanismo de *raycast* criado funciona em qualquer situação e circunstância.

Quanto à visibilidade e percepção geográfica dos marcadores, a figura 5.5 mostra que, em média, ambos estes aspetos não apresentam dificuldades elevadas. Em alguns casos extremos, a leitura de alguns marcadores, especialmente os mais distantes do ponto de vista do utilizador, não foi possível devido ao facto do participante necessitar de óculos de visão e, em certos casos, o uso dos óculos pessoais interfere com o conforto do capacete de RV.

Embora os resultados observados apontem o contrário, as observações dos participantes aos marcadores, disponíveis no apêndice A.2 são reveladores de pequenas dificuldades de leitura do texto dentro dos marcadores, especialmente no que diz respeito aos de estradas. É também sugerido que sejam adicionadas pistas visuais às silhuetas das estradas, para que se possa reconhecer mais claramente que dado marcador pertence a uma dada via e, sobretudo, ter a percepção exata das estradas nas junções entre duas ou mais vias.

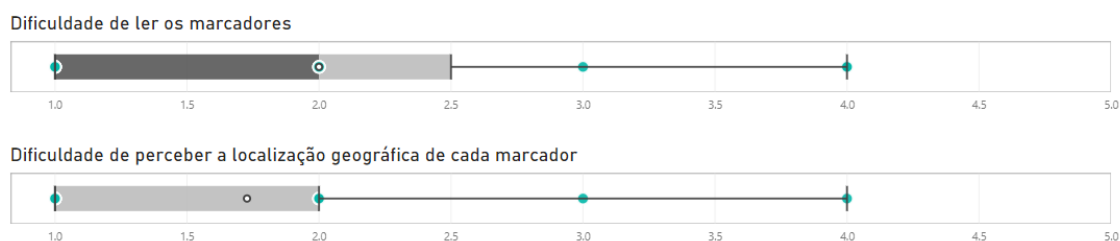


Figura 5.5: Análise das dificuldades de leitura e percepção da posição geográfica dos marcadores.

5.4.3 Plano de Tarefas - Orientação Direta

Nesta sessão deverão ser avaliados os mecanismos de orientação direta, que incluem a interação com o menu de pesquisa de localidades, a navegação automática até uma dada localização, a definição de pontos de interesse e a orientação (distância e direção) dada pelos mecanismos de assistência à visualização de pontos fora do campo de visão.

No início do teste será pedido ao utilizador que interaja com o menu de pesquisa e que navegue automaticamente para a aldeia **Chão de Lopes Pequeno**. Depois disso, ao invés da animação de deslocamento da câmara, esta navegação será feita com um *fadein/fadeout* da mesma, para perceber, em comparação direta, qual a forma mais confortável para efetuar esta navegação automática. Nesta etapa será realizado o questionário Q6 (ver apêndice A.5).

Posteriormente, será pedido ao participante que defina pontos de interesse, e que siga as indicações dadas pelas pirâmides até ao respetivo marcador. Para perceber se estas

pistas são de facto úteis e transmitem as informações necessárias visualmente, serão feitas algumas questões, inspiradas nos testes referidos na secção 2.6.3, onde o utilizador terá de identificar qual a localidade mais longe, e a mais próxima e qual a direção apontada pelas pirâmides. Estas tarefas serão realizadas sem marcadores dispostos no mapa e deverão ser executadas a partir de uma posição pré-definida no mundo virtual. No final desta sessão será disponibilizado o questionário Q7 (ver apêndice A.6).

Ref	Observador	Descrição da Tarefa	Test Index
OD1		Aceda ao menu de pesquisa de localidades. Deverá ser explicado previamente qual o botão para aceder.	18
OD2		Pesquise a Aldeia Chão de Lopes Pequeno	19
OD3		Navegue Automaticamente até ao respetivo marcador	20
OD4		Reabra o menu de pesquisa de localidades e navegue automaticamente até Vila de Rei	21
	Reset à posição do jogador		22
OD5		Reabra o menu de pesquisa e navegue automaticamente até Monte Novo	23
Q6		Resposta ao Questionário 6.	24
OD6		Abrir o menu de pesquisa. Colocar um ponto de interesse (pin de qualquer cor) no marcador de Fundada	25
OD7		Identifique a direção de Fundada	26
OD8		Seguir a indicação da pirâmide até ao local escolhido	27
OD9		Retire o pin do marcador	28
		Faça esta viagem: Vá até Cardigos, depois siga para Água Formosa e termine em Vila de Rei	29
OD10	Reset à posição do jogador	Defina os seguintes pontos de interesse: Pin Azul em Água Formosa; Pin Vermelho em Vila de Rei; Pin Amarelo em Cardigos; Repita a viagem anterior, passando pelos 3 pontos definidos	30
OD11		Identifique qual a localidade mais longe(Vila de Rei - Vermelho) e qual a localidade mais próxima(Chão de Lopes Pequeno - Azul)	31
OD13		Identifique a direção das 3 localidades	32
Q7		Resposta ao Questionário 7.	33

Figura 5.6: Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.

5.4.4 Resultados

Nesta última fase de testes da sessão experimental, a ideia principal é aferir a usabilidade do menu de pesquisa de localidades e das interfaces de definição de pontos de interesse. Os resultados ao Questionário Q6, resumidos na figura 5.7, mostram que a maior parte dos participantes considera a interação, em RV, com o menu de pesquisa de localidades fácil (figura 4.22), onde a principal queixa foi o facto de se ter que clicar na caixa de texto

antes de digitar o critério de pesquisa (principais comentários no apêndice A.3).

No que diz respeito à animação de deslocamento automático até à localidade pesquisada (ver secção 4.3.2), os testes tentaram verificar se a posição final da câmara após a animação de deslocamento, isto é, o ângulo (em relação ao solo) e a distância até ao marcador escolhido, é confortável. Após o questionário, os resultados indicam que, para a generalidade dos participantes, verifica-se esse nível de confortabilidade. Existem apenas alguns participantes que preferem que a velocidade de transição seja diminuída, embora esse parâmetro e aspeto da navegação automática não tenha sido incluído nos testes, com as respetivas velocidades alternativas.

Para além do menu de pesquisa, foram também feitos testes às interações com o menu de definição de pontos de interesse e, mais concretamente, ao mecanismo de orientação direta criado (ver secção 4.3.3), isto é, as pirâmides de orientação. Nos testes feitos para perceber a interação, a figura 5.8 mostra que, para a maior parte dos participantes, o menu de definição de pontos de interesse é de fácil uso. Analisando alguns comentários (no apêndice A.3), é possível verificar que existem críticas em relação à proximidade do menu (o menu encontra-se demasiado próximo da câmara, o que dificulta a interação) e à responsividade dos botões de seleção da cor do ponto de interesse, que por vezes não regiam ao clique.

Quanto às pirâmides de orientação, a principal preocupação foi aferir se a direção e a distância, a que se encontram os pontos de interesse, são aspetos que facilmente e intuitivamente se compreendem ao olhar para a geometria da pirâmide. Quanto à direção, o facto de a base apontar na direção do ponto de referência não é intuitivo, o que significa que grande parte dos participantes moveu-se para a direção contrária, apontada pelo vértice.

No entanto, após se aperceberem desta nuance e terem definido múltiplos pontos de interesse, a direção dos marcadores é facilmente compreendida. A distância até aos pontos, visto que a largura das pirâmides é escalada, é facilmente perceptível e a comparação das distâncias relativas entre múltiplas pirâmides foi feita, na globalidade dos casos, corretamente. Após os testes, é possível concluir que as pirâmides são um bom mecanismo de orientação direta e que a demonstração visual da distância e direção dos pontos é intuitivamente compreendida, sem ser necessário infiltrar o campo de visão do utilizador com texto e informação complementar desnecessária.

5.5 Desempenho Computacional dos Marcadores

Como referido no final da secção 4.2.4, é importante avaliar o desempenho computacional do ambiente virtual após a colocação dos marcadores de localidades e estradas. A solução encontrada para a otimização da deteção de colisões de texto no ponto de vista do utilizador e eficiência de leitura dos marcadores diz respeito à utilização de técnicas de

5.5. DESEMPENHO COMPUTACIONAL DOS MARCADORES

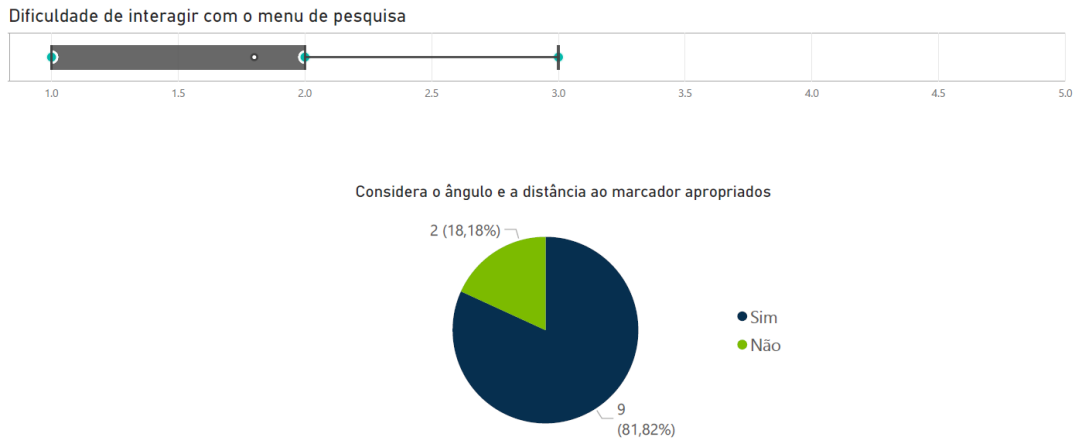


Figura 5.7: Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.

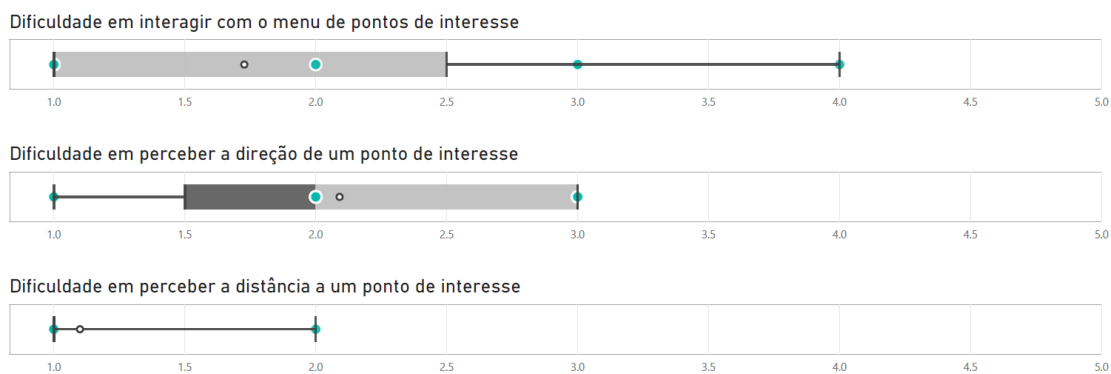


Figura 5.8: Plano de tarefas da avaliação dos mecanismos de orientação direta.

projeção de raios, em cada um dos marcadores. Como é esperado um elevado número de marcadores em todo o mapa, a função de verificação de colisões irá corresponder a uma elevada carga de processamento.

Neste contexto, os dados extraídos do OSM são referentes à zona de Mação, Vila de Rei, o que, depois de filtrados e selecionados quais os tipos de marcadores a mostrar, correspondem a cerca de 50 marcadores de localidades. Quanto aos marcadores de estradas, a quantidade varia consoante os parâmetros escolhidos para a extração de dados (ver secção 4.2.5) que, com os valores por defeito atribuídos, equivale à colocação de 150 marcadores, o que perfaz um total de 200 marcadores.

A análise à eficiência da verificação de colisões dos marcadores foi feita recorrendo à métrica do tempo de renderização de cada imagem (*frame rendering time*). Através do *profiler*, embutido no editor do Unreal Engine, é possível fazer uma análise profunda ao desempenho do jogo/simulação, onde são disponibilizados vários dados como o número

de imagens por segundo, o tempo de processamento de cada *frame* e a respetiva contribuição, para este tempo, de cada função executada. A métrica escolhida como principal fator de análise foi o tempo de renderização de cada *frame*, já que esta representa uma medida mais eficaz e precisa para determinar a fluidez de imagem do jogo/simulação (a métrica do número de imagens por segundo assume que todas as *frames* levam exatamente o mesmo tempo a ser processadas). Foram medidos os tempos em cada sessão e feita uma média de todos os tempos de geração das *frames*.

As avaliações foram executadas num mundo virtual sem estruturas permanentes nem vegetação, para que se pudesse avaliar somente a performance dos mecanismos de orientação criados, e consistiram na simples navegação, em modo voo, pelo mundo virtual, durante cerca de um minuto. Os testes avaliaram cenários com 0, 50, 100 e 200 marcadores de localizações, testando a escalabilidade do desempenho dos componentes *Widgets* e da verificação de colisões em áreas de maior dimensão, cujo número de localidades a marcar será evidentemente maior.

Todos os testes foram executados dentro do editor do Unreal Engine, não tendo sido possível gerar um executável autónomo do projeto e iniciá-lo à parte do motor. Isto implica que os resultados de performance possam estar minorados pela carga adicional do processamento do editor. Todavia, é possível tirar algumas ilações dos resultados obtidos, concretamente em relação ao impacto, das funções criadas nos Marcadores na performance geral da simulação. O *hardware* utilizado para a avaliação da performance foi o processador Intel(R) Core(TM) i5-9400F, a 2.90GHz, com 16 GB de RAM e uma placa gráfica AMD Radeon RX 580.

Na figura 5.9, estão expostos os valores obtidos durante a execução da simulação, num mapa sem marcadores de localizações no mundo. É possível verificar que, em média, cada imagem demora 2.84 milissegundos a ser processada. Os picos verificados, e são recorrentes em todos os testes, ocorrem com o movimento da câmara e, neste caso, não excedem os 25 milissegundos.

Em comparação direta, a Figura 5.10 mostra o resultado após serem colocados os 200 marcadores no mundo, tanto de localizações como de estradas. O tempo médio de cada renderização está estabilizado em 24 milissegundos. O aumento de praticamente vinte vezes em relação às medidas anteriores, sem marcadores, resulta não só do processamento dos raios de verificação de colisões em cada marcador, mas também pelo processamento do elevado número de objetos dispostos no mundo virtual. A Figura 5.11, permite verificar o impacto da função *CheckCollisions* (responsável pela instanciação dos raios de colisão e pela respetiva resposta) no processamento global da *thread* da aplicação, e verifica-se que esta corresponde, em média, a 3.7 milissegundos de acréscimo ao restante processamento.

Ao analisar os restantes testes, onde se duplicou (Figura 5.12) e quadruplicou (Figura 5.13) o número de marcadores, verifica-se que, embora a subida dos tempos médios não seja linear em função do número de marcadores, os valores médios obtidos (30ms e 37ms)

estão para lá do normal numa aplicação de RV. Os valores médios obtidos nos testes com 400 e 800 marcadores, estando longe dos valores que maximizam a suavidade da imagem, permitem, ainda assim, ter uma experiência minimamente fluída em monitores, mas não tanto com os óculos de RV.

Apesar da forma de verificação das oclusões ser perfeitamente viável, para representar áreas maiores que Mação será necessário efetuar alguns ajustes, visto que o processamento de um elevado número de atores marcadores, a cada *frame*, é computacionalmente muito pesado. Para além de limitar o número de marcadores gerados (as estradas terão de ser o foco inicial nessa redução), poder-se-á criar mecanismos mais inteligentes de inserção e remoção dos atores dos marcadores, no mundo virtual, consoante a distância à câmara e, eventualmente, consoante a sua prioridade, limitando, deste modo, o número de marcadores ativos a processar em cada *frame*. Ambos estes ajustes serão indicados como trabalho futuro para o projeto, sendo que a implementação desta dissertação servirá de uma base para qualquer melhoramento aos marcadores.

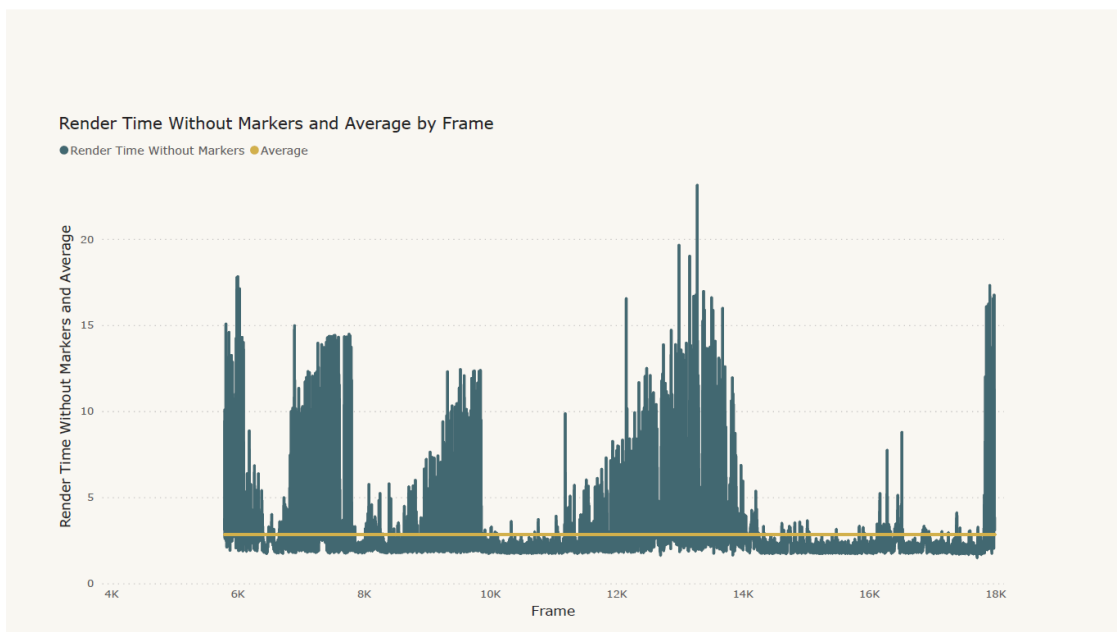


Figura 5.9: Tempo de renderização de cada *frame*, sem marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 2.84ms.

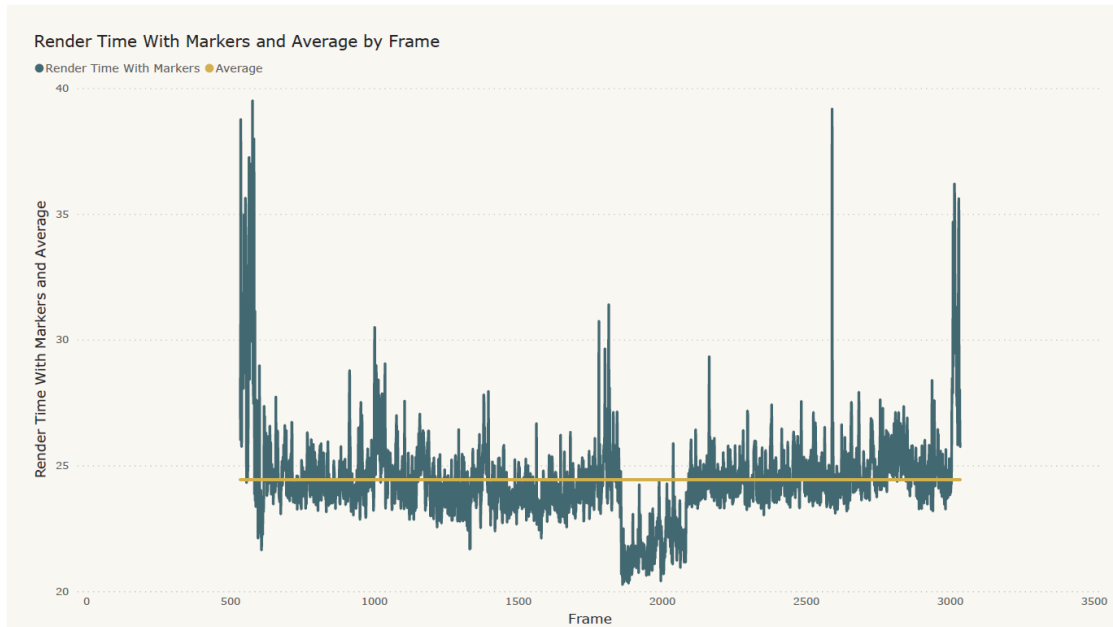


Figura 5.10: Tempo de renderização de cada *frame*, com 200 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 24ms.

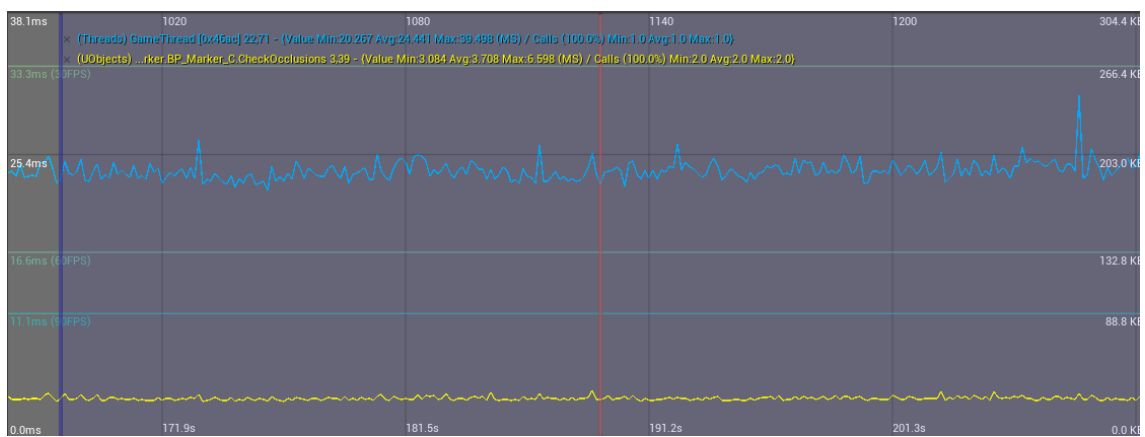


Figura 5.11: Impacto da função *CheckCollisions* (a amarelo) no processamento total das frames.

5.5. DESEMPENHO COMPUTACIONAL DOS MARCADORES

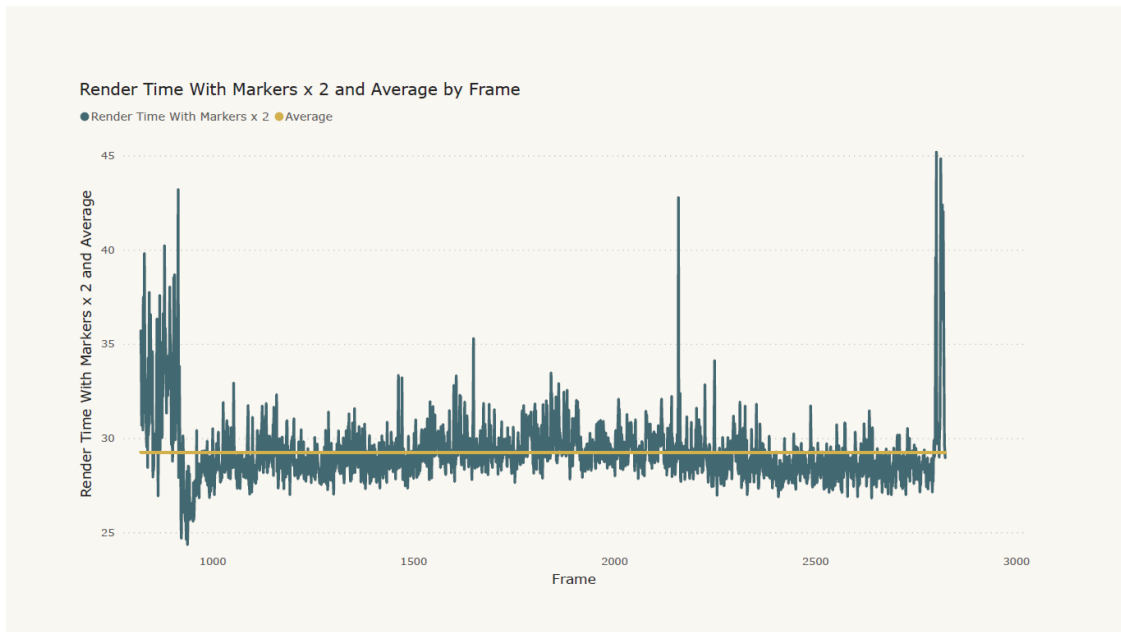


Figura 5.12: Tempo de renderização de cada *frame*, com 400 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 29.25ms.

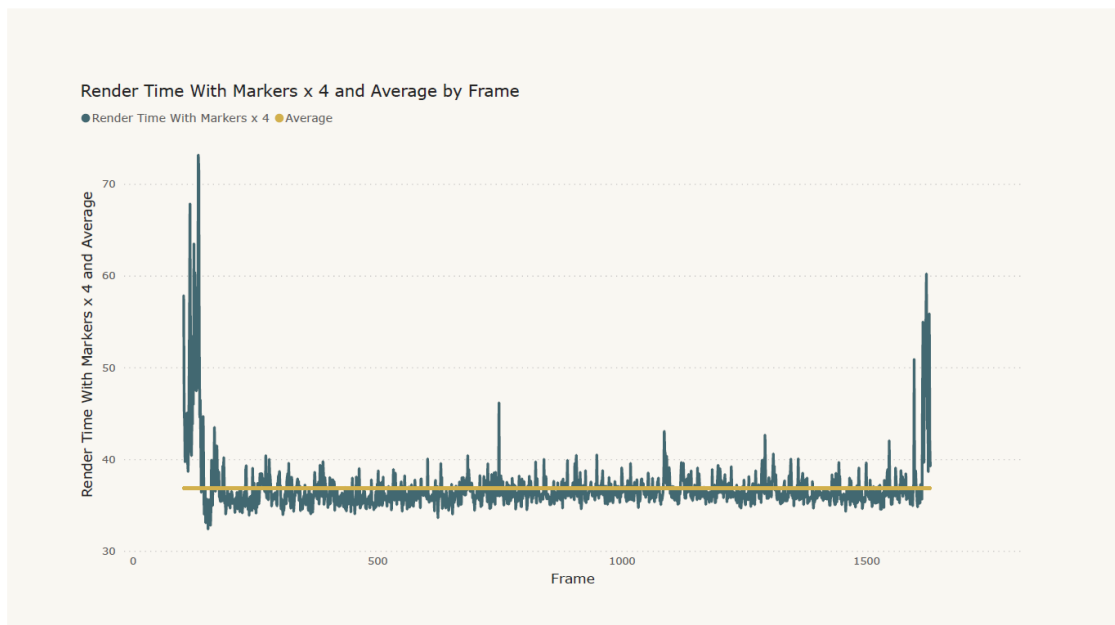


Figura 5.13: Tempo de renderização de cada *frame*, com 800 marcadores dispostos. Tempo médio de renderização = 36.83ms.

5.6 Conclusões

Tendo dada por concluída a fase de testes com utilizadores, e embora o número esperado de participantes esteja abaixo do espetável (bastante influenciado pelas restrições da pandemia COVID-19 e pelos testes terem sido marcados num período de interrupção letiva), é possível tirar algumas ilações sobre o trabalho desenvolvido nesta dissertação. É necessário referir que o conjunto de testes com utilizadores, pensados para estas sessões iniciais, teve como objetivo principal testar a eficácia dos mecanismos (e não tanto a eficiência), já que esta dissertação servirá como base de trabalho, e pensa-se ter criado uma base positiva e sólida, para possíveis melhoramentos ao sistema de navegação na aplicação de RV.

No que toca à forma de movimentação de voo, as duas técnicas comparadas, *Head-Tilt* (forma antiga) e *One-Handed-Flying* (nova proposta deste trabalho), são de fácil compreensão e adaptação, embora a última apresente níveis de dificuldade de execução menores. É possível concluir que, apesar de serem resultados muito próximos, os níveis de conforto e de usabilidade da técnica implementada nesta dissertação são indicadores que este deverá ser o caminho correto a seguir, e a técnica de voo em ambientes virtuais de larga escala a ter como principal foco no SAD para incêndios florestais.

Quanto aos efeitos da visão focada, como referido anteriormente, dada a curta duração do teste, não é possível tirar ilações significativas quando ao impacto da redução de possíveis efeitos de *motion sickness*. No entanto, foi importante perceber que a redução do campo de visão, no geral, não tem impactos negativos na imersão da simulação nem afeta a eficácia da deslocação em modo voo.

Os mecanismos de orientação, tanto direta como indireta, também se apresentam como sendo bastante positivos. Os marcadores de estradas e localidades são visíveis e legíveis em RV e a organização e disposição dos mesmos é feita de forma correta, visto não existirem oclusões visuais e visto que os participantes conseguiram identificar corretamente a posição geográfica de cada ponto marcado. Já os mecanismos de orientação direta também se revelaram bastante positivos. Os menus criados, para pesquisa de localidades e definição de pontos de interesse, estão intuitivos e apresentam níveis de usabilidade em RV globalmente satisfatórios. Algumas observações dos participantes, nomeadamente as sugestões que corresponderam a pequenos ajustes (como a distância dos menus) foram prontamente tidas em conta e os respetivos melhoramentos foram feitos após as sessões de testes. Há ainda a referir que o sistema de indicação direta, as pirâmides de orientação, apresentam resultados de eficácia bastante positivos e não interferem com a imersão global da simulação em RV.

No final das sessões, tal como referido no parágrafo introdutório desta secção, foi pedido aos participantes que preenchessem um questionário sobre interação, presença e imersão no ambiente virtual e outro para avaliar possíveis sintomas de *motion sickness*. No que diz respeito à imersão e presença, é de notar que, para a maior parte dos participantes,

os níveis de qualidade gráfica estavam abaixo do espectável (algum *flickering* da imagem dentro do capacete de RV e a baixa resolução do terreno contribuíram como fatores negativos) o que fez com que estes se sentissem pouco imersos e presentes no ambiente virtual. No que diz respeito à interação e visão dos objetos em RV, os resultados do questionário indicam que ambos os aspetos são positivos.

No que diz respeito aos sintomas, na figura 5.14 é possível verificar os resultados obtidos após a sessão de testes. É de salientar que não existem efeitos negativos que sejam relevantes, tendo a registar apenas pequenos casos de vertigens e de vista cansada, este último forçado pela constante procura e leitura do texto dos marcadores.

Vista Cansada	Tonturas	Náuseas	Vertigens
Ligeiro	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Ligeiro
Moderado	Moderado	Ligeiro	Moderado
Ligeiro	Ligeiro	Ligeiro	Moderado
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Ligeiro	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Nenhum
Nenhum	Nenhum	Nenhum	Ligeiro

Figura 5.14: Análise aos sintomas registados pelos participantes, após a sessão de testes.

Quanto aos testes de desempenho dos marcadores, e mais concretamente da forma de deteção de oclusões, é possível concluir que a adição destes atores, ao mundo virtual, não afeta de forma significativamente negativa o desempenho do sistema, e que é possível manter os níveis desejados de taxas de atualização de *frames* para uma aplicação em RV, usando os dados da zona de Mação. No entanto, não é possível adicionar cada vez mais marcadores sem ter quebras enormes de desempenho. Caso se queira aplicar este sistema a uma área geográfica de maior dimensão, digamos o dobro da de Mação, é necessário fazer alguns ajustes, já que não é possível ter tantos marcadores a verificar colisões, de forma simultânea. Estes ajustes futuros, poderão passar por definir uma área de carregamento à volta da câmara do utilizador, onde se deverão adicionar e remover, de forma dinâmica, os marcadores com base na distância a essa área.

Conclusão e Trabalho Futuro

Após o término do desenvolvimento e da fase de avaliação do trabalho implementado, considera-se os resultados obtidos globalmente positivos. O principal objetivo desta dissertação foi a adaptação de um mundo virtual de larga escala, inserido num contexto de um Sistema de Apoio à Decisão para incêndios florestais, com mecanismos de auxílio à movimentação e, principalmente, à orientação geográfica do utilizador. Tendo em conta os resultados preliminares crê-se que os objetivos propostos no Capítulo 1 foram todos abordados e cumpridos.

Apesar disso, e dado que esta dissertação tratou-se da primeira abordagem significativa ao desenvolvimento de mecanismos de orientação diretos e indiretos no SAD, existem vários pontos por onde podem ser considerados melhoramentos ou trabalho futuro. O primeiro ponto diz respeito à incorporação dos marcadores de orientação com outros dados e pontos de interesse para o combate a incêndios florestais, nomeadamente a representação de pontos de abastecimento de água, zonas verdes e a representação dinâmica de meios de combate dispostos no cenário. Até agora, é permitido a representação geográfica de pontos e linhas.

Com estas incorporações, será necessário adaptar o sistema para que seja possível a representação de zonas de interesse no mundo, isto é, pistas visuais tais como os marcadores, como por exemplo o destaque do perímetro do teatro de operações e da área deste.

No que diz respeito a técnicas de orientação direta, é possível também incorporar alguns melhoramentos, sendo que o principal será a demonstração visual de orientação para frentes de fogo. Esta representação poderá ser um desafio interessante porque não é necessário apenas mostrar, por pistas visuais, a distância e a direção mas sim outras características importantes da frente de fogo como a extensão, forma e intensidade da mesma.

Tendo em consideração estes possíveis melhoramentos e trabalho futuro, esta dissertação serve como um forte contributo base ao desenvolvimento dos mesmos, tendo definido uma estrutura de importação de dados do OpenStreetMap, um mecanismo inteligente de

marcadores georeferenciados de localizações e estradas, onde não existem sobreposições visuais dos mesmos, uma forma de pesquisa destes mesmos marcadores, a definição de pontos de interesse, a movimentação automática da câmara até aos mesmos, e a indicação clara da direção e distância destes pontos, mesmo que estejam fora do campo de visão do utilizador.

Como o SAD onde estes mecanismos serão incorporados foi pensado para ser usado em RV, a análise das melhores formas de movimentação pelo cenário e a pesquisa de como é que se pode atenuar eventuais efeitos de enjoo foi também um objetivo fundamental desta dissertação, visto que o utilizador final deste sistema estará constantemente em movimento. Será necessário, como trabalho futuro, testar ainda mais as propostas desta dissertação e ajustar alguns parâmetros, como a velocidade do movimento e o ângulo de redução do campo de visão focada, cujas alternativas não foram diretamente testadas com utilizadores.

Quanto ao desempenho e escalabilidade do mecanismo de orientação indireta, isto é os Marcadores, existem alguns aspetos que deverão ser considerados, nomeadamente os referidos na secção de avaliação quanto à escalabilidade dos mesmos.

Em suma, crê-se ter criado um bom sistema genérico e escalável de importação de dados geográficos (neste caso para o motor de jogos Unreal Engine) e de apresentação desses mesmos dados, tendo sido explorados alguns conceitos de navegação e criadas as técnicas de movimentação e orientação respetivas em RV, que podem ser adicionadas a qualquer aplicação. Espera-se que o trabalho desenvolvido seja já incluído no SAD para incêndios florestais, impulsionado pela Câmara Municipal de Mação, e que este seja um forte contributo para o combate a estas catástrofes, utilizando cada vez mais e melhores tecnologias disruptivas e inovadoras, como o caso da Realidade Virtual.

Bibliografia

- [1] «A Comparative Study of Orientation Support Tools in Virtual Reality Environments with Virtual Teleportation». Em: *Proceedings - 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2020* (2020), pp. 227–238. DOI: [10.1109/ISMAR50242.2020.00046](https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00046) (ver pp. 17, 20).
- [2] D. Ahlström e M. Hitz. «Revisiting pointassist and studying effects of control-display gain on pointing performance by four-year-olds». Em: *ACM International Conference Proceeding Series* (2013), pp. 257–260. DOI: [10.1145/2485760.2485792](https://doi.org/10.1145/2485760.2485792) (ver p. 17).
- [3] N. Ahmadpoor e S. Shahab. «Spatial Knowledge Acquisition in the Process of Navigation: A Review». Em: *Current Urban Studies* 07.01 (2019), pp. 1–19. ISSN: 2328-4900. DOI: [10.4236/cus.2019.71001](https://doi.org/10.4236/cus.2019.71001) (ver p. 9).
- [4] Alexander W . Siegel e Sheldon H . White. «the Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments». Em: *Advances in Child Development and Behavior* 10 (1975), pp. 9–55 (ver p. 10).
- [5] *Ansys VRXPERIENCE Driving Simulator*. URL: <https://www.ansys.com/products/systems/ansys-vrxperience> (acedido em 2021-02-07) (ver p. 11).
- [6] R. Baker. *Bird Navigation: The Solution of a Mystery?* Holmes Meier Pub, 1984 (ver p. 7).
- [7] P. Baudisch e R. Rosenholtz. «Halo: A technique for visualizing off-screen locations». Em: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* 5 (2003), pp. 481–488 (ver pp. 21, 22).
- [8] J. Becker e T. Ngo. «Mitigating Visually-Induced Motion Sickness in Virtual Reality». Em: (2016), pp. 1–4. URL: https://stanford.edu/class/ee267/Spring2016/report_becker_ngo.pdf (ver p. 3).
- [9] D. A. Bowman, D. Koller e L. F. Hodges. «Travel in immersive virtual environments: an evaluation of viewpoint motion control techniques». Em: *Proceedings - Virtual Reality Annual International Symposium* (1997), pp. 45–52. DOI: [10.1109/vrais.1997.583043](https://doi.org/10.1109/vrais.1997.583043) (ver pp. 12, 13).

- [10] S. Burigat e L. Chittaro. «Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids». Em: *International Journal of Human Computer Studies* 65.11 (2007), pp. 945–958. ISSN: 10715819. DOI: [10.1016/j.ijhcs.2007.07.003](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.07.003) (ver p. 21).
- [11] M. Carlos. «Visualização e Interação com informação temporal geoespacial em mundos virtuais». Em: (2021) (ver pp. 27, 28, 74, 75, 109).
- [12] *Carta náutica da bacia do Mediterrâneo*. URL: <https://www.wdl.org/pt/item/4174/> (acedido em 2021-02-05) (ver p. 8).
- [13] S. S. Chance et al. «Locomotion Mode Affects the Updating of Objects Encountered During Travel: The Contribution of Vestibular and Proprioceptive Inputs to Path Integration». Em: *Presence* 7.2 (1998), pp. 168–178. DOI: [10.1162/105474698565659](https://doi.org/10.1162/105474698565659) (ver p. 12).
- [14] *Clustering Points on a Map*. URL: <https://blog.mapbox.com/clustering-millions-of-points-on-a-map-with-supercluster-272046ec5c97> (acedido em 2021-10-29) (ver p. 49).
- [15] R. P. Darken e J. L. Sibert. «Navigating Large Virtual Spaces». Em: *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications* 8.1 (1996), pp. 49–71. ISSN: 09598111. DOI: [10.1080/10447319609526140](https://doi.org/10.1080/10447319609526140) (ver p. 9).
- [16] *Daydream Labs: Locomotion in VR*. (Acedido em 2021-10-29) (ver p. 36).
- [17] *Dead Reckoning Navigation*. URL: <https://www.britannica.com/technology/dead-reckoning-navigation> (acedido em 2021-02-05) (ver p. 8).
- [18] *Degrees of Freedom (DoF): 3-DoF vs 6-DoF for VR Headset Selection*. URL: <https://virtualspeech.com/blog/degrees-of-freedom-vr> (acedido em 2021-02-13) (ver p. 14).
- [19] «Design and Evaluation of Visualization Techniques of Off-Screen and Occluded Targets in Virtual Reality Environments». Em: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 26.9 (2020), pp. 2762–2774. ISSN: 19410506. DOI: [10.1109/TVCG.2019.2905580](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2905580) (ver pp. 21, 23, 39, 65).
- [20] M. Dinsmore et al. «Virtual reality training simulation for palpation of subsurface tumors». Em: *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*. 1997, pp. 54–60. DOI: [10.1109/VRAIS.1997.583044](https://doi.org/10.1109/VRAIS.1997.583044) (ver p. 11).
- [21] A. Drogemuller et al. «Examining virtual reality navigation techniques for 3D network visualisations». Em: *Journal of Computer Languages* 56 (2020), p. 100937. ISSN: 25901184. DOI: [10.1016/j.co-la.2019.100937](https://doi.org/10.1016/j.co-la.2019.100937). URL: <https://doi.org/10.1016/j.co-la.2019.100937> (ver pp. 15, 34).
- [22] *Estudo da utilização de vídeos 360° na experiência turística*. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, URL: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/105728> (ver pp. 74, 107).

- [23] A. S. Fernandes e S. K. Feiner. «Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification». Em: *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces, 3DUI 2016 - Proceedings* (2016), pp. 201–210. DOI: 10.1109/3DUI.2016.7460053 (ver pp. 15, 16).
- [24] *Geospatial Data Abstraction Library*. URL: https://gdal.org/tutorials/geotransforms_tut.html (acedido em 2021-02-19) (ver p. 40).
- [25] S. E. Goldin e P. W. Thorndyke. «Simulating Navigation for Spatial Knowledge Acquisition». Em: *Human Factors* 24.4 (1982), pp. 457–471. DOI: 10.1177/001872088202400407. eprint: <https://doi.org/10.1177/001872088202400407>. URL: <https://doi.org/10.1177/001872088202400407> (ver p. 8).
- [26] *Google Earth*. URL: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/> (acedido em 2021-02-13) (ver p. 18).
- [27] *Google Earth VR*. URL: <https://arvr.google.com/earth/> (acedido em 2021-02-12) (ver p. 14).
- [28] *Google Maps Platform*. URL: <https://developers.google.com/maps> (acedido em 2021-02-14) (ver p. 25).
- [29] *Haversine Formula – Calculate geographic distance on earth*. URL: <https://www.igismap.com/haversine-formula-calculate-geographic-distance-earth/> (acedido em 2021-10-30) (ver p. 48).
- [30] *How do contour lines show hills and depressions?* URL: <https://socratic.org/questions/how-do-contour-lines-show-hills-and-depressions> (acedido em 2021-02-05) (ver p. 9).
- [31] *HTX Labs delivers immersive VR training simulations using Unreal Engine*. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/htx-labs-delivers-immersive-vr-training-simulations-using-unreal-engine> (acedido em 2021-10-27) (ver p. 28).
- [32] *ICNF/MA-MAFDR. Incêndios rurais e área ardida – Continente*. URL: <https://www.pordata.pt/Portugal/Inc%C3%AAndios+rurais+e+%C3%A1rea+ardida+%E2%80%93+Continente-1192-9576> (acedido em 2021-01-21) (ver p. 1).
- [33] *Infraestruturas de Portugal - Indicação Quilométrica de Vias*. URL: <https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/rede/rodoviaria/seguranca-rodoviaria/normas-de-sinalizacao/indicacao-complementares> (ver p. 57).
- [34] J. James H. Howard e S. M. Kerst. «Memory and Perception of Cartographic Information for Familiar and Unfamiliar Environments». Em: *Human Factors* 23.4 (1981), pp. 495–503. DOI: 10.1177/001872088102300412. eprint: <https://doi.org/10.1177/001872088102300412>. URL: <https://doi.org/10.1177/001872088102300412> (ver p. 8).

- [35] K. Kimura et al. «Orientation in Virtual Reality Does Not Fully Measure Up to the Real-World». Em: *Scientific Reports* 7.1 (2017), pp. 6–13. ISSN: 20452322. DOI: [10.1038/s41598-017-18289-8](https://doi.org/10.1038/s41598-017-18289-8). URL: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-18289-8> (ver p. 9).
- [36] P. Lopes. «Geração automática de estruturas permanentes em realidade virtual a partir de dados de acesso livre». Em: (2021) (ver pp. 26, 27, 41, 42).
- [37] J. M. Lourenço. *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. URL: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/master/template.pdf> (ver p. iii).
- [38] K. Lynch. *City sense and city design: writings and projects of Kevin Lynch*. MIT press, 1995 (ver p. 8).
- [39] K. Lynch. *The City as Environment*. Harvard-MIT Joint Center for Urban Studies Series, 1965 (ver p. 8).
- [40] K. Lynch. *The Image of the City*. Harvard-MIT Joint Center for Urban Studies Series, 1964 (ver p. 8).
- [41] *Mapbox*. URL: <https://www.mapbox.com/> (acedido em 2021-02-14) (ver p. 25).
- [42] M. Mine, F. Brooks Jr e C. Sequin. «Moving Objects In Space: Exploiting Proprioception In Virtual-Environment Interaction». Em: (1997-10). DOI: [10.1145/258734.258747](https://doi.org/10.1145/258734.258747) (ver p. 14).
- [43] S. D. Moffat, A. B. Zonderman e S. M. Resnick. «Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task». Em: *Neurobiology of Aging* 22.5 (2001), pp. 787–796. ISSN: 01974580. DOI: [10.1016/S0197-4580\(01\)00251-2](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00251-2) (ver p. 17).
- [44] *Nasa World Wind*. URL: <https://worldwind.earth/explorer/> (acedido em 2021-02-13) (ver p. 18).
- [45] W. W. F. for Nature. *New WWF report: 3 billion animals impacted by Australia's bushfire crisis*. 2020. URL: <https://www.wwf.org.au/news/news/2020/3-billion-animals-impacted-by-australia-bushfire-crisis> (acedido em 2021-01-21) (ver p. 1).
- [46] A. P. P. Negrón, G. L. López e E. E. Guzman. «Navigation in Virtual Reality». Em: *Virtual Reality Designs* (2020), pp. 10–26. DOI: [10.1201/9781003019589-2](https://doi.org/10.1201/9781003019589-2) (ver p. 12).
- [47] E. K. Noonan-Wright et al. «Developing the US wildland fire decision support system». Em: *Journal of Combustion* 2011 (2011). ISSN: 20901968. DOI: [10.1155/2011/168473](https://doi.org/10.1155/2011/168473) (ver p. 2).
- [48] *OpenStreetMap*. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (acedido em 2021-01-22) (ver p. 4).

- [49] *OpenStreetMap - Elements*. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Elements> (acedido em 2021-02-14) (ver p. 24).
- [50] *OpenStreetMap - Map Features*. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features (acedido em 2021-02-15) (ver p. 24).
- [51] *OpenStreetMap - Reference Point key*. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Points_of_interest (acedido em 2021-02-19) (ver p. 40).
- [52] *OSM Overpass API*. URL: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API (acedido em 2021-02-14) (ver p. 24).
- [53] *Pale Blue - Visual E Interactive Solutions*. URL: <https://pale.blue/> (acedido em 2021-02-07) (ver p. 11).
- [54] R. Passini. «Wayfinding in complex buildings: An environmental analysis». Em: *Man-Environment Systems* 10.1 (1980), pp. 31–40 (ver p. 3).
- [55] *Planet OSM*. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Planet.osm> (acedido em 2021-02-14) (ver p. 24).
- [56] «Point & Teleport locomotion technique for virtual reality». Em: *CHI PLAY 2016 - Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (2016), pp. 205–216. DOI: [10.1145/2967934.2968105](https://doi.org/10.1145/2967934.2968105) (ver p. 16).
- [57] *Precision OS delivers accredited curriculum for orthopedic surgical training in VR*. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/precision-os-delivers-accredited-curriculum-for-orthopedic-surgical-training-in-vr> (acedido em 2021-10-27) (ver p. 28).
- [58] T. Quesnot e S. Roche. «Measure of Landmark Semantic Saliency through Geosocial Data Streams». Em: *ISPRS International Journal of Geographic Information* (2014-12), pp. 1–31. DOI: [10.3390/ijgi4010001](https://doi.org/10.3390/ijgi4010001) (ver p. 10).
- [59] L. Richards e N. Brew. *2019–20 Australian bushfires—frequently asked questions: a quick guide*. 2020. URL: https://www.aph.gov.au/About_Parliament/Parliamentary_Departments/Parliamentary_Library/pubs/rp/rp1920/Quick_Guides/AustralianBushfires (acedido em 2021-01-21) (ver p. 1).
- [60] B. E. Riecke et al. «Do We Need to Walk for Effective Virtual Reality Navigation? Physical Rotations Alone May Suffice». Em: *Spatial Cognition VII*. Ed. por C. Hölscher et al. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 234–247. ISBN: 978-3-642-14749-4 (ver p. 12).
- [61] S. Rothe, D. Buschek e H. Hußmann. «Guidance in cinematic virtual reality-taxonomy, research status and challenges». Em: *Multimodal Technologies and Interaction* 3.1 (2019). ISSN: 24144088. DOI: [10.3390/mti3010019](https://doi.org/10.3390/mti3010019) (ver p. 11).

- [62] R. A. Ruddle e S. Lessels. «For Efficient Navigational Search, Humans Require Full Physical Movement, but Not a Rich Visual Scene». Em: *Psychological Science* 17.6 (2006). PMID: 16771793, pp. 460–465. DOI: [10.1111/j.1467-9280.2006.01728.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01728.x). eprint: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01728.x>. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01728.x> (ver p. 12).
- [63] *Simulation Sickness Questionnaire*. URL: <https://www.scielo.br/j/jbpsiq/a/trfYrY8LFWzmpwh7Wqn9Cvr/?lang=pt> (acedido em 2022-01-15) (ver p. 74).
- [64] *Steam - Half-Life: Alyx*. URL: https://store.steampowered.com/app/546560/HalfLife_Alyx/ (acedido em 2021-02-12) (ver p. 17).
- [65] *SteamVR*. URL: <https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/> (acedido em 2021-02-12) (ver p. 16).
- [66] A. Sutcliffe e B. Gault. «Heuristic evaluation of virtual reality applications». Em: *Interacting with Computers* 16 (2004-08), pp. 831–849. DOI: [10.1016/j.intcom.2004.05.001](https://doi.org/10.1016/j.intcom.2004.05.001) (ver p. 40).
- [67] *The VR museum of modern art*. URL: https://store.steampowered.com/app/515020/The_VR_Museum_of_Fine_Art/ (acedido em 2021-02-12) (ver p. 16).
- [68] *Unreal Engine Base Class Diagram*. URL: <https://courses.cs.ut.ee/2020/ge/fall/Main/Unreal> (acedido em 2021-10-27) (ver p. 29).
- [69] *Valabre. CESIR: Risk Simulation*. URL: <https://www.valabre.com/prestations/cesir> (acedido em 2021-02-07) (ver p. 11).
- [70] B. Van Dijk et al. «Navigation assistance in virtual worlds». Em: *Informing Science* 6 (2003), pp. 115–125. ISSN: 15214672. DOI: [10.28945/519](https://doi.org/10.28945/519) (ver pp. 2, 3, 9).
- [71] E. Verbree et al. «Interaction in virtual world views-linking 3D GIS with VR». Em: *International Journal of Geographical Information Science* 13.4 (1999), pp. 385–396. ISSN: 13623087. DOI: [10.1080/136588199241265](https://doi.org/10.1080/136588199241265) (ver pp. 12, 34).
- [72] W. Viant, J. Purdy e J. Wood. «Serious games for Fire and Rescue training». Em: *2016 8th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*. 2016, pp. 136–139. DOI: [10.1109/CEECE.2016.7835902](https://doi.org/10.1109/CEECE.2016.7835902) (ver p. 11).
- [73] N. G. Vinson. «Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments». Em: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* May (1999), pp. 278–285. DOI: [10.1145/302979.303062](https://doi.org/10.1145/302979.303062) (ver p. 3).
- [74] C. D. Wickens. «Engineering Psychology and Human Performance». Em: *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings* (1992) (ver p. 3).
- [75] B. G. Witmer e M. J. Singer. «Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire». Em: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7.3 (1998-06), pp. 225–240. DOI: [10.1162/105474698565686](https://doi.org/10.1162/105474698565686). URL: <https://doi.org/10.1162/105474698565686> (ver pp. 74, 109).

Questionários

A.1 Questionário Q1

1. Qual foi a dificuldade de aprender e compreender a técnica de navegação *Head-Tilt*? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Qual foi a dificuldade de executar esta técnica? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
3. Classifique o seu nível de desorientação. [1-Pouco Desorientado a 5-Muito Desorientado]
4. Classifique o seu nível de enjoo. [1-Pouco Enjoado a 5-Muito Enjoado]

A.2 Questionário Q2

1. Qual foi a dificuldade de aprender e compreender a técnica de navegação *One-Handed-Flying*? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Qual foi a dificuldade de executar esta técnica? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
3. Classifique o seu nível de desorientação. [1-Pouco Desorientado a 5-Muito Desorientado]
4. Classifique o seu nível de enjoo. [1-Pouco Enjoado a 5-Muito Enjoado]
5. Numa perspetiva geral, em qual das variantes de modo de voo se sente mais confortável? [1^a ou 2^a]

A.3 Questionário Q4

1. Qual foi a dificuldade de ler os marcadores? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Qual foi a dificuldade de perceber a localização geográfica dos marcadores? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
3. Identificou sobreposições de texto? [Sim ou Não]

A.4 Questionário Q5

1. Qual foi a dificuldade de ler os marcadores de estradas? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Qual foi a dificuldade de perceber a localização geográfica dos marcadores de estradas? [1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
3. Identificou sobreposições visuais dos marcadores de estradas? [Sim ou Não]
4. Classifique o seu nível de desorientação. [1-Pouco Desorientado a 5-Muito Desorientado]
5. Classifique o seu nível de enjoo. [1-Pouco Enjoado a 5-Muito Enjoado]

A.5 Questionário Q6

1. Qual foi a dificuldade de interagir com o menu de pesquisa?[1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Em qual dos modos de deslocamento automático se sente mais confortável? [Deslizamento da Câmara ou Esvanecimento da Câmara]
3. Considera o ângulo e a distância de visão ao marcador apropriados? [Sim ou Não]

A.6 Questionário Q7

1. Qual foi a dificuldade de interagir com o menu de definição de pontos de interesse?[1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
2. Quão difícil foi perceber a direção de um marcador?[1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
3. Quão difícil foi perceber a distância até a um marcador?[1-Muito Fácil a 5-Muito Difícil]
4. Considera o ângulo de visão para as pirâmides confortável? [Sim ou Não]
5. Numa perspectiva global, considero as pirâmides uma boa forma de demonstrar distâncias e direções visualmente. [1-Discordo Plenamente a 5-Concordo Plenamente]
6. Classifique o seu nível de desorientação. [1-Pouco Desorientado a 5-Muito Desorientado]
7. Classifique o seu nível de enjoo. [1-Pouco Enjoado a 5-Muito Enjoado]

Sugestões/Observações após a sessão experimental

A.1 Comentários aos Mecanismos de movimentação

Mais fluidez
Gostei mais do modo livre do que do modo "a apontar"
Prefiro o segundo mecanismo, usando o apontador de mão.
O primeiro é contra intuitivo, o segundo é fácil de utilização e intuitivo
O mecanismo de movimento não é complexo, necessita apenas de um período de adaptação inicial para um "first time user". Achei a visão focada bastante útil para orientação.
O mecanismo baseado na direcção dos comandos é me mais intuitivo. Se possível separar a direcção esquerda/direita com cima/baixo utilizando o gatilho do comando esquerdo para trocar de "modos".

Figura A.1: Sugestões/Observações sobre os mecanismos de movimentação em modo voo.

A.2 Comentários à Orientação Indireta

Estão bem
Não se lêem muito bem
Marcador de estrada selecionada deveria piscar ou ficar de cor diferente
Fácil leitura mas por vezes é difícil de perceber qual a estrada a que se referem
Os marcadores de localização das estradas são um pouco difíceis de ler devido ao ambiente em geral estar "a tremer" e por consequência também os marcadores. No entanto penso que se fossem mais "grossos", estilo negrito ou maiores se tornariam um pouco assoberbantes em relação aos restantes pormenores.
Gostei que os ícones utilizados sejam os clássicos de um mapa de navegação.
Sem sugestões a apontar.

Figura A.2: Sugestões/Observações sobre os mecanismos de orientação indireta (marcadores de localidades e estradas).

A.3 Comentários à Orientação Direta

Está intuitivo. A localização é feita de modo rápido

Ter que selecionar a caixa de texto primeiro não é intuitivo, a selecção de cores funcionou mal algumas vezes e foi desorientante seguir a base da pirâmide em vez de a ponta.

As linhas desaparecerem torna o menu inutilizável

O menu de pesquisa está bastante intuitivo de utilizar, assim como a navegação automática para os marcadores e a colocação dos pontos de interesse. O menu parece estar um pouco perto demais, poderia ser possível alterara distância a que este se encontra. O uso da base da pirâmide para indicação das localidades é um pouco contra intuitivo ao início, mas depois de se saber acaba por ser simples.

O menu de pesquisa encontra-se muito perto, seria mais fácil de realizar a pesquisa caso este se estivesse um pouco mais distante.

A barra de pesquisa ligeiramente maior. Talvez não acelerar tão rapidamente na navegação automática.

Figura A.3: Sugestões/Observações sobre os mecanismos de orientação direta.

Questionários de Presença I

Questionário traduzido por Magalhães[22] do original *Igroup Presence Questionnaire* (IPQ)

1. Estive consciente do mundo real enquanto navegava no ambiente virtual [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
2. O ambiente virtual pareceu-me completamente real [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
3. Tive a sensação de estar a atuar num espaço virtual [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
4. A experiência no ambiente virtual pareceu-me tão real como as minhas vivências do dia-a-dia [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
5. O ambiente virtual pareceu-me tão real como o mundo que conheço [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
6. Não me senti presente no ambiente virtual [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
7. Eu não estava consciente do mundo real que me rodeava [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
8. Eu tive a sensação de “estar” no ambiente virtual [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]
9. De alguma forma eu senti que o mundo virtual me envolve [1-Discordo Completamente a 5-Concordo Completamente]

Questionário de Presença II

Questionários de Presença por Witmer e Singer[75] adaptado por Marta Carlos [11]

1. Conseguiu controlar eventos? [1-Não consegui de todo a 5-Sempre]
2. Quanto é que o ambiente virtual foi responsivo às ações que você iniciou? [1-Nada Responsivo a 5-Muito Responsivo]
3. Quão naturais pareceram as suas interações com o ambiente virtual? [1-Nada Naturais a 5-Muito Naturais]
4. Quanto foi possível antecipar as respostas do ambiente, em resposta às ações que despoletou? [1-Não foi possível de todo a 5-Foi sempre possível]
5. Quão capaz foi de explorar ou investigar ativamente o ambiente virtual usando a sua visão? [1 -Nada a 5-Muito]
6. Quanto é que as experiências no ambiente virtual foram consistentes com as suas equivalentes no mundo real? [1-Nada Equivalentes a 5-Bastante Equivalentes]
7. Quão bem conseguiu examinar objetos? [1-Nada a 5-Muito]
8. Quão bem conseguiu examinar objetos através de vários pontos de vista? [1-Nada a 5-Muito]
9. Quão rápido se ajustou ao ambiente virtual? [1-Não me consegui ajustar a 5-Consegui ajustar-me rapidamente]
10. No fim da experiência, o quão experiente/proficiente se sentiu em relação às interações e movimentação no ambiente virtual? [1-Nada Experiente a 5-Muito Experiente]
11. Quanto é que a qualidade do dispositivo de visualização (capacete) interferiu (ou distraiu) com a realização das tarefas pedidas? [1-Não interferiu/Nada a 5-Interferiu Muito]

12. Quanto é que os dispositivos de controlo (comandos HTC Vive) interferiram com a realização das tarefas pedidas? [1-Não interferiu/Nada a 5-Interferiu Muito]
13. Quão bem se ajustou aos dispositivos de controlo? [1-Não me consegui ajustar a 5-Consegui ajustar-me rapidamente]



NOVA SCHOOL OF BUSINESS

BRUNO DE MOURA PEREIRA

NOVA SCHOOL OF BUSINESS