

MESTRADO

MULTIMÉDIA - ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS INTERATIVAS E JOGOS DIGITAIS

Comparação de sistemas de partículas em suportes digitais bidimensionais e realidade virtual

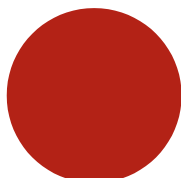
Vasco Emanuel Pereira dos Santos Ribeiro

M

2018

Faculdades Participantes:

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



Comparação de sistemas de partículas em suportes digitais bidimensionais e realidade virtual

Vasco Emanuel Pereira dos Santos Ribeiro

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Orientador: Rui Pedro Amaral Rodrigues

Coorientador: Rui Pedro da Silva Nóbrega

Junho de 2018

© Vasco Ribeiro, 2018

Comparação de sistemas de partículas em suportes digitais bidimensionais e realidade virtual

Vasco Emanuel Pereira dos Santos Ribeiro

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Luis Filipe Teixeira, Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Vogal Externo: João Domingos Pinho Alves de Sousa, Professor Auxiliar, Universidade Lusófona do Porto

Orientador: Rui Pedro Amaral Rodrigues, Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha família pelo seu apoio constante durante o desenvolvimento deste projecto.

Agradeço também ao curso de multimédia da FEUP.

Ao departamento de Engenharia Informática e todos os envolvidos.

E ao grupo do GIG.

Quero ainda agradecer ao meu orientador Rui Rodrigues, pela direcção constante.

Ao meu co-orientador Rui Nóbrega, pela ajuda que me deu.

Ao professor Eduardo Magalhães, pela ajuda com preparação de elementos para os testes práticos.

Ao Filipe Moreira, por me ajudar constantemente a testar diferentes elementos do projecto.

A todos os sujeitos de teste que participaram no estudo.

Nota dos autores: Este documento não foi escrito ao abrigo do acordo ortográfico

Termos e Abreviaturas

CPU - Central Processing Unit (Unidade de processamento central)
GPU - Graphics Processing Unit (Unidade de processamento gráfica)
HMD – Head-Mounted Display (Display montado na cabeça)
VR - Virtual Reality (realidade virtual)
VFX - Visual Effects (efeitos visuais)
2D - Duas Dimensões
3D - Três Dimensões
AAA - Triple A (jogo de vídeo de alto orçamento)
RAM - Random Access Memory (memória de acesso aleatório)
HUD – Heads-Up Display (Display visual)
FOV - Field of View (Campo de visão)
UE4 - Unreal Engine 4 (Motor-de-jogo usado no projecto)
FBX - Extensão de ficheiro usada nos modelos 3D criados
UV - Termo usado para referenciar os eixos numa textura 2D
RGB - Red, Green, Blue (Vermelho, Verde, Azul - Modelo de cores)
Sprites – Gráfico de computador que pode ser manipulado

Índice

1 - Introdução.....	9
2 - Estado da arte	10
2.1 - Sistemas de Partículas	10
2.1.1 - Contextualização Geral e história	10
2.1.2 - Enquadramento e Relevância das Tecnologias.....	16
2.2 - Realidade Virtual.....	17
2.2.1 - Contextualização Geral e história	17
2.2.2 - Enquadramento e Relevância das Tecnologias.....	25
2.3 - Importância e Justificação	26
3 - Desenvolvimento Prático.....	28
3.1 - Elementos	28
3.1.1 - Decisões e tecnologias.....	28
3.1.2 - Criação de Modelos 3D	31
3.1.3 - Criação de Materiais	34
3.1.4 - Paisagem Sonora.....	36
3.2 - Partículas.....	38
3.2.1 - Bolhas.....	38
3.2.2 - Fogo GPU	43
3.2.3 - Fogo CPU.....	48
3.2.4 - Electricidade.....	50
3.2.5 - Folhas	54
3.2.6 - Nuvens	59
3.3 - Controlo	65
3.3.1 - 2D.....	65
3.3.2 - VR.....	66
3.4 - Construção.....	69

3.5 - Procedimentos.....	74
3.6 - Sujeitos de teste.....	77
4 - Resultados.....	78
4.1 - Questões de contexto.....	78
5.2 - 2D.....	84
4.3 - VR.....	88
5 - Discussão.....	93
5.1 - Questões de contexto.....	93
5.2 - Efeitos	94
5.2.1 - Bolhas.....	94
5.2.2 - Fogo Tochas	96
5.2.3 - Fogo Braseiros.....	98
5.2.4 - Electricidade.....	101
5.2.5 - Folhas.....	104
5.2.6 - Nuvens	106
5.3 - 2D ou VR?.....	108
6 - Conclusão.....	109
Referências.....	110
Links	112
Imagens.....	114

Resumo

O objectivo deste estudo é o de entender a importância que os sistemas de partículas possuem para a sensação de presença em diferentes tipos de display virtuais. Isto dará um melhor entendimento sobre as áreas de esforço que devem ser escolhidas na criação de ambientes bidimensionais ou de realidade virtual. Para esse fim foram criadas duas versões do mesmo ambiente virtual enriquecido com sistemas de partículas, uma para ser navegada em displays tradicionais e outra em realidade virtual. Foi pedido a um número de sujeitos que navegassem ambas as versões e respondessem a questionários criados com a intenção de medir a sua sensação de presença nos diferentes ambientes quando ligada aos diferentes efeitos e técnicas usados. Os resultados ajudaram na distinção de diferentes técnicas que possuem resultados diversos no nível de presença dos sujeitos. Isso poderá ajudar a criação de futuros ambientes e projectos na área fazendo com que seja mais simples a escolha de técnicas para a criação de sistemas de partículas, ajudando assim a uma melhor alocação de tempo e recursos por parte dos criadores.

Abstract

The goal of this study is to understand the importance which particle systems have for the feeling of presence in different kinds of virtual displays. This will give a better understanding on the areas of effort to be chosen in the creation of two dimensional or virtual reality environments. To that end, two versions of the same particle enriched virtual environment were created, one to be navigated in traditional displays and the other in virtual reality. A number of subjects were asked to navigate both those versions and answer questionnaires created with the intent of measuring their presence in said environments when connected to the different effects and techniques used. The results helped in the distinction of different techniques which have different results in the subjects' feeling of presence. That may aid in the creation of future environments and projects in the area making the process of selecting particle system creation techniques easier, thus helping the creators allocate time and resources.

1 - Introdução

As tecnologias trabalhadas neste projecto foram as tecnologias de sistemas de partículas, uma técnica de modelação parametrizada para a criação de efeitos volumétricos usando um elevado volume de *sprites* ou modelos 3D, e tecnologia de realidade virtual, uma técnica de display visual a três dimensões que tenta emular a percepção humana.

Nos dias que correm, com a rápida propagação das tecnologias de Realidade Virtual (*Virtual Reality*, VR) grande parte do foco parece centrado nos tópicos de imersão e realismo. As novas aplicações de realidade virtual, quer ligadas aos ramos de entretenimento ou não, visam aumentar esse realismo de modo a melhorar a experiência dos utilizadores. Parte dessa melhoria é trabalhada com suporte nas novas tecnologias, no entanto grande parte da componente digital de VR é construída tendo em conta tecnologias já padronizadas na indústria, como é o caso dos VFX, em particular os Sistemas de Partículas. Esta tecnologia já demonstrou causar certos problemas de visualização em VR não replicáveis em displays tradicionais. Se esse facto for prevalente em várias vertentes da tecnologia poderá a realidade virtual em certos casos dar uma menor ilusão de presença do que um display 2D? É possível que certas técnicas de criação de partículas produzam resultados diferentes para a presença dos utilizadores dependendo do tipo de display?

Estas são questões importantes pois se as tecnologias de display continuarem a evoluir independentemente do efeito que as tecnologias de VFX usadas têm nos produtos criados ou nos utilizadores é possível que hajam dessincronias visuais que afectem negativamente as experiências produzidas. Em certos casos isso poderá ainda significar trabalho e esforço perdido se os resultados não forem de acordo ao inicialmente pretendido. Este estudo e os resultados obtidos permitirão ter uma noção de algumas técnicas e tecnologias de criação de partículas que produzem resultados diferentes para a percepção dos utilizadores nos diferentes tipos de display, podendo ajudar na criação de efeitos para futuros projectos.

Neste documento iremos fazer uma exposição das tecnologias e técnicas trabalhadas no âmbito deste estudo. Vamos fornecer uma explicação sobre as suas funcionalidades e existência, o estado actual das tecnologias de partículas e de display, e fazer um enquadramento histórico e cultural de cada uma. Iremos também abordar a importância científica da junção de ambas as tecnologias para o contexto da dissertação fundamentada por estudos passados e a sua relevância para a área e para trabalhos futuros. Vamos explicar os métodos que foram usados para âmbito da experiência realizada, incluindo as ferramentas usadas, a criação dos elementos para os testes, os participantes e os procedimentos tomados. Os resultados obtidos serão expostos sob a forma de gráficos e iremos explicar o seu significado e relevância para a indústria e quaisquer estudos futuros.

2 - Estado da arte

Nesta secção vamos explicar as tecnologias de sistemas de partículas e de realidade virtual, o seu enquadramento histórico e o seu papel nos dias que correm. Iremos também explicar as relações entre elas e a sua importância para o projecto proposto.

2.1 - Sistemas de Partículas

Os sistemas de partículas são uma técnica utilizada em tecnologias de geração de gráficos de computador que utilizam um elevado número de *sprites* ou modelos tridimensionais para simular efeitos naturais. Nos pontos seguintes serão contextualizadas as tecnologias de sistemas de partículas, passando pela sua criação, antecedentes e o seu papel na actualidade.

2.1.1 - Contextualização Geral e história

Desde a origem das tecnologias de sistemas de partículas no início da década de 80, eles vieram a ser usados em todo o tipo de média digital, incluindo filmes, jogos de vídeo, animações e até fotomontagens. Eles ajudam na criação de efeitos realistas de elementos que seriam de outra forma difíceis de simular ou animar manualmente, tais como fogo, nevoeiro, chuva, etc [\[Reeves, 1983\]](#).

A possibilidade de fazer uma geração “aleatória” de um efeito seguindo certos parâmetros-base garante que um sujeito nunca irá ver o mesmo efeito exactamente igual duas vezes a não ser que o sistema seja assim desenhado; o que possibilita, para além de uma geração de efeitos realistas, uma geração de efeitos de forma irregular e dessa forma mais orgânicos [\[Müller M, Charypar, D, Gross M, 2003\]](#). Para além dos parâmetros normais os efeitos podem ainda ser afetados por forças gravíticas ou objectos externos por meio de colisões, tornando-os ideais para ambientes com os quais um sujeito pode interagir, ou controlar até certo ponto.

Na sua origem e no seu apogeu os sistemas de partículas requeriam complexas operações matemáticas e grandes quantidades de código criado manualmente mesmo para a mais simples das utilizações [\[Burg, J, V, 2000\]](#), nos dias que correm existem motores de partículas, aplicações, interfaces e outras ferramentas úteis para a criação de efeitos fiéis [\[McAllister, D, K, 2000\]](#); apesar disso os efeitos de partículas podem

ser dispendiosos tanto em tempo como em custos e processamento [[Hastings, E. J., Guha, R. K. and Stanley, K. O., 2009](#)] [[Drone, 2007](#)].

Os sistemas de partículas primitivos existem de algum modo ou outro há bastantes anos como uma forma de dar mais imersão ou profundidade a um ambiente. O “*Spacewar!*” um dos primeiros jogos de vídeo, criado em 1962 para o PDP-1 [[Wikipedia, 11](#)], possuía um efeito visual primitivo que se pode considerar um precursor dos sistemas de partículas. Após a destruição de uma das naves é visível uma explosão com inúmeros píxeis brancos, à semelhança de destroços. Essa técnica manteve-se e foi utilizada durante bastantes anos e até em títulos mais culturalmente célebres como “*Space Invaders*” (1978) ou “*Asteroids*” (1979).

Pode-se considerar que os sistemas de partículas modernos tenham nascido no ano de 1982, com o lançamento do filme “*Star Trek: A ira de Khan*”. William Reeves, pioneiro de várias técnicas de computação gráfica e um dos fundadores da empresa “*Pixar*”, trabalhou como Artista de Gráficos de Computador na longa metragem após ser contratado pela “*Lucasfilms LTD*”. Reeves procurava um método para animar uma sequência particularmente complicada, na qual um planeta seria envolto por chamas após a detonação de um explosivo [[Paramount Pictures, 1982, 12](#)]. Reeves apercebeu-se que técnicas de modelação tradicionais não seriam ideais para a criação de tal efeito, pois não teriam o aspecto distorcido característico de uma labareda. Ele optou então por utilizar sistemas de partículas, uma técnica que tinha sido anteriormente utilizada para a criação de certos efeitos mas que era difícil de controlar adequadamente. O grande contributo de Reeves foi a aplicação de regras ao efeito, o que garantiu que apesar de os resultados serem aleatórios nunca iriam desobedecer aos parâmetros indicados [[Lander, 1998](#)].

Mais tarde, com a primeira grande explosão do mercado de jogos de vídeo, originada em parte pelas poderosas consolas pessoais da altura como a NES (*Nintendo Entertainment System*, 1983) ou a *Sega Master System* (1985), as tecnologias gráficas evoluíram, e com elas surgiram novas técnicas de geração de efeitos. Os efeitos que viriam com o tempo ser substituídos por sistemas de partículas eram então simulados usando *sprites* à base de bitmaps, a mesma técnica usada para virtualmente todos os outros efeitos visuais da altura. Esses bitmaps eram, de forma simples, imagens que eram movimentadas e substituídas pelo sistema aparecendo ou desaparecendo como necessário.

Jogos da altura, como por exemplo “*Castlevania*” (1986) utilizavam *sprites* para a simulação de chamas e de efeitos de choque após a destruição de um objecto como visto na figura 1. Esses efeitos, apesar de distantes daqueles que são utilizados hoje em dia, serviam o propósito de tornar a acção e o ambiente mais imersivo. E considerando a tecnologia da altura serviam o seu propósito perfeitamente; seria excessivamente complicado e dispendioso adaptar as tecnologias de geração de gráficos usadas pela indústria de cinema para a criação de efeitos para jogos de vídeo à base de *sprites*.

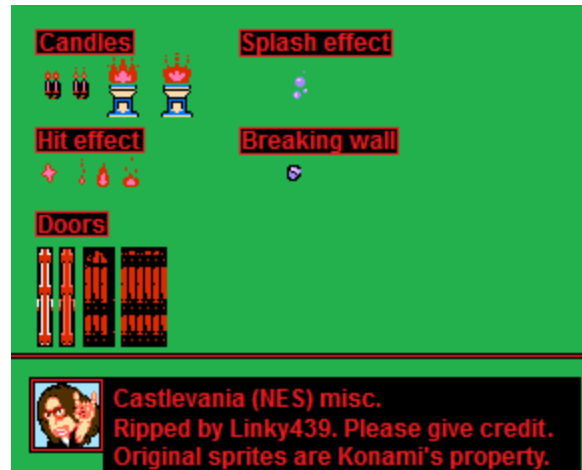


Figura 1: Algumas sprites de Castlevania

Com a evolução das tecnologias de gráficos e com a chegada da primeira geração de jogos de vídeo a três dimensões nos anos 90 as técnicas de geração de efeitos tornaram a evoluir, desta forma ganhando uma maior aparência com o trabalho definido por Reeves em 1983 [Reeves, 1983]. Como se pode ver na figura 2, exemplos como “*Metal Gear Solid*” (1998) já usavam técnicas que continuariam a ser relevantes inclusive até aos dias de hoje. Usando como base *sprites* ou *billboards* de tamanho diminuto podiam fazer uma geração contínua das imagens que quando restritas por certos parâmetros dariam origem a resultados volumétricos imersivos mesmo com os GPU disponíveis na altura em consolas como a *Playstation 1* ou a *Sega Dreamcast*. O jogo era ambicioso, fazendo render simultâneo de efeitos como neve, fumo, e até vapor com a respiração dos personagens; isso não ignorando todos os outros elementos gráficos que necessitava de apresentar.



Figura 2: Efeitos de neve em Metal Gear Solid

Essas técnicas continuam a ser usadas até nos dias de hoje, mas o hardware de processamento melhorado permite a criação de um maior número de partículas e regras, e inclusive a utilização de regras mais avançadas permitindo até colisões ou rastros de partículas e emissão de luz. Apesar de ser na sua raiz a mesma técnica, esta foi uma evolução gradual e não instantânea que veio em paralelo com a evolução dos sistemas gráficos. Jogos de vídeo como “*Portal*” (2007) apesar de possuírem sistemas mais avançados do que aqueles disponíveis uma década antes ainda possuem inferioridades quando comparados com os que temos na década seguinte, como por exemplo em “*The Witcher 3: Wild Hunt*” (2015) como se pode ver nas figuras 3 e 4.



Figura 3: Efeitos de gás em Portal



Figura 4: Efeitos de fogo em The Witcher 3: Wild Hunt

A indústria do cinema também adotou novas técnicas de efeitos de partículas para as suas longas metragens. Filmes como “*Mad Max: Fury Road*” (2015), completam as suas cenas existentes com vários tipos de VFX, muitos dos quais incluem sistemas de partículas; como por exemplo na tempestade tóxica presente no filme, visível na figura 5, que fez uso de simulações de fluidos e de pó sobrepostas em várias

camadas [\[Failes, 2015\]](#). Esse género de sistemas é extremamente pesado para criar em render real num jogo de vídeo, mas para uma longa metragem pré renderizada é possível um nível de detalhe muito mais elevado.



Figura 5: Tempestade em *Mad Max: Fury Road*

Estamos num ponto em que a imersividade de sistemas de partículas é tão pertinente que em muitas ocasiões o seu potencial máximo está desactivado por omissão pois o hardware usado pela maior parte dos consumidores não é capaz de usufruir dele sem reduzir o desempenho noutras áreas. Tal foi o caso em “*Batman: Arkham Knight*” (2015) que lançou o jogo para o mercado com opções especiais da “*Nvidia Gameworks*” somente para sistemas de partículas melhorados. As opções incluíam fumo e nevoeiro interactivo, com detalhe complexo de replicar com partículas de CPU, detritos de papel interactivos, que faziam render de pedaços de papel reactivos ao movimento dos personagens, e chuva melhorada que fazia uma geração ainda maior de partículas de chuva que possuíam colisões dinâmicas com o personagem [\[Wccfttech, 2015, 13\]](#).

2.1.2 - Enquadramento e Relevância das Tecnologias

Os sistemas de partículas modelam um objecto como uma nuvem de partículas primitivas que definem o seu volume. Ao longo do tempo as partículas são geradas no sistema, movem-se, são modificadas e “morrem”. O modelo resultante é capaz de representar movimento, mudanças de forma e dinâmicas difíceis de representa com outras técnicas de representação [Reeves, 1983]. Nos tempos modernos, no entanto, a tecnologia já chegou ao ponto onde é possível criar sistemas de partículas à base de *meshes* 3D. Essas *meshes* são menos susceptíveis a inconsistências visuais do que as partículas tradicionais à base de *billboards* ou *sprites*, mas podem também ser mais imponentes a nível computacional. Como as *meshes* são tratadas como objectos 3D elas não necessitam de ser orientadas na direcção da câmara, este tipo de partículas são ideais para sistemas de grande dimensão onde se espera um nível de detalhe elevado ou no qual não se quer uma substituição constante de partículas como por exemplo para destroços ou projecteis.

Actualmente existem dois tipos principais de partículas; partículas de CPU e de GPU. A principal diferença é que as partículas de GPU não são capazes de usar vários parâmetros usados pelas de CPU como por exemplo colisões, mas como são processadas pela unidade gráfica podem atingir quantidades de partículas muito mais elevadas como exemplificado na figura 6.

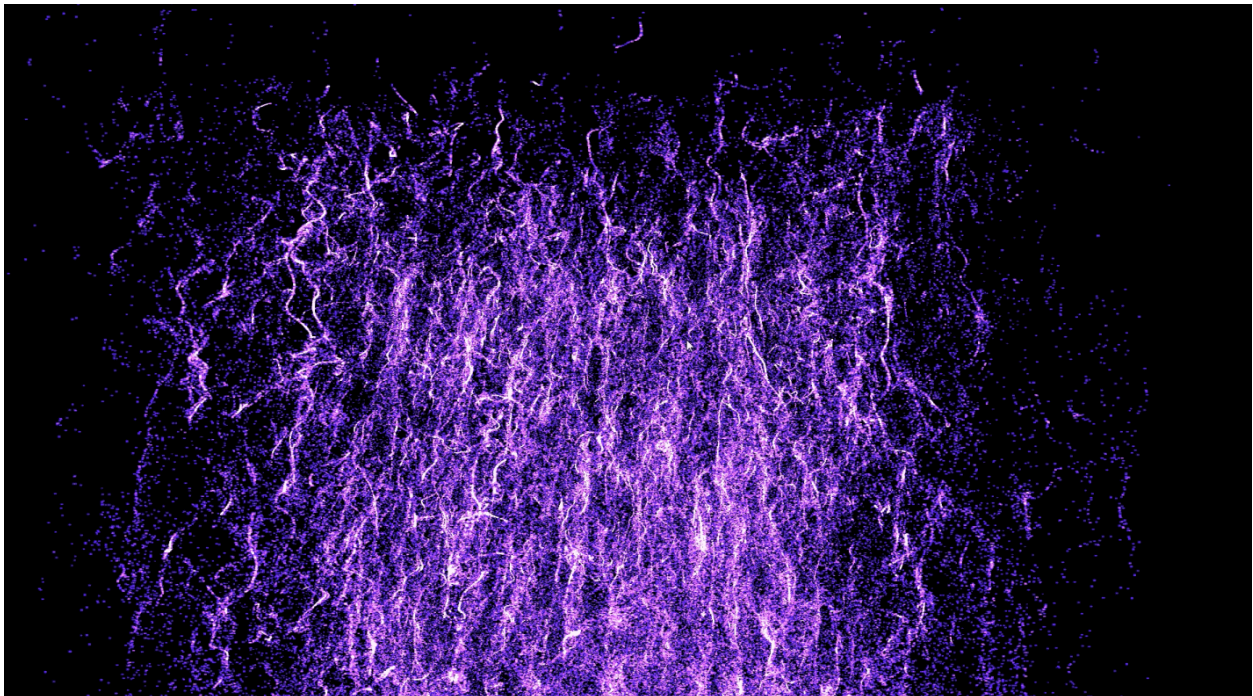


Figura 6: Simulação com 1 milhão de partículas de GPU

Também podem fazer uso de funções não disponíveis com partículas de CPU como *Vector Fields*, uma grelha uniforme de vectores que influencia o movimento das partículas [Epic Games - Unreal Engine,

[20](#). No geral, ambos os tipos vão utilizar tanto o CPU como o GPU, a diferença está na quantidade de tarefas atribuídas a cada unidade. Nas partículas de CPU a maior parte do trabalho de simulação é feito pelo processador e pela memória RAM e o display é realizado primariamente pela unidade gráfica. No entanto nos sistemas de GPU parte do trabalho de simulação também é feito pela unidade gráfica, como cada ciclo de animação vai usar os dados de partículas do ciclo anterior apenas é necessário usar memória de processamento durante o ciclo inicial. Todo o trabalho posterior pode ser feito graficamente, libertando a memória e o processador para outras tarefas [\[Scharf, 2015\]](#).

Isto não significa que as partículas de GPU sejam sempre a escolha ideal. É possível criar sistemas de qualidade nos tempos modernos utilizando partículas de CPU. Muitas vezes pode até ser preferível, é comum criar sistemas de segundo plano com baixo número de partículas somente em CPU de forma a libertar memória gráfica para que possa ser utilizada por outros recursos intensivos. Também é comum não usar toda a memória alocada propositadamente; demasiados sistemas com demasiado detalhe podem ser avassaladores e retrain à experiência total de um utilizador. Ainda existe também uma vertente histórica, muitos dos motores usados actualmente funcionam com base no código de motores usados pela geração anterior de consolas [\[Whitley, 2017\]](#).

2.2 - Realidade Virtual

Pode-se dizer que os sistemas de partículas têm uma utilização indispensável na criação de ambientes digitais; desse modo é de esperar que a sua utilização seja necessária para a criação de tais ambientes usando tecnologias de realidade virtual. No entanto, já que as tecnologias de realidade virtual fazem uso de um tipo de display - *Head-Mounted Display* (HMD) - diferente do que aqueles que já temos padronizados - monitores 2D - é possível que os sistemas de partículas, e as diversas técnicas usadas para os criar, não possuam o mesmo efeito nos utilizadores quando usados nestes novos displays. De seguida vamos explicar as tecnologias de realidade virtual, desde a sua criação, relevância e estado actual, expondo também o seu papel crescente no mercado.

2.2.1 - Contextualização Geral e história

A realidade virtual é uma tecnologia digital que utiliza displays oculares (exemplificados na figura 7), dispositivos manuais e por vezes sensores de movimento para criar a ilusão de presença e ação num espaço simulado. Com a simulação de efeitos visuais, sonoros e tácteis é possível a imersão num ambiente irreal que muitas vezes permite interacções com o utilizador.



Figura 7: Samsung Gear VR

Em linguagem técnica, a realidade virtual é um termo usado para descrever um espaço tridimensional gerado digitalmente no qual o utilizador fica imerso dentro do ambiente [\[Virtual Reality Society, 2017, 1\]](#). A grande caracterização da realidade virtual moderna são os HMD que permitem a visão de um mundo a três dimensões observado pelo utilizador com base nos movimentos da sua própria cabeça. Isto, claro, não deverá ser confundido com realidade aumentada, que ao invés de representar um mundo virtual apenas constrói sobre o já existente, sobrepondo uma realidade simulada ao espaço real [\[3rockAR Team, 2016\]](#). Existem ainda outros tipos de sistemas usados para simular realidade virtual com os sentidos de tacto, presença e equilíbrio, mas estes não são tão comuns no mercado. Apesar de existirem no amplo leque da definição de realidade virtual eles são geralmente chamados de sistemas hápticos [\[Virtual Reality Society, 2017, 15\]](#).

Apesar de muitos crerem que a realidade virtual é uma tecnologia moderna, certas formas de realidade virtual existem desde os anos 20. Aparelhos como o simulador de voo “*Link Trainer*”, visível na figura 8 recebiam input por parte dos utilizadores e simulavam sensações e resultados derivativos de diferentes forças, altitudes e velocidades de vento bem como instruções de parte de uma “torre de controlo”. Mais tarde ainda, surgiu o “*Sensorama*” [\[Turi, 2014\]](#) que era bastante mais similar aos aparelhos de realidade virtual com os quais estamos familiarizados hoje em dia. A criação de Morton Heilig simulava quatro dos cinco principais sentidos, possuía imagem em 3D, som stereo e ventoinhas apontadas à cara dos utilizadores.



Figura 8: Link Trainer

Na década de 60 começaram a surgir os primeiros HMD, aparelhos que estabeleceram o precedente para os equipamentos de realidade virtual com os quais estamos familiarizados hoje. Esses HMD's são os chamados “*headsets*” ou “óculos de realidade virtual” que apresentam as imagens directamente aos olhos do utilizador. Ivan Sutherland e David Evans, por exemplo, criaram a “Espada de Dâmocles”. O HMD tinha esse nome devido ao seu tamanho e peso o que requeria que estivesse fixado com um braço sobre o utilizador [3rockAR Team, 2016] como no conto antigo. Era primitivo comparado aos aparelhos que temos nos dias de hoje, estando limitado à renderização de modelos em *wireframe*.

Na década seguinte foi criado o “*Aspen Movie Map*”, um mapa interactivo da cidade de Aspen no Colorado. Foi um projecto fundado pela “DARPA” e desenvolvido por alunos do “MIT” [Michael Naimark, 1979, 17] [The Architecture Machine - MIT, 1981, 4]. O mapa era composto por fotografias das ruas da cidade e podia ser navegado livremente pelos utilizadores, muito à semelhança de aplicações como o *Google Street View* que temos na actualidade.



Figura 9: Captura de ecrã do Aspen Movie Map

O termo realidade virtual apenas surgiu mais tarde, em 1987, sendo popularizado por Jaron Lanier fundador do “VPL” (Visual Programming Lab). Uma empresa que iria criar vários tipos de equipamento de realidade virtual incluindo HMD’s e periféricos [Virtual Reality Society, 2017, 5]. Na década de 90 os jogos de vídeo estavam a adquirir um ressurgimento em popularidade após a crise da indústria de 1983 e várias empresas procuraram formas de incluir a realidade virtual no meio. Surgiram máquinas de jogos com equipamento de VR intrínseco e certas empresas de renome (*Sega, Nintendo*) tentaram oferecer alternativas que o público comum pudesse utilizar nas suas próprias casas. Esses aparelhos fracassaram ainda antes de serem lançados ou foram falhanços de mercado; como o *Virtual Boy* da *Nintendo*, que apesar de possuir gráficos a três dimensões apenas suportava um alcance de cores mínimo e causava desconforto e problemas de visão aos utilizadores [Nintendo Wiki, 6].

No século XXI a realidade virtual viu um ressurgimento, avanços nas tecnologias gráficas e de processamento vieram dar nova vida à indústria e a resolver muitos dos problemas do passado. Aparelhos como o *Oculus Rift*, *HTC Vive* e *Playstation VR* estão disponíveis no mercado e são até consideravelmente populares apesar dos seus altos preços. Além dos modelos disponíveis para jogos de alta gama existem ainda opções a preços mais consideráveis desenhados para serem utilizados com *smartphones* [Lamkin, 2017]. Alguns modelos como o *Samsung Gear VR* ainda possuem preços competitivos, mas opções como o *Google Cardboard* ou o *Xiaomi Mi VR* estão disponíveis de forma bastante acessível, apesar de a qualidade não ser a mesma esperada de um aparelho topo de gama.

O hardware moderno deu origem a novas aplicações que fazem uso das tecnologias, desde o recreativo ao profissional. As mais populares sendo obviamente os jogos de vídeo. Enquanto que no uso de máquinas de jogos em VR os jogos eram construídos propositadamente para serem utilizados com esse equipamento, actualmente é possível fazer uma port de um jogo de vídeo já existente para VR. Mesmo assim, uma grande parte das aplicações são criadas somente com a intenção de serem utilizadas em realidade virtual. Exemplos como “*Star Trek: Bridge Crew*” e “*Raw Data*” dificilmente teriam o mesmo apelo em algum outro meio.

No “*Star Trek: Bridge Crew*” uma equipa de até quatro jogadores formam a tripulação de uma nave da série “*Star Trek*”, com cada elemento desempenhando um diferente papel (capitão, navegador, tático, e engenheiro). O jogo foi construído exclusivamente para VR e está disponível para vários tipos de Hardware como o *Oculus Rift*, *HTC Vive* e *Playstation VR* [Ubisoft, 2017, 7]. No jogo todos os elementos necessitam de trabalhar em conjunto para completarem diferentes missões, tomando decisões que afectam o funcionamento das mecânicas dos outros jogadores. Cada um dos jogadores tem o seu “posto”, uma consola com display visual e um leque de botões.

Como toda a interacção é tida em realidade virtual este jogo exige que os jogadores não só tenham um HMD mas também inputs manuais e possivelmente até microfones/headphones para comunicarem caso estejam a jogar com indivíduos que não se encontrem no mesmo local. O jogo tira partido de VR e promove interacção social entre os jogadores para coordenar o *gameplay*; o engenheiro por exemplo pode controlar a quantidade de energia disponível para os escudos ou para os motores afectando assim as possibilidades imediatas dos papéis de navegador e tático. Existe *tracking* manual o que permite aos jogadores apontar e fazer certos gestos básicos, e os modelos dos personagens fazem “*lip sync*” para simular a fala dos jogadores.

Este tipo de *gameplay* seria teoricamente possível com um display tradicional, cada jogador utilizando o seu ecrã e controlando as diferentes funções com o rato ou com os botões do teclado. Mas possivelmente não teria o mesmo apelo ao público, talvez sendo agrupado com os outros jogos de estratégia similares. Mas com o uso de realidade virtual quase que se torna numa aplicação diferente, conseguindo transmitir a acção aos jogadores de um modo mais directo, movendo a própria cabeça para olhar para os diferentes displays, utilizando as mãos para alcançar os botões ou os menus holográficos como visto na figura 10.



Figura 10: Menu interativo em *Star Trek: Bridge Crew*

Existem outros exemplos de jogos de vídeo que fazem bom uso de tecnologias de realidade virtual; “*Raw Data*” [Survios, 2017, 8] utiliza esquemas de controlo com base nos movimentos do jogador para oferecer um nível de controlo difícil de replicar em controlos e displays 2D. Em “*Keep Talking and Nobody Explodes*” um jogador com um *headset* VR (o jogo já foi desde então adaptado para 2D) tem a tarefa de desarmar uma bomba ao resolver puzzles, como demonstrado na figura 11, com instruções dadas por outros jogadores lendo um manual. Interessantemente, mesmo sem o HMD o jogo continua a fazer uso de uma definição arcaica de realidade virtual, transpondo parte do jogo para a vida real com o uso do manual.



Figura 11: *Keep Talking and Nobody Explodes* em realidade virtual

Uma nova tendência no mercado é a adaptação de jogos existentes para displays de realidade virtual. Em inúmeros casos estes jogos podem não ganhar muita profundidade ao tirar proveito máximo do potencial de VR, mas a “novidade” da tecnologia graças ao seu ressurgimento faz com que as empresas aproveitem a oportunidade com algumas das suas aplicações de sucesso. Nem todas as aplicações podem simplesmente ser convertidas para VR. Quando se faz uso da tecnologia, é necessário ter em conta os seus defeitos. Os movimentos excessivos e o ângulo de visão reduzido em relação à visão humana podem causar náusea após uso prolongado. Isso, naturalmente, pode causar inúmeros problemas em jogos modernos muitos dos quais possuem esquemas de controlo complexos e movimentos arrojados.

Também é necessário ter em conta o facto de vários jogos em primeira pessoa fazerem ainda uso de um modelo 3D por trás da câmara que serve de *viewport* para os jogadores. Num display e esquema de controlo tradicional essa câmara apenas se move de acordo com certas regras bem definidas, de forma a nunca quebrar a ilusão de realidade. Mas ao usar VR é possível que o utilizador coloque a câmara numa posição não prevista pelos desenvolvedores que possa efectivamente quebrar o modo de como a aplicação se comporta e é apresentada.

Outro dos aspectos negativos é a baixa taxa de conversão. Apesar de a popularidade da tecnologia ser alta, o número de utilizadores que compra aparelhos de realidade virtual é baixo quando comparado com o número de utilizadores que usa displays normais. Em 2016, o primeiro verdadeiro ano para aparelhos de VR comerciais, as vendas totais dos aparelhos mais populares no mercado são de cerca de três milhões e

oitocentos e cinquenta mil unidades; 2.3 milhões dessas sendo vendas do Samsung Gear VR, o único dos quatro aparelhos a suplantar um milhão de vendas [[Business Insider, 2016, 9](#)].

Também é de valor notar, que o *Samsung Gear* é o mais barato dos principais aparelhos no mercado, custando cerca de 130€. É também o menos poderoso entre os mais populares, servindo somente para realidade virtual móvel; o que não parece ser um deterrente para o utilizador comum, o *Samsung Gear VR* e o *Playstation VR* são os dois aparelhos mais vendidos, sendo também aqueles que são mais amigáveis para um utilizador regular. O *Samsung Gear* somente requer um telemóvel *Samsung* compatível e uma aplicação; o *Playstation VR* foi, como é claro, concebido para funcionar com a consola epónimo e por esse facto apenas necessita de ser ligado por cabo. Enquanto que ambos estes aparelhos foram engenhados para trabalhar directamente com hardware específico, o *HTC Vive* e o *Oculus Rift* (cerca de 450 mil e 335 mil vendas em 2016, respectivamente) foram concebidos primariamente para computadores, e apesar de consideravelmente mais poderosos, requerem também hardware e uma configuração mais avançados, já para não falar dos seus preços. O *HTC Vive* tem um preço de 675€. Isso, em par com um computador moderno capaz de fazer uso do hardware, pode chegar a um preço de mais de 1300€. Por outro lado, é possível comprar um *Playstation VR*, uma *Playstation 4*, dois controladores de movimento e uma *Playstation Camera* por cerca de 675€ - o mesmo valor do preço original do *Vive*. O facto de o público em geral ter interesse em realidade virtual mas o preço ser um deterrente é ainda mais evidente ao olhar para o número de unidades expedidas do *Google Cardboard*. Desde o seu surgimento em 2014 já foram movidas mais de 10 milhões de unidades, muitas delas tendo sido oferecidas [[Fortune, 2017, 10](#)]. O *Cardboard* tem um preço reduzido, rondando os 12€, e somente requer um *smartphone* para funcionar. Claro que o poder não é comparável a um dispositivo mais avançado, mas para muitos utilizadores é uma amostra perfeita da tecnologia.

Com uma taxa de utilizadores tão baixa para aparelhos de realidade virtual de alto rendimento (*PSVR*, *Vive*, *Oculus*) é de esperar que as empresas vejam riscos no desenvolvimento de *ports* de jogos de sucesso, nomeadamente face a custos. Em 2016 esses três aparelhos tiveram um número de vendas combinado ligeiramente acima de um milhão e meio de unidades; assumindo que 20% desses utilizadores (uma estimativa elevada) compra o *port* isso significará cerca de 300,000 unidades vendidas. Com o preço dos novos lançamentos AAA rondando os 60€ isso significará um rendimento de 18 milhões. O que após salários, impostos e custos de desenvolvimento não será um número tão elevado ou até positivo. Mesmo que ainda houvesse lucro bruto após esses descontos, o retorno de investimento seria tão baixo que a *port* poderia ser considerada um fracasso comercial.

Mesmo assim, certas empresas levaram avante projectos deste género e até alcançaram algum sucesso comercial. O jogo “*Minecraft*” por exemplo, lançou uma actualização gratuita para o jogo disponibilizando suporte de realidade virtual. O meio é suportado em *Windows 10* e na *Xbox 1* podendo ser jogado com o

Oculus Rift. Também foi ainda lançada uma versão VR do jogo para dispositivos móveis utilizando o *Gear VR*, que apesar de não ser gratuita tem um preço reduzido de 6.99€.

Com um exemplo ligeiramente diferente, “*Resident Evil 7*” lançou o jogo directamente com um modo de realidade virtual para jogadores de *Playstation*. O processo de conversão foi feito em par com o desenvolvimento corrente do jogo [Bradley, 2017] e é uma funcionalidade puramente opcional. Para decidir se o desenvolvimento de um jogo AAA em VR era uma ideia viável a equipa mostrou um pequeno demo em realidade virtual durante a E3 2015. Como a recepção foi positiva a empresa decidiu avançar com o conceito.

Estes são exemplos menores na grande escala da tecnologia, mas são importantes por razões diferentes; a primeira, porque ter um título extremamente popular como *Minecraft* no repertório de VR é uma mais valia para as empresas. E a segunda, demonstrar com um exemplo como *Resident Evil 7* que o desenvolvimento paralelo em realidade virtual pode ter resultados positivos no produto final.

2.2.2 - Enquadramento e Relevância das Tecnologias

Existem inúmeras aplicações para a realidade virtual na actualidade; as mais populares estão relacionadas com os ramos de entretenimento, nomeadamente videojogos. Apesar de a indústria do entretenimento ser aquela na qual a realidade virtual mais é vista existem ainda outras potenciais aplicações em diversos ramos desde a medicina à educação [Virtual Reality Society, 2017, 1].

O facto de VR permitir simular cenários e situações torna-a ideal para a demonstração de conteúdos que possam tirar proveito de estímulos visuais, como por exemplo terapia. A realidade virtual tem sido utilizada em certos casos de terapia de exposição para ajudar indivíduos a superar sintomas de ansiedade ou de certas fobias [Parsons, Rizzo, 2007]. Disciplinas como por exemplo arte ou arquitectura também podem tirar proveito, permitindo a estudantes ver e interagir com representações tridimensionais de esculturas ou estilos invés de usarem fotografias ou modelos em displays 2D. Também é possível imergir um utilizador num espaço que seria impossível de representar em qualquer outro meio [Freina, Ott, 2015]. Esses aspectos da tecnologia provam que a realidade virtual tem a possibilidade de ser uma adição útil à vida quotidiana, e não apenas para os ramos de entretenimento. Existem problemas reais que podem ser enfrentados graças a estes novos avanços.

Quando ligado ao uso do entretenimento as tecnologias de realidade virtual também oferecem uma vertente social que não é negligenciável. Os HMD em combinação com sistemas hápticos, sensores de movimento e microfones conseguem criar um tipo de interacção social sem necessidade de vídeo que até há pouco tempo só era possível no domínio da ficção científica. É possível que indivíduos interajam

anônimos entre si através de distâncias enormes utilizando voz e movimento tal como demonstrado em exemplos como o VRChat. [\[VRChat, 2018, 16\]](#).

No entanto a imersão em realidade virtual ainda sofre de certos problemas. Problemas como detalhes de modelos, esquemas de controlo e ângulos de visão têm vindo a ser tratados. No entanto ainda não foi feito um estudo sobre a imersão em realidade virtual quando ligada aos sistemas de partículas, um factor que parece possuir uma importância considerável para a sensação de presença em ambientes digitais.

2.3 - Importância e Justificação

Para criar uma experiência perceptualmente credível é necessário atingir um equilíbrio tecnológico. Os sentidos humanos são capazes de detectar imperfeições e inconsistências e por essa razão para dar a um utilizador uma sensação de presença real é necessário ter uma boa combinação de hardware, software e fidelidade perceptual [\[Witmer, B, Singer, M, 1995\]](#).

Existem inúmeros factores que podem contribuir para um bom ambiente: o detalhe visual, a narrativa, o mundo, etc. Mas é possível que um mau sistema de partículas quebre essa ilusão, o que justifica todo o seu progresso nestas últimas décadas. Com a ressurreição e o lançamento das tecnologias de realidade virtual é possível que muitos dos avanços não sejam compatíveis com algumas das tecnologias que temos estabelecidas, como é o caso com sistemas de partículas à base de *billboards*. É possível que certos tipos de VFX venham a quebrar a ilusão de presença estabelecida por VR, mas que os mesmos efeitos não produzam esses resultados em displays bidimensionais. Por outro lado, a percepção de profundidade e o ângulo de visão aumentado de um HMD pode oferecer aos sujeitos uma experiência melhorada na representação de certos sistemas comparado com um display tradicional.

Já foram feitos estudos de imersividade em realidade virtual em oposição a displays 2D; alguns deles demonstraram que a imersão em ambientes VR pode melhorar a execução de certas tarefas lógicas num menor período de tempo e que o “treino” obtido num display de realidade virtual transfere-se positivamente para um display bidimensional (apesar de o inverso não ser verdade) [\[Pausch, R, Proffitt, D, Williams G, 1997\]](#). Também mostram que alguns indivíduos têm respostas fisiológicas maiores ao terem uma experiência em VR do que num display 2D, o que significa que apesar de tecnologias de realidade virtual não serem necessariamente melhores, pelo menos são mais prováveis de manter a atenção de um indivíduo [\[Farnsworth, B, 2017\]](#). Esses resultados mostram uma tendência positiva face às possibilidades da realidade

virtual. Porém ainda não foi medida qual a resposta dos indivíduos num estudo que fizesse uso de VFX, um factor importante agora que realidade virtual é uma verdadeira possibilidade comercial. Se certos aspectos da tecnologia não satisfizerem os consumidores, então ou a tecnologia ou os VFX terão de ser alterados para serem uma combinação viável.

Em 1995 um estudo chegou à conclusão que a interactividade inata de VR é capaz de compensar uma perda de resolução, [\[Gerda, J.F., Smets and Overbeeke, K.J., 1995\]](#) mas nos dias que correm a resolução não é um problema como era há duas décadas atrás. O que leva a perguntar: será que com o recente avanço das tecnologias de VR para entretenimento os sistemas de partículas apresentarão algum aspecto que possa ser um problema? E se sim, será a imersão da realidade virtual capaz de compensá-lo? Já é sabido que certos tipos de partículas podem causar problemas em displays de VR, nomeadamente pelo sistema de duas câmaras (ou dois displays) que a maior parte dos headsets usam de forma a criar um ponto de vista 3D [\[18\]](#). Esse funcionamento garante um tipo de visualização mais imersivo ao transmitir uma imagem bidimensional diferente para cada olho do utilizador, simulando assim a visão humana ao juntar as duas imagens [\[Wareable, 2017, 14\]](#). É possível que isso cause problemas com a presença dos utilizadores num ambiente aquando da utilização de sistemas de partículas, mas que esses mesmos problemas não sejam prevalentes num display tradicional. Se isso for verdade e se a diferença for austera o suficiente então é provável que o display 2D seja o mais imersivo, o que iria refutar alguns dos estudos feitos no passado (pelo menos no que toca à faceta da imersão ligada aos VFX). Por outro lado, é ainda possível que exista um determinado número de técnicas que apresentem resultados mais positivos para as experiências dos utilizadores em realidade virtual do que nos displays tradicionais.

Um estudo sobre a quantificação do nível de presença de um utilizador num ambiente virtual enriquecido por sistemas de partículas pode oferecer novas percepções sobre como usamos a tecnologia. Nomeadamente os seus aspectos mais tradicionais, como partículas de CPU, que apesar de ainda possuírem um lugar no estado actual do mercado possam vir a ser descartadas por alternativas funcionais nos novos tipos de displays se no futuro a tecnologia VR chegar a um ponto no qual passe a ser standard.

Este estudo demonstrou que certas técnicas de criação de sistemas de partículas têm diferentes efeitos nos sujeitos dependendo do ambiente no qual são visualizados. Também identificou certos problemas para os utilizadores em algumas ditas técnicas. Os resultados podem ajudar na futura criação de ambientes digitais e jogos de vídeo ajudando na tomada de decisões sobre o tipo de técnicas de criação de partículas a usar para garantir o melhor aproveitamento de tempo e recursos.

3 - Desenvolvimento Prático

Como mencionado anteriormente este estudo tem o objectivo de medir o nível de presença de diferentes utilizadores em displays tradicionais e de realidade virtual, e a eficácia de determinadas técnicas de criação de partículas nos ditos displays.

Nesta secção vão ser explicados os métodos para a realização do projecto, incluindo os elementos criados para a experiência, tanto primários como secundários, os participantes e os procedimentos tomados.

Para a criação do ambiente digital foi necessário ter um determinado grupo de modelos 3D coerentes entre si que criassem a cena desejada; para além dos modelos foi necessária a criação de materiais e de uma paisagem sonora para completar o ambiente escolhido.

No âmbito do estudo foram criados, como é óbvio, um número de sistemas de partículas englobando diferentes técnicas e tecnologias. Esses sistemas foram montados no ambiente com a totalidade dos outros elementos para formar uma unidade coerente navegável tanto em displays 2D como em realidade virtual.

3.1 - Elementos

Aqui vão ser listadas as tecnologias e as decisões de alto nível tomadas para a criação dos elementos de estudo. Também irá ser detalhado o modo como foram criados alguns dos elementos complementares para a cena.

3.1.1 - Decisões e tecnologias

Para realizar a experiência foi necessário criar um ambiente 3D navegável num display 2D e em realidade virtual; esse ambiente teve que ser enriquecido com sistemas de partículas para além de outros elementos importantes para o tornar num cenário navegável capaz de reter a atenção dos utilizadores e de proporcionar uma simulação viável para os testes práticos.

O primeiro passo foi determinar o tipo de ambiente a ser criado. Sabia-se que teria de ser um tipo de ambiente no qual se pudessem utilizar vários géneros de tecnologias e técnicas de criação de partículas e

que proporcionasse algum sentido de familiaridade para a maioria dos utilizadores. Foram considerados vários cenários diferentes como os seguintes:

- paisagem deserta
- paisagem florestal
- cidade futurista
- cidade medieval
- cidade moderna
- paisagem rural

Inicialmente pensava-se criar dois ambientes distintos, cada um usando os seus tipos de partículas, mas por questões de precisão decidiu-se reduzir o número para somente um ambiente e garantir que esse único era abrangente o suficiente para fazer uso de diferentes técnicas e que usava um tema constante que pudesse ser igualmente desfrutável ou familiar para a maioria dos utilizadores.

O ambiente escolhido foi a cidade moderna; fez-se essa selecção pois permitia intercalar vários tipos de sistemas de uma forma natural e credível. Também se considerou que a realidade a simular teria uma certa familiaridade para com os utilizadores quando comparada com outras opções possíveis como por exemplo uma paisagem florestal ou uma cidade futurista que poderiam causar alguma abstracção pessoal aos utilizadores reduzindo a sensação de presença que se tentava suscitar.

Foi necessário fazer uma selecção do software principal para a criação e montagem dos elementos do ambiente. Esta era uma selecção importante por vários factores, os mais relevantes sendo o facto que o software teria não só de ter um certo nível de poder e usabilidade para a montagem do ambiente, mas que também teria de fazer uso de um motor de criação de partículas avançado e possuir capacidades de desenvolvimento para realidade virtual.

As opções consideradas foram o *Unity3D*¹, o *Unreal Engine 4*² e o *CryEngine*³. Aquele que veio a ser escolhido foi o *Unreal Engine 4* pois entre as opções pensadas era aquele que tinha a vantagem de oferecer opções poderosas em todas as áreas escolhidas; possui uma opção de *scripting* visual com uso de *blueprints* reduzindo o tempo necessário para criar certos elementos secundários e garantir o seu bom funcionamento, uma capacidade gráfica consideravelmente mais avançada tanto em termos de iluminação como para simulações de partículas complexas, uma documentação extensa facilitando a resolução de problemas que pudessem surgir durante o desenvolvimento e funcionalidades de VR nativas tanto para desenvolvimento como para projectos exportados sem necessitar de *plugins* externos.

¹ <https://unity3d.com/pt>

² <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>

³ <https://www.cryengine.com/>

O autor tinha experiência tanto em *Unreal Engine* como em *Unity3D* mas achava que a utilização do UE4 seria capaz de produzir bons resultados para este projecto. O orientador apoiou a decisão pois era desejável ter orientandos usando alguma variedade de motores nos seus diferentes objectos de estudo.

Foi seleccionado software adicional para a criação ou edição de elementos secundários ou complementares que pudessem ser necessários no projecto. Esses elementos incluíam modelos 3D, texturas ou mapas para as partículas e modelos, e sons simples.

Para a criação de modelos 3D foi escolhido o *Blender*¹. O *Blender* é um software *open-source* gratuito que fornece ferramentas de nível profissional para a criação de modelos 3D e edição de mapas de UV. Inicialmente também se tinha pensado em utilizar o *3DS Max* ou *Maya*; mas, apesar das ferramentas de alto nível que esses tipos de software oferecem, foi decidido que não existia necessidade de utilizar essas aplicações mais complexas para o tipo de modelos que foram necessários. O facto de não serem *freeware* também foi um factor considerado pois o *Blender* não necessita de licenças para a sua utilização. Por fim, o *Blender* e os seus ficheiros editáveis ocupam um tamanho diminuto em disco; o software também possui uma comunidade e documentação extensa, ajudando assim na resolução de quaisquer problemas que pudessem surgir na utilização do software.

Foi escolhido o *Adobe Photoshop* para a criação e edição de texturas e mapas. O *Photoshop* é um software da suite “*Adobe*” usado a nível profissional para a criação e edição de imagens e possui inúmeras ferramentas para esse propósito. Pensaram-se utilizar outras alternativas como o *Adobe Illustrator*, mas para o necessário neste projecto decidiu-se que o *Adobe Photoshop* seria mais que suficiente. O facto de o investigador ter experiência prévia com o software também foi um factor importante na sua selecção.

Para a edição de ficheiros áudio foi escolhido o *Adobe Audition*. Outro software da suite *Adobe*, as ferramentas do *Audition* são focadas na criação e edição de ficheiros do som. Considerou-se utilizar ainda o *Reaper*, outro software de edição de som avançado, mas para o necessário no projecto não era justificável. A maior parte do trabalho de som foi realizado dentro do UE4, o *Adobe Audition* apenas foi necessário para converter sons base encontrados no repositório gratuito “*freesound.org*” para um formato aceitável pelo UE4. Em certos casos, também foi usado para efectuar uma redução de ruído residual em certos ficheiros ou para ampliar o volume de outros.

Em termos de tecnologias foram analisados os tipos mais comuns no mercado para se poder fazer uma selecção informada que permitisse o uso de diferentes técnicas mantendo uma variedade decente. As tecnologias escolhidas foram as de CPU, GPU, *Mesh* e *Beam*. Foram escolhidas pois têm uma utilização

¹ <https://www.blender.org/>

comum actualmente ou porque preenchem um nicho que não pode ser preenchido por outros tipos. Junto com estas tecnologias também se decidiram usar texturas *rolling*, partículas SubUV e elementos interactivos em certos casos.

De todos os fenómenos pensados foram inicialmente seleccionados treze tipos nas quatro tecnologias diferentes. Desses 13 fenómenos foram seleccionados cinco (um servindo duas funções) que permitiam um amplo leque de técnicas na sua criação para a origem de resultados variados.

3.1.2 - Criação de Modelos 3D

Ter modelos 3D credíveis foi um passo importante para a criação do ambiente, estes ajudariam a localizar e contextualizar a cena, adicionando ao realismo e ao sentido de presença dos participantes no estudo.

Inicialmente pensava-se conseguir os modelos 3D a partir de repositórios gratuitos online, porém, o tipo de modelos necessários era bastante específico, e dessa forma requeria-se algum nível de controlo. Apesar de certos repositórios terem bastantes dos elementos necessários muitos deles eram de autores diferentes, o que causava que não fossem visualmente coerentes. Também possuíam níveis de detalhe diferentes o que iria afectar a performance e o tamanho final do ambiente.

Dessa forma optou-se pela criação da totalidade dos modelos, para garantir um nível de coerência. Os modelos foram mantidos simples, todos tenho um número de polígonos na casa das centenas (e por vezes dezenas). Qualquer complexidade extra foi adicionada posteriormente, com uso de materiais.

É importante notar, que alguns dos modelos tinham de ser criados com uma certa noção de escala para garantir a sua coerência entre si e com os materiais. Apesar de o *Unreal Engine* permitir esticar e alongar os objectos no editor isso pode deformar os materiais aplicados. Para evitar isso a escala do primeiro apartamento criado foi usada como um marco para alguns dos objectos subsequentes. Esse apartamento está visível na figura 12.

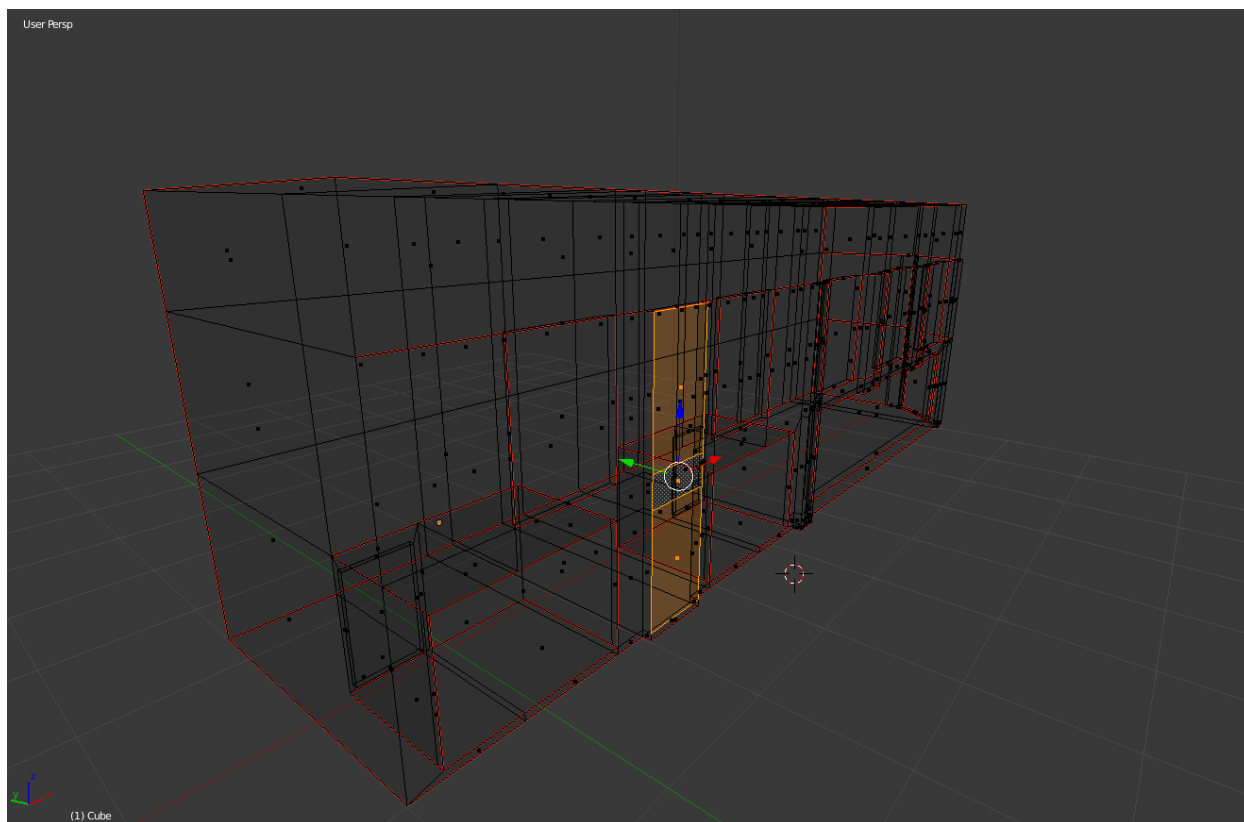


Figura 12: Modelo de um apartamento

Alguns dos primeiros modelos criados não foram usados no ambiente, e serviram somente como modo de familiarização com o software e as suas ferramentas. Esses eram modelos simples, consistindo de pequenas edições de primitivas base como modo de testar diferentes técnicas e funções.

Após esses primeiros testes seguiu-se a criação dos elementos pensados para a versão final do ambiente, esses incluíam objectos mundanos como garrafas e mesas, mas também protótipos dos apartamentos que iriam cerrar o espaço urbano pensado para o ambiente. A técnica usada para a sua criação consistia em começar com uma primitiva base mais adequada à forma do objecto esperado, diga-se por exemplo, um cilindro para uma garrafa e um cubo para um apartamento, e proceder à subdivisão dessa primitiva até se chegar a uma forma aproximada do objecto final antes de se adicionar detalhes.

A maior parte dos detalhes de certos modelos foi criado a partir de extrusões e escalamentos. Isso não apresentava tanto detalhe como seria possível em certas situações, porém permitia poupar em polígonos utilizados e dessa forma reduzir o tamanho dos ficheiros poupando assim espaço.

Para objectos de tamanho menor que possivelmente não seriam inspecionados muito de perto era desnecessário uma criação de detalhe minuciosa; mas para alguns objectos de maior tamanho foi necessário

criar objectos externos, com o seu próprio nível de detalhe, que seriam depois agrupados com o objecto base formando assim um todo. Essa técnica foi usada por exemplo, na criação de dobradiças para a porta de um balcão ou para a criação dos bicos num fogão.

Após a criação da forma dos objectos era necessário ter os materiais prontos para aplicar, mas o oposto também era verdade. Era importante ter os objectos prontos para os materiais e isso era garantido a partir da edição de UV's. Também era necessário atribuir os diferentes materiais às diferentes casas dentro do *Blender*, e dar um número de *index* a cada material para o UE4 saber quais processar.

A edição de UV's é um passo importante pois afecta o modo de como os materiais 2D são projectados na superfície 3D. Se um objecto não tiver UV's preparadas então qualquer motor de materiais fará uma “desdobração” simples e irá estampar o material atribuído directamente. Ao atribuir as coordenadas podemos garantir que o material se comporta como é devido [\[PluralSight, 2014\]](#).

Existem aplicações para ajudar o mapeamento de UV's mas as ferramentas do *Blender* eram suficientes para a complexidade dos modelos criados. A edição de UV's no *Blender* consiste na selecção das arestas nas quais se deseja criar uma linha de junção e depois marcá-las como tal. No final é necessária a selecção de todo o modelo (em modo de edição) e efectuar uma desdobração.

Usando o modo de edição UV do *Blender* era possível ver a representação 2D do modelo como representado na figura 13 e se necessário efectuar certos ajustes. Como certas faces dos objectos não ficam visíveis para o utilizador não foi necessário ter especial cuidado em certas partes de alguns modelos. Todo o processo de criação de mapas UV requereu bastante reedição, especialmente em modelos nos quais foi adicionado detalhe posteriormente.

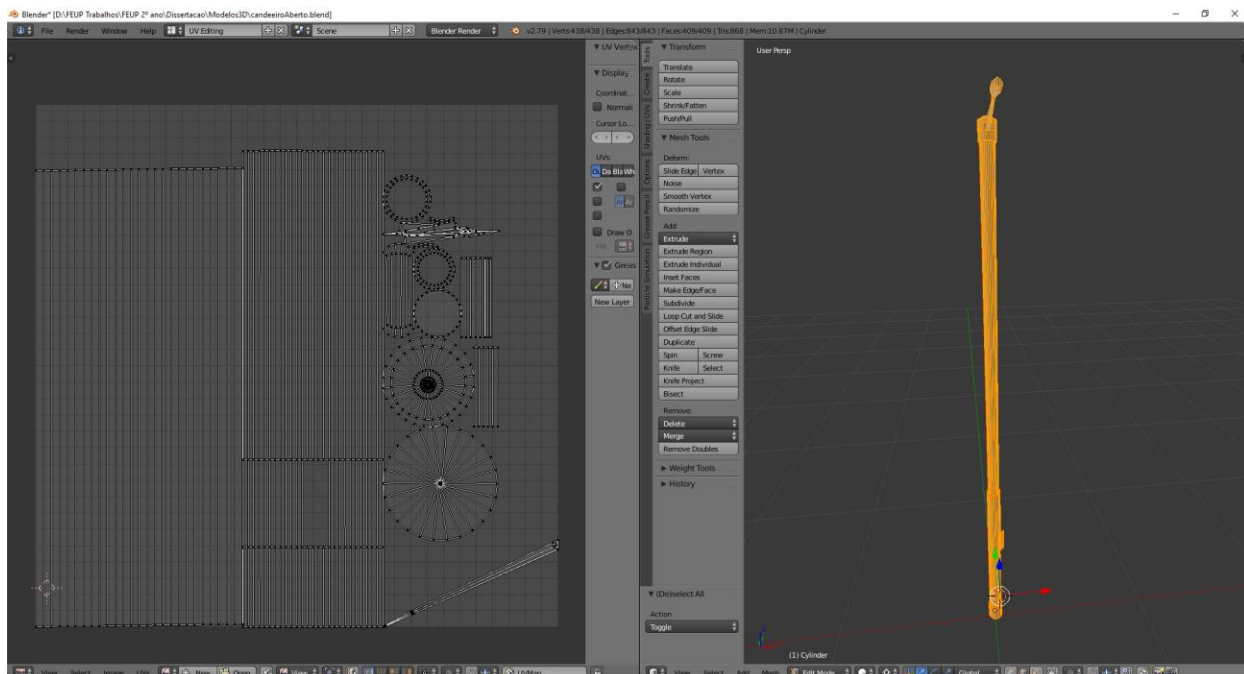


Figura 13: Mapa de UV de um candeeiro de rua

3.1.3 - Criação de Materiais

De forma a obter o nível de detalhe desejado na cena era necessário ter materiais consistentes que não causassem destoassem entre si. Os materiais seriam usados tanto para os Modelos 3D como para as partículas. Parte dos materiais usados para os modelos são versões ligeiramente alteradas de materiais existentes no UE4 ou de um pacote de elementos gratuito existente no mercado da “Epic Games”. Porém, os materiais das partículas, e muitos dos materiais do ambiente foram criados manualmente. Isso exigia algum processo no *Photoshop* e a utilização do editor de materiais do UE4.

Entre as texturas criadas no *Photoshop* as de mais alto detalhe foram usadas para *billboards* publicitários ou *decals* no ambiente. Essas foram criadas combinando elementos textuais, filtros e outros. As texturas para as partículas fizeram uso de certas técnicas que serão mencionadas mais à frente.

A criação dos materiais dentro do UE4 é um processo que não tem nenhum método linear pois cada material requer um conjunto de opções diferentes de modo a produzir certos resultados. O material para o chão, por exemplo, utiliza múltiplas texturas e mapas de normais animados para criar um efeito molhado com gotas de água a cair. De um modo simplificado, usando máscaras RGB com os diferentes mapas e

texturas é possível produzir um resultado final que permite pintar manualmente na superfície as áreas que se desejam ter molhadas e aquelas nas quais se deseja ter as gotas a cair para criar um efeito realista.

Outro exemplo, o material de vidro, não utiliza quaisquer texturas como visto na figura 14. Ele faz uso de diferentes funcionalidades para criar diferentes efeitos, definidos como parâmetros, que podem ser controlados para criar tipos de vidro diferentes, produzindo resultados opacos, transparentes e ainda tingidos. Para a criação de um novo tipo de vidro é criada uma instância do material onde se podem alterar os valores do parâmetro definidos sem afectar o material original.

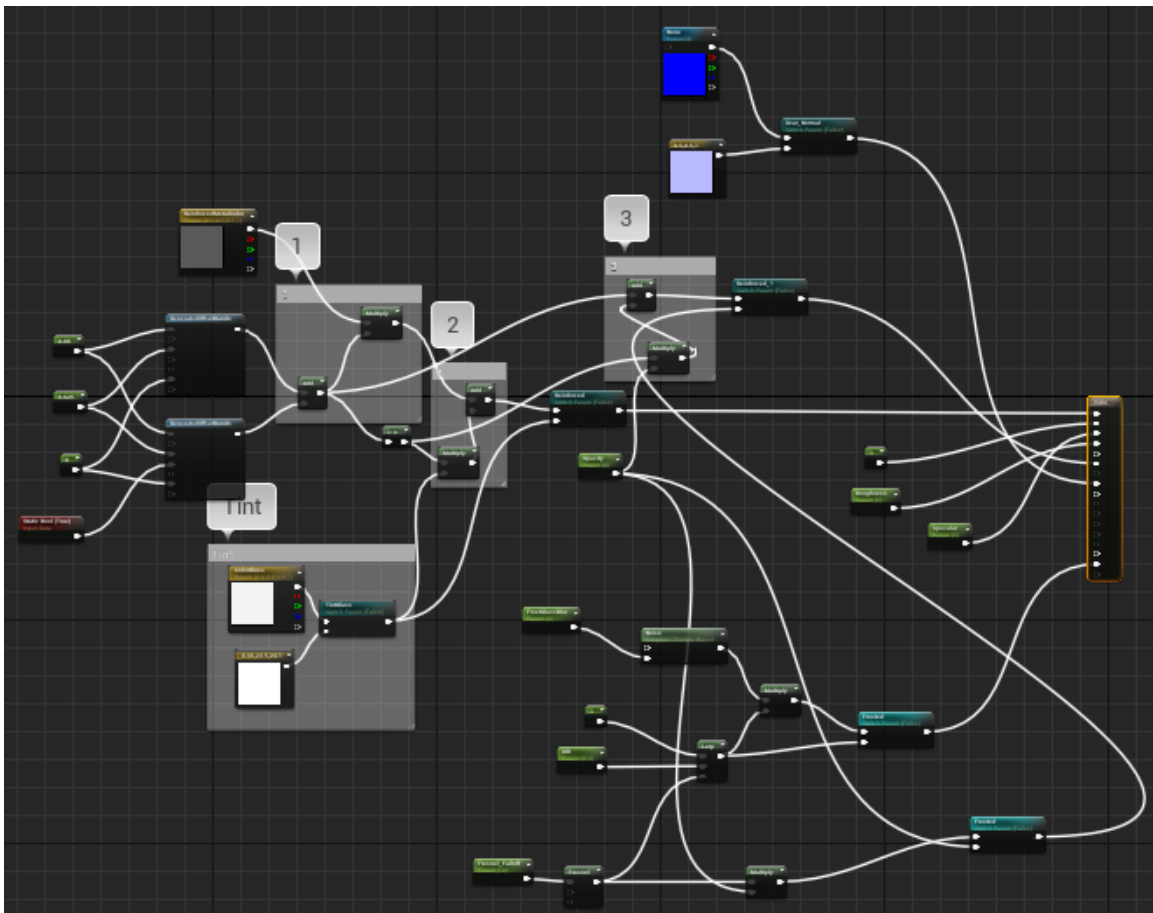


Figura 14: Material de vidro no editor

Mostrando um exemplo menos complexo, a maioria dos materiais das superfícies fazem uso de mapas de normais para além de texturas. Isso garante a ilusão de relevo e detalhe num objecto sem ser necessário produzir esse detalhe manualmente na criação do modelo reduzindo assim o tamanho final do objecto e do projecto em si. O material para as paredes exteriores dos edificios somente tem uma textura regular como base usando uma cor ligeiramente alterada e um mapa de normal da mesma textura sendo usado para criar o relevo. Neste, e outros casos, é importante definir a coordenada da textura para o tamanho ser adequado ao tamanho dos objectos.

Outros tipos de superfície podem fazer uso de outros nódulos, tal como o vidro (aplicação visível na figura 15) muitos dos materiais fazem uso dos nódulos metálico, especular e de rugosidade. Esses nódulos ajudam a ter um controlo maior sobre o modo de como os materiais interagem com a luz reflectida, adicionando um novo nível de profundidade à cena. Na maioria dos casos somente é necessário ter um valor constante (entre zero e um) para definir o nível desejado em cada nódulo.

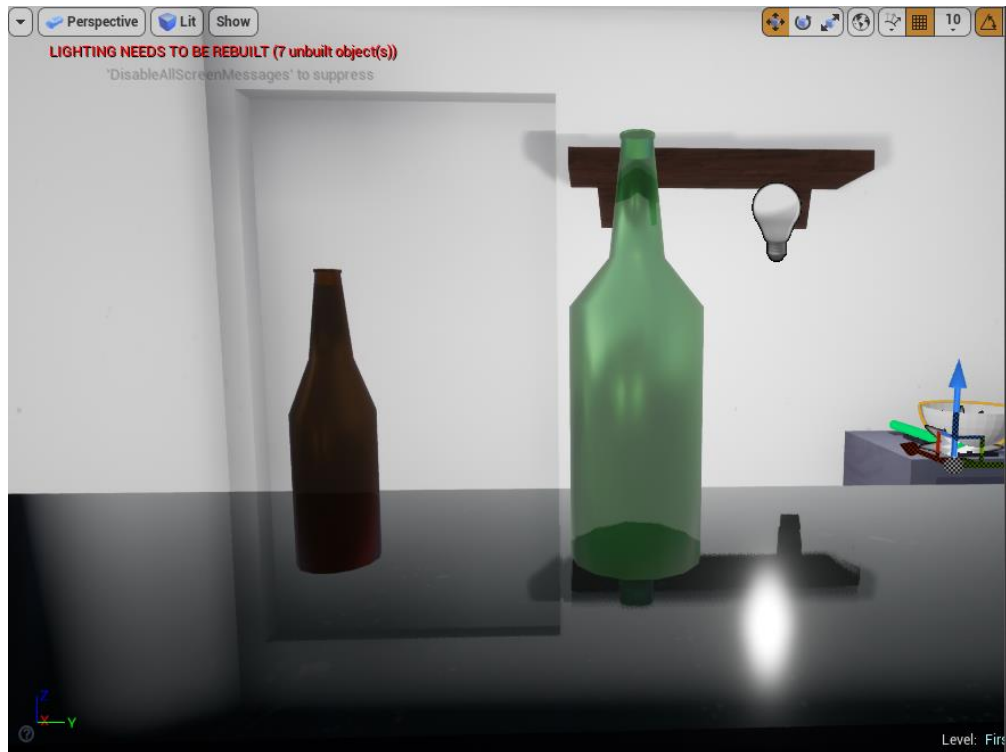


Figura 15: Material de vidro com diferentes parâmetros

3.1.4 - Paisagem Sonora

A construção da paisagem sonora foi consideravelmente simples, parte dos elementos necessários estavam disponíveis por defeito no UE4 enquanto que outros apenas tiveram que ser ligeiramente alterados.

Foi adicionada uma faixa de fundo presente em todo o nível, por defeito ela utilizava sons de vento e pássaros misturados em tempo real, a esses sons foi adicionado um loop de chuva passando por um modulador para ter um pitch e volume aleatório dentro de certos parâmetros.

Foi criada uma *cue* para o efeito de electricidade a ser tocado aleatoriamente, dando a ilusão que a electricidade está sempre a correr, mesmo não estando ligada. A faixa tem um loop eléctrico constante e outros sons eléctricos secundários que são escolhidos aleatoriamente após um *delay* de entre um a três segundos. Esses sons passam por um modulador para terem um *pitch* diferente de cada vez que são tocados, como demonstrado na figura 16.

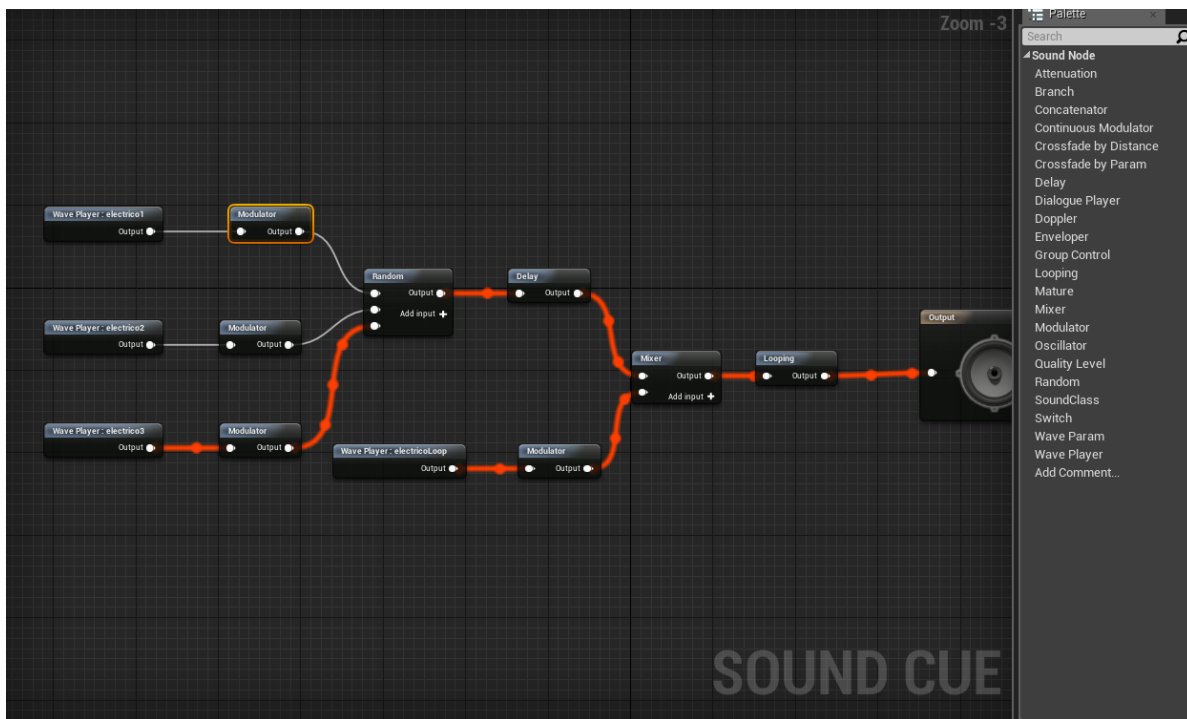


Figura 16: Exemplo de faixa sonora no UE4

Esta, e outras faixas menores, foram alteradas no nível para terem um campo de atenuação diferente como visto na figura 17, garantindo que o som só é ouvido num certo espaço (ao invés do som geral do ambiente, que é sempre audível).

As folhas e as chamas simplesmente têm um som simples a tocar em loop, o som existente das chamas era uma faixa defeito do UE4 enquanto que o das folhas foi encontrado online. A máquina de bolhas, tal como as chamas, também usa um som defeito do *Unreal* com um volume baixo, somente para dar a ilusão de que está ligada sem ser intrusiva.



Figura 17: Exemplo de ângulos de atenuação

3.2 - Partículas

Todos os sistemas de partículas presentes no ambiente passaram por um processo de criação similar, porém à medida que o progresso no projecto avançava foram usadas técnicas específicas para cada caso.

3.2.1 - Bolhas

Para a criação do efeito de bolhas de sabão foram usadas partículas de CPU orientadas na direcção da câmara. Foram escolhidos esses métodos pois não seria necessário fazer *spawn* de um grande número de partículas simultaneamente (eliminando a necessidade de usar memória extra do GPU). Devido ao facto de as partículas não estarem agregadas, ou seja, cada partícula ser uma unidade total do representado não formando um todo entre si, era necessário que respondessem ao movimento do utilizador sem mostrar a sua bidimensionalidade. Para esse facto orientá-las em direcção da câmara era a escolha mais eficaz. Para este efeito foi criado um elemento mínimo de interactividade.

O sistema usou um material simples, com uma bolha desenhada no *Photoshop* funcionando como cor emissiva e usando um canal alpha para mostrar transparência como demonstrado na figura 18. Eventualmente actualizou-se o material como se pode ver na figura 19, usando uma imagem de uma bolha

melhorada. O *spawn* de partículas funcionava gerando uma partícula nova a cada ciclo de repetição, os ciclos foram deixados no valor por defeito de forma a fazerem um *loop* constante. Como se queria um nível de aleatoriedade similar a uma máquina de bolhas real também foi adicionada uma lista de *burst* ao *spawn*. Essa lista criava um número aleatório de entre uma a seis partículas a meio de cada ciclo de repetição. Em par com a partícula cujo *spawn* é garantido isso significava um *spawn* de entre duas a sete partículas por ciclo.



Figura 18: Bolhas iniciais



Figura 19: Bolhas com material melhorado

Quería-se que cada partícula estivesse presente na cena durante um tempo considerável por isso definiu-se as suas vidas com um valor aleatório de entre 7 a 30 segundos. Isso garantia que um número decente de partículas teria uma duração longa enquanto que outras seriam eliminadas mais cedo, adicionando ao seu realismo. Também se quis que nem todas as partículas tivessem um tamanho idêntico para isso definiu-se o seu tamanho inicial por entre 2 a 6 unidades de Fvector (o vector 3D usado como unidade de tamanho pelo *Unreal Engine 4* [[Epic Games - Unreal Engine, 19](#)]), os tamanhos X, Y e Z foram deixados iguais para dar uma forma redonda às partículas.

Como a cena representava um espaço exterior queria-se que as bolhas tivessem um comportamento errático. Esse movimento teria de simular o seu comportamento com o vento, o ângulo, e velocidade com o qual pudessem sair da máquina de bolhas. Para esse efeito começou-se por definir a velocidade inicial das partículas. A velocidade utiliza as mesmas unidades Fvector presentes em outros módulos do UE4, para este caso usou-se uma distribuição uniforme o que permite definir valores máximos e mínimos. Os valores mínimos foram: $X = -15$, $Y = 5$, e $Z = 3$; enquanto que os máximos foram de: $X = -50$, $Y = 10$, e $Z = 15$. Os valores negativos de X foram usados pois tendo em conta a orientação do actor do sistema no ambiente isso causaria com que as bolhas fossem na direcção desejada; mas isso poderia ser invertido por simplesmente rodando o objecto 180° nesse eixo. Os valores Y e Z foram definidos para dar uma ligeira variação em altura e largura do sistema, simulando o ângulo de disparo que a máquina de bolhas faria.

A velocidade inicial já oferecia uma boa variação na direção de cada partícula, porém ainda era necessário mais controle. Para isso foi usado um módulo de aceleração usando a mesma distribuição que o módulo de velocidade inicial. Não foi dada aceleração em X às partículas, mas de modo a simular o “puxar” do vento foi dada uma aceleração de entre 0.15 a 4.5 em Y, e para simular um ligeiro efeito de gravidade usou-se um intervalo de entre -0.8 a -1.4 em Z. Esse último intervalo foi deixado ligeiro pois também era necessário ter em conta a leveza das bolhas, não querendo que estas caíssem demasiado rápido.

Para oferecer mais um nível de realismo foi usado um módulo de órbita, o que faz com que as partículas entrem numa órbita de acordo com o espaço dado. Como não se queria que este efeito fosse muito prevalente apenas foram usados intervalos de entre -1 e 1 em todos os ângulos. Assim, cada partícula apenas tinha uma pequena oscilação, ajudando a simular o vento errático.

Para este sistema foi criado um sub-emissor de partículas. Esse emissor gera um efeito secundário a ser simulado após a morte de cada partícula, decidiu-se fazer isso para simular o “reventar” das bolhas, evitando que somente desaparecessem da cena o que poderia quebrar a ilusão.

Para estas partículas já não era importante tê-las orientadas em direção da câmara portanto a orientação foi deixada no seu valor defeito. A geração das partículas não possuía uma criação constante mas sim um *burst* de somente uma partícula. O material usado foi bastante simples, sendo composto somente de um círculo semitransparente como que à aparência de uma gota de água. Cada partícula tem uma vida muito curta de apenas entre 0.2 a 0.5 segundos. Isso foi feito pois quer-se que o reventar de cada bolha seja quase instantâneo. O tamanho também é reduzido, com entre 1 a 2 unidades nos valores X, Y e Z. Era desejável ter uma velocidade inicial rápida, isso foi conseguido dando aos valores X e Y intervalos de -100 a 100 unidades. Na maioria dos casos isso garante um reventar com um ângulo maior de movimento nas gotas. Também se queria que as gotas não estivessem completamente visíveis, para isso adicionou-se um módulo de “Color over Life” para controlar a opacidade.

Foram adicionados dois pontos a uma curva de distribuição constante, um no início da vida da partícula e um no final. No ponto inicial definiu-se que cada partícula apenas estaria a 0.6 da sua opacidade total e no final definiu-se a opacidade a 0. Com esses valores a partícula tem uma perda constante de opacidade até desaparecer. Neste caso não foi alterada a cor.

O passo seguinte foi associar esse sub-emissor ao emissor inicial. Para isso criou-se um gerador de eventos no primeiro emissor. Apenas foi necessário um evento e escolheu-se chamá-lo somente uma vez, na morte de cada partícula. Foi dado a esse evento o nome “reventarBolha” para poder ser chamado pelo “*Event Receiver Spawn*” do sub-emissor. Esse nóculo é usado especificamente para fazer geração de algum elemento assim que for chamado. Neste caso, escolheu-se fazer *spawn* de entre três a cinco partículas de cada vez que o evento for chamado, para dar a cada bolha um reventar ligeiramente diferente. Para associar

os dois eventos é necessário definir que o *spawn* é criado após a morte de uma partícula; neste caso usando o evento ao qual foi dado o nome “rebeitarBolha”.



Figura 20: Bolhas e máquina

Também se decidiu emitir um som a cada vez que uma partícula é rebeitada. Para isso foi criada uma nova *blueprint* no editor do UE4. A essa *blueprint* adicionou-se o sistema de partículas como um objecto. Usando o editor gráfico criou-se um nóculo para o evento associado à morte de cada partícula e ligou-se-o a um evento que dispara um som (associado à localização do sistema de partículas). Desse modo sempre que cada partícula morre é disparada uma faixa criada à medida. Essa faixa usa um de três sons escolhidos aleatoriamente após passarem por um modulador para terem uma ligeira alteração de volume e *pitch* de maneira a não soarem sempre iguais.

Foram ainda adicionadas colisões a este sistema de partículas, fazendo uso de um módulo “Actor Collision” no emissor original. Nesse módulo escolheu-se ter uma distribuição constante do número de colisões de 0.1, de forma a registar uma colisão para cada partícula individual. As colisões foram definidas somente para o “*pawn*” (o objecto do jogador) e definiu-se que as partículas deveriam morrer após uma colisão. Com essa escolha, após uma colisão com cada partícula também é disparado o sub-emissor e um som associado. O resultado final do efeito está visível na figura 20.

3.2.2 - Fogo GPU

Em fases iniciais o efeito de chamas tinha sido protótipado somente com recurso a partículas de CPU, esses primórdios do efeito serviram como um modo de familiarização com o *Cascade*, o motor de partículas usado no *Unreal Engine*. Esse protótipo utilizava um material emissivo com uma textura de uma nuvem renderizada no *Photoshop* e um canal de opacidade. Também fazia *spawn* de um número bastante alto de partículas de CPU o que não era eficiente para a memória computacional.

A cor do material dava às partículas um aspecto demasiado irreal, e a utilização dos módulos não era correcta o que afectava a sua naturalidade como se pode ver na figura 21.

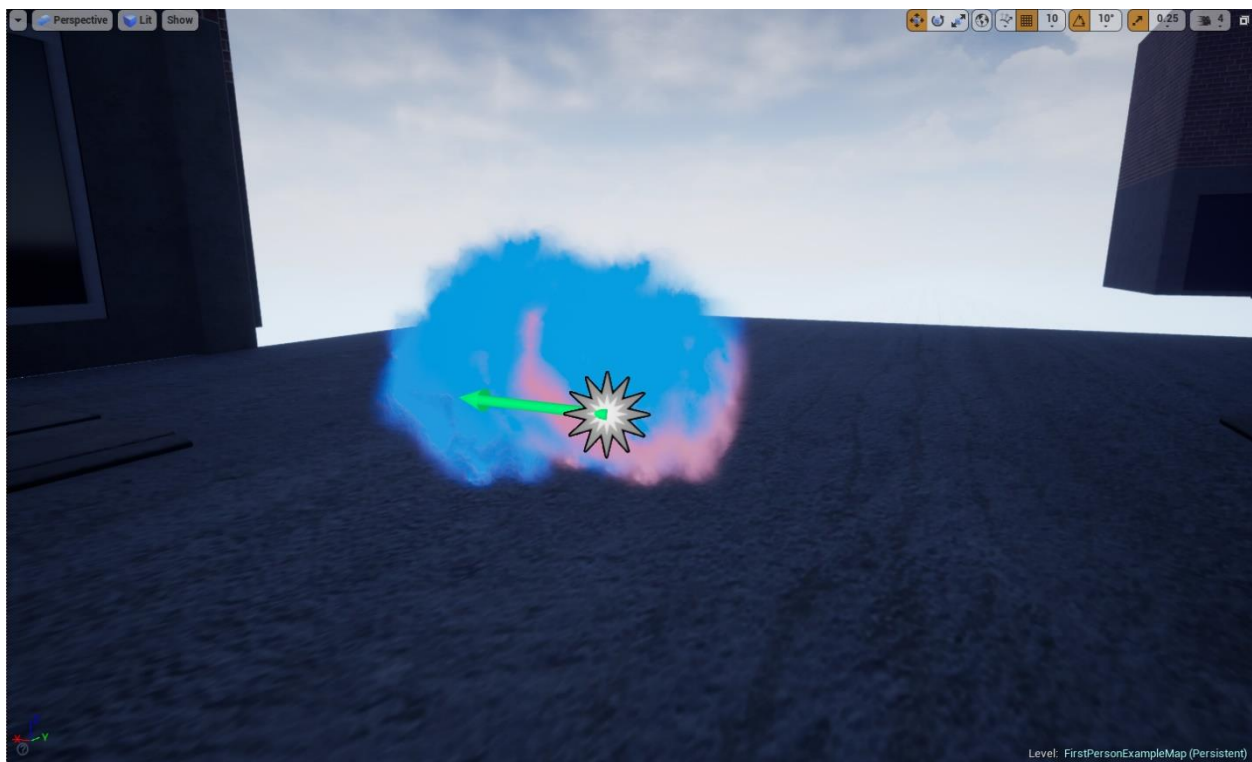


Figura 21: Protótipo inicial de fogo

Nos primeiros protótipos de chamas GPU esses defeitos foram corrigidos, começando pelo material; foi usada uma textura similar à do protótipo original, mas fez-se uso de outras técnicas para melhorar o aspecto geral e criar um diferente objecto de estudo. Nomeadamente, ao ter uma textura “*rolling*” que se move no fundo do material. Simplificadamente isso faz com que em todo o agregado de partículas elas possuam uma única textura em movimento no fundo, unindo as partículas singulares e dando a ilusão de um todo.

Essa textura foi criada no *Photoshop* com recurso ao filtro “*Render Clouds*” usando as cores preto e branco. Isso gerou um desenho de nuvens numa escala de cinzentos que deu o aspecto necessário para o fogo ter o realismo desejado. Em primeiras fases a textura usada não resultava correctamente pelo facto de o filtro “*Render Clouds*” do *Photoshop* não criar uma superfície *seamless*, ou seja, os dois lados da textura não se juntavam correctamente como visível na figura 22 e era possível notar o local onde a textura quebrava. Eventualmente, isso foi corrigido gerando uma nova imagem e fazendo com que os lados correspondessem usando a ferramenta “*Clone Stamp*”, o resultado estando demonstrado na figura 23.



Figura 22: Fogo GPU com seams



Figura 23: Fogo Seamless

Na criação do material foram adicionadas duas instâncias da textura “rolling” com dimensões diferentes. A essas instâncias foi ligado um módulo “panner” para elas terem um movimento sobre a superfície. O *panner* foi mantido com valores X e Y baixos para apenas existir uma translação não muito veloz; é necessário usar um módulo “ScreenAlignedUVs” para orientar a textura correctamente e unir as partículas individuais num todo.

O primeiro passo na criação das partículas foi criar um novo *typeData*, para este caso escolheu-se “GPU particles” de modo a substituir as partículas de CPU. Decidiu-se fazer *spawn* de 340 partículas por ciclo com os ciclos sendo constantes e ininterruptos. Visto que o motor faz uma criação constante de partículas não foi necessário que elas tivessem uma vida particularmente longa, foi definida uma vida de entre 0.4 a 1 segundos, para que um certo número morresse antes do ápex do sistema ajudando assim o aspecto oscilante das chamas.

O tamanho inicial das chamas era constante nos eixos Y e Z a 25 unidades, havia uma variação no eixo X de 5 a 25 unidades. Isso deve-se ao facto de se querer uma largura da labareda a variar de tamanho, o que não seria visto de forma tão prevalente em profundidade e altura.

Como não era necessário muito movimento para as chamas foi usado um módulo de velocidade inicial, foi usada uma distribuição uniforme na qual os eixos de X e Y não sofreram muita alteração, gerando uma

velocidade aleatória entre -1 e 1 Fvector; o eixo Z no entanto tem uma velocidade de entre 50 a 100, pois quer-se que as chamas se movam para cima com uma velocidade considerável. Como a duração de um ciclo do sistema não é muito longa não foram usados outros módulos de velocidade ou aceleração.

Para dar às partículas o aspecto característico de chamas foi necessário um módulo “*Color over Life*”, esse módulo permite alterar a cor e opacidade de uma partícula nas diferentes fases da sua duração. Sem ele o sistema apenas teria o aspecto cinza que é desenhado nas texturas. Para a cor foi usada uma distribuição curva constante pois queria-se que cada partícula passasse por uma cor diferente dependendo de onde estava. Foram usados quatro pontos com o primeiro sendo localizado imediatamente na origem do sistema. Para esse ponto a cor definida foi um azul escuro criando a ilusão da base da chama. O ponto seguinte foi criado imediatamente seguido do anterior e possui um azul ligeiramente mais claro para criar um pouco de variedade antes da transição. No terceiro ponto alterou-se a cor para um gradiente laranja forte para criar o ponto focal das labaredas. O último ponto foi criado no final do ciclo e altera a cor para negro, isso faz com que as partículas não sejam completamente laranja na altura da sua morte.

Também foi criado um ponto para a opacidade do sistema, começando logo no início do ciclo de cada partícula. A opacidade está no máximo, pois quer-se que até à altura da morte das partículas elas sejam sempre visíveis sem perderem força ou impacto visual.

Para ajudar mais a cor foi criado um módulo “*Scale Color/Life*”. O que esse módulo faz é, de um modo muito básico, escalar a cor das partículas por uma constante. Neste caso a cor é escalada ao longo da vida das partículas. A constante escolhida foi um branco sólido e escolheu-se aumentar a cor cinco vezes em todos os canais RGB, o resultado disto foi uma aparência mais brilhante em todo o sistema.

Tal como o aumento da cor ao longo da vida do sistema também é feito um escalamento do tamanho usando um módulo “*Size by Life*”. Funcionalmente é similar ao escalamento de cor; foram usados dois pontos com o primeiro sendo criado no início do sistema, nesse ponto não é feita qualquer alteração, isso garante que o escalamento não começa de imediato no início de um ciclo de partículas. O ponto seguinte é criado no ponto intermédio de um ciclo, aí vai-se aumentar todos os eixos em 1 unidade. Isso cria um alargar no meio da vida das partículas colectivas antes de encolherem novamente no final dando um aspecto aguçado.

Como se queria que estas chamas fossem usadas num braseiro no ambiente era necessário alargar o ponto de origem, para isso alterou-se a localização para um cilindro. O que esse módulo faz é alterar a origem das partículas para corresponderem com uma primitiva invisível. Para este caso o tamanho do cilindro foi mantido a um raio de 24 unidades, neste sistema a altura do cilindro é irrelevante.

Foram usados dois sub-emissores no sistema para tornar o seu aspecto mais credível. Um deles faz uma pequena geração de fumo acima das chamas e o outro cria brasas a voar em torno delas. Ambos os

sub-emissores usaram partículas de CPU, tal não interfere com a experiência pois o seu tamanho é reduzido e ambos os emissores são adições secundárias ao emissor original.

Como o fumo é quase invisível não era justificável a criação de um material avançado para o seu propósito, dessa forma decidiu-se reaproveitar o mesmo material usado para as chamas visto este ter uma forma parecida com uma pequena nuvem de fumo.

O emissor cria um número pequeno de partículas a apenas 20 por ciclo, para compensar a sua vida é mais longa do que a das chamas durando entre 1 a 3 segundos. O fumo tem um tamanho variável, de entre 13 a 25 unidades Fvector. Isso era desejável pois como as partículas tinham uma duração mais longa era possível que um tamanho demasiado uniforme fosse notado e quebrasse a ilusão.

A localização inicial não varia muito em X e Y estando situada entre os valores -2 e 2; no entanto o eixo Z não tem variação e começa no ponto 50, situado perto do local onde as chamas desaparecem. Isso foi feito de modo a o fumo ser mais visível. A velocidade inicial Z do fumo foi mantida igual à das chamas para as diferentes nuvens de fumo subirem a um ritmo desigual. A velocidade X e Y estava situada entre os valores -10 e 10, para ter uma oscilação na direcção.

Por último usou-se um módulo “*Color over Life*” no qual se alterou a opacidade, criaram-se dois pontos um no início e outro no fim do sistema no qual o ponto inicial tem a opacidade total e o final tem a opacidade nula. Isso garante que o fumo perde opacidade de forma constante ao longo da sua vida até desvanecer completamente.

As brasas a voar em torno da chama usam um emissor a criar 20 partículas por ciclo, tal como o fumo. A sua duração é sempre de apenas 1 segundo. Quis-se que o seu tamanho fosse menor do que o das chamas e do fumo, portanto definiu-se que ele seria de entre 1 a 2 unidades em todos os eixos, de forma a existir alguma variação. A sua velocidade inicial foi definida igual à do fumo para subir a um ritmo constante com algum desvio nos outros eixos.

Como não havia necessidade de alterar a cor das partículas de acordo com a sua vida podia ter-se usado somente um módulo de cor inicial, mas como era necessário ter uma variação de opacidade optou-se então por criar uma constante de cor num módulo “*Color over Life*”, essa cor foi um gradiente laranja e amarelo. Para a opacidade criaram-se dois pontos e usou-se a mesma técnica usada na criação do fumo para ter o desvanecer ao longo da duração da vida da partícula.

Não houve necessidade de criar um módulo de localização inicial para o emissor pois queria-se que essas partículas originassem na base da chama. Foi usado, porém, um módulo de órbita para dar um movimento mais natural às brasas. Usou-se um intervalo amplo para obter uma variedade de percursos tomados por cada partícula, o intervalo foi de entre -40 a 40 pontos nos eixos X e Y e de 0 a 20 no eixo Z

pois não se queria um desvio vertical muito aguçado, da forma que este foi atribuído apenas altera a velocidade de subida.

Por último foi usado um módulo de “Light” para dar algum brilho às partículas. Esse módulo permite às partículas de CPU fazer emissão de luz podendo funcionar como uma fonte dinâmica. Escolheu-se fazer criação de luz na totalidade das partículas, o que não é particularmente taxante visto o baixo número que é criado. Escolheu-se escalar a cor ao longo da vida da partícula, para deixar o brilho mais prevalente esse escalamento foi feito por 1 em todos os eixos. O brilho ao longo da vida foi deixado numa constante de 16 e o raio das partículas tem uma constante de 15, o que faz com que a luz tenha uma área de acção fora da partícula. Não foram usadas definições avançadas como luzes de alta qualidade, escalamento de luzes volumétricas ou emissão de sombras. O resultado final pode ser visto na figura 24.



Figura 24: Fogo GPU final

3.2.3 - Fogo CPU

Para garantir o mesmo efeito, as chamas de CPU foram criadas como uma derivação daquelas usadas para GPU. Dessa forma começou-se o processo por duplicar o sistema de partículas existente. O primeiro passo no processo foi o de reduzir o número de partículas criadas de 340 para 34, 10% das partículas a serem criadas pelo emissor de GPU. De seguida eliminou-se o *TypeData* GPU, para as partículas tornarem a ser criadas pela unidade de processamento.

Tanto a sua duração como o seu tamanho inicial foram inalterados, a velocidade inicial sofreu alterações nos eixos X e Y de modo a compensar pelo número reduzido de partículas, os valores foram alterados para um intervalo de entre -10 a 10 unidades Fvector. Isso causa com que as partículas tivessem mais movimento para a frente e para trás, dando a aparência de serem mais numerosas do que realmente eram. Na figura 25 é possível ver uma comparação de chamas GPU e de CPU.



Figura 25: Chamas GPU (esquerda) e CPU (direita)

A cor ao longo da vida, o seu escalamento e o escalamento do tamanho ao longo da vida também não sofreram quaisquer alterações. O cilindro do qual as partículas fazem *spawn* teve que ser alterado para ser equivalente ao modo de como o sistema seria montado no ambiente; enquanto que as partículas de GPU foram usadas num braseiro as de CPU estariam a ser usadas em tochas. Desse modo reduziu-se o raio de 24 unidades para 8.5.

De maneira a aproveitar o facto de se usarem partículas de CPU utilizou-se um módulo de luz no emissor normal. Fez-se um escalamento da cor a 25 em todos os eixos e o brilho ficou definido a 4.5. Criou-se um raio de 17 unidades em torno das partículas para se ver a luz a reflectir nos objectos em redor. Não foram usadas luzes volumétricas ou emissão de sombras.

Como este emissor era mais pequeno do que o de chamas GPU decidiu-se eliminar o sub-emissor de fumo e manter somente o das brasas. O número de brasas foi reduzido de 20 para 10 para equivaler à área menor. A órbita também foi alterada ligeiramente para o movimento não estar equivalente a um sistema maior. Nos eixos de X e Z usou-se um intervalo de 0 a 20 unidades e no eixo Y um intervalo de -20 a 40. Na figura 26 está um exemplo final das chamas de CPU.



Figura 26: Chamas CPU finais

3.2.4 - Electricidade

O efeito de electricidade é o único no ambiente que faz uso de partículas de *beam*. Este nem sempre foi o caso, inicialmente o efeito criado tinha um aspecto bastante diferente e fazia uso de partículas de CPU. O sistema, visível na figura 27, fazia uma geração baixa de partículas (criando somente um efeito de faíscas) que emitiam luz e possuíam colisões aleatórias com o solo. Eventualmente decidiu-se que esse efeito não tinha muito a adicionar em termos de estudo que não fosse feito por outros sistemas no ambiente. Refez-se o efeito usando *beam particles*.



Figura 27: Protótipo de faíscas inicial

O passo inicial foi o de criar uma textura para ser usada pelo material. As partículas de *beam* são únicas entre os tipos usados pelo facto de necessitarem de um material contínuo. Ou seja, para um bom funcionamento é necessário que ambos os lados do material se juntem. Não é possível usar materiais como os criados para os sistemas de bolhas ou fogo.

Inicialmente tinha-se pensado em criar a textura externamente, mas eventualmente decidiu-se criá-la directamente no material usando certos módulos. No material usou-se uma coordenada de textura com uma máscara RGB escondendo os canais vermelhos e azuis para criar um gradiente vertical. Multiplicou-se o gradiente por 0.5 e usou-se um seno para o gradiente ter o aspecto desejado, ou seja, tendo a cor escura nas bordas superior e inferior e o centro com a cor branca. Usou-se um módulo “*power*” para multiplicar o resultado do seno por si próprio duas vezes deixando as bermas mais prevalentes dando assim o aspecto de uma textura contínua. Multiplicou-se essa textura por um “*Particle color*” e usou-se esse resultado como cor emissiva. Isso permitiria controlar a cor do material na criação do sistema. Fez-se o mesmo usando a opacidade para eliminar as bordas e ter somente a parte central da textura.

Após seleccionar o material na criação do sistema é necessário alterar o *TypeData* para *beam particles*. Um sistema de *beam* inalterado tenta fazer uma geração de partículas similar às criadas por CPU ou GPU o que não demonstra resultados ideais para aquilo que se queria fazer nesta situação, portanto era necessário começar por fazer alterações no tipo de dados.

Começou-se por alterar o método do *beam* de distância para “*Target*”, isso garante que as partículas iriam originar de uma fonte até a um alvo ainda por especificar. Alterou-se o número máximo de *beams* para 5, isso estabelece um limite para o número de raios a serem criados. Também se alterou o número de pontos de interpolação para 5 o que faz com o *beam* gere pontos aleatórios entre a fonte e o alvo para se distorcer o que ajuda na criação de um efeito eléctrico aleatório. Por último define-se a velocidade do *beam* para 0 o que significa um tempo de viagem instantâneo entre os dois pontos a definir, o efeito tinha a aparência demonstrada na figura 28.

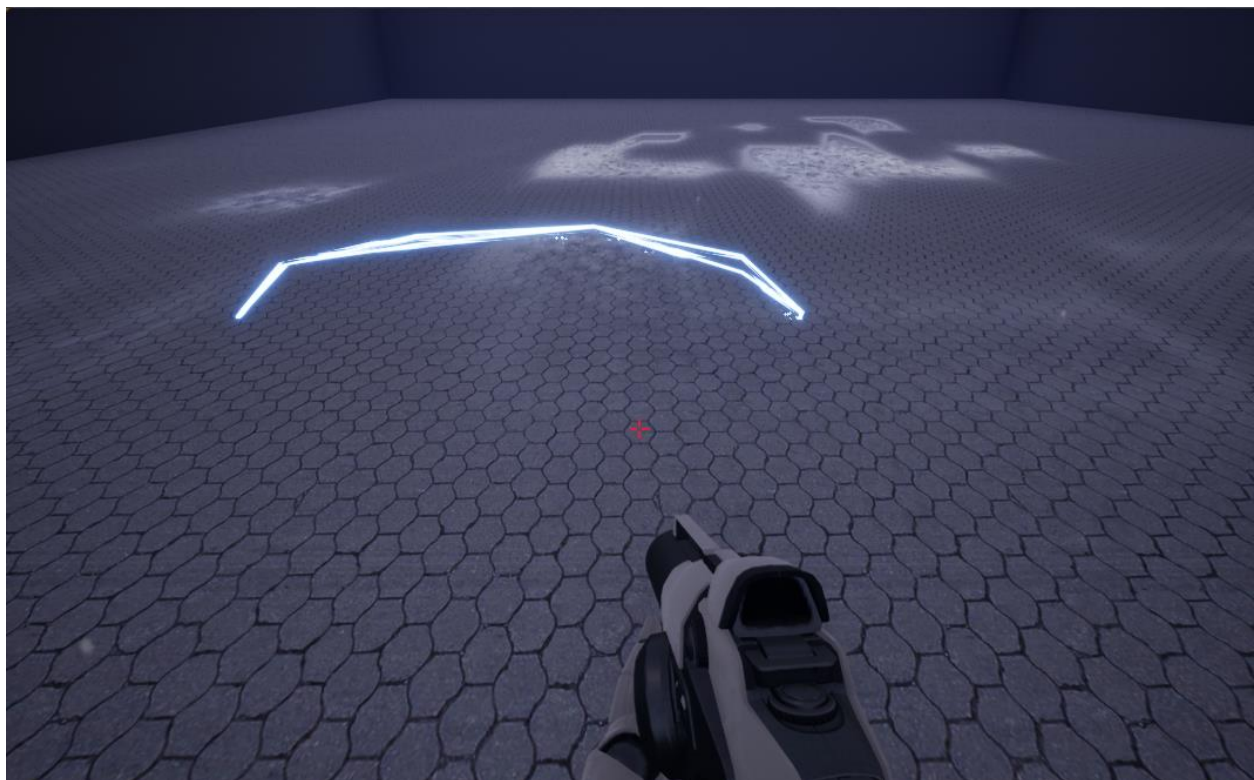


Figura 28: Beam inicial

Como não se quer um sistema sempre ligado é necessário alterar algumas das definições gerais do sistema, começando pela duração. Define-se a duração mínima do emissor a 0.3 segundos e a máxima a 2. É necessário marcar a caixa “*Emitter Duration Use Range*” para o emissor usar um valor entre os limites definidos e a caixa “*Duration Recalc Each Loop*” para o emissor recalcular a duração em cada ciclo, sem isto cada ciclo do emissor teria sempre a duração calculada inicialmente. Também se estabelece um limite

para o “*Delay*”, neste caso de entre 2 a 4 segundos, tal como o anterior é necessário definir que se quer utilizar o range.

Na utilização de *Beam Particles* não é necessária a criação de um grande número de partículas devido já se ter estabelecido um limite anteriormente. Dessa forma pode-se reduzir a constante de partículas a ser criada para 1. Como a duração do emissor também foi definida pode-se definir a vida das partículas entre 0.7 a 2 segundos. Isso cria um intervalo provável entre a duração estabelecida do limite sem se sobrepor aos ciclos seguintes.

Usando um módulo “*Color over Life*” pode-se definir melhor o aspecto do *beam*, para este caso queremos somente um ponto na cor no qual se utiliza um gradiente de azul e branco com o azul nas bermas. Na opacidade usa-se uma constante de 1 pois queremos o emissor claramente visível.

Para a área de acção definida não é necessário ter *beams* particularmente grandes, por isso o tamanho inicial define-se a 1 em todos os eixos. Visto se ter definido o tipo de *beam* a “*Target*” e colocado a velocidade a 0 não é necessário um módulo de velocidade inicial.

Para se poder definir a fonte e o alvo do sistema são adicionados módulos de “*Source*” e “*Target*” ao sistema. Em ambos altera-se o método da fonte para “*Actor*”, isso permitirá usar um actor no UE4 como os pontos inicial e final. Neste caso deu-se à fonte e ao alvo os nomes “*BeamSource*” e “*BeamTarget*” respectivamente. Alteraram-se as coordenadas em ambos os módulos para 0, pois quer-se que o *beam* seja criado exactamente onde os alvos estão localizados, sem translações. Por último, cria-se um intervalo na “*Source Strength*” e “*Target Strength*” de 0 a 25. Isso fará com que haja um desvio nas tangentes, ajudando o efeito aleatório que se quer produzir.

Para finalizar o efeito utiliza-se um módulo “*Noise*”. Tal como os módulos “*Source*” e “*Target*” este é um módulo único às partículas de *beam* e permite a criação de ruído no efeito. Para começar, marca-se a caixa “*Low Frequency Enabled*” o que permitirá usar um valor mínimo definido para criar o intervalo dos pontos de ruído. Esse intervalo é definido de 0 a 5. Era desejável ter uma oscilação um tanto prevalente no sistema, mas como ele tem um tamanho reduzido não é necessário estabelecer coordenadas muito altas. Como a maior variação que se quer é em X define-se o intervalo dessas coordenadas entre -3 e 3, também se quer um ligeiro intervalo em Y, portanto cria-se um intervalo de 0 a 1.5. Isso faz com que o sistema pareça “saltar fora”. Não é necessário um intervalo em Z pois não se quer que o *beam* ultrapasse os pontos definidos.

Por último foram criados dois actores na cena. Deixaram-se esses actores como objectos vazios e atribuíram-se-lhes os nomes “*BeamSource*” e “*BeamTarget*”. Ao colocar o sistema de partículas na cena criaram-se dois parâmetros de instância com os mesmos nomes, definiram-se os tipos de parâmetro como *Actor* e atribuíram-se os actores criados anteriormente a cada um. Isso fez com que o sistema os

reconhecesse como os pontos de origem e alvo. Também foi necessário alterar os segundos antes do sistema estar inactivo para 120, o que evita que o sistema desaparecesse se um dos utilizadores não olhasse para ele de imediato.

Como os actores é que controlam o local onde o sistema existe eles é que necessitavam ser posicionados no ambiente, a localização do objecto do sistema de partículas em si era irrelevante. Na figura 29 é possível ver a aparência final do efeito no ambiente.



Figura 29: Beam implementado

3.2.5 - Folhas

O sistema de folhas utiliza partículas 3D, dessa forma a criação das partículas individuais passou por um processo mais complicado. Inicialmente, utilizou-se um material retirado da Internet sobre um plano bidimensional, porém isso não demonstrava nenhuma diferença notável quando comparado com a utilização de partículas regulares como visto na figura 30. Desse modo decidiu-se criar um modelo 3D de raiz.

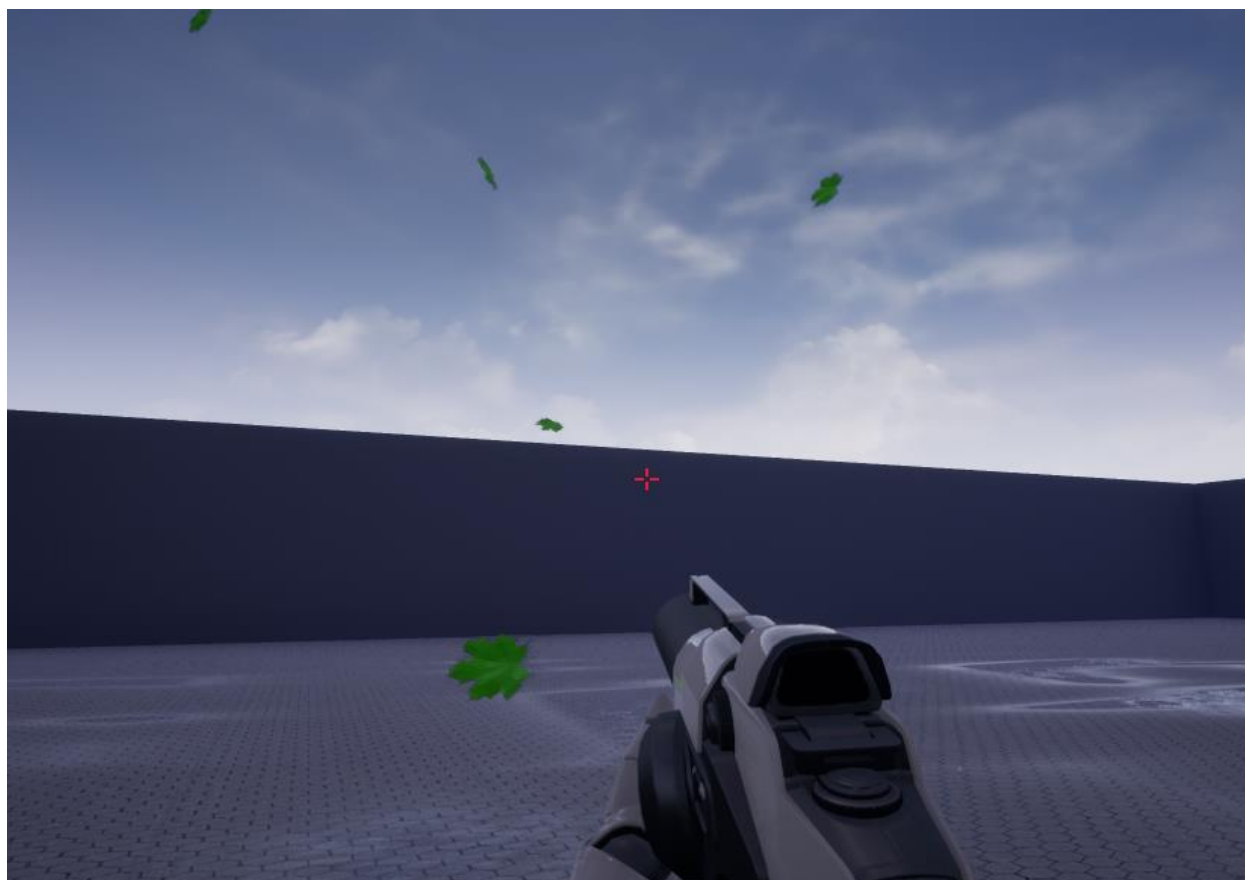


Figura 30: Folhas Biplanares

A criação do modelo foi similar à criação dos outros elementos existentes no ambiente. Começou-se por utilizar um cubo como primitiva e subdividi-lo para de seguida o deformar com extrusões. Foi deixada alguma largura ao cubo, para se notar a diferença de profundidade nas partículas. A primeira versão visível na figura 31 acabou por não ser utilizada, não porque tinha algum problema, mas porque foi criada uma folha com um aspecto diferente para corresponder às folhas das árvores usadas no ambiente. Foi feita ainda uma segunda versão dessa mesma folha criando arestas em três locais de forma a se poder ligar ambos os seus lados para a dobrar, dando-lhe um aspecto ligeiramente diferente como demonstrado na figura 32. Apesar de os modelos terem um tamanho pequeno ainda foi necessário definir as UV's para os diferentes lados terem um aspecto aceitável.

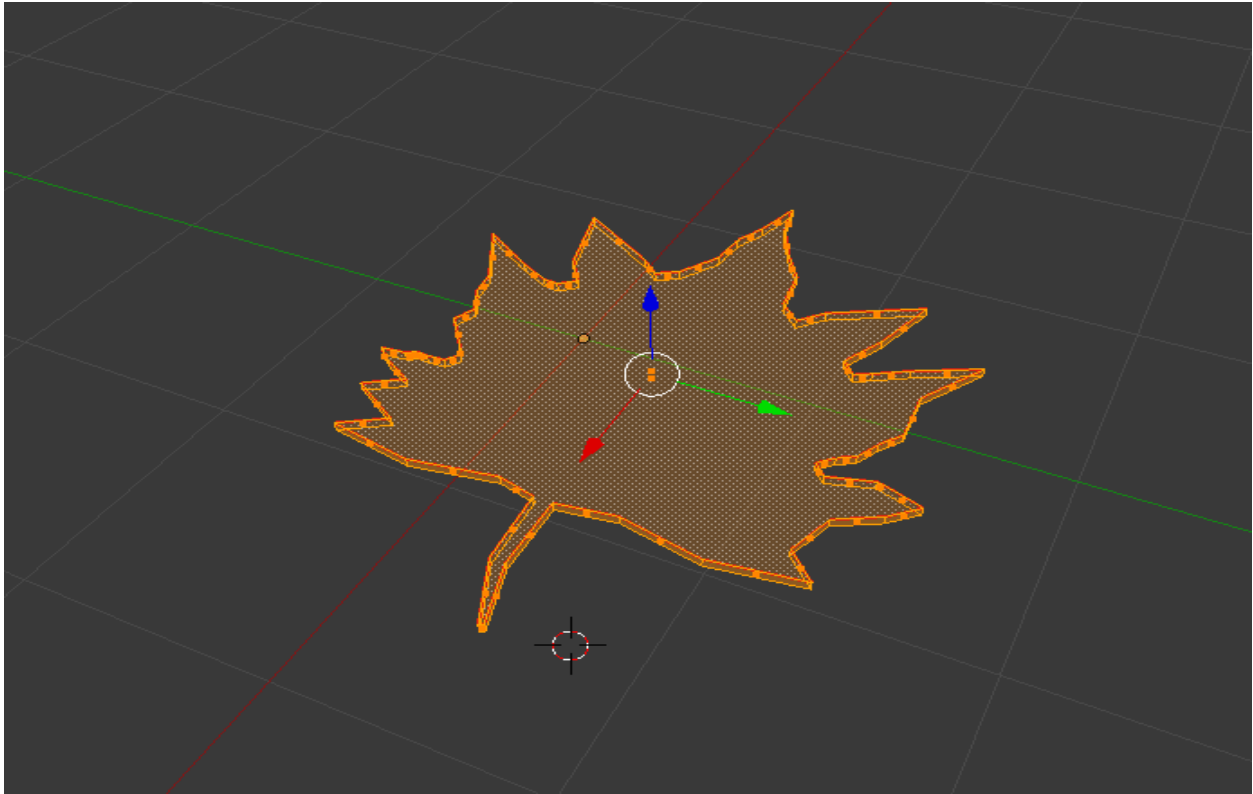


Figura 31: Modelo de folha inicial

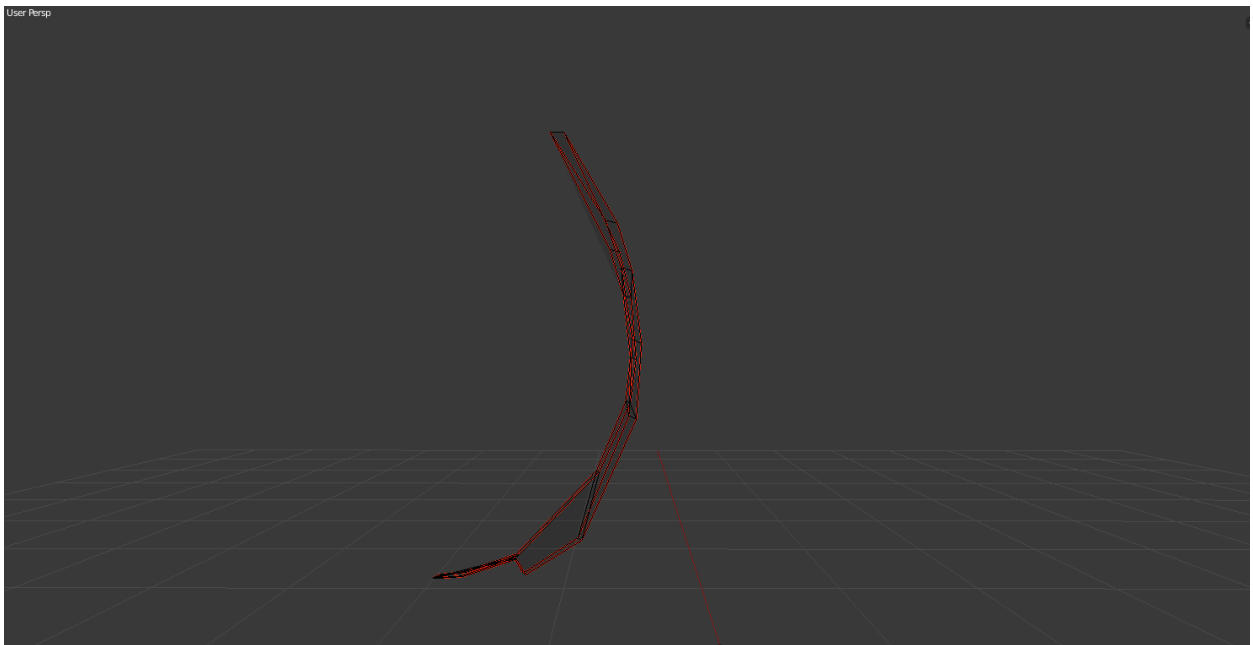


Figura 32: Folha curva

Criou-se um novo material para os modelos utilizando uma imagem de uma folha encontrada online. Foi usado um mapa de normais de uma folha diferente pois com o tamanho reduzido das partículas o detalhe não necessitava de muita precisão. Após se importarem os modelos 3D para o UE4 atribuiu-se o material a

cada um. Foi criado um material diferente usando uma imagem de uma outra folha, esse material não foi usado no sistema mas foi importante para outro elemento da montagem do ambiente.

O primeiro passo da criação do sistema foi alterar o tipo de dados para “*Mesh Particles*”. De seguida, no tipo de dados definiu-se o primeiro modelo 3D escolhido. Como o material já tinha sido associado ao modelo o *Cascade* aplica-o de imediato, não sendo necessário escolhê-lo novamente. Como não se quer demasiadas folhas a serem criadas em simultâneo reduz-se o número de *spawn* para 0.25. Inicialmente o valor era de 0.5, mas como se duplicou o sistema para usar ambos os modelos 3D reduziu-se o valor para metade em ambos.

Já que se espera que as partículas estejam visíveis na cena durante um tempo considerável deu-se uma duração de 30 segundos às partículas. Não se utiliza um intervalo para este sistema em particular pois não se quer que as folhas desapareçam demasiado cedo.

Este sistema ocupa uma área alargada e por essa razão usa-se uma localização inicial extensa. Isto servirá para simular o facto de as folhas estarem a cair de locais diferentes entre as duas árvores usadas. É usado um intervalo de 0 a 250 em X, -250 a 250 em Y e em Z usa-se somente 250; Z não necessita de um intervalo pois as folhas irão começar a cair de imediato.

Como o tamanho importado das *meshes* é relativamente grande usa-se um módulo de tamanho inicial para o reduzir. Cria-se também um intervalo, para haver alguma variação entre as folhas que caem. O intervalo usado é de 0.05 a 0.1 em todos os eixos. Esta variação pode não parecer muito ampla, mas dado o tamanho da *mesh* ela produz os resultados esperados.

Para simular uma posição espacial diferente usa-se um módulo “*Init Mesh Rotation*” que é único na utilização de *Mesh Particles*. A sua funcionalidade é equivalente à de um módulo de rotação regular e permite definir como será a orientação inicial de uma partícula. Um simples intervalo de 0 a 1 em todos os eixos produz uma rotação aleatória de 0 a 360 graus. Como se quer movimento rotativo durante a vida da partícula usa-se também um módulo “*Initial Mesh Rotation Rate*” o que permite alterar a rotação no espaço. Para este caso como não é necessário ter uma rotação muito veloz usa-se somente um intervalo de 0 a 0.05 em X, Y e Z o que produz uma boa variedade de rotações e ajuda a simular o vento.

A velocidade das partículas no espaço 3D também terá que simular o vento seguindo as regras usadas para as Bolhas. Neste caso como haverá uma maior alteração em Z é necessário fazer algumas mudanças. Começando pela velocidade inicial usa-se um intervalo de -10 a -5 em X, isto causará um ligeiro “puxar” na direcção. Em Y usa-se um intervalo de -10 a 10, este intervalo tem a possibilidade de ser maior pois assim permitirá às diferentes folhas ocupar uma posição diferente ao longo da rua. Não é usado um intervalo

em Z e mantém-se uma constante de -20 o que permite simular a gravidade com alguma resistência do vento.

Para as folhas terem mais alguma variação de movimento usa-se um módulo de aceleração. No eixo X usa-se um ligeiro intervalo de -7 a -12 para dar a ilusão de diferente resistência ao vento em algumas folhas. Em Y usa-se um intervalo de 10 a 16, para as mover ao longo da rua e em Z é usado um intervalo de somente -3 a -7 para ajudar com a ilusão de resistência.

Para finalizar a ilusão de vento utiliza-se um módulo de órbita. A ideia com este módulo é a de ajudar a demonstrar a leveza das partículas fazendo parecer que estão a ser constantemente puxadas e empurradas pelo vento. Para isso usa-se um intervalo no offset de 25 a 50 Fvector em X e Y. Quanto ao eixo Z, como não se quer que as partículas desafiem a gravidade em demasia usa-se somente um intervalo de 0 a 15; isso causará um ligeiro movimento vertical sem quebrar a ilusão. No mesmo módulo também se vai alterar a quantidade de rotação nesse movimento. Para isso é usado um intervalo de -0.5 a 0.5. Esse intervalo foi escolhido pois permitirá rotação positiva e negativa igual em todos os eixos até 180 graus. Aqui também é configurado o ritmo da rotação, como não se quer que este seja muito veloz usa-se um intervalo de -0.3 a 0.3 em todos os eixos.

Por último usou-se um módulo “*Actor Collision*” para parar as partículas antes de saírem da área do ambiente. Inicialmente pensava-se em congelar as partículas no ecrã até ao final da sua vida, mas como a rotação ficava parada na orientação de como as partículas atingiram a colisão isso podia arruinar a imersão dos participantes. Optou-se por aplicar a colisão a todas as partículas e seguidamente escolheu-se a opção “*Kill*” no comportamento de completação de colisão, isso elimina as partículas do ecrã libertando assim espaço de processamento. Quanto ao tipo de colisão foi escolhido “*WorldStatic*” o que significa que a colisão será aplicada quando a partícula interagir com objectos estáticos. Também se poderia ter adicionado outro módulo com “*PhysicsObject*” para as folhas colidirem também com objectos mas isso não se considerou necessário devido ao facto de o chão por baixo do ambiente ser um objecto estático. Marcou-se a caixa “*Apply Physics*” para a colisão ser calculada correctamente com a *mesh* 3D e a caixa “*Collide Only if Visible*” que faz com que as colisões apenas sejam calculadas se as partículas forem visíveis na câmara. A distância de colisão máxima foi definida para 1000 o que engloba a totalidade do ambiente sem problema.

Por último o emissor foi duplicado e na cópia substituiu-se a *mesh* utilizada pelo modelo curvo. Dessa forma existe alguma maior variação nas folhas criadas, na figura 33 é possível ver o efeito retrabalhado.



Figura 33: Folhas retrabalhadas

3.2.6 - Nuvens

O sistema de nuvens foi o último a ser criado, e no que toca a texturas foi o que passou pelo processo mais complicado. Pela sua natureza o sistema ia precisar de uma grande variedade de partículas a serem criadas de modo a dar uma aparência realista, para se conseguir esse efeito decidiu-se utilizar uma textura SubUV, a folha criada pode ser vista na figura 34. De um modo simplificado, isto tem aparência às folhas de *sprites* utilizadas em jogos de vídeo antigos, no qual se utilizavam diferentes partes de uma imagem para diferentes propósitos. Uma folha de SubUV segue a mesma lógica.

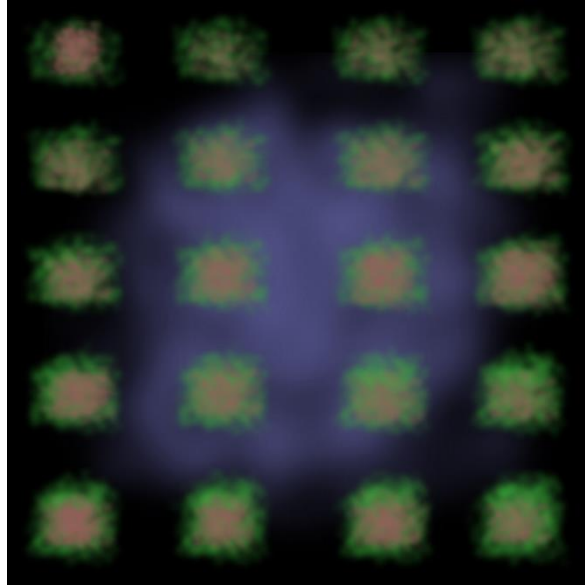


Figura 34: Folha de SubUV

O processo de criação da textura foi complexo, a maior parte do processo de criação do sistema foi feito com uma textura temporária antes de ser substituída pela versão final em fases avançadas do trabalho. inicialmente criou-se uma nuvem base no *Photoshop* fazendo uma selecção e usando o filtro “*Render Clouds*”. Fizeram-se várias cópias da nuvem com diferentes rotações e sobreposições às quais se depois alteraram as cores para vermelho, verde e azul; as cores do canal RGB. Essa textura foi experimentada no sistema e apresentava problemas pois as bordas das nuvens eram demasiado aguçadas devido à selecção o que dava um aspecto falso como pode ser visto na figura 35.

Foi tentada uma alternativa diferente, usando imagens de nuvens existentes na Internet criou-se uma folha nova sobrepondo e escalando as diferentes texturas para criar a folha de *sprites* desejada. Essa folha de texturas também não funcionava correctamente no sistema pois o seu tamanho e a forma das *sprites* faziam com que as diferentes iterações na nuvem parecessem flocos ou grãos como demonstrado na figura 36. De qualquer modo, usou-se essa textura como medida temporária durante grande parte do processo de criação do sistema e do ambiente.



Figura 35: Nuvem inicial



Figura 36: Nuvens segregadas

A versão final da textura foi criada usando uma abordagem diferente. O primeiro passo foi o de criar uma simulação de partículas usando o “*Adobe After Effects*”, um programa de edição de vídeo da suite *Adobe*. Foi criada uma simulação simples de três segundos na qual as partículas originavam de um ponto

central e se espalhavam vertical e horizontalmente. Alterou-se a cor inicial das partículas para um cinza e de seguida sobrepueram-se filtros de *blur* e distorção sobre a simulação dando-lhe um efeito similar a fumo. Exportou-se a simulação como um ficheiro Gif de alta qualidade tendo o cuidado de manter o fundo transparente para ser mais fácil seleccionar as nuvens. Usou-se o “*Adobe Photoshop*” para importar esse Gif e para subdividir todas as *frames* em diferentes camadas. Ignorou-se o meio segundo inicial pois a simulação ainda estava muito pequena e os resultados eram indesejáveis.

Após ter todas as *frames* do Gif em camadas diferentes começaram-se a fazer selecções para a criação da textura. Quis-se criar uma grelha de 4 x 5 na textura com uma nuvem de tamanho maior por trás de todas as outras *sprites*. Começando desde a primeira camada copiaram-se as *sprites* de fumo saltando de três em três camadas. A razão para isso foi para garantir que havia alguma diferença visual entre as *sprites* escolhidas. Após se ter as versões iniciais de cada *sprite* repetiu-se o processo ao contrário desde a segunda camada. Essas segundas cópias foram sobrepostas às originais e reduzidas em tamanho.

O primeiro conjunto de *sprites* foi pintado de verde enquanto que o segundo foi pintado de vermelho. Foi copiada uma única *sprite* escolhida no ápex da simulação que foi colocada por trás de todas as outras e pintada de azul. Adicionou-se uma camada a esse ficheiro, colocada atrás das outras, para se ter um fundo preto. O ficheiro foi exportado a uma resolução de 4064 x 4064 pixels para garantir que as nuvens teriam alta qualidade.

Após importar a textura para o UE4 fizeram-se algumas alterações, nomeadamente desmarcar a caixa sRGB para se poderem usar os canais de cor individualmente como máscaras na criação do material, e alterar os métodos de *Tiling* nos eixos X e Y de “*wrap*” para “*clamp*”. Isso faz com que a textura não se tente repetir após chegar ao seu final.

Na criação do material faz-se uso dos vários canais da textura para criar diferente detalhe nas nuvens. É usada a cor base do material, a cor emissiva, a opacidade, um mapa de normais e a cor de subsuperfície, que permite adicionar uma cor ao material para simular as mudanças de cor quando a luz passa pelo material. Foi criado um selector para escolher as partes da textura (vermelha ou verde) a serem usadas para adicionar à cor azul. Essa adição de cores é multiplicada por uma cor base, um cinza claro, e usada como cor emissiva e de subsuperfície. A adição das cores também é multiplicada por um módulo “*Particle Color*” e usado como cor base, caso se queira fazer uma alteração na criação do sistema. Por último, multiplica-se a cor azul por si própria e pelo canal alpha de um “*Particle Color*” para criar o canal de opacidade do material. O mapa de normal usa uma função de esfera nativa no UE4.

Para começar a criação do sistema de partículas utilizam-se partículas de CPU. Foi feita essa escolha pois cada instância do sistema não necessita de criar muitas partículas em simultâneo e usou-se um módulo incompatível com partículas de GPU. Após se seleccionar o material nos requisitos do sistema é necessário

especificar que estamos a usar uma textura de SubUV, para isso descemos até à secção “SubUV” e escolhemos o método de interpolação “*Linear Blend*”; isso causa com que seja feita uma selecção sequencial de imagens com *blending* entre cada uma para o detalhe ficar mais suave. Definimos também que estamos a usar quatro imagens horizontais e cinco verticais, isso evita problemas como o que se pode ver na figura seguinte.



Figura 37: Erro de sprites

No *spawn* de partículas usamos uma constante de 20 por ciclo, porém vamos também definir uma constante de 5 para a escala de ritmo, isso fará com que o *spawn* seja cinco vezes mais rápido do que o normal. As partículas terão uma vida considerável, entre 15 a 20 segundos; e já que o sistema terá um tamanho considerável é necessário preenchê-lo com as poucas partículas usadas. Nesse caso utiliza-se um tamanho inicial de 250 em todos os eixos.

Apesar de o sistema estar parado no espaço vai-se querer algum movimento nas partículas de forma a ele não parecer um objecto estático. É possível fazer isso sem deformar a forma geral do ambiente tendo intervalos muito ligeiros na velocidade inicial. Em X usa-se uma constante de 1, em Y um intervalo maior de -5 a 8 para parecer que existe movimento interior na nuvem e em Z um ligeiro intervalo de -1 a 1 somente para ter um mínimo desvio vertical.

É necessário um módulo “*Color over Life*” para tornar o efeito visível. Na cor utiliza-se um único ponto no início da vida das partículas no qual se define a cor como um cinza bastante claro, quase branco. Não queremos as nuvens completamente opacas senão é possível distinguir as partículas individuais, por

isso adicionamos dois pontos ao alpha, um no início da vida do sistema e um no final. No primeiro ponto definimos a opacidade a 0.2 do total. Isso significa que cada partícula terá apenas 20% da sua opacidade total, mas com a sobreposição constante de partículas isto somente adiciona ao impacto visual do efeito. No ponto final definimos a opacidade a 0 o que significa que cada partícula irá gradualmente perder opacidade até desaparecer. Com a nova criação de partículas o desaparecimento gradual pode não ser muito notado.

Como não se quer a criação de partículas a partir de um único ponto utiliza-se um módulo “*Sphere*” para criar uma primitiva invisível na qual as partículas irão ser criadas. Definimos o raio da esfera a 225 FVector. Para evitar que o sistema seja redondo usa-se ainda um módulo de localização inicial para haver um maior desvio. Não é usado um intervalo em X pois o raio da esfera já oferece uma variação interessante. Em Y usa-se um intervalo de -300 a 300 para a nuvem ter um aspecto alongado. Em Z tem-se somente um intervalo de -40 a 40 para “descompactar” ligeiramente o espaço criado pela esfera.

Para termos uma variação de tamanho ao longo da vida das partículas criou-se um módulo “*Size by Life*”. Define-se que se quer utilizar uma curva constante de vectores para podermos criar dois pontos, um no início e um no final da vida da partícula. No ponto inicial definimos que queremos um escalamento de 1.5 em todos os eixos enquanto que no final apenas queremos um escalamento de 1. Isso fará com que haja uma perda de tamanho gradual em todas as partículas ao longo da vida.

Usa-se um módulo de rotação para adicionarmos uma ligeira diferença de orientação às partículas. Neste módulo temos um intervalo de somente -0.25 a 0.25 o que significa uma rotação de 90 graus em cada eixo. Como este módulo não altera de acordo com a vida da partícula ele apenas define a rotação inicial de cada uma delas.

Para ter um maior controlo sobre o modo como a textura SubUV é usada adicionou-se um módulo “*SubImage Index*” para seleccionar correctamente o espaço a ser usado pela partícula, mantém-se um intervalo de 0 a 1 para cada partícula apenas usar o espaço da grelha definido anteriormente.

Devido à semelhança entre as nuvens foi possível colocar múltiplas instâncias em sequência para criar diferentes formas de nuvens com diferentes tamanhos. Isto permite ter alguma variedade em aspectos nos elementos colocados no céu. O efeito final teve a aparência visível na figura 38.



Figura 38: Iteração final das nuvens

3.3 - Controlo

Para a navegação foram necessários dois esquemas de controlo, um para a navegação 2D e outro para a navegação em realidade virtual. Usaram-se os esquemas de controlo básicos de primeira pessoa do UE4 mas com alterações efectuadas para corresponderem com a realidade que se queria simular.

3.3.1 - 2D

O método de controlo no *display* 2D inicial possuía elementos básicos de um FPS (*First Person Shooter*), o objecto do jogador usava uma câmara de primeira pessoa, tinha braços visíveis a segurar uma arma de física (uma arma que dispara objectos que possuem colisões dinâmicas) e uma mira centrada no ecrã. Em termos de controlo o utilizador era capaz de correr, saltar, abaixar-se e mover-se abaixado, e disparar a arma.

Esse esquema de controlos foi usado durante grande parte do processo de construção do ambiente, o limite de saltos foi alterado de 1 para 50 para se poder ter vistas de editor de forma a confirmar a montagem dos objectos, a arma de física foi usada para testar as caixas de colisões dos objectos importados e fez-se uso da velocidade de corrida para navegar o ambiente de forma rápida.

O tipo de controlo foi ligeiramente alterado para corresponder ao necessário pelo ambiente, para começar desactivou-se a arma e a possibilidade de saltar. Também se esconderam os braços, a própria arma e a mira de modo a não ficarem visíveis no ecrã. Apesar de não se esperar que os utilizadores descobrissem a mecânica de abaixar esta foi desactivada na mesma para evitar qualquer eventualidade. A velocidade base de deslocamento foi reduzida de 500 para 250 para simular um caminhar.

A altura inicial do personagem não correspondia exactamente à escala usada nos objectos do ambiente, para corrigir isso seleccionou-se a componente cápsula do personagem e definiu-se a meia altura a 135, o que significava que a altura total seria de 270. Os controlos usados foram os de defeito para um FPS no UE4, ou seja, as teclas W, A, S, e D equivalem às setas e são usadas para mover o personagem para a frente e para os lados enquanto que o rato é utilizado para olhar em diferentes direcções.

3.3.2 - VR

Inicialmente, o esquema de controlo VR era similar ao usado no esquema 2D, ou seja, as teclas moviam o jogador, o rato orientava a posição do personagem, mas havia ainda o factor VR no qual o participante usava a sua cabeça para olhar para os diferentes lados. O participante fazia a simulação sentado, como no teste 2D.

Eventualmente chegou-se à conclusão que o esquema de controlo não fazia uso total das possibilidades de VR e então decidiu-se alterar os testes para serem realizados em pé com controlos manuais do Oculus Rift (ou *HTC Vive*).

A *blueprint* de primeira pessoa já possuía definições de VR, porém como a versão final do ambiente teria de estar compatível tanto com realidade virtual como com 2D era necessário tê-la otimizada igualmente para ambos; para chegar a esse ponto foi necessário resolver certos bugs.

O primeiro bug tinha a ver com a altura do personagem. Durante a construção do ambiente haviam problemas com a altura do personagem quando testando em VR, este era demasiado alto em comparação

com a versão 2D. Para resolver esse problema alterou-se a altura da origem do “tracking”. Como o *Oculus Rift* utiliza sensores para determinar onde se encontra o HMD e o utilizador ele necessita definir a altura da pessoa que o está a usar; por defeito o *tracking* estava definido ao nível dos olhos o que alterava a altura, adicionando o tamanho da cápsula à altura onde se encontrava o HMD. Para resolver isso aquilo que se fez foi adicionar um nó para colocar a origem ao nível do chão. Agora que a origem do *tracking* estava ao nível do chão a altura era calculada correctamente usando a cápsula.

Apesar de a altura já estar a ser calculada em relação ao nível do chão isso ainda apresentava um problema; a altura da cápsula era demasiado baixa para VR, o que causava com que o avatar do personagem em 2D fosse relativamente mais alto. Isso resolvia-se facilmente ao aumentar a altura da cápsula, porém as alturas diferentes significavam que iria ser necessário ter duas versões distintas do ambiente exportadas; uma com a altura correcta para 2D e outra para realidade virtual.

A solução encontrada foi a de adicionar uma condição à *blueprint* do personagem para verificar se o HMD estava activo. Como o *Oculus* apenas era usado nos testes de VR podia-se modificar a altura da cápsula para esse caso sem afectar as definições de 2D. Para esse fim criou-se um nó “*Set Capsule Half Height*”, associado ao objecto cápsula do personagem, e definiu-se a altura para 235 como visto na figura 39. Isso fez com que altura usada fosse a correcta para ambos os testes.

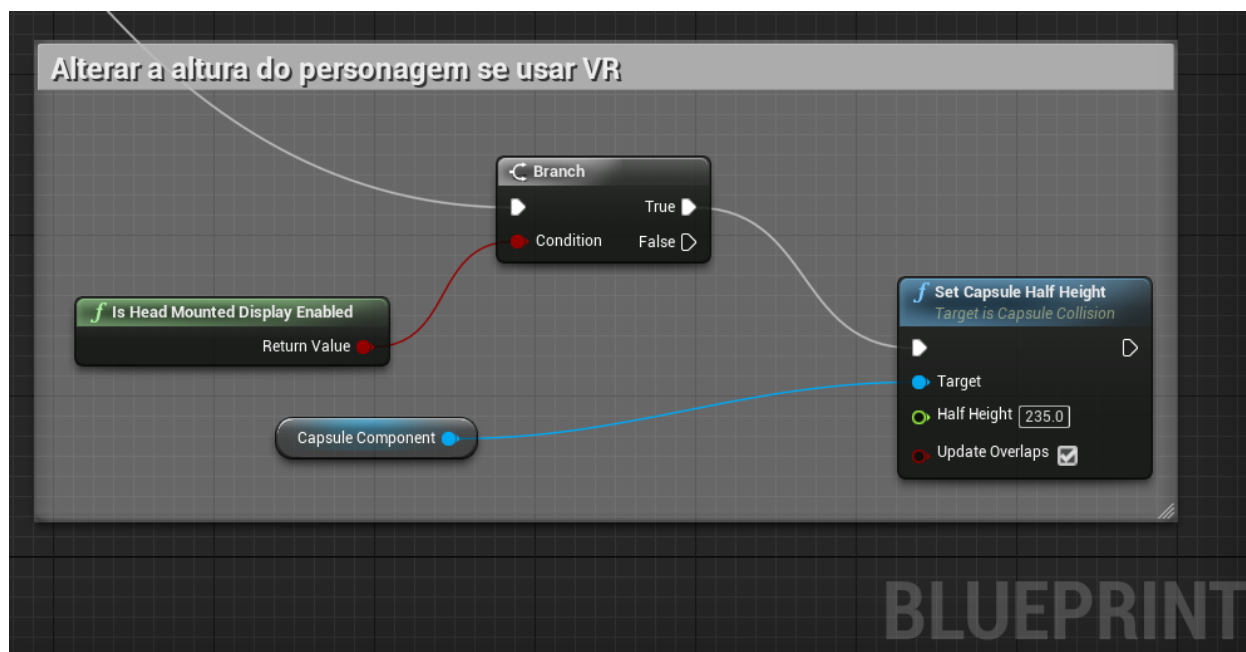


Figura 39: Mudança de altura condicional

Com a *build* exportada do ambiente, a versão de VR requer que se faça *reset* à altura do personagem ao colocar o *Oculus* próximo do nível do chão e usando o botão no controlo manual. Isso redefine a orientação e posição da câmara, o que ao levantar o HMD até ao nível dos olhos de um indivíduo faz com

que o avatar no ambiente tenha um equivalente à sua altura no mundo real. Isso causava um problema pois era possível que os participantes fizessem *reset* novamente usando o controlo manual. Para evitar isso alterou-se a tecla de *reset* como demonstrado na figura 40, trocando-a de um dos controlos manuais para a tecla “P” do teclado e para o controlo não usado, caso fosse necessário.

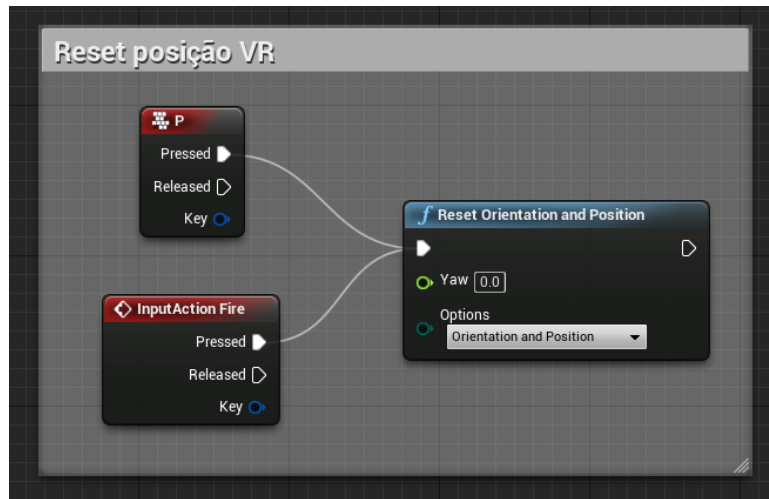


Figura 40: Condição de reset

Com alguns testes preliminares de utilização chegou-se à conclusão que a versão de VR do ambiente causava náusea em certos indivíduos. Isso já tinha sido reduzido em parte ao realizar os testes em pé e com controlos manuais, para melhor simular uma sensação de estar, mas como o problema ainda estava presente decidiu-se criar uma mira no ecrã.

Esse não foi o plano original, pois tentaram-se outras soluções que não resolveram o problema. A primeira foi a de aumentar o FOV para melhor simular o ângulo de visão da cabeça humana. O ângulo por defeito da câmara era de 90 graus, foi aumentado para 120 graus mas isso parecia causar ainda mais desconforto. Tentou-se também aumentar o *Motion Blur* para os objectos terem um efeito ligeiramente desfocado quando se movia a cabeça, porém esta solução também não era ideal.

No que toca à criação da mira, a ideia inicial foi a de reactivar a mira por defeito já existente na *blueprint* de primeira pessoa e alterar a imagem usada para se misturar melhor no ambiente sem ser intrusiva. Eliminou-se o nóculo na *blueprint* que escondia a mira se a versão VR estivesse a ser utilizada e reactivou-se-a nas definições do personagem. Isto, apesar de funcional em 2D apresentava problemas em realidade virtual pois o *Oculus Rift* somente faz render de HUD's (*Heads Up Displays*) numa das suas lentes [Nikolov, 2013].

Após alguma pesquisa chegou-se à conclusão que a solução ideal era a de usar *Widgets* 3D para criar a mira. *Widgets* são objectos de interface gráfica que fazem uso de objectos 3D e de perspectiva para a criação de elementos. O facto de serem objectos tridimensionais garante que o render é feito correctamente

tanto em realidade virtual como em displays tradicionais. Como o produto final desejado era simples não foi necessário um grande processo de criação e não houve impacto de memória ou processamento.

Foi criado um actor vazio no editor dentro do qual foi adicionada um *widget*, dentro desse *widget* criou-se uma esfera, essa esfera foi posicionada a uma certa distância do centro, tendo em conta a diferença de perspectiva do HMD. Criou-se um material simples para a esfera, somente com uma cor branca como cor base e emissiva, para dar algum brilho e distinguir a esfera do resto dos elementos. Um elemento importante do material, foi garantir que ele estava definido como transluzente, isso foi necessário para se ter acesso à propriedade “*Disable Depth Test*”; que quando activa faz render do material sobre todos os outros pixels, mesmo se opacos. Isso significa que que o *widget* nunca fica escondido, se esta propriedade não estivesse activa era possível que a esfera fosse renderizada por trás de outros objectos devido ao facto de ser um objecto 3D real existente no espaço e não uma interface sobreposta em frente à câmara.

O actor com o componente *widget* foi adicionado como um filho do personagem de primeira pessoa, para garantir que se movia sempre com a câmara. Após alguns testes rápidos centrou-se a mira correctamente tanto para 2D como para realidade virtual. A mira não intrusiva fornece um ponto de foco constante para o olhar dos utilizadores se estes estiverem a sentir algum desconforto.

3.4 - Construção

A montagem do ambiente consistiu no posicionamento de todos os elementos criados para garantir uma coerência para os utilizadores. Isto inclui o posicionamento de todos os modelos 3D, dos sistemas de partículas criados, dos elementos áudio, as fronteiras do nível, a criação da iluminação e quaisquer outros elementos adicionais que possam ser necessários.

O passo inicial foi o posicionamento do primeiro edifício criado. Isto foi necessário pois esse modelo foi usado como base para a escala de muitos outros modelos. O modelo foi escalado duas vezes, até ao seu tamanho estar comparativamente ideal ao tamanho defeito do personagem.

A maioria dos objectos existentes na rua necessitavam de cálculos de colisão para terem uma malha invisível que o utilizador não poderia atravessar. A criação das malhas podia ser feita no *Blender* e importada para o UE4, mas isso iria aumentar o tamanho dos ficheiros FBX e elas teriam ainda de ser recalculadas pelo editor. Portanto decidiu-se fazer a criação das colisões directamente no *Unreal Engine*. Para isso, é necessário abrir os modelos no editor de *meshes* para se atribuírem as colisões. Para os objectos reduzidos somente se decidiu criar uma colisão simples com um cilindro ou uma caixa, porém para os mais complexos seleccionou-se “*Auto Convex Collision*” o que permite ter um maior controlo sobre como a malha é criada, pode-se seleccionar o número de vértices usados e a precisão que queremos para a malha.

A estrada foi posicionada para se ter uma noção do tamanho que se queria que o ambiente tivesse; a largura não era tão importante pois os edifícios iriam servir como grande parte dos limites. Sobre a estrada foram pintadas as manchas de humidade e as poças de água com os salpicos da chuva.

Colocaram-se os edifícios ao longo da rua, tentou-se formar uma paisagem realista com os três tipos diferentes criados de maneira a ter uma variedade interessante. Alguns dos edifícios foram escalados negativamente para ficarem espelhados. Colocaram-se ainda os objectos de passeio disponíveis num pacote de elementos gratuitos usado. Eles foram posicionados ao longo dos edifícios e ainda usados para criar cantos.

Nos edifícios usou-se um modelo de janelas pertencente ao mesmo pack no qual se encontravam os passeios. Também se utilizou o material de vidro opaco existente para não ser necessário criar uma nova configuração do material de vidro criado para o ambiente. Em dois dos prédios também se usou um modelo de portas do pack enquanto que para a maioria usaram-se as portas criadas à medida que podiam ser escaladas para serem equivalentes ao espaço necessário.

Existe um cruzamento na rua num local onde os edifícios não se encontram, aí notava-se o final do nível por isso adicionaram-se planos com uma textura de asfalto para simular uma estrada. Não se queria que os participantes navegassem para essas áreas ou para as pontas da rua. Por isso usaram-se “*blocking volumes*” para criar paredes invisíveis e evitar o movimento para fora da área navegável do mapa. Esses volumes são caixas invisíveis que calculam colisões com o avatar do utilizador. Como o avatar não tem como saltar ou trepar não foi necessário criar os volumes particularmente altos.

Como se queria que os limites do nível fossem fáceis de ver decidiu-se criar objectos 3D para dar a ilusão que as ruas estavam bloqueadas como visto na figura 41. Essa decisão era preferível a simplesmente ter uma área na qual o movimento do participante seria parado. Criaram-se cones cor de laranja e barreiras de metal para preencher o espaço. Como estes objectos iam ser colocados dentro das caixas não foi necessário calcular malhas de colisão.



Figura 41: Limite do ambiente

Atrás dos edifícios junto aos cruzamentos colocaram-se versões vazias dos edifícios para dar a noção de que o lado paralelo está preenchido. O mesmo foi feito com os passeios. Do lado oposto da rua também se colocaram edifícios para completar a ilusão, nesses foi necessária a adição de janelas e portas pois estavam virados para o utilizador.

Nas duas pontas da rua também foram usados prédios para delimitar o espaço, eles foram colocados de modo a simular uma curva na estrada. Nestas posições foram colocados ainda postes eléctricos pois era uma continuação natural da rua principal e não os incluir poderia quebrar a ilusão. Foi necessário criar os limites com alguma distância do ponto onde as barreiras foram colocadas para ter em conta o ângulo de visão do utilizador. Se eles se colocassem numa posição aguçada perto das barreiras não se queria que os fundos dos limites ficassem visíveis. Toda esta construção está visível na figura 42.

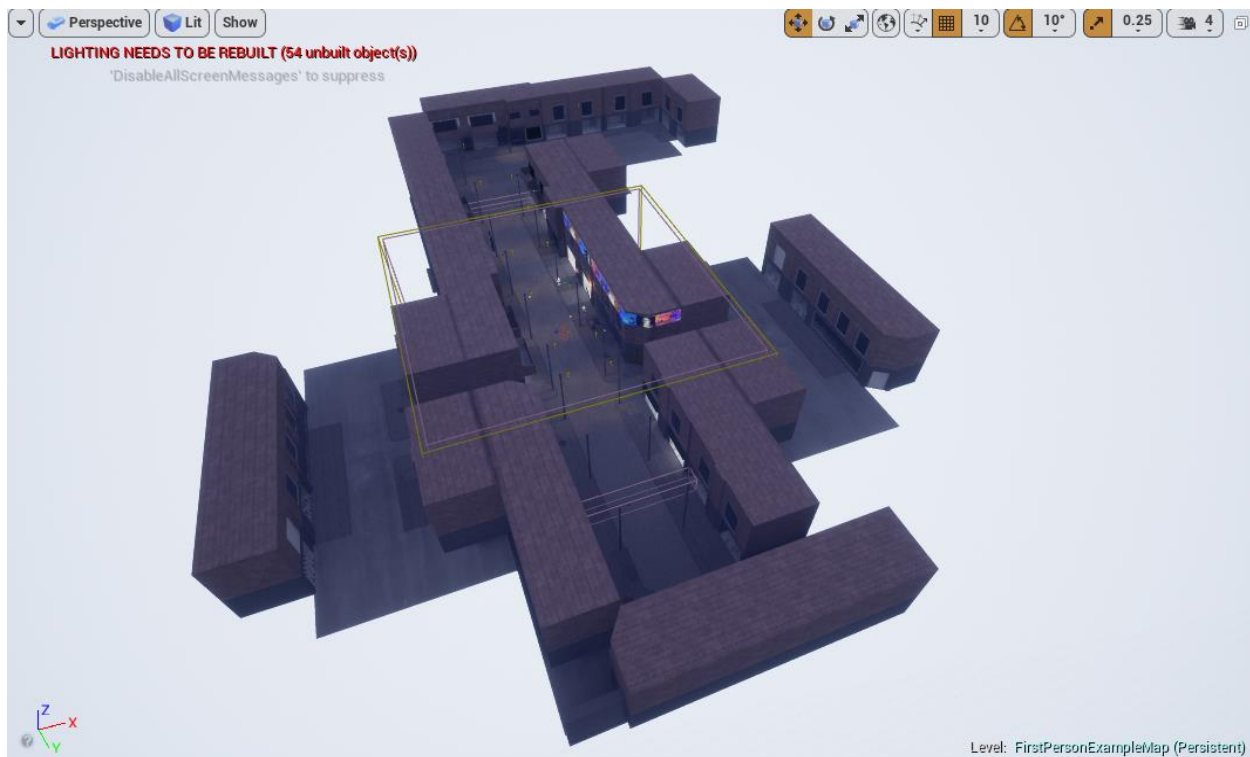


Figura 42: Vista superior de toda a montagem

Os elementos adicionais foram colocados no nível de forma a dar uma noção de actividade. Apesar de os edifícios serem similares em aspecto tentou-se ter uma boa variedade de elementos para a cena criada não ser estagnante. Não existem duas localizações exactamente iguais, e para evitar que o ambiente fosse demasiado carregado muitas das frentes de loja foram fechadas com barreiras.

Os sistemas de partículas foram colocados em posições estratégicas ao longo do ambiente para garantir que o participante os observa a todos mesmo sem orientação. As bolhas estão a ser sopradas para o centro da rua e as folhas estão a cair e a ser puxadas pelo vento de um modo similar. O fogo está bastante prevalente numa das frentes de loja e logo junto a ele está a electricidade. As nuvens, apesar de mais escondidas, estão colocadas ao longo de toda a rua e estão sempre visíveis se o utilizador se virar para cima.

Foram ainda incluídos elementos adicionais para chamar a atenção para os efeitos. A máquina de bolhas e as chamas emitem um som constante (com as bolhas tendo ainda o som do seu rebotar), o poste onde se vê a electricidade é o único que está aberto e ainda emite som a certos intervalos, também existe uma caixa de ferramentas no meio da rua junto ao poste para desviar a visão do participante para lá.

No chão foi usada a ferramenta de folhagem do UE4 para dar a ilusão de folhas caídas com a maior concentração de folhas estando no local onde elas primariamente aterram e para as nuvens usou-se uma luz direccionada com força suficiente para criar raios de luz vindos desde cima para atrair a visão dos utilizadores.

De forma ao ambiente não ficar demasiado escuro incluíram-se focos de luz nos candeeiros com força suficiente para simular uma iluminação realista. Também se usaram luzes com diferentes graus de força nas frentes de loja e nos becos para evitar sombras em excesso. Para popular mais o ambiente usaram-se *decals* nos becos e certas janelas de lojas com texturas criadas no *Photoshop* à semelhança de posters.

Para melhor orientar o utilizador nos segundos testes participativos criaram-se indicadores de percurso que podiam ser ligados ou desligados com a tecla “J”. Esses indicadores eram inicialmente caixas numeradas, mas para se melhor integrarem com o resto do ambiente foram alterados para “*Graffiti*” nas versões finais. Os marcadores, iniciais e finais, tinham o aspecto visível na figura seguinte.



Figura 43: Marcadores de percurso (versões inicial e final)

Em adição aos sistemas de partículas usados como objecto de estudo adicionaram-se outros somente para oferecer uma nova camada de profundidade ao ambiente. Um deles quase que não está visível e é um dos protótipos iniciais de fogo criados. Apesar de ele não ter o aspecto desejável para o estudo e não fazer uso de técnicas de criação especiais ele mostrou-se ideal para criar uma simples chama de uma luz de piloto.

O outro efeito adicionado foi chuva com salpicos a cair no chão. Este efeito envolve o ambiente inteiro e faz *spawn* de um número elevado de partículas; como esse era o caso usaram-se partículas de GPU. O efeito tem um emissor secundário a criar salpicos ao nível do chão. Como este sistema é relativamente rápido e não possui técnicas de criação especiais decidiu-se não o usar como objecto de estudo, apesar do seu nível de detalhe. Em termos de puro volume, é o efeito que cria o maior número de partículas no ambiente. Somente o emissor primário faz uma geração de 6000 partículas por ciclo.

Em fases anteriores do projecto tinha-se pensado fazer uma versão do ambiente usando *cel shading*, de modo a ter uma coerência visual distinta. Apesar de se ter decidido que essa variável não iria adicionar nenhuma camada de profundidade necessária ao estudo já se tinha feito algum progresso com o efeito antes de este ser rejeitado como se pode ver na figura 44.



Figura 44: Versão de Cel Shader sem filtro visual

3.5 - Procedimentos

O protocolo criado para garantir o bom funcionamento dos testes consistia de uma simples separação de fases. Após uma breve explicação sobre o objectivo dos testes e do que seria esperado dos participantes, estes preencheram um curto questionário com alguma informação generalizada sobre si próprios e sobre as suas experiências prévias em VR. ¹

¹ https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScr56TzpOsE6CiltjO562_dYXSAmGaslxnIRTJj4gd61rK3A/viewform

Seguidamente, na primeira fase de testes práticos, os participantes tiveram a liberdade de navegar ambas as versões do ambiente criadas ¹. Foi necessário que navegassem tanto a versão de 2D como a de VR, como se pode ver nas figuras 45 e 46. A ordem de navegação foi definida aleatoriamente. Esta primeira fase serviu para os utilizadores se familiarizarem com os esquemas de navegação e para começarem a ter noções sobre os efeitos presentes na cena. Não houve qualquer tipo de indicação nas primeiras navegações e os participantes tiveram um limite de tempo de dois minutos para navegar cada versão.



Figura 45: Participante a navegar a versão 2D do ambiente

¹ https://drive.google.com/open?id=1VZVUh6BnuogkE7Zr_Mt9nNHXyutv41Ty



Figura 46: Participante a navegar a versão VR do ambiente

Houve uma fase de questionários após as primeiras navegações do ambiente. Nessa fase pediu-se aos participantes que classificassem a experiência e escolhessem se preferiram a versão de 2D ou VR, também se perguntou se notaram alguns efeitos especiais na cena e como os classificariam.

De seguida houve uma outra fase de testes. Nesta próxima fase o participante tinha que navegar a última versão que navegou, mas sem ter um temporizador e sendo orientado pelo investigador. Os participantes fizeram um percurso marcado por certos indicadores que estão escondidos no ambiente até ao premir de uma tecla. Em cada um dos marcos do percurso está um dos sistemas de partículas, nesses locais o participante recebeu instruções de como proceder para ver o sistema de diferentes formas. As instruções foram as mesmas para todos os participantes de forma a garantir que os sistemas eram vistos do mesmo modo. Elas incluíam mover o personagem jogável para a frente e para os lados, mover a câmara (ou a cabeça, dependendo da versão) lateralmente e rotativamente (na versão de VR), e em certos casos seguir o efeito com e sem se moverem.

Houve uma fase de questionários após a primeira fase de navegação orientada. Essas questões pediam que o utilizador classificasse os diferentes sistemas e que os ordenasse pela sua preferência. A fase de testes seguinte era idêntica à anterior mas o participante teria de navegar a versão do ambiente que restava. Depois disso respondeu às mesmas questões que havia respondido anteriormente, mas correspondentes à versão que acabava de navegar.

3.6 - Sujeitos de teste

Os testes foram realizados por uma amostra de 20 indivíduos com idades compreendidas entre os 17 e os 43 anos de idade. A maioria dos indivíduos testados eram do género masculino com trinta por cento sendo mulheres. Os participantes possuíam diferentes graus de experiências com realidade virtual, com parte dos indivíduos ou nunca tendo utilizado as tecnologias ou tendo somente poucas experiências e outra parte sendo experiente no seu uso ou usando-as com regularidade.

Entre os sujeitos com experiências em tecnologias de realidade virtual existe uma grande variedade de dispositivos utilizados com a maioria tendo utilizado o *Oculus Rift*; o mesmo dispositivo usado para a realização das experiências. Os participantes foram primariamente obtidos no corpo estudantil e facultativo da FEUP nenhum dos quais tinha qualquer familiaridade com o projecto. Dado que o número inicial de sujeitos de teste esperados era somente 10 pode-se considerar que o número conseguido foi um resultado positivo.

4 - Resultados

Nesta secção vão ser analisados os resultados dos testes práticos realizados. Os resultados obtidos nos ditos testes poderão ajudar a melhor compreender o sentido de presença de diferentes indivíduos na navegação de ambientes tridimensionais usando displays tradicionais ou de realidade virtual quando afectados por sistemas de partículas. Isto poderá clarificar o bom funcionamento de diferentes técnicas de criação de partículas no desenvolvimento de aplicações para os diferentes tipos de display, assim ajudando a tomada de decisões por diferentes desenvolvedores tendo em conta os efeitos que a maioria do público prefere ou repara individualmente.

4.1 - Questões de contexto

Os testes foram realizados por 20 indivíduos entre os 17 e os 43 anos de idade com a idade média dos participantes rondando os 26 anos. Catorze dos indivíduos testados eram homens e os restantes seis eram mulheres (gráficos 1 e 2).

Qual é a sua idade?

20 respostas

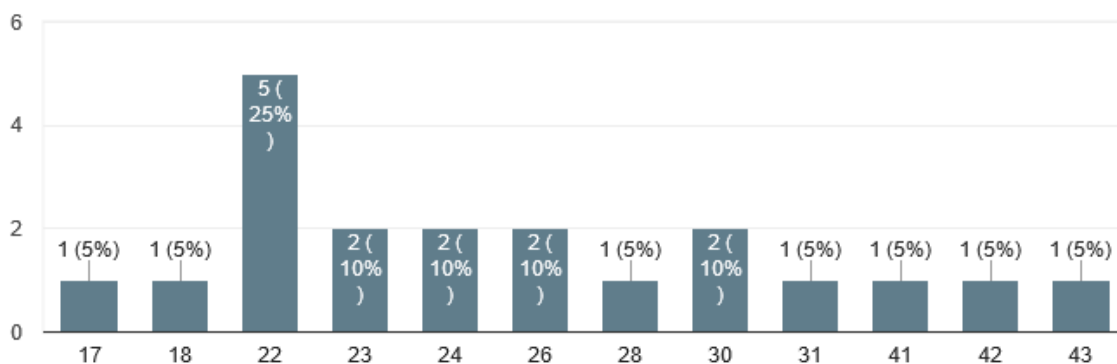


Gráfico 1: Idades dos participantes

Qual é o seu género?

20 respostas

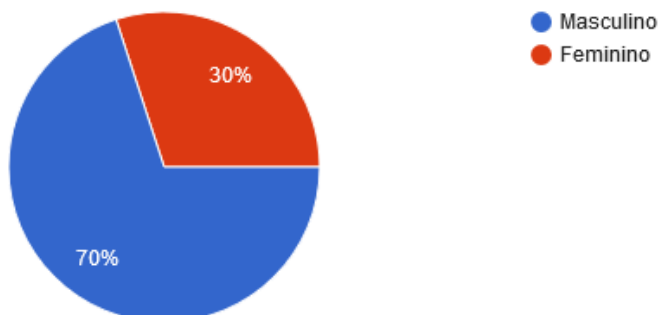


Gráfico 2: Género dos participantes

Seis dos indivíduos testados nunca tinham tido nenhuma experiência anterior com tecnologias de realidade virtual (gráfico 3); os restantes sujeitos já tinham usado a tecnologia de alguma forma com a maioria dos sujeitos tendo somente um número reduzido ou médio de utilizações. Seis dos participantes possuíam entre uma a cinco experiências com VR, e três tiveram entre cinco a dez experiências. Os restantes cinco indivíduos com experiências em realidade virtual disseram usar as tecnologias com regularidade. Esses resultados podem ser vistos no gráfico 4.

Teve alguma experiência prévia com sistemas de realidade virtual?

20 respostas

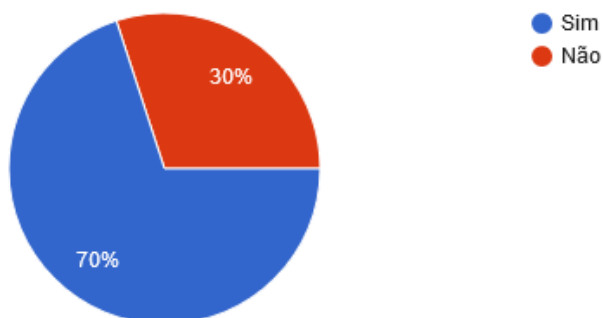


Gráfico 3: Experiências prévias em VR

Se sim, quantas?

14 respostas

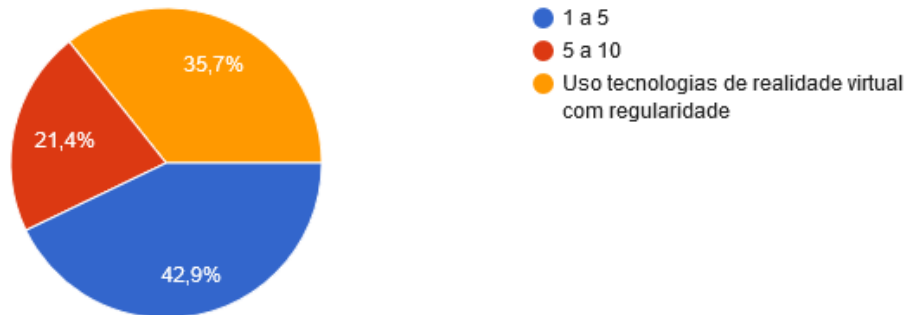


Gráfico 4: Quantidade de experiências em VR

Como se pode ver no gráfico 5 houve uma certa variedade nos dispositivos de realidade virtual utilizados pelos participantes com experiências prévias; dez dos utilizadores tinham usado o *Oculus Rift*, o mesmo dispositivo usado na realização destes testes. Houveram sete participantes com experiências prévias na utilização do *HTC Vive* e do *Google Cardboard*, houveram três outros com experiência no *Samsung Gear VR* e somente um com o *Playstation VR*; um sujeito disse também ter utilizado dispositivos não listados, o *VR Box* e o *Bobo VR*.

Após a primeira sessão de testes os participantes atribuíram uma classificação à experiência geral, tendo em conta as versões 2D e VR. A grande maioria das classificações foi positiva e um quarto dos sujeitos foram ambivalentes. Cinquenta por cento deram uma classificação de quatro em cinco à experiência com os restantes vinte e cinco atribuindo a nota máxima como se pode ver no gráfico 6.

Um quarto dos participantes disse preferir a versão 2D do ambiente, com os restantes preferindo a versão de VR como visto no gráfico 7.

Que tipo de dispositivos usou?

14 respostas

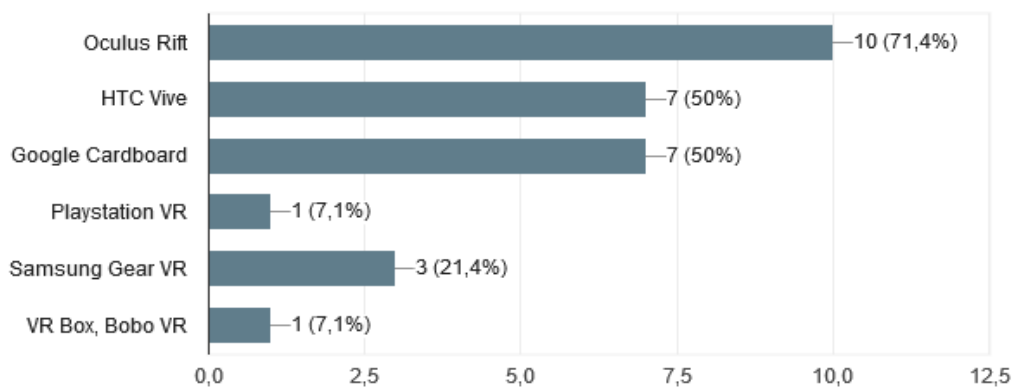


Gráfico 5: Dispositivos VR usado pelos participantes com experiências prévias

De 1 a 5 como classificaria a sua experiência?

20 respostas

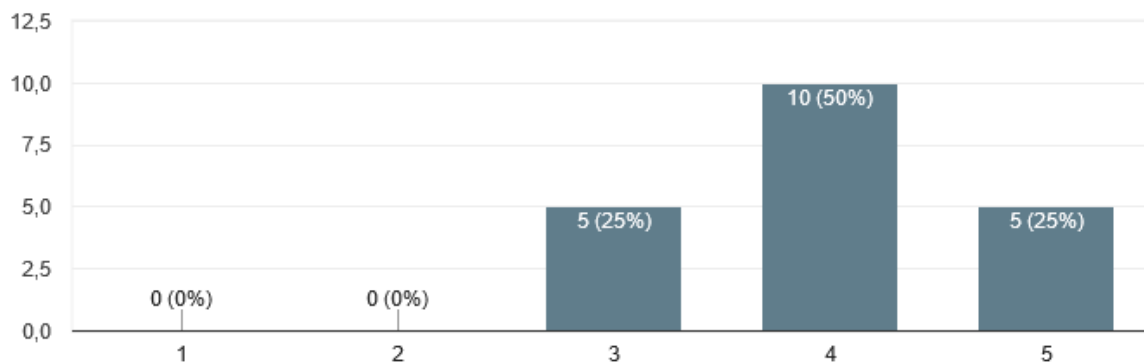


Gráfico 6: Classificação global das experiências

Preferiu a experiência 2D ou de realidade virtual?

20 respostas

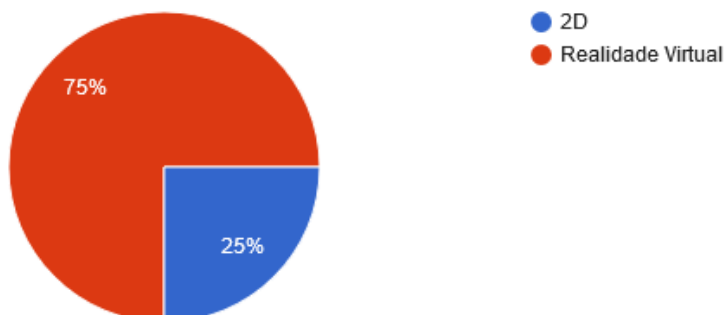


Gráfico 7: Preferência pelo tipo de ambiente

Grande parte dos utilizadores foram capazes de notar os efeitos especiais na cena sem necessidade de orientação; entre aqueles que notaram a maioria pareceu ver as bolhas de sabão, o fogo e electricidade. Porém também houveram indivíduos que notaram as nuvens e as folhas das árvores. Outros ainda também notaram a chuva, apesar de esta não ser um objecto de estudo. Quatro dos participantes não notaram nenhum dos efeitos em particular.

Como visto no gráfico 8, sessenta por cento dos participantes deram aos efeitos que notaram uma classificação de quatro em cinco pontos enquanto que trinta deram uma classificação de cinco. Os restantes dez por cento deram uma classificação intermédia. No gráfico 9 é possível ver que todos os participantes com a excepção de um disseram que recomendariam a experiência a alguém.

Como a experiência foi aleatória mas controlada, metade dos participantes navegaram a versão do ambiente com o display tradicional em primeiro lugar enquanto que os restantes navegaram primeiro a de realidade virtual. Desse modo, o gráfico 10 mostra uma divisão exacta de cinquenta por cento.

Como os classificaria de um modo geral?

20 respostas

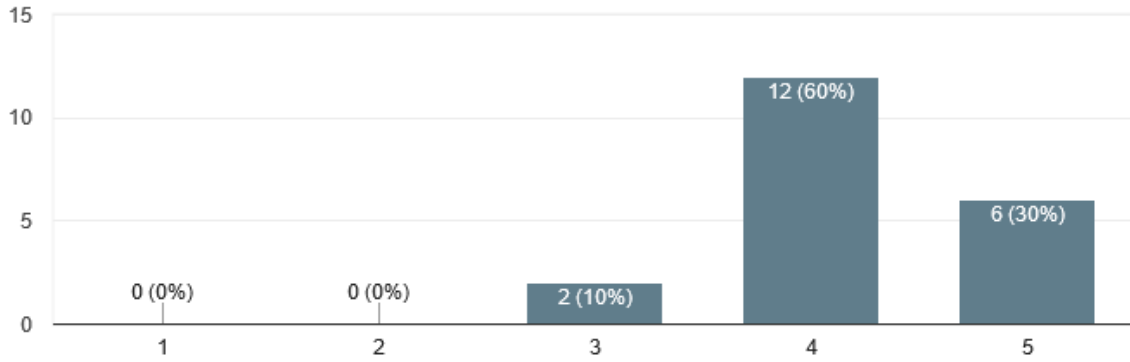


Gráfico 8: Classificação dos efeitos percebidos

Recomendaria esta experiência a alguém?

20 respostas

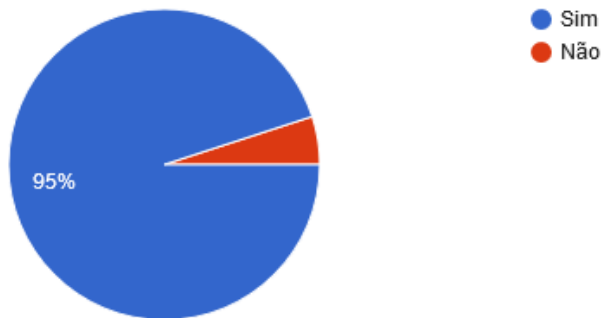


Gráfico 9: Recomendação de experiência

Qual o ambiente que navegou em primeiro lugar?

20 respostas

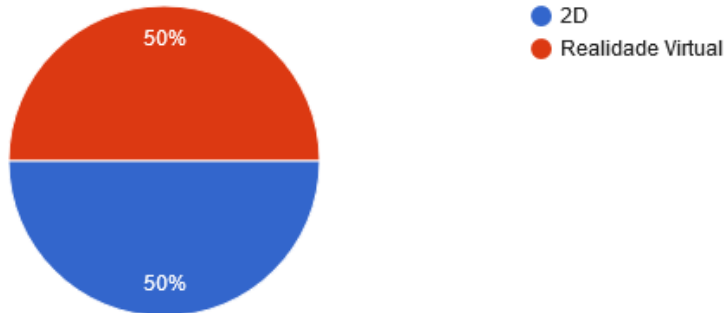


Gráfico 10: Ambiente navegado em primeiro lugar

5.2 - 2D

Relativamente à experiência 2D, quando pedido que os participantes classificassem a sua experiência de um a cinco, um quarto deu uma resposta neutra, metade deu uma classificação de quatro à experiência e os restantes atribuíram um cinco como se pode ver no gráfico seguinte.

De um a cinco como classificaria a sua experiência baseada nos efeitos que viu?

20 respostas

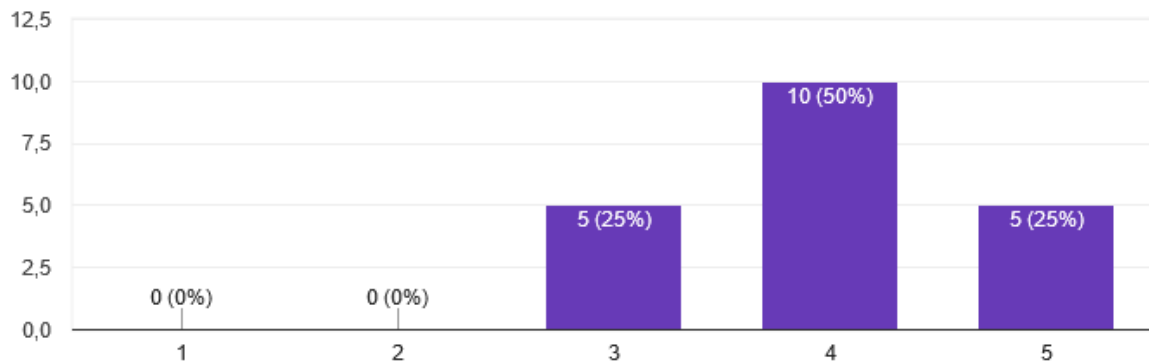


Gráfico 11: Classificações da experiência orientada 2D com base nos efeitos vistos

Foi pedido aos participantes que classificassem a sua experiência relativamente a cada efeito usado; começando pelas bolhas a grande maioria dos resultados foram positivos. Metade dos participantes atribuíram-lhes a nota máxima relativamente à experiência com os restantes estando divididos igualmente entre três e quatro. As bolhas foram o único objecto de teste que não obteve classificações abaixo de três em 2D.

O fogo nas tochas também foi bastante positivo, onze dos utilizadores classificaram a experiência como um quatro em cinco, um participante deu uma classificação de cinco, seis dos participantes foram neutros em relação ao efeito e os restantes atribuíram uma classificação negativa de dois.

As chamas nos braseiros obtiveram o mesmo número de resultados negativos do que as tochas, porém o número de utilizadores neutros foi mais alto por um participante. Nove dos sujeitos atribuíram uma classificação de quatro e os restantes dois deram a classificação máxima.

A electricidade foi o único efeito na versão tradicional do ambiente a receber a classificação mínima; essa classificação foi atribuída por dois participantes e um deu ao efeito uma classificação de dois. Oito dos sujeitos foram neutros em relação ao efeito, quatro dos participantes deram uma classificação de quatro e os restantes cinco deram a pontuação máxima relativamente à experiência.

As folhas tiveram um número elevado de classificações máximas por parte de sete utilizadores, cinco outros deram uma classificação de quatro. Seis foram neutros face ao efeito e os restantes atribuíram uma classificação de dois.

Quanto às nuvens oito dos participantes deram uma classificação de quatro e seis uma classificação de cinco. Somente quatro dos participantes foram neutros em relação ao efeito e os restantes dois deram-lhe uma classificação de dois. Esses resultados estão visíveis no gráfico 12.

Classifique a sua experiência relativamente a cada um dos efeitos.

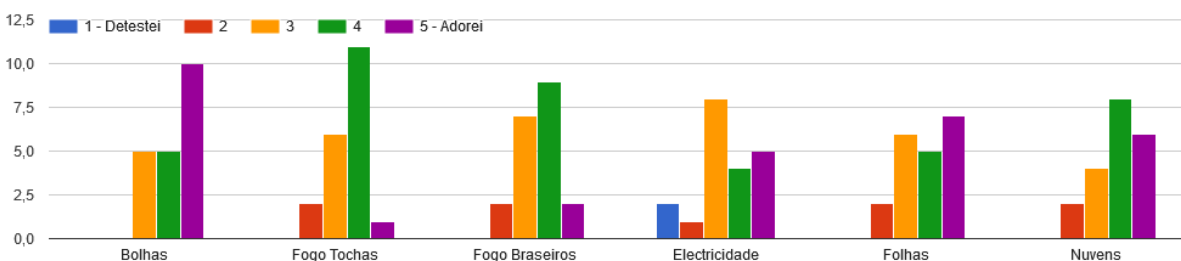


Gráfico 12: Classificações de experiência face cada um dos efeitos (versão 2D)

Para além da sua experiência face aos efeitos também foi pedido aos participantes que classificassem o aparente realismo de cada um.

As bolhas tiveram novamente o número mais alto de classificações máximas com nove dos participantes dando-lhes um cinco, sete dos sujeitos atribuíram um quatro ao efeito, três foram neutros quanto ao realismo dos efeitos e o restante sujeito deu uma classificação de dois.

Relativamente às tochas nove dos participantes não tiveram opiniões nem positivas ou negativas face ao realismo, sete atribuíram um quatro ao efeito, e as restantes quatro respostas distribuíram-se igualmente pelas classificações um e dois. Nenhum dos participantes deu a pontuação máxima ao realismo das tochas.

Sete dos participantes foram neutros quanto ao realismo do fogo nos braseiros, seis disseram que o efeito estava real com uma classificação de quatro e um atribuiu a classificação máxima de cinco. Quatro disseram que o efeito estava irreal com uma classificação de dois e os restantes sujeitos atribuíram ao efeito a classificação mínima.

A electricidade teve um número igual de participantes a atribuir uma classificação de dois e uma classificação de cinco, com cinco votos em cada uma. Quatro participantes foram neutros em relação ao efeito, o mesmo número de participantes que atribuíram uma classificação de quatro; os restantes deram ao efeito a classificação mínima.

Relativamente às folhas a grande porção dos participantes (seis) deram-lhes uma classificação de quatro. Cinco deram-lhes a classificação máxima, o mesmo número de participantes com uma opinião neutra. Os quatro sujeitos restantes deram uma classificação de dois ao realismo do efeito.

As nuvens tiveram o número mais alto de classificações quatro com nove participantes. Quatro dos sujeitos tiveram uma opinião neutra em relação ao efeito, o mesmo número de sujeitos que atribuiu a pontuação máxima. Os três participantes restantes deram ao efeito uma classificação de dois.

Classifique o aparente realismo dos efeitos

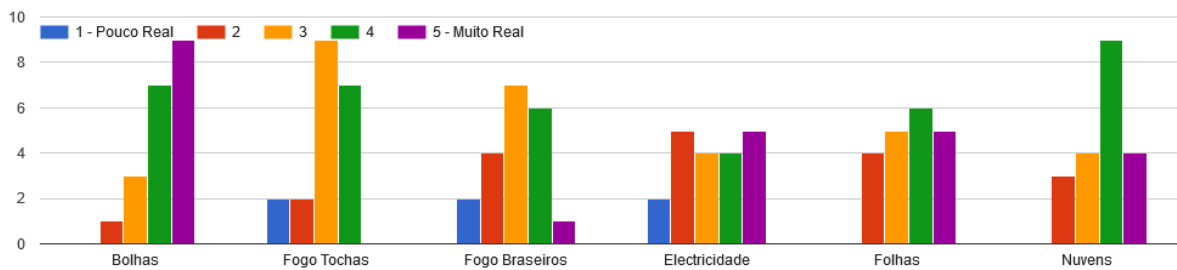


Gráfico 13: Classificações de realismo dos efeitos (versão 2D)

Pediú-se aos participantes que ordenassem os efeitos do melhor para o pior de acordo com a sua opinião pessoal. Em primeiro lugar a maioria dos participantes, numerando doze, colocaram as bolhas. Um número idêntico de três colocou em primeiro a electricidade e as nuvens. Os restantes dois disseram que o melhor efeito se tratava das folhas. Não houveram menções de nenhum dos efeitos de fogo em primeiro lugar.

Em segundo lugar o efeito predominante é o das folhas, tendo lá sido colocado por metade dos participantes. Seis colocaram as nuvens nesta posição e três as bolhas. O sujeito restante classificou a electricidade em segundo. Novamente, não houveram menções das chamas.

Em terceiro lugar o efeito mais bem posicionado foram as chamas das tochas com sete participantes, de seguida foram as folhas com cinco. As nuvens foram classificadas por três dos sujeitos e tanto as bolhas como a electricidade por dois. O fogo dos braseiros foi colocado nesta posição por somente um utilizador.

Na quarta posição seis dos participantes colocaram o fogo dos braseiros, e um número idêntico de cinco colocaram a electricidade e as nuvens em quarto. Tanto as bolhas como as chamas das tochas foram aqui colocadas por dois dos sujeitos. As folhas não aparecem nesta posição.

Na segunda pior posição os efeitos predominantes são as chamas dos braseiros, com oito utilizadores e as das tochas com seis. As folhas foram colocadas em quinto por três dos participantes, a electricidade por dois e as nuvens por um. Não existe menção das bolhas em quinto lugar.

Na pior posição o efeito dominante foi a electricidade aqui colocada por sete sujeitos seguida das chamas, com cinco participantes tendo colocado cada uma das versões. As nuvens foram colocadas em sexto por dois sujeitos e as bolhas por um. Nenhum dos sujeitos colocou as folhas na pior posição.

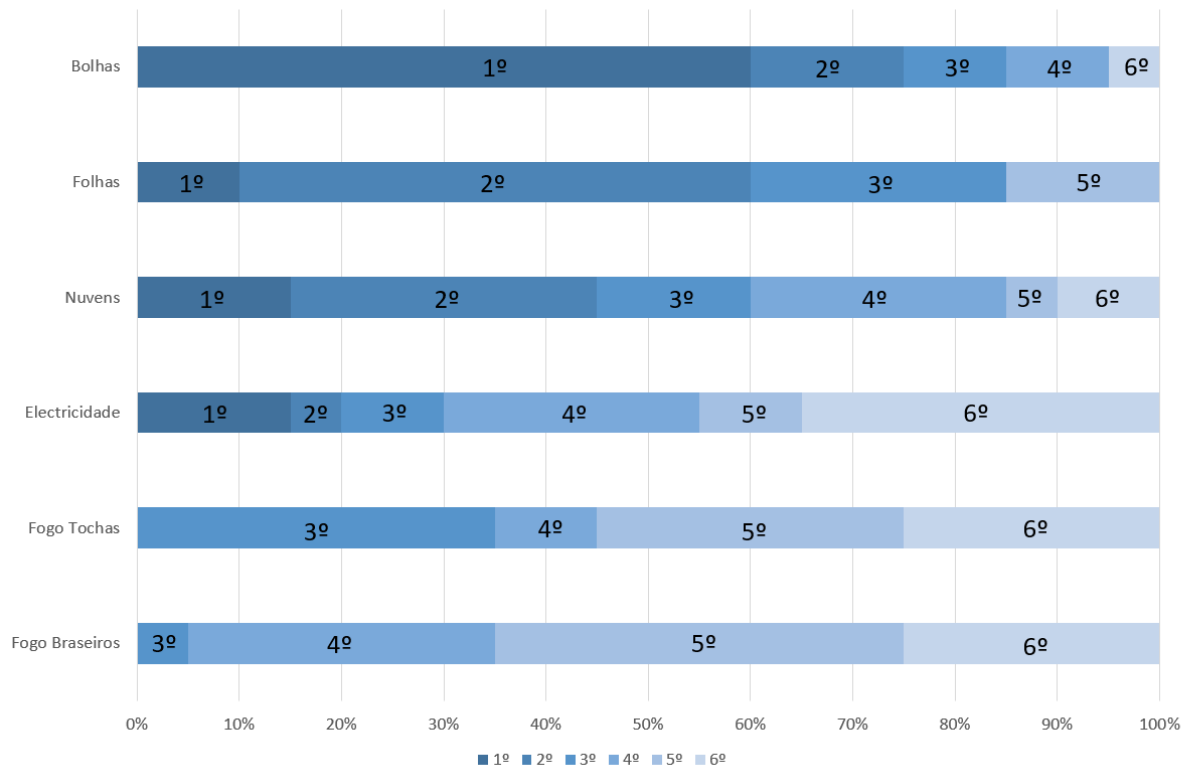


Gráfico 14: Ranking dos efeitos (versão 2D)

4.3 - VR

O questionário para a versão de VR foi idêntico ao da versão tradicional. De início começou-se por pedir que os participantes classificassem a experiência de um a cinco. Metade dos participantes deu a classificação máxima à experiência, seis deram uma classificação de quatro e os restantes foram neutros em relação a ela.

De um a cinco como classificaria a experiência com base nos efeitos que viu?

20 respostas

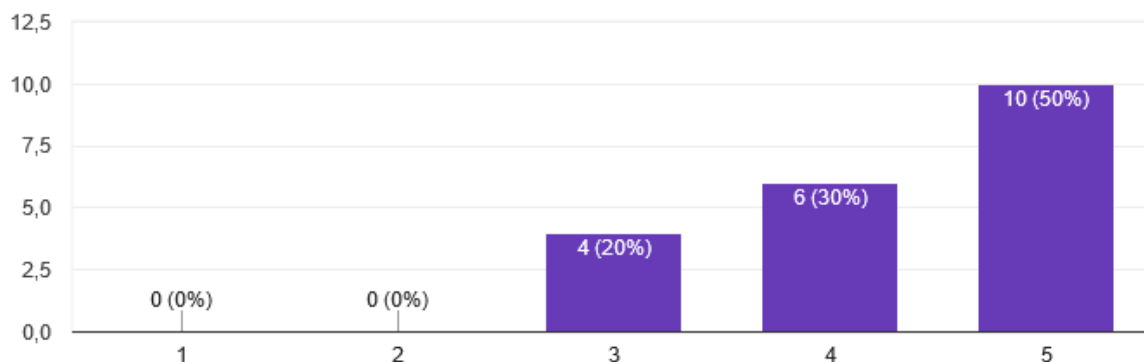


Gráfico 15: Classificações da experiência orientada VR com base nos efeitos vistos

Foi também pedido que os participantes classificassem a experiência relativamente a cada um dos efeitos que viram. Começando pelas bolhas, não houveram classificações negativas ou neutras com treze dos participantes atribuindo ao efeito a classificação máxima e os restantes dando a segunda classificação mais elevada.

No que toca ao fogo das tochas uma maioria dos participantes (sete) deu uma classificação neutra. Seis deram uma classificação de quatro ao efeito e cinco deram uma classificação negativa de dois. Um dos participantes disse detestar o efeito e um disse adorar.

O fogo dos braseiros teve um número idêntico de participantes a dar classificações de dois e quatro, com seis em cada uma, e cinco disseram-se neutros. Os três participantes restantes deram ao efeito a classificação máxima.

Metade dos participantes deram à electricidade uma classificação de quatro em cinco. Um quarto disseram ser neutros em relação ao efeito e três atribuíram a classificação máxima. As classificações negativas foram escolhidas por somente um participante cada uma.

As folhas tiveram um número alto de classificações máximas com a opção tendo sido escolhida por nove participantes, oito participantes deram uma classificação de quatro ao efeito e os restantes três disseram-se neutros em relação a ele. O efeito não teve classificações negativas.

As nuvens tiveram maioritariamente uma classificação neutra por parte de sete sujeitos, um número igual deu classificações de quatro e cinco pontos com cinco indivíduos em cada opção. Dois indivíduos deram uma classificação de dois ao efeito e o restante atribuiu a pior classificação possível.

Classifique a sua experiência relativamente a cada um dos efeitos.

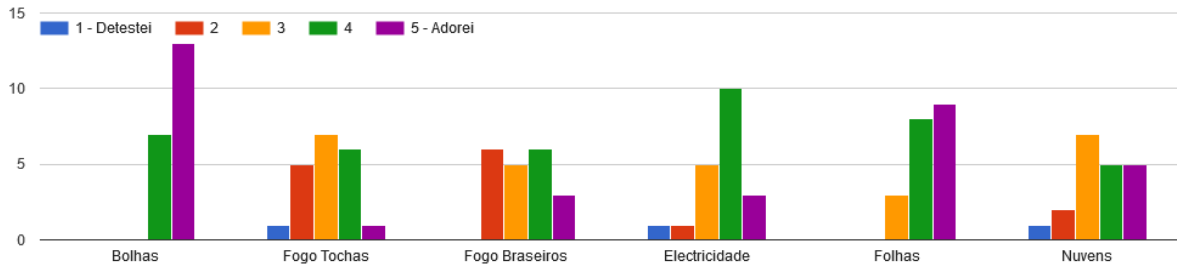


Gráfico 16: Classificações de experiência face cada um dos efeitos (versão VR)

No que toca ao realismo metade dos indivíduos deram às bolhas a classificação mais alta possível, seis deram a segunda mais alta e três foram neutros. O restante sujeito atribuiu uma classificação de dois ao efeito.

Em relação ao fogo das tochas o maior número de classificações foram neutras com oito sujeitos tendo escolhido essa opção. A segunda opção mais escolhida foi a de quatro pontos por parte de seis sujeitos. Quatro participantes atribuíram um dois ao efeito e as opções máxima e mínima foram ambas escolhidas por um sujeito cada uma.

O fogo dos braseiros teve um número igual de classificações de três e quatro pontos com essas opções tendo sido escolhidas por sete sujeitos. Uma classificação de dois foi dada por três indivíduos e classificação mais alta por dois. O indivíduo restante deu ao efeito a classificação mínima.

Quanto à electricidade nove dos sujeitos deram uma classificação intermédia ao efeito. Cinco deram à electricidade uma classificação de quatro e três uma classificação de dois. Dois sujeitos atribuíram ao efeito a classificação máxima e o restante a classificação mínima.

Nove sujeitos deram uma classificação de quatro em cinco pontos ao realismo das folhas; sete outros escolheram a classificação máxima. Três sujeitos não tiveram opiniões particularmente fortes quanto ao realismo e o sujeito restante atribuiu a classificação mínima.

No que toca às nuvens sete dos sujeitos deram uma classificação intermédia ao realismo. Metade dos sujeitos disseram que o efeito estava real com cinco dando uma classificação de quatro pontos e outros cinco dando a classificação máxima. Dois sujeitos deram uma classificação de dois e um deu a classificação mínima.

Classifique o aparente realismo dos efeitos.

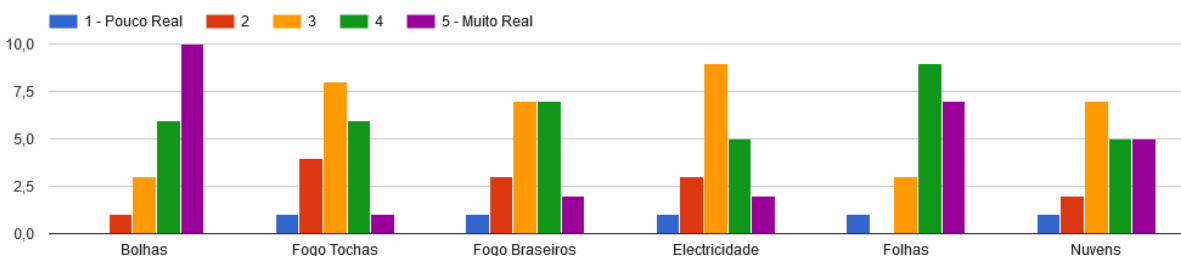


Gráfico 17: Classificações de realismo dos efeitos (versão VR)

Também foi pedido aos sujeitos que ordenassem os efeitos do melhor para o pior tendo em conta a versão de realidade virtual. O consenso para o primeiro lugar foi novamente o efeito de bolhas, tendo sido escolhido por catorze sujeitos. De seguida os efeitos escolhidos foram o de folhas por três sujeitos e o de electricidade por dois. O efeito de nuvens também foi escolhido por um dos participantes. Não há menções do fogo em primeiro lugar.

Em segundo lugar o efeito dominante foi o de folhas tendo sido escolhido por nove dos participantes, seguidamente foram as nuvens tendo sido escolhidas por seis. As bolhas e electricidade foram aqui colocadas por dois sujeitos cada uma e o fogo das tochas foi escolhido por somente um sujeito.

O efeito dominante na terceira posição foi novamente as folhas, sendo escolhido por sete participantes. A electricidade foi colocada em terceiro por quatro indivíduos e o fogo dos braseiros e as nuvens por três cada um. O fogo das tochas foi escolhido por dois sujeitos e as bolhas por um.

Na quarta posição os efeitos mais prevalentes são os das chamas, com ambas as versões tendo sido escolhidas por seis sujeitos cada uma. De seguida veio a electricidade tendo sido escolhida por quatro sujeitos e por último as bolhas e nuvens tendo sido escolhidos por dois cada uma. As folhas não foram colocadas nesta posição por nenhum dos participantes.

O fogo dos braseiros foi o principal efeito na quinta posição, sendo escolhido por oito dos sujeitos. O fogo das chamas foi o seguinte tendo sido escolhido por seis. A electricidade foi aqui colocada por quatro dos participantes e tanto as folhas como as nuvens foram escolhidas por um. Não houve menção das bolhas em quinto lugar.

Na pior posição o efeito principal foi o das nuvens, tendo sido escolhido por sete sujeitos. Seguidamente os efeitos dominantes foram o fogo das tochas e a electricidade tendo sido escolhidos por cinco e quatro participantes respectivamente. O fogo dos braseiros foi colocado na sexta posição por três participantes e as bolhas por um. As folhas não são mencionadas na última posição.

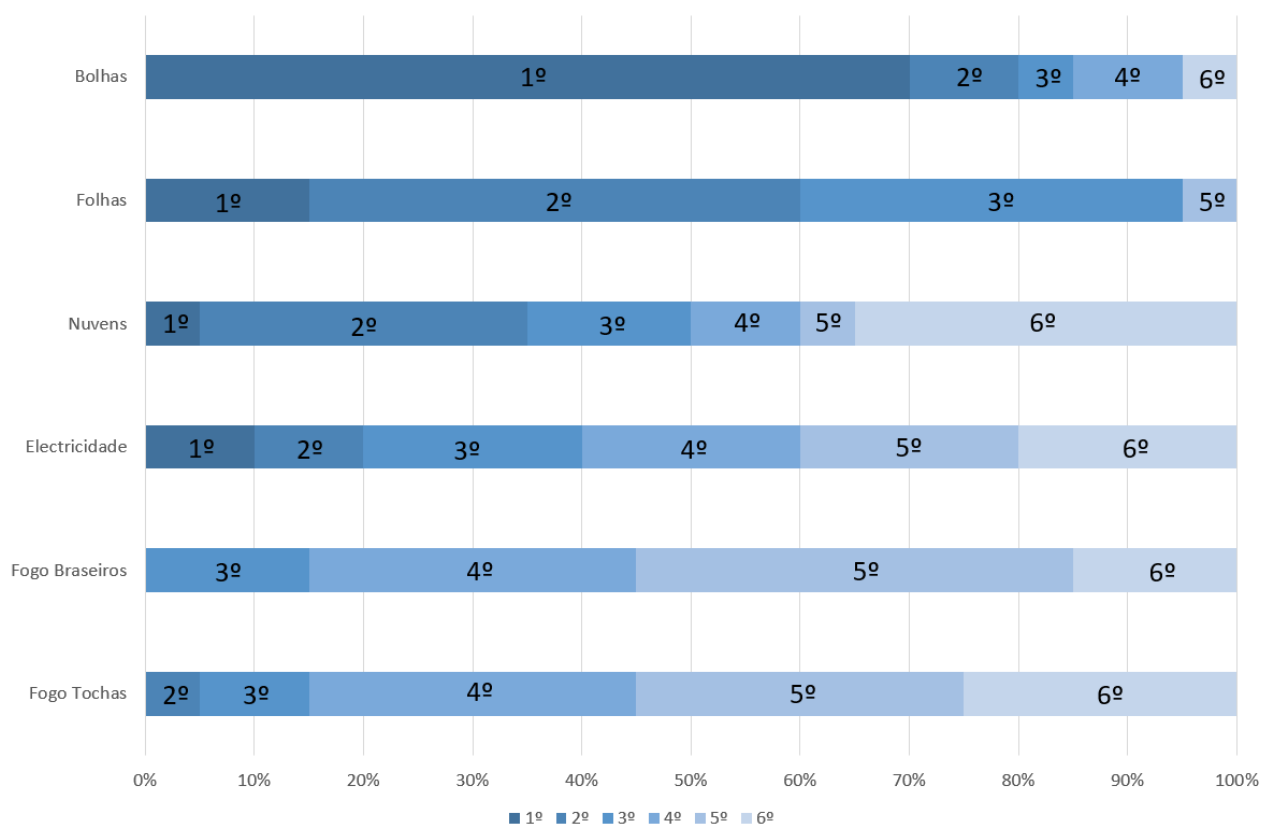


Gráfico 18: Ranking dos efeitos (versão VR)

5 - Discussão

Na secção seguinte os dados obtidos e os seus significados vão ser analisados concretamente tendo em conta a questão a ser explorada, é também aqui que vão ser tiradas as conclusões face ao estudo e onde serão expostas as suas implicações tanto para as tecnologias como para a área de investigação.

5.1 - Questões de contexto

Nas questões iniciais não existe nenhum padrão fora de comum nos dados analisados, virtualmente todas as possibilidades de respostas vêm de indivíduos radicalmente diferentes. A única eventualidade que possa ser notada foi o facto de entre todos os indivíduos que deram a classificação mais alta à experiência quatro deles disseram ter preferido a experiência de realidade virtual e somente um ter preferido a experiência no display 2D. Esses indivíduos também não tinham tido muita experiência prévia em VR, com três deles tendo usado a tecnologia pela primeira vez durante os testes. Os restantes dois apenas tinham tido entre uma a cinco experiências prévias.

Entre os cinco sujeitos que deram uma classificação neutra à experiência a maioria disse preferir a experiência 2D, com dois dos sujeitos preferindo a experiência de realidade virtual. É de valor notar que quatro destes sujeitos já tinham tido bastantes experiências prévias em realidade virtual e o sujeito restante também já tinha usado a tecnologia entre uma a cinco vezes. Nenhum destes sujeitos era inexperiente face às tecnologias de VR. Isso pode significar que as respostas mais extremas no estudo estão ligadas ao nível de utilização prévio da tecnologia.

Falando ainda do nível de experiência em VR; houveram quatro participantes que foram capazes de identificar todos os efeitos de estudo presentes no ambiente, todos esses participantes possuíam um número extenso de experiências em realidade virtual com três deles dizendo usar a tecnologia com regularidade. É possível que a percepção de um utilizador também esteja ligada ao seu nível de experiência com as tecnologias.

Os dois participantes que deram as classificações mais baixas aos efeitos na primeira fase de testes não tinham notado em quase nenhum dos efeitos em particular tendo dado respostas maioritariamente erradas nessa questão. Entre os sujeitos que deram as classificações mais altas a maioria não tinha tido grande experiência prévia em VR com somente um dos sujeitos tendo mais do que cinco experiências prévias. Quatro dos seis sujeitos nunca tinham sequer utilizado realidade virtual.

5.2 - Efeitos

Aqui irão ser expostas as conclusões face aos efeitos analisando as respostas obtidas após a navegação da versão do ambiente que fazia uso de um display tradicional.

5.2.1 - Bolhas

No que toca à versão orientada no display 2D houveram cinco sujeitos que deram uma classificação de três pontos em cinco à experiência com base nos efeitos vistos. Esses mesmos sujeitos navegaram a versão de realidade virtual em primeiro lugar na segunda fase, deixando a versão no display tradicional para o fim. Todos eles também disseram preferir a experiência de realidade virtual após a primeira fase. Relativamente a cada um dos efeitos na versão 2D, estes sujeitos geralmente atribuíram classificações neutras ou negativas à maioria (tanto em preferência pessoal como em realismo); e somente numa instância é que se verificou um dos sujeitos a atribuir uma classificação máxima. É possível que estes sujeitos não tivessem particular interesse em navegar a versão no display tradicional após navegarem a versão de realidade virtual, todos os sujeitos aqui mencionados deram à versão VR do ambiente uma classificação de quatro em cinco pontos.

Na versão VR do ambiente todas as classificações na experiência face ao efeito foram positivas, com treze delas sendo a classificação máxima. Estes valores são ainda mais elevados do que na versão que fez uso do display bidimensional na qual o efeito de bolhas já tinha sido o mais bem classificado.

Os mesmo sujeitos que deram uma classificação neutra à totalidade da experiência em VR classificaram este efeito elevadamente. É de valor notar que alguns destes sujeitos tinham atribuído classificações neutras ao efeito na versão bidimensional. Todos os sujeitos que deram uma classificação neutra a este efeito na versão 2D navegaram a versão de realidade virtual em primeiro lugar na segunda fase e também disseram preferir a mesma. Como mencionado anteriormente esses sujeitos deram uma classificação neutra à totalidade da experiência 2D. Isso poderá significar que após a navegação da experiência em VR o efeito na versão 2D tenha sido percebido negativamente por certos sujeitos que não tenham preferência pelo tipo de display.

Em relação ao efeito das bolhas, houveram cinco sujeitos que lhe atribuíram uma classificação neutra em 2D. Esses foram os mesmos sujeitos que deram a classificação neutra à totalidade da experiência na mesma versão; porém esses sujeitos deram uma classificação alta ao efeito na versão de realidade virtual, apesar de este não apresentar qualquer diferença visual. Estes sujeitos também deram ao efeito

classificações geralmente neutras ou baixas em termos de realismo, à excepção de um que lhe atribuiu em realismo de quatro em cinco pontos.

Em termos de ranking estes sujeitos também posicionaram o efeito relativamente bem, com a posição mais baixa atribuída por eles tendo sido na quarta posição. Houve um outro participante que colocou as bolhas na pior posição na versão 2D; mas mesmo esse participante deu uma classificação de quatro em cinco ao efeito tanto em preferência pessoal como em realismo.

As classificações de realismo na versão de VR foram quase idênticas às da versão 2D, com a única diferença sendo uma classificação máxima a mais e uma de quatro valores a menos. Estes resultados, em par com as classificações mais elevadas face à experiência, poderão querer dizer que apesar de os sujeitos não notarem nenhuma diferença de detalhe no efeito entre as duas versões, a versão VR proporcione uma experiência mais dinâmica, assim favorecendo a sensação de presença. Isto suporta a teoria de que a realidade virtual é capaz de melhor manter a atenção dos utilizadores [Farnsworth, 2017].

Tal como na versão 2D as bolhas foram o efeito predominante na posição mais elevada do ranking em VR, neste caso tendo sido escolhida como favorita por catorze sujeitos. As respostas dos restantes sujeitos foram divididas entre as outras opções e houve inclusive um que colocou o efeito em sexto lugar apesar de ter dado classificações piores a outros efeitos nesta versão. É possível que este tenha sido um erro.

O facto de o efeito ter uma pequena vertente de interactividade pode ser uma mais valia para os utilizadores em geral, mesmo que o efeito tenha pouca fidelidade visual. Fazendo uso de colisões de partículas, de sub-emissores (mesmo que simples), e de eventos sonoros foi possível criar um efeito pouco complexo que aos olhos da maioria dos utilizadores seja capaz de facilmente superar outros mais avançados nos displays bidimensionais e de realidade virtual.

Este resultado não foi propriamente esperado, apesar de se pensar que este efeito em particular estaria bem posicionado não se esperou que ele superasse o efeito de folhas ou de electricidade. Porém, é um bom exemplo que demonstra que fazendo uso de umas vertentes simples da tecnologia é possível compensar certas falhas de design que possam surgir. Estes resultados poderão ajudar no futuro, na criação de elementos imersivos em ambientes que façam uso de displays tradicionais, e demonstram que este tipo de técnicas e efeitos podem ajudar a sensação de presença de um utilizador.

Apesar de se esperar que este efeito obtivesse classificações elevadas na versão de realidade virtual não se esperava que a totalidade de experiências fosse positiva. De qualquer modo pode-se considerar que a utilização de elementos interactivos como colisões e eventos nos sistemas de partículas pode impactar a sensação de presença dos utilizadores de um modo bastante positivo tanto em displays 2D como em displays de realidade virtual, mesmo que os efeitos em questão não tenham o melhor detalhe visual.

5.2.2 - Fogo Tochas

O fogo das tochas recebeu um grande leque de classificações diferentes em 2D, houve um grande número de classificações positivas, mas houve também um número considerável de classificações neutras e até negativas. As duas classificações negativas quanto ao efeito em si foram dadas por dois dos mesmos sujeitos que atribuíram as classificações mais baixas em geral a todos os efeitos; na versão de VR um desses sujeitos atribuiu às tochas uma classificação de quatro pontos enquanto que outro atribuiu uma classificação neutra. O efeito recebeu classificações globalmente mais baixas na versão de realidade virtual do que na versão 2D. Face à experiência, enquanto que na versão 2D o efeito tinha classificações maioritariamente positivas, neste caso grande parte delas foram neutras ou até negativas.

Todos os seis participantes que deram uma classificação neutra à sua experiência perante o efeito disseram ter algum nível de experiência prévia em VR, mesmo que em certos casos fosse reduzida. Em todos os casos menos um eles também disseram preferir a experiência de realidade virtual. No geral, eles deram classificações relativamente altas às experiências globais e ofereceram um grande leque de respostas em relação a cada um dos outros efeitos. Apesar da sua preferência pela versão de realidade virtual do ambiente estes sujeitos foram também bastante críticos perante o efeito nessa versão, atribuindo-lhe maioritariamente classificações neutras ou negativas com somente um dos sujeitos dando uma classificação acima de três. Face ao realismo, somente um destes sujeitos deu ao efeito uma classificação acima de três com a maioria sendo neutra (tirando um sujeito que atribuiu uma classificação negativa).

Tirando uma classificação máxima, todas as outras classificações face à experiência ligada ao efeito foram de quatro em cinco pontos. O sujeito que atribuiu a classificação máxima disse não ter qualquer experiência prévia em VR e preferir a versão 2D. Face ao efeito na versão VR esse sujeito deu uma classificação neutra ao mesmo efeito. Quanto ao realismo em 2D esse sujeito deu uma classificação de quatro em cinco pontos; porém posicionou o efeito na pior posição no ranking.

Apesar do efeito ter tido classificações positivas em VR, é de valor notar que os sujeitos que deram essas classificações atribuíram classificações igualmente altas a todos os efeitos nessa versão; o sujeito que deu uma classificação máxima fez o mesmo a todos os outros efeitos. Esse mesmo sujeito nunca tinha tido uma experiência prévia em realidade virtual, portanto é possível que o facto de estar a usar tecnologia pela primeira vez tenha influenciado as suas classificações.

A classificação de realismo na versão 2D deste efeito obteve um número majoritário de três pontos e em duas ocasiões obteve também classificações mínimas. Apesar dessas classificações reduzidas face ao realismo, uma grande parte dos utilizadores deu uma classificação alta à experiência face ao efeito, o que poderá indicar que apesar de não acharem o efeito particularmente realista tal não retraiu à sua experiência.

No que toca às classificações de realismo em realidade virtual, as classificações foram quase idênticas às de experiência, a única diferença sendo menos uma classificação de dois e mais uma de três. Globalmente, os participantes classificaram o efeito negativamente no ranking quando comparado com outros. A maioria deles tendo-o colocado na quarta e quinta posição, um quarto dos sujeitos colocou-o também em último lugar. Nenhum dos sujeitos colocou o efeito na primeira posição, mas um deles colocou-o na segunda e outro na terceira. Porém nesses casos os sujeitos deram ao resto dos efeitos classificações ou globalmente elevadas, ou globalmente baixas.

Todos os sujeitos deram ao efeito uma classificação de três ou menos no ranking 2D, apesar de certas pontuações em relação à experiência e realismo serem positivas. Na versão 2D o fogo das tochas está mais visivelmente posicionado na terceira posição, mas apesar disso está também altamente classificado nas quintas e sextas posições; mesmo que nessas esteja abaixo de outros efeitos.

Em VR um número mínimo de participantes parece preferir este efeito quando comparado com outros, mas no geral a percepção dele foi maioritariamente negativa, apesar de não ser o pior classificado. Estes resultados são mais negativos quando comparados com os resultados existentes na versão que faz uso do display tradicional. É possível que a imersão de VR faça com que certas falhas no efeito sejam mais aparentes neste tipo de displays, o que explicaria a diferença nas classificações e neste caso significaria que o efeito impacta a sensação de presença negativamente neste ambiente virtual.

O que se pode tirar de estes dados, é que apesar de o efeito possuir algumas inconsistências visuais estas em certos casos sejam pouco problemáticas quando comparadas com outros efeitos como o fogo dos braseiros ou electricidade. Apesar de uma maioria dizer gostar do efeito, no final muitos possuíam uma atitude neutra face a ele, é possível que ele não se destaque positivamente por causa do baixo número de partículas a que faz *spawn* ou pelas texturas de *rolling* que usa, apesar de com um número tão baixo de partículas CPU elas não fossem particularmente notáveis ainda eram de certa forma visíveis. Apesar de existir um número elevado de classificações negativas em 2D, é possível que este não seja tão alto como os de outros efeitos pois a sua coerência visual seja mais precisa. Isso pode-se dever ao facto de se usar um módulo de iluminação com as partículas para adicionar uma profundidade de realismo ao efeito, ou ao facto de já que o número de partículas seja menor não se notem os problemas visuais causados pelas texturas *rolling* neste tipo de efeito.

Visto que o efeito tenha sido apreciado pela maioria dos sujeitos, apesar das classificações não serem universalmente elevadas e de o realismo não ter sido considerado o melhor, pode-se dizer que este tipo de técnicas, nomeadamente as texturas *rolling* e a iluminação de partículas, sejam úteis para a criação de efeitos menores em ambientes 2D, particularmente efeitos de pouca importância onde não se espera que um utilizador lhes dedique demasiada atenção. Porém nesse caso deve-se exercer cautela, particularmente com os módulos de iluminação que são capazes de exigir bastante poder de processamento se usados em

demasia. É provável que o uso dessas mesmas técnicas de criação de partículas não sejam indicadas para um ambiente que utilize tecnologias de realidade virtual; a maioria dos participantes parece reagir negativamente face a elas e por esse motivo usar estas técnicas mesmo para efeitos de segundo plano pode ser arriscado. Estima-se que o problema não esteja no uso de módulos de iluminação e de sub-emissores mas sim no uso das texturas *rolling* neste tipo de partículas, onde se notariam a maior parte das inconsistências visuais neste caso. Após se analisarem os dados obtidos face às chamas dos braseiros também se pensa que os resultados são devido ao uso de partículas de CPU e ao número reduzido de partículas a ser criado.

Esperavam-se resultados mais positivos face a este efeito e a este tipo de técnicas em 2D, apesar de a utilização de partículas de CPU forçar a criação de sistemas com um número reduzido de partículas pensou-se que a utilização de texturas *rolling* para “unir” as diferentes unidades fosse ser uma mais valia incrivelmente positiva para a coerência total do efeito. A utilização de módulos de luz pareceu ajudar o total do efeito, pelo menos quando comparado com o fogo dos braseiros, que apesar de fazer uso da mesma técnica de *rolling* obteve classificações mais baixas em 2D. Apesar disso, os resultados não foram tão altos como o esperado, no entanto os dados adquiridos poderão ajudar na criação de sistemas para ambientes futuros.

Os resultados em VR foram algo de esperado, pensava-se que os participantes não teriam uma boa reacção face ao efeito neste tipo de displays pois graças à imersividade oferecida pelo display de VR ele não pareceria ter um aspecto tão detalhado como o obtido no display 2D; adicionalmente como verificado no desenvolvimento de protótipos, demasiada proximidade às chamas faria ainda uma repetição da textura *rolling* o que causa um efeito nauseante.

5.2.3 - Fogo Braseiros

Em termos de experiência pessoal, as chamas dos braseiros tiveram classificações globalmente mais baixas do que as das tochas em 2D, se bem que apenas ligeiramente. Houve uma classificação máxima a mais, mas o número de classificações neutras também é mais alto enquanto que o de quatro valores é mais baixo. No entanto, o número de experiências continuou a ser relativamente positivo, apesar de não haver

nenhum padrão discernível no tipo de sujeitos que escolheu as classificações excepto naqueles que deram as classificações mais altas.

Esses dois sujeitos deram classificações globalmente elevadas a todos os efeitos na versão 2D, e ambos também navegaram essa versão em primeiro lugar durante a segunda fase. No entanto, durante a versão de VR da segunda fase esses sujeitos foram relativamente mais críticos face à sua experiência com certos efeitos; é possível que as falhas visuais dos efeitos como sendo menores na versão tradicional do ambiente não apresentassem problemas para estes sujeitos. É de valor notar, que ambos estes sujeitos identificaram um número considerável de efeitos sem orientação.

Na versão de realidade virtual este foi um efeito conflictuoso, face à experiência recebeu um número idêntico de classificações de dois e quatro. Também recebeu três classificações máximas e os cinco participantes restantes disseram-se neutros face a ele.

Não pareceram existir padrões quanto às classificações na maioria dos casos. Não existiam constantes nem em experiências prévias, ordem de navegação, idade ou género; no entanto os participantes que deram classificações máximas ao efeito disseram todos preferir a versão VR e deram classificações bastante elevadas a todos os efeitos. Nenhum desses participantes em questão deu uma classificação tão elevada ao efeito na versão 2D do ambiente. O facto de este efeito ser tão divisivo sem nenhum padrão discernível pode indicar que apesar de estarem a ver exactamente o mesmo efeito diferentes participantes formem diferentes opiniões em relação a ele.

No que toca ao realismo do efeito 2D, de um modo global as classificações foram mais baixas do que à experiência face a ele, também foram consideravelmente mais baixos do que o realismo no fogo das tochas. Trinta por cento dos sujeitos deram ao efeito uma classificação negativa, apenas cinco por cento menos ou um participante a menos do que aqueles que deram classificações positivas. Todos os restantes participantes deram uma classificação intermédia ao realismo do efeito. Entre os participantes que deram classificações negativas ao efeito estão incluídos também alguns que deram classificações positivas à sua experiência face a ele.

Em VR existe um número igual de participantes a dar classificações de três e quatro ao realismo. Existe uma classificação mínima e o número de classificações de dois foi reduzido para metade. Também houve uma classificação máxima a menos. Somente uma dessas classificações máximas foi dada por um dos sujeitos que atribuiu uma classificação máxima na experiência, a outra foi atribuída por um dos sujeitos que disse ter uma experiência negativa. Esse mesmo sujeito colocou o efeito em último lugar no ranking. Apesar de o sujeito achar o efeito muito realista, é possível que tenha tido uma experiência negativa devido a algum tipo de náusea de simulação ou outro factor externo. Também é possível que simplesmente não tenha apreciado o efeito, apesar do aparente realismo percebido. Rejeita-se a possibilidade de este ser um erro pois o mesmo sujeito deu ao efeito de chamas nas tochas uma classificação máxima em realismo

apesar de em experiência ter dado uma classificação mínima; no entanto as causas para estas respostas não passam de suposições.

Tal como as chamas nas tochas, estes resultados em 2D poderiam significar que o efeito funcionaria bem como efeito secundário existente no fundo de uma cena ou ambiente, porém ao olhar para a sua posição no ranking essa noção desaparece. Apenas um participante classificou o efeito numa posição acima de quatro na versão tradicional do ambiente; a maioria dos sujeitos colocou o efeito na quinta posição e um número elevado colocou-o na quarta e sexta. Toda a maioria das classificações são negativas quando face a outros efeitos, e isso é também reforçado pelas suas classificações negativas no realismo.

A maioria dos participantes também colocou o efeito nas últimas posições no que toca ao ranking na versão VR, apesar do número elevado de classificações positivas em experiência e realismo. Pensa-se que isso se deve ao facto de a maioria dos participantes que disse ter experiências positivas face a este efeito também tenha dito o mesmo em relação a outros. O efeito esteve predominantemente na quinta posição, com 8 votos. Somente quinze por cento dos participantes colocou o efeito numa das classificações mais elevadas, tendo-o colocado em terceiro.

É possível que o número de classificações baixas seja maior neste efeito do que no das tochas pois neste caso havia um número mais elevado de partículas a ser criado, graças ao facto de se usarem partículas de GPU; isso em muitos casos poderia significar uma melhoria de detalhe no efeito [Drone, S, 2007], mas nesta situação ao fazer uso das texturas *rolling* isso possivelmente terá retirado ao resultado final. Apesar de se unificarem as partículas individuais para se formar um todo a ilusão era quebrada por certos movimentos. Com o uso de sub-emissores para adicionar algum detalhe é possível que as classificações não tenham sido tão baixas como poderiam ser.

Tendo em conta as classificações de realismo e o rating deste efeito talvez seja ineficaz a utilização de texturas *rolling* junto com emissores de GPU para a criação de sistemas primários para uma cena num ambiente tradicional. Para criar um efeito do género daquele que foi aqui utilizado seria possivelmente uma boa prática tentar aumentar o número de partículas usadas consideravelmente sem utilizar uma textura para as unir. Apesar deste efeito ter tido resultados razoavelmente positivos face à experiência os pontos negativos no realismo e rating poderiam ser um risco demasiado grande para justificar a utilização das técnicas aqui usadas num novo ambiente. A utilização excessiva de tais técnicas, de um modo na qual tenham destaque, poderá afectar negativamente a presença dos utilizadores.

Mesmo com as experiências positivas face ao efeito e as classificações de realismo, no geral as chamas dos braseiros ficaram relativamente mal classificadas em VR, apesar de não tão negativamente do que em 2D. Isso poderá significar que apesar de uma porção elevada dos participantes dizer ter experiências positivas face ao efeito este poder não ser tão notável quando comparado com outros, colocando as suas respostas finais em linha com as dos sujeitos que dizem ter experiências negativas ou neutras.

No entanto apesar de um certo número de participantes dizer ter experiências negativas face ao efeito, estas classificações não foram as mais baixas possíveis e alguns tiveram opiniões mais elevadas face ao realismo. Desse modo pode-se considerar que apesar de o tipo de técnicas usadas neste tipo de chamadas poder não ser ideal para uso de efeitos primários, podem completar uma cena de realidade virtual ao serem usadas na criação de elementos de fundo. Mesmo que muitos dos sujeitos de teste digam ter tido experiências ultimamente positivas, considera-se melhor não utilizar estas técnicas em elementos primários para não alienar uma porção dos utilizadores.

Apesar de as partículas de GPU poderem ser usadas para criar efeitos de grande volume com alto detalhe, o uso de texturas *rolling* nesta situação não ajudava a coerência total do efeito. Apesar de ao longe e com certos ângulos de movimento o uso da técnica poder dar uma aparência melhor ao efeito, quando este é observado com atenção e de certas formas (rotação, translação da câmara por exemplo) é possível observar as inconsistências visuais. Ainda mais, com aproximação ao efeito era possível ver a repetição da textura, algo que não era tão facilmente notável com a utilização desta técnica em volumes menores de partículas, como o realizado no fogo de CPU.

Dessa forma, estes resultados ajudam a reforçar o ponto feito anteriormente, de que o uso de texturas *rolling* nos materiais possam ajudar certos efeitos com baixos volumes de partículas se estes forem colocados numa posição de fundo. Tal poderia, apesar dos seus pequenos problemas visuais, ajudar a sensação de presença de um utilizador desde que a atenção deste não fosse deliberadamente desviada para os efeitos em questão.

É possível que estes resultados em VR sejam mais positivos face às chamadas usadas nas tochas devido ao número mais elevado de partículas criado pelas partículas de GPU, devido a essa ser a principal diferença do outro efeito para este.

Estes resultados foram completamente inesperados, nunca se estimou que houvesse uma resposta tão divisiva neste efeito, independentemente da versão do ambiente no qual ele era visualizado. Não se imaginou de forma alguma que o efeito pudesse impactar a sensação de presença positivamente num número tão elevado de sujeitos. Aliás, pensava-se que tal como nas tochas, que a versão de VR causasse reacções negativas face ao efeito pois pensou-se que o HMD ajudasse os participantes a ver inconsistências visuais nas texturas *rolling*.

5.2.4 - Electricidade

Entre todos os efeitos criados o de electricidade foi aquele que em 2D recebeu o número mais elevado de classificações neutras face à experiência pessoal, com um total de oito. Foi também aquele que recebeu o número mais elevado de classificações negativas tendo duas classificações mínimas e uma de dois. Apesar disso, ainda houveram um número de classificações positivas, com a maioria sendo até de classificações máximas. Essas classificações foram todas dadas por sujeitos entre os dezassete e os vinte e três anos de idade.

Todos os sujeitos que atribuíram classificações máximas ao efeito também lhe atribuíram classificações elevadas no realismo, com somente uma delas sendo um quatro e não um cinco. Os três indivíduos que atribuíram uma classificação negativa fizeram o mesmo face ao realismo. Isso poderá significar que certos indivíduos respondam bem à utilização de *beam particles* e apreciam a sua utilização, pelo menos em ambientes tradicionais, enquanto que outros tenham uma resposta universalmente negativa.

Os participantes que deram classificações negativas à sua experiência face ao efeito e foram críticos do seu realismo deram-lhe exactamente a mesma classificação nessa segunda questão. No entanto, dois desses sujeitos deram ao efeito uma classificação mais elevada face à experiência na versão VR do ambiente apesar de nessa versão continuarem a ser críticos no que toca ao realismo. Pode ser que isto signifique que o método de display tenha impacto directo na percepção de certos efeitos nos quais não existe diferença visual, melhorando assim a sensação de presença e a experiência dos utilizadores.

Apesar do número de impressões neutras e positivas face à experiência o mesmo não se pode dizer do efeito face ao realismo. Existe um número elevado de classificações negativas, com a classificação de dois estando em pé de igualdade com a classificação máxima com cinco votos em cada uma das quais. As classificações de três e quatro também estão empatadas com quatro votos em cada e os restantes votos foram colocados na classificação mínima.

Um número considerável de sujeitos que disse ser neutro face ao efeito deram-lhe classificações negativas no realismo, e colocaram-no em último lugar no ranking de efeitos. Isto poderá ser um indício de que este tipo de efeitos não tem impacto positivo na experiência dos utilizadores num ambiente bidimensional; no entanto os participantes que atribuíram classificações positivas ao efeito, tanto na experiência como no realismo, colocaram o efeito em posições elevadas, o que divide a questão.

Na versão de realidade virtual o efeito recebeu um número elevado de classificações positivas com metade dos participantes tendo atribuído ao efeito classificações de quatro em cinco pontos no que toca à experiência. Um quarto dos participantes disse-se neutro ao efeito e somente houveram duas classificações negativas. As restantes três foram classificações máximas.

Os participantes que deram classificações negativas ou neutras a este efeito também o fizeram na versão bidimensional do ambiente, tendo em muitos casos colocado o mesmo na última posição do ranking nessa versão. Esse facto não se alterou na versão de realidade virtual para este efeito em particular. Interessantemente, alguns destes sujeitos deram ao efeito classificações mais elevadas no realismo da versão bidimensional.

Na versão com o display 2D, a maioria dos participantes que atribuíram uma classificação positiva ao efeito de electricidade fizeram-no com uma classificação máxima. A maioria desses participantes deu uma classificação mais baixa em VR, apesar de nunca terem sido negativas. As classificações que deram ao realismo também foram mais baixas. É possível que apesar de as classificações globais serem positivas, que a tecnologia de VR demonstre alguma inconsistência visual que prejudique a experiência de certos sujeitos, explicando assim a existência de classificações mais elevadas em 2D.

No que toca ao realismo, na versão VR houve uma redução de classificações tanto positivas como negativas comparativamente à versão 2D. A maioria dos participantes deu ao efeito três em cinco pontos. No entanto, o número de classificações positivas é menor do que o número de classificações negativas. No geral os participantes que deram classificações positivas ao realismo na versão VR ou não possuíam qualquer experiência ou possuíam um número reduzido de experiências com a tecnologia, com somente um dizendo usar a tecnologia com regularidade. É possível que como a maioria destes sujeitos não tivessem grande fluência com as tecnologias que não tivessem uma base de crítica tão elevada face ao realismo de certos efeitos.

O efeito de electricidade foi colocado em sexto lugar pelo maior número de sujeitos na versão 2D, superando o fogo das tochas ou braseiros por dois pontos. Somente trinta por cento dos participantes colocou este efeito acima da quarta posição. Nenhum dos sujeitos que se disse neutro face ao efeito o colocou numa das posições positivas nesta última questão. Isto reforça a teoria de que este tipo de efeitos pode suscitar reacções primariamente negativas nos sujeitos.

O efeito esteve maioritariamente posicionado entre as posições mais baixas no ranking VR. As posições de terceiro a sexto lugar tiveram um número igual de votos com quatro a cada uma. As restantes duas tiveram dois votos, igualmente. Esta é uma margem ligeiramente mais elevada do que a existente na versão 2D. Neste caso, apesar de um número considerável de sujeitos ter colocado este efeito em posições baixas o número de votos é menor do que os de outros efeitos nas mesmas posições.

Tendo em conta estes resultados é possível que evitar a utilização de *beam particles* em sistemas de primeiro plano seja uma jogada ideal, pelo menos no que toca a ambientes vistos com tecnologias 2D. Apesar de para um certo grupo de utilizadores a tecnologia parecer causar reacções primariamente positivas, mesmo quando em oposição a outras técnicas e efeitos, no geral o consenso parece ser que a sua utilização

não é apreciada pela maior parte dos indivíduos e será melhor evitá-la para não afectar negativamente a presença dos utilizadores. No entanto, como o efeito criado por este tipo de tecnologias é difícil de substituir é provável que o seu tipo de utilização seja inevitável em casos incrivelmente específicos. Mesmo com alguns sujeitos sendo críticos do realismo a maioria pareceu não ter problemas com o efeito em VR. Desse modo pode-se dizer que o uso de *beam particles* seja uma mais valia para a sensação de presença dos utilizadores em ambientes de realidade virtual; primariamente na criação de efeitos de fundo em segundo plano, mas acredita-se que usar este tipo de partículas para efeitos primários não afecte negativamente a experiência dos utilizadores.

Esperavam-se resultados mais positivos para esta tecnologia pois o tipo de efeitos que cria possuem bastante fidelidade visual quando comparados com outras. No entanto, é possível que a sua utilização sofra de alguns problemas de contexto, já que este género de partículas só são usadas para situações específicas. É possível que usando esta tecnologia num ambiente bidimensional com um contexto diferente, diga-se futurista, ou de ficção-científica, os resultados fossem divergentes e mais positivos.

5.2.5 - Folhas

Na versão 2D do ambiente o efeito de folhas recebeu classificações globalmente positivas com a classificação mais escolhida tendo sido a máxima. Trinta por cento dos sujeitos disseram-se neutros face ao efeito e dois deram uma classificação negativa. Os restantes participantes deram ao efeito quatro pontos em cinco. Em VR as classificações são ainda mais elevadas do que as da versão 2D; acredita-se que isto seja devido ao HMD, que permitiu que os sujeitos vissem o efeito de um modo mais dinâmico. Houveram somente três classificações neutras, com essas sendo as únicas abaixo de quatro. Nove dos sujeitos deram uma classificação máxima ao efeito.

A maioria dos sujeitos que deu uma classificação máxima à sua experiência com o efeito disse não ter, ou ter poucas experiências com realidade virtual. Entre os sujeitos que deram classificações neutras dois deles disseram preferir a versão 2D. Um dos sujeitos deu classificações baixas ao efeito em ambas as versões tanto na experiência como realismo, estima-se que este caso seja apenas uma opinião pessoal do participante em relação ao efeito e apesar das classificações mínimas este sujeito colocou o efeito na terceira posição no ranking.

Em 2D os participantes foram mais críticos face ao realismo do efeito, apesar de as avaliações terem sido maioritariamente positivas o número de classificações negativas subiu e o de classificações máximas diminuiu quando comparado com as classificações de experiência dos participantes. Os sujeitos que deram

classificações negativas ao realismo do efeito foram aqueles que também o fizeram face à experiência em relação a ele e dois dos que se disseram ser neutros. Outros dois sujeitos que se disseram neutros face à experiência deram ao efeito uma classificação alta em realismo.

Três dos sujeitos que deram uma classificação negativa ao realismo das folhas colocaram seguidamente o efeito em segundo lugar no ranking final. É de valor notar, que estes sujeitos disseram ter tido uma experiência neutra ou negativa em relação às folhas, mas que globalmente também disseram ter tido experiências negativas ou neutras face a todos os efeitos na versão 2D. Todos estes sujeitos disseram ter preferido a versão de realidade virtual e na mesma deram classificações elevadas à sua experiência face ao efeito. É possível que o facto de o efeito ter sido visualizado no display tradicional tenha afectado negativamente a experiência de certos sujeitos, mas que estes ainda reconhecessem este efeito como mais imersivo que outros.

Quanto ao realismo VR, os participantes também atribuíram classificações elevadas, no entanto a maioria de classificações passou de cinco para quatro pontos. O número de classificações neutras foi o mesmo e houve uma classificação mínima, por parte do sujeito mencionado anteriormente. Isto também é uma melhoria face à versão 2D na qual houveram mais classificações negativas e neutras.

No geral o efeito ficou tremendamente bem posicionado no ranking 2D, com exactamente metade dos participantes tendo-o colocado em segundo lugar. Somente três sujeitos colocaram este efeito abaixo da terceira posição, tendo-o colocado na quinta. Os restantes sujeitos colocaram o efeito nas terceira e primeira posições.

Tal como na versão 2D, este efeito ficou primariamente na segunda posição do ranking VR, tendo lá sido colocado por nove dos sujeitos. Três também o colocaram na primeira posição e sete na terceira; um sujeito colocou o efeito na quinta posição, no entanto esse sujeito deu classificações elevadas a todos os efeitos com excepção da electricidade. Essa foi a única classificação abaixo de terceiro para este efeito na versão de realidade virtual, uma melhoria quando comparado com a versão 2D, se bem que ligeira. Estes resultados fazem do efeito de folhas o segundo mais bem posicionado na versão VR, imediatamente a seguir às bolhas, que dominaram a primeira posição.

Em termos de presença o uso de *mesh particles* parece ser ideal para a criação de efeitos em ambientes 2D e VR causando experiências positivas em quase na totalidade dos utilizadores. Novamente, acredita-se que isto se deva à grande fidelidade visual que vem do uso de *meshes* 3D como partículas. No entanto deve-se ter cuidado com o excesso de efeitos criados com esta tecnologia, de forma a não exigir demasiado poder de computação.

Os resultados positivos para este efeito foram algo de esperado, acreditava-se que a maioria dos participantes teria reacções positivas aquando da visualização do sistema criado para o ambiente independentemente da versão na qual este foi navegado e também graças ao facto de as partículas 3D causarem poucas inconsistências visuais.

5.2.6 - Nuvens

O efeito de nuvens recebeu classificações primariamente positivas em 2D com a maioria sendo de quatro em cinco pontos. Recebeu o número mais baixo de classificações neutras com apenas quatro e teve duas classificações negativas de dois pontos. Os seis participantes restantes deram uma classificação de quatro relativamente à sua experiência com o efeito.

Todos os sujeitos que atribuíram a este efeito classificações elevadas face à experiência 2D também o fizeram no realismo, à excepção de um, que lhe deu uma classificação intermédia. Nesse sujeito em particular, esta classificação intermédia foi a mais elevada que deu face ao realismo, com a classificação que deu à experiência face às nuvens tendo sido a mais elevada dessa secção.

Em VR as nuvens receberam o número mais alto de classificações neutras face à experiência, em par com o fogo das tochas. Recebeu um número igual de classificações de quatro e cinco e também teve um total de três classificações negativas. No geral os sujeitos que deram classificações altas a este efeito também o fizeram na versão 2D; todos eles também disseram preferir a versão de realidade virtual.

Este efeito recebeu o mesmo valor exacto de classificações tanto na experiência como no realismo, no entanto em muitos casos essas classificações não foram dadas pelos mesmos sujeitos. Isto é uma mudança radical quando comparado com os dados da versão 2D, onde o efeito recebeu classificações maioritariamente positivas em ambos os aspectos. É provável que muitos dos participantes tenham notado as inconsistências visuais existentes em VR com alguns movimentos do HMD.

Tocando novamente no realismo 2D, este efeito ficou bem classificado tendo tido o segundo número mais alto de classificações positivas a seguir às bolhas, apesar de a maioria dessas classificações serem de quatro em cinco pontos. Recebeu também três classificações negativas e quatro intermédias. Dois desses sujeitos que deram as classificações negativas colocaram o efeito em último lugar no ranking, o sujeito restante colocou-o em terceiro lugar, mas porém deu classificações ainda mais baixas a outros efeitos. Estes três participantes estão entre o grupo de sujeitos que não notou nenhum efeito em particular, é possível que simplesmente não tenham uma resposta positiva perante este efeito.

O efeito ficou medianamente posicionado no ranking 2D, com cinquenta-e-cinco por cento dos participantes tendo-o posicionado entre as três primeiras posições com seis dessas respostas colocando-o em segundo lugar. O efeito também foi colocado na primeira e terceira posição por três sujeitos em cada uma. Um quarto dos sujeitos colocaram-no na quarta posição e um colocou-o na quinta. Os restantes sujeitos colocaram-no em último.

Metade dos sujeitos colocaram o efeito em posições positivas no ranking VR enquanto que a outra metade o colocou nas últimas posições, no entanto este foi aparentemente o efeito menos preferido, tendo sido colocado na pior posição por sete sujeitos. O efeito também recebeu um número elevado de posições em segundo lugar, com seis votos, muitos dos quais tendo sido por parte dos sujeitos que lhe atribuíram classificações elevadas. Isto poderá significar que uma parte dos sujeitos não notam as inconsistências que as texturas de SubUV causam em realidade virtual.

Vendo os resultados, isto poderá significar que a maior parte dos sujeitos gosta do aspecto do efeito em 2D, no entanto a maioria parece pensar que este não seja tão bom quando comparado com outros, o que explicaria a posição dividida no ranking apesar dos resultados positivos face à experiência e realismo e o facto de mesmo que a maioria dos resultados fossem positivos estes não fossem uma classificação máxima.

Segundo estes resultados é possível que o uso de texturas de SubUV para partículas num ambiente bidimensional seja uma mais valia. Apesar de não terem uma resposta tão positiva por parte dos utilizadores quando comparado com outros efeitos os resultados são maioritariamente positivos o que poderá impactar positivamente a sensação de presença em certos ambientes mesmo que os efeitos que façam uso da tecnologia estejam em primeiro plano.

No que toca à versão VR, apesar de o efeito ainda ter tido um número considerável de classificações positivas no ranking ele foi maioritariamente reconhecido como o pior efeito quando comparado com outros e teve reacções divisórias em experiência e realismo. Com estes resultados pode-se dizer que é bastante possível que a sensação de presença seja negativamente afectada em realidade virtual devido ao uso de este tipo de técnicas. Apesar de um certo número de participantes ter dado classificações positivas, é preciso ter em conta que este efeito não era tão proeminente como outros o que pode ter afectado o seu julgamento.

Mesmo não tendo em conta os participantes, o efeito demonstrava ter problemas visuais bastante graves em realidade virtual durante a fase de protótipos. Também por esse motivo recomenda-se não usar texturas SubUV em realidade virtual, é possível que as falhas visuais sejam ainda mais prevalentes se a técnica for usada num efeito que seja visível de múltiplos ângulos.

Os resultados obtidos estão em linha com o esperado. Pensava-se que a utilização de partículas com texturas de SubUV seria relativamente bem-recebida por parte dos participantes (pelo menos no que toca a

ambientes que fizessem uso de displays tradicionais) devido primariamente à grande variedade de *sprites* a serem usadas, o que provou ser o caso nesta situação; apesar de se pensar receber classificações mais elevadas.

Os resultados negativos em VR também foram algo de esperado, durante o desenvolvimento do estudo encontraram-se testemunhos online de outros desenvolvedores que disseram ter problemas com a tecnologia em realidade virtual, e durante a criação dos protótipos os mesmos problemas verificaram-se sem nenhuma aparente solução. É possível que no futuro hajam soluções para este problema, mas também é provável que surja uma alternativa funcional para VR. Não se esperavam tantos resultados positivos face ao efeito, no entanto o facto de certos participantes não verem as inconsistências foi algo tido em conta.

5.3 - 2D ou VR?

Comparando as classificações dadas à totalidade da experiência, a maioria dos participantes disse preferir a versão VR do ambiente. Essa versão também teve um número mais elevado de classificações máximas tendo sido dadas por metade dos sujeitos. Na versão 2D a opção mais escolhida foi a de quatro pontos, com as de três e cinco tendo sido seleccionadas por um quarto dos sujeitos cada uma.

Os efeitos de bolhas e folhas tiveram classificações elevadas em ambas as versões, no entanto estas mostraram ser mais elevadas na versão de realidade virtual, mesmo não tendo nenhuma alteração visível. Por outro lado, as chamas das tochas e as nuvens possuíram classificações mais negativas em realidade virtual enquanto que na versão 2D tinham sido positivas até um certo grau. As chamas dos braseiros também foram consideravelmente positivas em 2D enquanto que na versão VR deram uma resposta dividida. O efeito de electricidade foi reconhecido positivamente na versão de VR, enquanto que na versão bidimensional teve classificações mais negativas.

Pode-se dizer que com recurso a efeitos a versão 2D parece ser geralmente melhor para a sensação de presença dos utilizadores; no entanto a maioria dos participantes diz preferir a versão de realidade virtual, e esse é um factor importante.

Mesmo com um número mais elevado de efeitos a afectar a experiência negativamente a grande massa dos utilizadores disse ter preferência pelo ambiente VR, isso parece significar que este seja globalmente melhor para a sensação de presença dos participantes, não só com recurso a efeitos. No entanto estes resultados não descartam o uso de ambientes 2D, pelo contrário eles parecem ter um ponto forte no que toca a detalhe com técnicas de criação de partículas existentes actualmente.

6 - Conclusão

Este estudo demonstrou que certas técnicas de criação de partículas têm diferentes efeitos nos utilizadores dependendo do tipo de display no qual são visualizadas, seria de esperar que nem todos os resultados fossem positivos, no entanto isso somente demonstra que é necessário ter alguns cuidados com a escolha de certas tecnologias na criação de um ambiente virtual.

Também se viram sinais de que, pelo menos no que toca a certas técnicas de criação de partículas, as tecnologias de display 2D podem demonstrar resultados mais positivos do que as tecnologias de realidade virtual. No entanto, a opinião geral parece ser que os utilizadores preferem o uso de HMD's, pelo menos quando se falam de ambientes digitais. É possível que o facto de a tecnologia ainda ser uma novidade tenha influenciado os resultados, no entanto seria interessante ver que tipos de resultados seriam obtidos no futuro quando a tecnologia for mais abrangente ou até standard.

Foi possível identificar certos problemas para os utilizadores em técnicas de criação de partículas, mas também se descobriram resultados positivos interessantes que não eram propriamente esperados; esses resultados poderão ajudar a criação de futuros ambientes ou jogos de vídeo e poderão até abrir questões que podem ser exploradas em estudos futuros, nomeadamente quando falando de interactividade de partículas.

Este próprio estudo poderia ser futuramente retrabalhado e expandido fazendo uso, como inicialmente planeado, de diversos protótipos diferentes explorando as mesmas técnicas e ainda testando outras técnicas ou tecnologias de partículas como *fluid particles* ou o uso de *vector fields*. Os resultados também poderiam ser comparados com tipos de HMD's diferentes e tendo uma maior quantidade de sujeitos de teste.

Referências

Reeves, W, T (1983). Particle Systems – A technique for Modelling a Class of Fuzzy Objects. Lucasfilms LTD.

Drone, S (2007). Real-Time Particle Systems on the GPU in Dynamic Environments. Microsoft Corporation.

Müller, M, Charypar, D and Gross, M (2003). Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications. Department of Computer Science, Federal Institute of Technology Zürich (ETHZ).

Burg, J, V (2000). Building an advanced Particle System. Gamasutra.com.

Hastings, E, J, Guha, R, K, and Stanley, K, O (2009). Interactive Evolution of Particle Systems for Computer Graphics and Animation. School of Electrical Engineering and Computer Science University of Central Florida, Orlando.

Lander, J (1998). The Ocean Spray in Your Face. Graphic Content.

Turi, J (2014). The sights and scents of the Sensorama Simulator. Engadget.com

3rockAR Team (2016). The next step in Technology: Augmented Reality. 3rockar.com

Lamkin, P (2017). The best smartphone headsets for VR apps. Wearable.com.

Bradley, A (2017). Adding VR to Resident Evil 7 was ‘like working on two games at once’. Gamasutra.com

Failes, I (2015). A graphic tale: the visual effects of Mad Max: Fury Road. Fxguide.com

Scharf, P (2015). CPU vs GPU Particles – from 20 to 200 FPS. Genericgamedev.com

Whitley, B (2017). The Destiny Particle Architecture. Bungie. SIGGRAPH 2017

Gerda, J, F., Smets and Overbeeke, K.J (1995). Trade-off Between Resolution and Interactivity in Spatial Task Performance. Delft University of Technology

Pausch, R, Proffitt, D, Williams G (1997). Quantifying Immersion in Virtual Reality. SIGGRAPH 1997

Farnsworth, B (2017). Measuring the Power of Virtual Reality Immersion [A Case Study]

Parsons, T, D, Rizzo, A, A (2007). Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis. Institute for Creative Technologies, University of Southern California.

Freina L, Ott, M (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. Institute for Educational Technology, CNR

PluralSight (2014). Understanding UVs - Love Them or Hate Them, They're Essential to Know. Pluralsight.com

Witmer, B, G, Singer, M, J (1995). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. U.S Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences

McAllister, D, K (2000). The Design of an API for Particle Systems. Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill

Nikolov, S (2013). Modern Game UI With The Oculus Rift – Part 2. Gamasutra.com

Links

1. Virtual Reality Society (2017). What is Virtual Reality? <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html> - Consultado Janeiro 2018
2. <https://www.lri.fr/~mbl/ENS/IG2/devoir2/files/docs/particles.pdf> - Consultado Janeiro 2018
3. U.S Army. Anúncio do Link Trainer. <https://www.youtube.com/watch?v=MEKkVg9NqGM> - Consultado Janeiro 2018

4. The Architecture Machine - MIT (1981). The Interactive Movie Map A Surrogate Travel System. <https://www.youtube.com/watch?v=Hf6LkqgXPMU> - Consultado Janeiro 2018
5. Virtual Reality Society (2017). Early History of Virtual Reality. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html> - Consultado Fevereiro 2018
6. Nintendo Wiki. Virtual Boy. http://nintendo.wikia.com/wiki/Virtual_Boy - Consultado Fevereiro 2018
7. Ubisoft (2017). Star Trek Bridge Crew. <https://www.ubisoft.com/en-us/game/star-trek-bridge-crew/> - Consultado Fevereiro 2018
8. Survios (2017). Raw Data. <https://survios.com/rawdata/> - Consultado Fevereiro 2018
9. Business Insider (2016). PlayStation is on track to crush Facebook and HTC in the first year of VR sales. <http://www.businessinsider.com/vr-sales-projections-2016-11> - Consultado Fevereiro 2018
10. Fortune (2017). Google Has Shipped Millions of Cardboard Virtual Reality Devices. <http://fortune.com/2017/03/01/google-cardboard-virtual-reality-shipments/> - Consultado Fevereiro 2018
11. Wikipedia. Spacewar! <https://en.wikipedia.org/wiki/Spacewar!> - Consultado Fevereiro 2018
12. Paramount Pictures (1982). Star Trek II: The Wrath of Khan. <https://www.youtube.com/watch?v=NM1r37zIBOQ> - Consultado Fevereiro 2018
13. Wccftech (2015). Batman Arkham Knight NVIDIA GameWorks Batmobile Video Showcases “Smoking” Effects. <https://wccftech.com/batman-arkham-knight-nvidia-gameworks-batmobile-video-showcases-smoking-effects/> - Consultado Fevereiro 2018
14. Wareable (2017). Explained: How does VR actually work? <https://www.wareable.com/vr/how-does-vr-work-explained> - Consultado Fevereiro 2018
15. Virtual Reality Society (2017). Getting to Grips with Haptic Technology. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/haptic/> - Consultado Fevereiro 2018
16. VRChat (2018). <https://www.vrchat.net/> - Consultado Fevereiro 2018
17. Michael Naimark (1979). Aspen MovieMap. <http://www.naimark.net/projects/aspen.html> - Consultado Fevereiro 2018.
18. <http://i.giphy.com/13q2FlgFUsr5qVHTa.gif> - Consultado Fevereiro 2018
19. Epic Games - Unreal Engine. FVector. <http://api.unrealengine.com/INT/API/Runtime/Core/Math/FVector/index.html> - Consultado Abril 2018

20. Epic Games – Unreal Engine. Vector Fields. <https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/Rendering/ParticleSystems/VectorFields> - Consultado Junho 2018

Imagens

1. <https://www.spritters-resource.com/resources/sheets/75/77827.png>
2. [https://r.mprd.se/media/images/37158-Metal_Gear_Solid_\[disc2of2\]-3.jpg](https://r.mprd.se/media/images/37158-Metal_Gear_Solid_[disc2of2]-3.jpg)

3. http://vignette3.wikia.nocookie.net/half-life/images/d/d3/Neurotoxins_countdown.jpg/revision/latest?cb=20100418112547&path-prefix=en
4. https://images.techhive.com/images/article/2015/05/2015-05-18_00010-100585814-orig.jpg
5. <http://dl9fvu4r30qs1.cloudfront.net/90/f5/e76ab0374aa7b63f61fc65848e9a/mad-max-storm.jpg>
6. http://markscheurwater.com/img/projects/gpu_part/5_full.png
7. [http://images.samsung.com/is/image/samsung/br-gear-vr-2017-sm-r324nzaazto-setblack-61736784?\\$PD_GALLERY_JPG\\$](http://images.samsung.com/is/image/samsung/br-gear-vr-2017-sm-r324nzaazto-setblack-61736784?$PD_GALLERY_JPG$)
8. http://www.starksravings.com/linktrainer/link_8.jpg
9. <https://motherboard-images.vice.com/content-images/contentimage/3176/1430250569933254.jpg>
10. <https://nerdist.com/wp-content/uploads/2017/06/Star-Trek-Bridge-Crew-970x545.jpg>
11. <https://roadtovrlive-5ea0.kxcdn.com/wp-content/uploads/2017/01/keep-talking-and-nobody-explodes.jpg>