
**Simulador de como apagar um incêndio de
pequeno porte com os principais tipos de
extintores existentes**

Victor Biagiotti Saint Martin

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Uberlândia
2019

Victor Biagiotti Saint Martin

**Simulador de como apagar um incêndio de
pequeno porte com os principais tipos de
extintores existentes**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Computação.

Área de concentração: Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Igor Santos Peretta

Uberlândia

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**Simulador de como apagar um incêndio de pequeno porte
com os principais tipos de extintores existentes**

Trabalho apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica.

Uberlândia, 03 de julho de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Igor Santos Peretta

Universidade Federal de Uberlândia

Orientador

Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Universidade Federal de Uberlândia

Examinador

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues de Sousa

Universidade Federal de Uberlândia

Examinador

Este trabalho é dedicado a minha família, que sempre me apoiou e jamais desistiu de mim, e aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus pais, Jacques Daniel e Norieide Biagiotti, duas figuras muito presentes e importantes na minha formação como cidadão e profissional.

Ao meu irmão, Leonardo Biagiotti por todo auxílio e participação nesses cinco anos de faculdade e mais de vinte e três anos de vida.

Gostaria de agradecer a todos pessoas, presentes ou não hoje em dia, que de alguma forma me incentivaram e jamais me deixaram desistir da minha ideia inicial.

Ao professor Igor Peretta pela tutoria deste projeto. Não fosse pelo seu auxílio, pela sua confiança e, em vários momentos, críticas e cobranças eu certamente não teria alcançado o meu objetivo.

Gostaria de agradecer acima de tudo à Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Elétrica pelo meu desenvolvimento técnico, profissional e humano.

“Our greatest weakness lies in giving up. The most certain way to succeed is always to try just one more time.”
(Thomas Edison)

Resumo

Jogos do gênero simulação são amplamente utilizados em aplicações que vão desde treinamento profissional em diferentes níveis de realismo (jogos sérios do tipo *Hard-Core Simulator*) até simuladores voltados para entretenimento (*Casual Simulator*). No presente projeto, desenvolveu-se um jogo sério do gênero dos simuladores, focado no combate a um incêndio de pequeno porte com auxílio dos principais tipos de extintores disponíveis no mercado. Neste simulador, o usuário pode enfrentar situações de incêndio em objetos de classe A e/ou de classe C e, para tais situações, poderá escolher um extintor de H_2O e um extintor de CO_2 . Posteriormente, o simulador foi testado, com o auxílio de voluntários, para se avaliar sua aplicabilidade como ferramenta educacional. Ao término dos testes, os voluntários responderam a uma pesquisa de avaliação sobre o simulador e seu conteúdo. A partir dos resultados obtidos constatou-se que há grande desconhecimento por parte dos voluntários em relação às diferentes classes de incêndio e aos diferentes tipos de agentes extintores. Neste contexto, o presente projeto alça-se como uma ferramenta útil para disseminar conteúdo e treinar indivíduos sobre a temática de combate a incêndio.

Palavras-chave: Simulador, Jogo sério, Treinamento, Conteúdo educacional, Combate a incêndio.

Abstract

Simulation games are widely used in applications ranging from professional training at different levels of realism (serious games like Hard-Core Simulator) to entertainment simulators (Casual Simulators). In this project, a serious game of the simulator category was developed, focused on extinguishing a small fire with the main types of extinguishers available in the market. In this simulator, the user can face fire situations in Class A and/or Class C objects and, for those situations, can choose between a H_2O extinguisher and a CO_2 extinguisher. Subsequently, the simulator was tested, with the help of volunteers, to evaluate its applicability as an educational tool. At the end of the tests, the volunteers answered to an evaluation survey about on the simulator and its contents. From the obtained results it was verified that the volunteers do not know the different classes of fire and the different types of extinguishing agents. In this context, this project emerges as a useful tool to spread content and to train people on firefighting.

Keywords: Simulator, Serious game, Training, Educational content, Firefighting.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Visão em primeira pessoa do simulador X-Plane 11.	24
Figura 2 – Componentes presentes em um jogo e em um jogo sério.	28
Figura 3 – Veículo do <i>Euro Truck Simulator 2</i> antes da colisão.	29
Figura 4 – Veículo do <i>Euro Truck Simulator 2</i> após colisão.	29
Figura 5 – Tetraedro do fogo.	34
Figura 6 – Primeiro tipo de labareda.	39
Figura 7 – Segundo tipo de labareda.	39
Figura 8 – Chama com luz secundária irradiante.	40
Figura 9 – Chama sem luz secundária irradiante.	40
Figura 10 – Cenário do simulador com os focos de incêndio e decalques em seus respectivos lugares na Unreal Engine 4 (UE4).	42
Figura 11 – Cenário do simulador após a destruição provocada pelo incêndio com decalques ativos.	42
Figura 12 – Alteração da textura do sofá quando há focos de incêndio ativos dois minutos após o início do simulador.	43
Figura 13 – Alteração da textura do sofá quando há focos de incêndio ativos três minutos após o início do simulador.	43
Figura 14 – Interrupção da alteração da textura do sofá quando se extingui todos os focos de incêndio próximos.	44
Figura 15 – Sofá modelado no <i>Blender</i>	44
Figura 16 – Sofá modelado transformado em um objeto do tipo Destructible Mesh (DM).	45
Figura 17 – Cortina original encontrada no pacote <i>Interior Toolkit</i> (DARK, 2016).	46
Figura 18 – Cortina completamente queimada em sua nova forma estática.	46
Figura 19 – Extintor de CO_2 texturizado com difusor.	47
Figura 20 – Extintor de H_2O texturizado.	47
Figura 21 – Personagem principal do simulador criado no <i>software Blender</i>	49
Figura 22 – Posição da câmera para gerar o modo em primeira pessoa na UE4.	49

Figura 23 – Extintor de CO_2 sem textura criado com o <i>Blender</i>	49
Figura 24 – Porta corta-fogo criada no <i>Blender</i> antes de selecionar as arestas para gerar a planificação.	50
Figura 25 – Porta corta-fogo criada no <i>Blender</i> depois de selecionar as arestas para gerar a planificação.	50
Figura 26 – Porta corta-fogo criada no <i>Blender</i> com a sua respectiva planificação.	51
Figura 27 – Textura criada no GNU <i>Image Manipulation 3D</i> (GIMP) para a porta corta-fogo.	51
Figura 28 – Resultado final do objeto texturizado.	51
Figura 29 – Visão em primeira pessoa do cenário voltado para a sacada do apartamento.	52
Figura 30 – Visão em primeira pessoa do cenário voltado para a porta de entrada do apartamento.	53
Figura 31 – Visão em primeira pessoa do cenário: hall de acesso ao apartamento.	53
Figura 32 – Instruções fornecidas antes da inicialização do simulador.	56
Figura 33 – Mensagens apresentadas após a conclusão do simulador.	58
Figura 34 – Mensagens apresentadas quando o desafio é concluído com êxito (a) e sem êxito (b).	59
Figura 35 – Propagação das chamas e da destruição nos instantes (a) $t_0=0:00$, (b) $t_1=0:30$, (c) $t_2=1:00$, (d) $t_3=1:30$, (e) $t_4=2:00$, (f) $t_5=2:30$, (g) $t_6=3:00$, (h) $t_7=3:30$, (i) $t_8=4:00$, (j) $t_9=4:30$, (k) $t_{10}=5:00$, (l) $t_{11}=5:30$, (m) $t_{12}=6:00$, (n) $t_{13}=6:30$, (o) $t_{14}=7:00$	60
Figura 36 – Interação do jato dos extintores de H_2O e de CO_2 com objetos interativos do cenário.	65
Figura 37 – Primeira pergunta da avaliação do simulador.	68
Figura 38 – Segunda pergunta da avaliação do simulador.	68
Figura 39 – Terceira pergunta da avaliação do simulador.	69
Figura 40 – Quarta pergunta da avaliação do simulador.	69
Figura 41 – Quinta pergunta da avaliação do simulador.	70
Figura 42 – Sexta pergunta da avaliação do simulador.	70
Figura 43 – Sétima pergunta da avaliação do simulador.	71
Figura 44 – Oitava pergunta da avaliação do simulador.	72
Figura 45 – Nona pergunta da avaliação do simulador.	72
Figura 46 – Décima pergunta da avaliação do simulador.	73

Lista de tabelas

- Tabela 1 – Número de jogos produzidos no Brasil por plataforma (2016/2017) . . . 24
- Tabela 2 – Relação entre os tipos de extintores mais comuns e as classes de incêndio. 35

Lista de siglas

DM Destructible Mesh

GIMP GNU *Image Manipulation* 3D

PNG *Portable Network Graphics*

RA realidade aumentada

RV realidade virtual

UE4 Unreal Engine 4

UI User Interface

3D três dimensões

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Motivação	23
1.2	Objetivos	25
1.3	Desafios da Pesquisa	25
1.4	Organização do Trabalho	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	<i>Serious Games</i>	27
2.2	Jogos Simuladores	28
2.3	<i>Indie Games</i>	29
2.4	Modelagem três dimensões (3D)	30
2.5	<i>Game Engines</i>	31
2.6	Imersão	33
2.7	Temas relacionados com o simulador de incêndio	33
2.7.1	Corpo de bombeiros militar	33
2.7.2	Fundamentos de combate a incêndio com extintores	34
2.8	Trabalhos correlatos	36
3	DESENVOLVIMENTO	37
3.1	Ordem cronológica das atividades	37
3.2	Funcionamento do simulador	39
3.2.1	Surgimento do incêndio	39
3.2.2	Propagação do incêndio	40
3.2.3	Destruição do fogo	41
3.2.4	Impressão de decalques no cenário	41
3.2.5	Alteração da Textura	42
3.2.6	Destruição dos objetos	44
3.2.7	Diferença entre extintores	47

3.2.8	Atenção com a tomada	47
3.3	Desenvolvimento do simulador	48
3.3.1	Modelagens no <i>software Blender</i>	48
3.3.2	Criação de texturas	50
3.3.3	Criação do cenário	51
4	RESULTADOS	55
4.1	Apresentação do simulador	55
4.2	Resultados da pesquisa	66
5	CONCLUSÃO	75
5.1	Intenção de pesquisa	76
	REFERÊNCIAS	77

APÊNDICES **81**

APÊNDICE A	– INSTRUÇÕES	83
A.1	Instruções gerais	83
A.2	Instruções específicas	83
APÊNDICE B	– AVALIAÇÃO DO SIMULADOR	85

Introdução

1.1 Motivação

Conforme comprovado pelo 2º Censo da Indústria Brasileira de Jogos (SAKUDA; FORTIM, 2018), o número de desenvolvedoras de jogos digitais no Brasil cresceu 182%, levando em consideração o primeiro Censo (2014). No início do ano de 2018 foram contabilizadas 375 desenvolvedoras brasileiras. Essas apresentam como enfoque principal de desenvolvimento as seguintes plataformas: dispositivos móveis, computadores e web. Tal resultado pode ser atrelado a um custo de desenvolvimento inferior para tais plataformas.

Entre 2016 e 2017 o crescimento do número de jogos produzidos para dispositivos móveis, computadores e web foi de 14%, 47% e -19%, respectivamente, já o crescimento para as plataformas de console, console portátil, computador *multiplayer* e realidade virtual (RV)/realidade aumentada (RA) foi de 390%, 367%, 100% e 293%, respectivamente (Tabela 1). Deste modo, é possível concluir que as empresas nacionais não só aumentaram a produção de *games* brasileiros como existe o indicativo de aumento de complexidade de tais produções.

Os resultados finais de tais produções podem ser divididos em dois grupos: jogos de entretenimento e jogos sérios (*serious games*). Enquanto o primeiro grupo visa apenas à diversão, o segundo apresenta uma proposta educacional que vai além do entretenimento. Cada um desses grupos genéricos podem ser divididos em sub-grupos, obtendo-se assim os diversos gêneros de jogos existentes no mercado. O gênero dos simuladores, em especial, será abordado neste trabalho.

Os jogos simuladores são produzidos para realizar um desejo ou uma necessidade do usuário. Os jogos de simulação permitem que o jogador realize, virtualmente, atividades que estão distantes do seu cotidiano, da sua vida real. Em alguns casos, essas atividades são muito perigosas para serem realizadas fora de um ambiente controlado ou então requerem uma vasta experiência prévia. É o caso, por exemplo, do simulador de aviação X-Plane 11, desenvolvido em 2016 pela *Laminar Research*, representado na Figura 1.

Em alguns casos os jogos são utilizados para transmitir conhecimento de um contexto

Tabela 1 – Número de jogos produzidos no Brasil por plataforma (2016/2017).

PLATAFORMA	2016	2017	CRESCIMENTO
Console	10	49	390%
Console portátil	3	14	367%
Computador standalone	123	181	47%
Computador multiplayer	22	44	100%
Dispositivos móveis	307	350	14%
RV/RA	30	118	293%
Web	138	112	-19%
Redes sociais	2	4	100%
Outros	17	17	0%
TOTAL	652	889	36%

Fonte: Sakuda e Fortim (2018, p. 59)

Figura 1 – Visão em primeira pessoa do simulador X-Plane 11.



Fonte: *Laminar Research*

específico para outro, utilizando-se um jogo sério para isso. Para verificar a veracidade de tal hipótese, Blunt (2007) realizou uma pesquisa com três cursos diferentes de uma mesma universidade. Para cada curso, foi utilizado um jogo diferente. Comprovou-se que o grupo de alunos de cada curso que entrou em contato com os jogos associados com as aulas teóricas, obteve uma pontuação média melhor do que o grupo que teve acesso apenas às aulas teóricas.

Conforme visto no livro *Game Design* (BATES, 2004, p. 58-61), o gênero dos jogos de simulação se subdivide em duas modalidades: *Hard-Core Simulator* e *Casual Simulator*.

No primeiro, nenhum detalhe deve ser menosprezado, o modelo da física deve ser preciso assim como as medições e as tolerâncias. Desse modo, os controles do *game* devem responder como responderiam na vida real. No segundo, o usuário deseja “entrar e sair” quando bem entender, ele não deseja ficar horas aprendendo os comandos do jogo antes de ir para o primeiro desafio propriamente dito. É justamente por isso que, nesse caso, os controles são simplificados e o simulador visa satisfazer a fantasia do usuário.

1.2 Objetivos

Os objetivos pretendidos para o presente projeto baseiam-se em três pilares fundamentais. O primeiro, refere-se à produção de um simulador de bombeiro com a temática da utilização dos principais tipos de extintores para apagar um incêndio de pequeno porte. Espera-se que o simulador seja utilizado tanto pela própria corporação dos bombeiros, como uma forma de treinamento complementar, quanto por cidadãos que não estão familiarizados com a temática.

O segundo, refere-se à questão da transmissão de conhecimento. De acordo com essa hipótese, o conhecimento adquirido em um contexto específico pode ser transferido para outro contexto.

O terceiro, refere-se à utilização deste projeto para uso didático nos cursos de engenharia e arquitetura. De acordo com o Art. 8 da Lei 13425/17, os cursos nela mencionados deverão incluir em suas grades conteúdos referentes à prevenção e ao combate a incêndio e a desastres.

1.3 Desafios da Pesquisa

Um dos principais desafios deste simulador é a produção nacional de um jogo sério que almeja ser utilizado com intuito educacional pela sociedade e como treinamento complementar para profissionais.

Embora o realismo seja algo que está muito presente em todo o desenvolvimento do *game*, todas as decisões foram tomadas para que o simulador pertença à categoria dos *Casual Simulators*. Assim, não será necessário que o usuário gaste uma quantidade de tempo excessivo antes de iniciar o desafio. Com isso, espera-se atingir um maior número de indivíduos e disseminar esse conhecimento. Além disso, adotou-se uma jogabilidade simplificada para que o usuário pudesse, em pouco tempo, repetir o desafio algumas vezes. Dessa maneira, ele terá melhores condições de transmitir para uma situação prática aquilo que foi aprendido na simulação.

No que se refere à construção do simulador, tanto no que tange à programação quanto à parte gráfica, utilizou-se a *Unreal Engine 4*, desenvolvida em 2014 pela *Epic Games*. Na busca pelo realismo, necessitou modelar alguns objetos em 3D. Assim sendo, utilizou-

se dois programas de código aberto: o primeiro chama-se *Blender*, criado em 1998 por Ton Roosendaal, utilizado para a modelagem de objetos 3D; o segundo, chama-se GIMP, criado em 1996 por Spencer Kimball e Peter Mattis, utilizado para criar texturas para os objetos. É justamente na utilização desses programas que se encontra um dos desafios do projeto. Os três *softwares* são ferramentas complexas e poderosas.

Outro desafio abrange a questão do realismo do simulador *versus* a qualidade da máquina que irá reproduzi-lo. Quanto mais próximo da realidade, mais complexo e robusto deverá ser o computador. Justamente por isso, reduziu-se o nível de realismo para que um maior número de dispositivos fosse capaz de suportá-lo.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está estruturado de acordo com a descrição a seguir: fundamentação teórica, desenvolvimento, resultados e conclusão.

No capítulo 2, será apresentada uma fundamentação teórica com alguns conceitos básicos dos softwares que foram utilizados para a construção deste simulador. Além disso, será abordado conceitos que envolvem a temática deste projeto.

No capítulo 3, será descrito como ocorreu o desenvolvimento do simulador. Para isso, serão apresentadas imagens do próprio simulador para exemplificar aspectos pertinentes.

No capítulo 4, o simulador desenvolvido para este projeto será melhor apresentado. Ademais, serão apresentados os resultados obtidos através da pesquisa.

Por fim, no capítulo 5, será apresentado a conclusão do projeto. Para isso, será levando em consideração o desenvolvimento do simulador e os resultados da pesquisa. Ademais, será apresentado as recomendações para trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

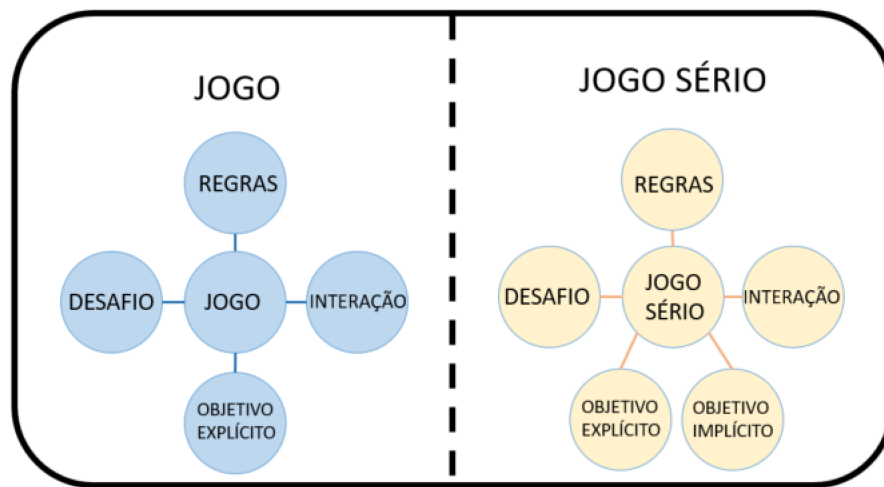
2.1 *Serious Games*

Existem inúmeras definições para o termo jogo sério (*serious game*), às quais há defensores e críticos. Na maioria dos casos, os críticos reforçam a ideia de que todo jogo produzido é um jogo sério, pois há um propósito por detrás de cada jogo. Uma das definições que mais é aceita é a de que jogos sérios são jogos que utilizam os meios artísticos para transmitir uma mensagem, ensinar uma lição ou fornecer uma experiência (MICHAEL; CHEN, 2005).

De acordo com o artigo *Serious Games for Health* (WATTANASOONTORN et al., 2013), existem quatro componentes que são fundamentais para distinguir os tipos de jogos: a regra, o desafio, a interação e o objetivo. O primeiro refere-se à definição de padrões que buscam estabelecer uma conexão entre o jogador e o jogo. O segundo aborda a temática das recompensas, as quais serão fornecidas ao jogador quando este completar uma tarefa. O terceiro estende-se ao modo como o jogador se comunica com o jogo, ou seja, refere-se à alguma ação feita pelo jogador que apresentará uma consequência dentro do jogo. Tal comunicação pode ser visual, auditiva, física, entre outras. O quarto retrata os esforços despendidos pelo jogador para alcançar tais objetivos.

O componente “objetivos” pode, ainda, ser subdividido em: objetivos explícitos e objetivos implícitos. Enquanto o primeiro grupo aborda apenas a temática do entretenimento, o segundo busca aumentar uma habilidade e/ou adquirir conhecimento ou experiência. A presença apenas dos objetivos explícitos ou de ambos distingue um jogo de um jogo sério. A Figura 2 retrata a presença desses componentes para os dois tipos de jogos. Existem jogos simuladores que apresentam apenas objetivos explícitos e simuladores que apresentam ambos objetivos, a diferença entre eles se encontra na proposta pretendida para tal produção.

Figura 2 – Componentes presentes em um jogo e em um jogo sério.



Fonte: O autor

2.2 Jogos Simuladores

A definição do estilo de jogo do tipo simulador é uma definição complexa e controversa. Para alguns estudiosos da área, todos os jogos produzidos são, de alguma forma, uma espécie de simulação (FRASCA, 2003). Para outros, como Bob Bates, o simulador deve abordar um tema específico, porém este deve ser amplamente aprofundado (BATES, 2004). Todavia, existe uma particularidade presente em todos os jogos desse gênero que se refere à representação de uma atividade do mundo real (APPERLEY, 2006).

Essa atividade pode ser deliberadamente simplificada de acordo com as exigências de entretenimento do simulador (APPERLEY, 2006). Tal nível de simplificação definirá a fidelidade do simulador. De acordo com Hamstra et al. (2014), pode-se definir fidelidade como sendo o grau em que uma simulação pode ser aproximada do mundo real que se deseja simular. Por isso, os simuladores apresentarão um enfoque principal. Nesse enfoque, o nível de fidelidade será elevado. Em contrapartida, enfoques menos significativos para a temática do simulador terão sua fidelidade reduzida.

Um exemplo claro sobre variação de fidelidade torna-se nítido ao analisar o jogo *Euro Truck Simulator 2*, desenvolvido em 2012 pela *SCS Software*. O objetivo desse jogo é criar um simulador de condução de um veículo automotor pesado, no qual o jogador, na função de motorista, deve fazer entregas entre cidades da Europa. Ao analisar tal simulador fica evidente o nível de fidelidade no que tange à física da movimentação do veículo. Todavia, inexistente fidelidade quando o veículo colide com algum objeto. Na Figura 3, retrata-se um dos modelos disponíveis de caminhão no simulador antes de uma colisão. Na Figura 4, retrata-se o mesmo caminhão após leve colisão. É importante salientar que mesmo após

a colisão não houve nenhuma deformação física no veículo.

Figura 3 – Veículo do *Euro Truck Simulator 2* antes da colisão.



Fonte: O autor

Figura 4 – Veículo do *Euro Truck Simulator 2* após colisão.



Fonte: O autor

A questão da fidelidade do simulador pode ser relacionada com as divergências, retratadas no livro *Game Design* (BATES, 2004), existentes entre um *Hard-Core Simulator* e um *Casual Simulator*. Tanto o nível de fidelidade quanto as subdivisões do estilo simulador dependem de seu público alvo. Como já visto na Seção 1.1, os simuladores são produzidos para realizar um desejo ou uma necessidade do usuário. Evidentemente, tanto o desejo quanto a necessidade variam de um jogador para outro. Enquanto um busca uma reprodução fidedigna da realidade, o outro pode buscar apenas uma diversão, sem se preocupar com verossimilhança (BATES, 2004).

É justamente nesta diferença entre usuários que se baseia os simuladores *Hard-Core* e *Casual*. Para o primeiro grupo, todos os detalhes e funcionalidades devem ser reproduzidos à semelhança ao que se encontra no mundo real (BATES, 2004), ou seja, o nível de fidelidade deve ser elevado. Já para o segundo grupo, tais detalhes e funcionalidades devem ser simplificados. O jogador deste estilo de simulador busca apenas satisfazer sua fantasia (BATES, 2004). É por isso que o nível de fidelidade é reduzido.

2.3 Indie Games

O termo *Indie Game* refere-se a uma produção independente. A origem desse termo está atrelada aos anos 80, porém a popularização dos *Indie Games* iniciou-se no ano de 2008 (LATORRE, 2016), e cresceu de tal forma que as distribuidoras de jogos *onlines*, como a Steam, desenvolvida em 2003 pela *Valve Corporation*, criaram uma seção específica para produções *indie*. No entanto, ainda não há uma definição clara e exata sobre as

características que permitem considerar uma produção como um *Indie Game* (LATORRE, 2016).

De acordo com Bob Bates, em uma produção independente há, tipicamente, um ou dois desenvolvedores que se autofinanciam durante seu desenvolvimento. Além disso, o jogo é relativamente pequeno e a forma para comercializar tal produto utiliza meios não tradicionais (BATES, 2004). É comum em produções independentes a cessão de uma versão demonstrativa do produto para que o consumidor final tenha acesso a uma parte do jogo antes de comprá-lo. Posteriormente, caso suas expectativas sejam alcançadas, ele pode realizar a compra da versão completa.

A definição de *Indie Game* para Ruffino (2013) leva mais aspectos em consideração. Para ele, os jogos independentes são desenvolvidos sem ajuda de um editor, apresentam orçamento limitado, na maioria dos casos não geram grandes lucros para os desenvolvedores e podem ser considerados como produções inovadoras (RUFFINO, 2013). Além dessas considerações, pode-se acrescentar o fato de que os produtores *indie* utilizam *softwares* de código aberto (LIPKIN, 2013), visto que desta forma não é necessário despender uma quantia financeira para adquirir a ferramenta.

No cenário nacional os *Indie Games* representam uma alternativa produtiva no que tange ao desenvolvimento de jogos digitais (HALL, 2017, p. 13). Além disso, a popularização de produções independentes brasileiras fomenta o sonho de alguns de seguir carreira profissional como desenvolvedor de jogos.

2.4 Modelagem 3D

A computação gráfica é um dos subcampos presentes nas ciências e engenharia de computação. Dentro da computação gráfica existe uma área voltada para criar superfícies de um objeto em três dimensões utilizando um *software* especializado (FOLEY et al., 1990). Esse processo de criação pode ser realizado através de duas formas. Na primeira, imagens em duas dimensões, em diferentes ângulos, são utilizadas para modelar os objetos (KUTULAKOS; SEITZ, 1998). Tal prática é muito empregada quando se deseja modelar uma cena já existente. No entanto, esta é complexa, pois, devido as luzes, sempre há objetos parcialmente sombreados e isto representa uma dificuldade para os *softwares* (GRUM; BORS, 2014).

Na segunda utiliza-se programas de modelagem 3D, como o *Blender*. Neste tipo de modelagem está presente o conceito do CDIO (*Conceive, Design, Implement, Operate*) (Conceber, Projetar, Implementar, Operar). Tal conceito baseia-se em quatro etapas: estabelecimento do conhecimento básico, sua transferência, posterior aplicação e resolução de problemas (JIANFENG et al., 2013). Além disso, esse tipo de modelagem é voltado para construção de objetos individuais e com elevado realismo.

O *software Blender* apresenta inúmeras ferramentas que permitem criar complexas

modelagens e animações avançadas (OLIVEIRA; SILVA, 2013). A modelagem de objetos está diretamente relacionada às coordenadas cartesianas.

Objetos modelados em três dimensões podem ser referenciados através de três elementos, presentes em todos os *softwares* de modelagem: vértice, aresta ou face. Durante todo o processo de modelagem do objeto é comum alternar entre esses três elementos, de acordo com a etapa da modelagem. Ademais, é através deles que os programas para criar jogos conseguem detectar onde haverá colisão (OLIVEIRA; SILVA, 2013).

Todos os objetos modelados para o presente simulador o foram a partir de formas primitivas fornecidas pelo próprio *software*. A transformação de uma forma primitiva em um objeto rico em detalhes ocorre graças à modificação de vértices, arestas e faces.

Os objetos modelados apresentam um número finito de faces, que é crucial para o desenvolvimento do simulador como um todo. Quanto maior for este número, maior será o custo computacional para renderizar tais objetos (OLIVEIRA; SILVA, 2013). É justamente por isso que apenas os objetos fundamentais para a narrativa do *game* devem apresentar elevado número de faces.

2.5 *Game Engines*

Game engine é um tipo de *software* repleto de ferramentas que buscam facilitar o desenvolvimento da parte física e gráfica de um jogo (MALLMANN, 2012). Com o surgimento e melhoria destes *softwares*, o desenvolvimento de um jogo, independente de seu estilo, tornou-se menos complicado. Atualmente é possível criar um *game* com qualidade gráfica, sonora e elevada jogabilidade com equipes reduzidas (MALLMANN, 2012). Um dos objetivos das *game engines* é permitir a máxima utilização da capacidade das máquinas. Assim sendo, os projetos desenvolvidos tornam-se mais realistas e imersivos (MESSAOUDI; KSENTINI; SIMON, 2015).

Antes de iniciar uma abordagem histórica do surgimento das *game engines*, é necessário distinguir uma *game engine* de um *game*. De acordo com Simpson (2002) a *engine* é responsável por toda a tecnologia que não é específica ao jogo. Por exemplo, algumas *game engines* apresentam ferramentas específicas para a iluminação de ambientes internos. O desenvolvedor pode utilizar tal ferramenta para iluminar o seu cenário. Contudo, ele pode construir outro cenário e utilizar a mesma ferramenta para iluminá-lo, ou seja, a ferramenta de iluminação não é específica para um único cenário. Ao jogo fica reservado o que tange às animações, aos modelos dos objetos, aos sons presentes no *game*, à inteligência artificial, à física do jogo e, principalmente, às funcionalidades específicas para que o jogo funcione de acordo com o planejamento do desenvolvedor (SIMPSON, 2002).

O início das *game engines* remete ao ano de 1989, com o surgimento da *Ultima Underworld* para construir um jogo de ficção científica que apresentava o mesmo nome. Posteriormente, com o surgimento de um novo jogo, essa *engine* teve seu nome alterado

para *Origin System* (PAUL; GOON; BHATTACHARYA, 2012). Em 1993 surgiu a *Doom Engine* desenvolvida pela *ID Software*. Além desse *software* ser responsável pelo desenvolvimento do jogo de tiro em primeira pessoa chamado *Doom*, ele ficou reconhecido por representar objetos 2D de tal forma que aparentava possuir três dimensões (PAUL; GOON; BHATTACHARYA, 2012).

As primeiras *engines* 3D surgiram a partir de 1995. A primeira foi a *XnGine* (1995) desenvolvida para *Disk Operating System* (DOS), em português, sistema operacional em disco (PAUL; GOON; BHATTACHARYA, 2012). Um ano depois a *Id Software* desenvolveu a *Quake Engine*. O diferencial desta *engine* é que ela introduziu o conceito de renderizar apenas as partes do mapa do jogo possíveis de serem visualizadas pelo jogador, reduzindo a demanda da CPU (WILMORE, 2010). No ano de 1996 surgiu a *Renderware engine* que ficou conhecida popularmente pelo seu suporte a multiplataformas para criação de jogos (PAUL; GOON; BHATTACHARYA, 2012).

Apenas em 1998 surgiu a *Unreal Engine* produzida pela *Epic Games*. O diferencial desta *engine* é a criação de uma linguagem de *script* própria (*UnrealScript*) e um editor de mapas (PAUL; GOON; BHATTACHARYA, 2012). A fim de acompanhar o avanço da tecnologia e adquirir um espaço no mercado competitivo das *game engines*. Três versões posteriores desta *engine* sucederam a de 1998: *Unreal 2* (2002), *Unreal 3* (2005) e *Unreal 4* (2014). Esta última diferenciou-se das demais por ser um *software* de código aberto, com licença própria, e requisitos de pagamento de *royalties* apenas nos casos em que o produto é distribuído com custo e o desenvolvedor obtém lucro de mais de três mil dólares por trimestre. Desta forma, todas as ferramentas já desenvolvidas nesta *engine* podem ser utilizadas gratuitamente (SHANNON, 2017).

Além da UE4 ser um software multiplataforma que abrange os dispositivos e tecnologias mais modernas, esta *engine* conta com uma documentação completa e com uma comunidade solícita e engajada. Desta forma, a criação de um *game* torna-se simples. Mesmo que o desenvolvedor depara-se com dificuldades, haverá inúmeros meios aos quais poderá recorrer para solucionar tais dificuldades.

Como mencionado anteriormente, um dos diferenciais da UE4 está na programação utilizando uma linguagem de *script*. Esta linguagem baseia-se na comunicação entre nós em uma interface para criar toda jogabilidade do jogo. Evidentemente, trata-se de uma linguagem orientada a objetos. Além de ser uma linguagem simples, intuitiva e robusta, ainda é uma linguagem visual. Após a programação de uma funcionalidade utilizando os conceitos de classe, herança, *loops*, variáveis e funções é possível visualizar o funcionamento desta funcionalidade durante a execução do projeto (SHANNON, 2017).

Além da linguagem *Blueprint*, outro diferencial da UE4 é o editor de partículas. A edição de partículas dentro da UE4 é feita por meio de um editor de efeito de partículas chamado *Cascade*. Com a utilização do *Cascade* pode-se alterar diversas características da partícula como: tamanho, cor, velocidade, tempo de duração, entre outras. Além

disso, tal editor fornece *feedback* em tempo real, após realizar a alteração.

2.6 Imersão

Todos os jogos criados, seja com intuito comercial, seja com intuito educacional, apresentam um elemento em comum: a habilidade e o desejo de atrair jogadores (JENNETT et al., 2008). Alguns jogos apresentam a habilidade de atrair a atenção do jogador de tal forma que ele deixa de perceber o que está ocorrendo ao seu redor. Nesse momento, toda a atenção do jogador está focada no *game*. Tal experiência é denominada de imersão (JENNETT et al., 2008).

De acordo com Brown e Cairns (2004), a ideia de imersão pode ser descrita como sendo o grau de envolvimento entre o jogador e o jogo. Para estes autores a imersão é um processo sequencial que pode ser fragmentado em três níveis: engajamento, aumento do envolvimento na imersão e imersão total. O primeiro nível refere-se ao tempo, ao esforço e à atenção do jogador para apreender a jogar. Justamente por isso, o jogador adquire uma expectativa de ser recompensado posteriormente. O segundo nível refere-se aos recursos do *game*, sejam eles visuais ou então referentes ao enredo do jogo. Neste nível espera-se que os recursos sejam coesos dentro da temática abordada, de tal forma que as ações ocorridas no jogo sejam capazes de alterar as emoções do jogador. O terceiro nível ocorre quando os pensamentos e os sentimentos do jogador são afetados exclusivamente pelo próprio jogo (BROWN; CAIRNS, 2004).

2.7 Temas relacionados com o simulador de incêndio

2.7.1 Corpo de bombeiros militar

Ao abordar o tema das atividades desempenhadas pelos bombeiros, uma das primeiras que surgem é o combate a incêndios. Embora tal atividade faça parte do universo dos bombeiros, há outras vertentes de atuação destes profissionais como: resgate de vítimas, afogamentos, acidentes ou catástrofes, entre outras. Diante disso, torna-se evidente que, para atuar nesses tipos de ocorrência, o conhecimento e o treinamento são indispensáveis (FROTTÉ, 2014).

De acordo com Chiavenato (2002) uma das maneiras de se aumentar a eficácia organizacional é através do treinamento. Além disso, o treinamento ainda aumenta a eficiência individual e determina o sucesso das operações.

Diante desse panorama, a utilização de simuladores virtuais como forma inovadora de treinamento do corpo de bombeiros surge como um complemento do que atualmente é feito ¹. Como já dito, com a utilização de um simulador é possível criar cenários complexos

¹ As práticas adotadas nos treinamentos dos bombeiros não se enquadram na temática deste projeto.

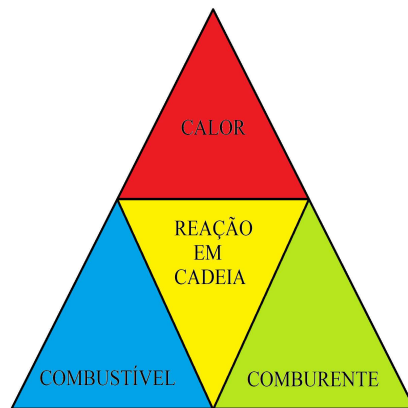
e desafiadores sem colocar em risco a vida do usuário. Além disso, em um treinamento virtual o contingente de indivíduos necessários é reduzido. Portanto, não ocorre grande redução do efetivo disponível.

Outra vantagem dos simuladores encontra-se nos treinamentos realizados pelos bombeiros nas escolas. Os estudantes poderiam entrar em contato com algo que faz parte de seu universo, os jogos digitais, e aprender de maneira emocionante como proceder em determinadas situações de emergência, sem se colocarem em risco.

2.7.2 Fundamentos de combate a incêndio com extintores

Antes de apresentar os tipos de extintores e tipos de incêndio, é fundamental ilustrar algumas características de um incêndio. Em primeiro lugar, é necessário definir o que é combustão e quais elementos são necessários para que essa reação aconteça e se mantenha. A combustão é uma reação química exotérmica que ocorre na presença de combustível e comburente. Portanto, para que a combustão se mantenha é preciso garantir a existência de quatro elementos: combustível, comburente, calor e reação em cadeia. O tetraedro do fogo (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016), representado na Figura 5, simboliza a junção destes quatro elementos.

Figura 5 – Tetraedro do fogo.



Fonte: Flores, Ornelas e Dias (2016)

Define-se combustível como a substância (sólida, líquida ou gasosa) que pode ser queimada e é responsável pela propagação do incêndio. A presença do comburente garante a ocorrência da combustão. É ele que alimenta as chamas do incêndio. O calor é a energia necessária para iniciar, manter e propagar a reação entre o comburente e o combustível. Por fim, tem-se uma reação em cadeia que ocorre quando o combustível é fracionado em

partículas e combina-se com o comburente. Assim sendo, mais calor é irradiado, reiniciando o ciclo (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Em segundo lugar, é fundamental apresentar os métodos de extinção de incêndio. Como visto anteriormente, para a ocorrência de uma combustão é necessária a presença de quatro elementos. Logo, para extingui-la é preciso remover um ou mais elementos. De acordo com qual elemento é removido tem-se os seguintes métodos: resfriamento, abafamento, isolamento e quebra da reação em cadeia.

O primeiro método é o mais utilizado. Nele o agente extintor é aplicado na forma de jatos contra as chamas e remove calor do incêndio (resfriando-o). O segundo método baseia-se na interrupção do fornecimento de comburente. No terceiro retira-se o material combustível não atingido pelas chamas. No último introduz-se substâncias que inibem a capacidade do comburente reagir com o combustível (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

A escolha do extintor adequado para a ocorrência está relacionada com os tipos de materiais combustíveis. No grupo dos combustíveis sólidos encontram-se: madeira, papel, tecidos, entre outros. Já no grupo dos líquidos estão presentes: álcool, acetona, derivados de petróleo, entre outros. Por fim, no grupo dos gasosos encontram-se: metano, propano, hidrogênio, acetileno, entre outros. Sabendo da distinção dos tipos de materiais combustíveis, é possível definir as classes de incêndio: classe A (combustíveis sólidos), classe B (combustíveis líquidos) e classe C (equipamentos energizados) (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Uma vez que se conhece a classe do incêndio, pode-se escolher o extintor mais adequado. Extintores são equipamentos destinados ao combate a princípios de incêndio. Sua principal vantagem encontra-se na eficácia e mobilidade. Todavia sua maior desvantagem relaciona-se à baixa quantidade de agente extintor. Os tipos mais comuns de extintores são: água, espuma, CO_2 , pó BC e pó ABC. A Tabela 2 retrata a relação entre os tipos de extintores mais comuns e as classes de incêndio a que se destinam (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Tabela 2 – Relação entre os tipos de extintores mais comuns e as classes de incêndio.

EXTINTORES MAIS COMUNS	CLASSES DE INCÊNDIO		
	A	B	C
ÁGUA	Adequado	Proibido	Proibido
ESPUMA	Adequado	Adequado	Proibido
CO ₂	Não recomendado	Adequado	Adequado
PÓ BC	Não recomendado	Adequado	Adequado
PÓ ABC	Adequado	Adequado	Adequado

Fonte: Flores, Ornelas e Dias (2016, p.38)

2.8 Trabalhos correlatos

Existem diversos trabalhos que abordam a temática do incêndio e maneiras para extingui-lo. Dentre eles existe uma vasta diversificação, seja do público alvo ou então das funcionalidades propostas. Nesta seção serão abordados quatro projetos, os quais serão divididos em: dois jogos de entretenimento e dois jogos sérios.

No primeiro grupo encontram-se os seguintes jogos: *Firefighters 2014 - The Simulation Game*, desenvolvido em 2014 pela *VIS-Games* e *Airport Firefighters - The Simulation*, desenvolvido em 2015 pela mesma produtora. Ambos são muito semelhantes no que se refere à jogabilidade, contudo, com cenários distintos. O que distingue tais *games* do simulador construído para este projeto é a abordagem dos cenários. O simulador de como apagar um incêndio de pequeno porte foi desenvolvido com enfoque em um cenário específico. Assim, encontra-se repleto de detalhes. Por sua vez, os dois jogos buscam abordar inúmeros cenários que fazem parte do cotidiano dos bombeiros. Todavia, tais cenários apresentam um nível de detalhamento reduzido. Além disso, o propósito simulador de como apagar um incêndio almeja ser utilizado pela sociedade com fins educacionais. Justamente por isso, todos os objetos presentes no cenário podem ser facilmente encontrados em ambientes de uso coletivo (públicos e/ou privados), como é o caso dos extintores. Já os *games* retratam equipamentos que só bombeiros profissionais têm acesso.

No segundo grupo encontram-se os seguintes jogos sérios: *Firefighter Training Simulator*, produzido em 2017 pela *Ludus VR* e *FLAIM Trainer*, desenvolvido em 2018 pela *FLAIM*. A principal diferença destes jogos sérios para os outros dois jogos apresentados anteriormente é o fato de que esses jogos sérios são voltados para treinamento profissional. Além disso, por serem mais recentes, ambos apresentam tecnologias de ponta, como o emprego de óculos de realidade virtual. O simulador de incêndio de pequeno porte desenvolvido neste projeto coaduna-se ao grupo dos jogos sérios uma vez que visa ao treinamento de indivíduos e à aplicação prática do que foi aprendido, previamente, no mundo virtual, restando como principal diferença os objetivos presentes nos cenários de cada jogo sério. O simulador desenvolvido no presente projeto visa, exclusivamente, treinar um indivíduo a apagar um incêndio de pequeno porte com o extintor mais adequado. Os demais jogos sérios abordam outros temas, como, por exemplo, a gestão de membros virtuais na execução de determinada tarefa. Em alguns cenários, o usuário, na função de comandante da missão, necessita designar tarefas específicas à membros virtuais da equipe com o intuito de completar a missão com auxílio de todo efetivo virtualmente disponível. Todavia, a atividade de comandar outros integrantes da equipe pode deixar o simulador muito técnico e, conseqüentemente, voltado ao uso profissional. Além disso, deve-se destacar que o presente projeto busca retratar, de forma mais realista, a interação entre um foco de incêndio e o objeto, tanto no que se refere à destruição do mesmo quanto na alteração da textura.

Desenvolvimento

Este capítulo apresentará as principais decisões que foram tomadas durante a construção do simulador. Deste modo, ele será fragmentado em 3 seções: 3.1 Ordem cronológica das atividades, 3.2 Funcionamento do simulador e 3.3 Desenvolvimento do simulador.

3.1 Ordem cronológica das atividades

O tempo de desenvolvimento completo do simulador foi de, aproximadamente, 10 meses. Embora tal prazo aparente ser demasiadamente longo considerando o tamanho do simulador, neste está contabilizado o tempo necessário para familiarizar-se com cada *software* utilizado. Além disso, trata-se de um jogo eletrônico independente (*Indie Game*) que teve todo o seu processo realizado por um único desenvolvedor.

A seguir, será apresentada a ordem cronológica que envolve a síntese de desenvolvimento do simulador. Para isso, levar-se-á em consideração todas as atividades necessárias, incluindo-se aquelas que não se encontram atualmente no jogo sério:

1. Criação de um personagem genérico com o programa *Blender*;
2. Desenvolvimento do personagem principal do simulador, uma vez que o projeto aborda a temática de um incêndio, optou-se pela modelagem de um bombeiro;
3. Desenvolvimento de um jogo em terceira pessoa que se aproxima do *Grand Theft Auto: San Andreas*, desenvolvido em 2004 pela *Rockstar Games*, jogo mundialmente conhecido. Aproveitou-se a experiência adquirida para iniciar a construção do simulador;
4. Obtenção de todas as animações para o personagem principal utilizando-se o *Mixamo*, criado em 2008 por Stefano Corazza e Nazim Kareemi. Através deste site gratuito, obteve-se animações do personagem andando para frente, para os lados e em posição para disparar o extintor;

5. Importação do personagem e das animações para dentro da *Unreal Engine 4*. Posteriormente, criou-se as funcionalidades básicas do simulador como a atribuição dos comandos para impulsionar o personagem na direção desejada;
6. Desenvolvimento, dentro da UE4, da primeira Interface do Usuário (User Interface (UI)). Adicionou-se dois mostradores no formato de barra: um para a energia do personagem e outro para vida. Adicionou-se também: um *Timer* para controlar o tempo restante da missão, um campo indicativo do extintor portado e a carga restante do extintor;
7. Modelagem do primeiro objeto 3D no *Blender*. Neste caso, modelou-se um extintor de CO_2 ;
8. Criação da funcionalidade para que o personagem interagisse com o extintor. Posteriormente, adicionou-se a partícula de fogo e criou-se as funções para extinguir o incêndio e para que este provocasse um redução na vida do personagem;
9. Modelagem em 3D de objetos no *Blender* para enriquecer o cenário da missão: mesa, cadeira, porta, tomada, lâmpada, sofá, entre outros. Em seguida, criou-se texturas individuais para cada objeto;
10. Criação do cenário com os objetos modelados e texturizados. Na seção 3.3 este cenário será melhor explicitado;
11. Adição de luzes naturais e artificiais para tornar o ambiente mais realista. Neste caso, utilizou-se os mecanismos de iluminação fornecidos pela própria UE4;
12. Desenvolvimento de funcionalidade para alterar a textura do objeto quando este está pegando fogo, bem como de um sistema de destruição do objeto quando este permanece em contato com o incêndio. Tais funcionalidades serão melhor definidas na seção 3.2;
13. Criações de novas interfaces do usuário com instruções gerais do funcionamento do simulador. Tais instruções passaram por testes com voluntários. Em seguida, colheu-se o *feedback* de cada um deles. Posteriormente, tais dados foram analisados, possibilitando que melhorias e correções fossem feitas;
14. Após a conclusão do simulador, realizou-se uma série de testes. Nestes testes encontrou-se algumas anormalidades e essas foram corrigidas.

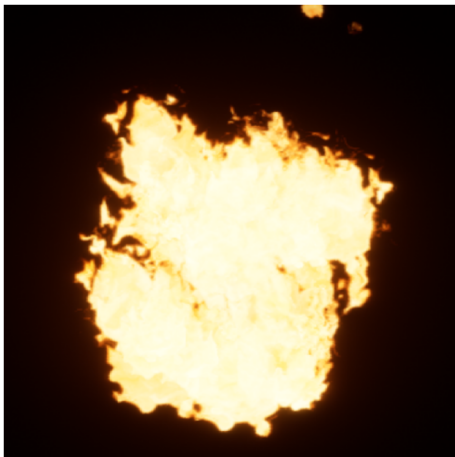
3.2 Funcionamento do simulador

3.2.1 Surgimento do incêndio

O simulador inicia-se com uma vela caindo em um tapete e então tem-se início o primeiro foco de incêndio. Dentro do jogo sério adicionou-se duas partículas de fogo (*Luos's Particle Toolkit Vol. 1* (LUOS, 2016)), ambas encontram-se dentro da loja virtual da *Epic Games*, criadora da *Unreal Engine*.

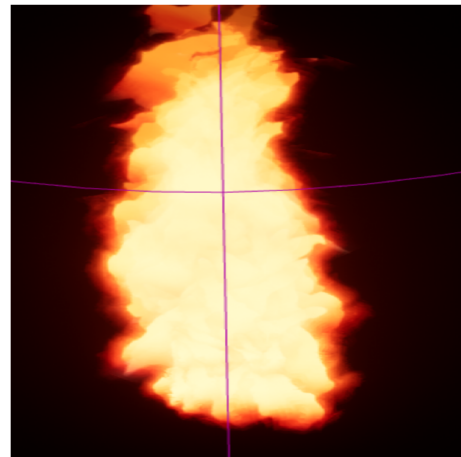
É fundamental explicar que tais partículas foram modificadas para que se enquadrassem na temática do presente simulador. Além disso, pode-se acrescentar que existem duas diferenças entre elas. A primeira divergência encontra-se no formato da labareda. A segunda, na propagação de luzes secundárias provenientes da própria chama. As Figuras 6 e 7 representam a diferença entre as labaredas. As Figuras 8 e 9 referem-se à luz secundária irradiante proveniente da chama.

Figura 6 – Primeiro tipo de labareda.



Fonte: O autor

Figura 7 – Segundo tipo de labareda.



Fonte: O autor

Inicialmente, tentou-se implementar luzes secundárias irradiantes em todos os focos de incêndio presentes no simulador. Todavia, constatou-se que tal procedimento estava sobrecarregando o processador da máquina (Processador Intel Core i7-8700 e 16GB de memória RAM). Justamente por isso, manteve-se essa característica em apenas um foco de incêndio; Pois, como visto na seção 1.3, um dos desafios é permitir que um maior número de dispositivos seja capaz de suportar o simulador.

Todos os focos de incêndio, que podem surgir ao longo da missão, já se encontram posicionados no cenário. É evidente que, inicialmente, não se encontram na sua forma ativa, ou seja, não estão em chamas. Todavia, podem surgir gradativamente de acordo com a atuação do usuário do simulador. No que se refere ao surgimento do incêndio, há duas maneiras de iniciá-lo. Ambas utilizam a mesma função. A diferença encontra-se na utilização ou não da recursividade nela presente. Todos os focos de incêndio possuem

Figura 8 – Chama com luz secundária irradiante.



Fonte: O autor

Figura 9 – Chama sem luz secundária irradiante.



Fonte: O autor

uma caixa de colisão e um código de referência específico para aquela chama. Quando há a sobreposição dessas caixas de colisão, o foco da chama ativo verifica que há focos de incêndio próximos que ainda não foram iniciados. Assim, tem-se início o surgimento de novas chamas, que antes estavam apagadas, após um determinado tempo. Este tempo entre o surgimento de um foco e outro é definido pela referência presente na chama. Se esses novos focos ativos detectarem que há outras sobreposições de caixas de colisão, repete-se o procedimento. Quando a chama não apresenta código de referência não há recursividade da função, mesmo que haja sobreposição das caixas de colisão.

3.2.2 Propagação do incêndio

Por se tratar de um simulador que almeja ser utilizado como acessório de treinamento, planejou-se todas as funcionalidades de maneira estática. Por isso, todos os eventos presentes no simulador sempre ocorrerão na mesma sequência. Justamente por isso, a propagação de todos os focos de incêndio ocorrem através do deslocamento no tempo e no espaço.

Para cada foco que necessita ser propagado pelo cenário, criou-se uma função específica. Dentro dessas, leva-se em consideração a posição do foco do incêndio nos três eixos (X, Y, e Z) e a posição final desejada para o incêndio. Posteriormente, ajusta-se cada funcionalidade de acordo com o tempo desejado para cada propagação, visando sempre obter realismo. Além disso, desenvolveu-se uma lógica de programação baseada em *loops* (repetições) finitos e *delays* (tempo de espera) para reiniciar a função. Deste modo, possibilitou-se deslocar o incêndio pelo espaço com uma velocidade pré-determinada.

3.2.3 Destruição do fogo

Assim como os objetos que podem ser destruídos pelo incêndio, os dois tipos de chamas são exemplos de *Blueprint Class* do tipo *Actor*. Essa definição serve para distingui-los dentro da UE4. Neste caso, tanto os objetos quanto as partículas de fogo podem ser adicionados ao cenário livremente e na quantidade desejada. Além disso, existe apenas uma referência deste objeto, repetida inúmeras vezes pelo cenário. Com isso, as funcionalidades criadas no arquivo referência são válidas para todos os demais.

Da mesma forma como existe uma espécie de vida do personagem principal, para cada referência de um tipo de partícula de fogo desenvolveu-se uma funcionalidade para verificar a vida do fogo. É válido acrescentar que as duas funcionalidades são praticamente idênticas, alterando-se apenas o dano que o fogo sofre ao ser atingido pela partícula proveniente dos extintores.

Os materiais dos objetos que se encontram no cenário do simulador pertencem à classe do tipo A (papel, madeira e tecidos). Justamente por isso, o extintor mais recomendado é o de água. Assim, o dano produzido pelo extintor de água é maior do que o dano do extintor de CO_2 . Pode-se concluir, portanto, que o extintor de água extingue o fogo mais rapidamente do que o extintor de CO_2 . No entanto, o foco do incêndio pode extinguir-se naturalmente. Uma vez que o foco da chama percorra todo o objeto, destruindo-o, ao chegar na sua posição final aciona-se uma funcionalidade para extingui-lo lentamente. A ideia dessa funcionalidade é simular que não existe mais combustível para mantê-lo ativo.

3.2.4 Impressão de decalques no cenário

Como já foi mencionado na subseção 3.2.1, cada foco de incêndio possui uma caixa de colisão. Essa é fundamental no processo de impressão de decalques, que colaboram com o realismo do simulador, visto que os decalques impressos nas paredes, teto e piso retratam a destruição provocada pelo incêndio.

Todos os decalques que podem tornar-se visíveis já se encontram distribuídos em locais estratégicos pelo cenário. Conforme ocorre a propagação do fogo, as caixas de colisão destes, colidem com as caixas de colisão dos decalques. Quando a funcionalidade detecta que houve essa colisão, o decalque, que antes estava invisível, torna-se visível para o usuário do simulador.

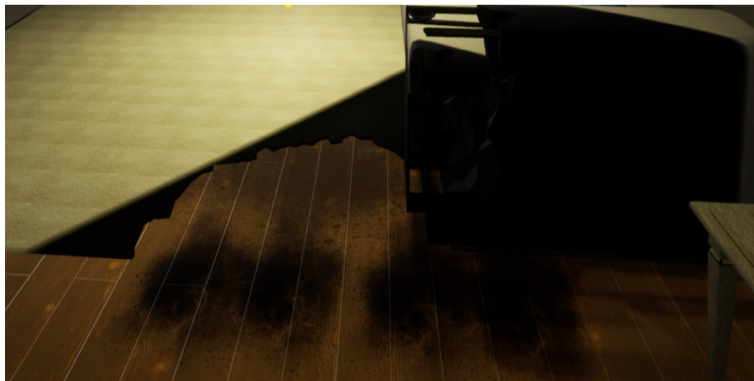
A Figura 10 exemplifica o que foi dito nessa e em subseções anteriores. É possível visualizar os decalques em seus respectivos lugares com suas caixas de colisão (canto inferior esquerdo - paralelepípedo na cor verde). Além disso, é possível visualizar o foco de um dos tipos de incêndio com sua respectiva caixa de colisão (parte central inferior - paralelepípedo na cor marrom). A Figura 11 retrata a destruição do tapete e do sofá provocada pelo incêndio. Além disso, fica nítido o surgimento de decalques no piso de madeira próximo à destruição.

Figura 10 – Cenário do simulador com os focos de incêndio e decalques em seus respectivos lugares na UE4.



Fonte: O autor

Figura 11 – Cenário do simulador após a destruição provocada pelo incêndio com decalques ativos.



Fonte: O autor

3.2.5 Alteração da Textura

Ao iniciar o simulador, as texturas dos objetos, que podem ser atingidos pelas chamas, são geradas e aplicadas novamente aos respectivos objetos. Verifica-se a utilização de tal funcionalidade no sofá, no tapete, nas duas cortinas e no criado. Assim, garante-se que a textura do objeto não está inicialmente danificada pelas chamas do incêndio.

Juntamente com essa funcionalidade, são fornecidos outros parâmetros que servirão

para indicar onde começará a ocorrer a mudança de textura. Tal mudança pode ocorrer em todos os sentidos: da direita para a esquerda, da esquerda para a direita, de cima para baixo, de baixo para cima, da diagonal superior para a diagonal inferior, entre outros. É importante acrescentar que, independente do sentido escolhido, a alteração da textura ocorre de maneira progressiva e sempre em linha reta. Além disso, dentro da funcionalidade para alterar a textura, há uma animação para simular o fogo movimentando-se com a extremidade que separa a textura queimada da textura inalterada.

Dentro da referência de uma das partículas de fogo, há outra funcionalidade que monitora a existência ou não de um incêndio no objeto. Como se trata de um jogo sério, sabe-se exatamente o local onde iniciará o foco do incêndio. É justamente este ponto que define o sentido de propagação da mudança da textura não danificada para a textura danificada. Uma vez que essa funcionalidade detecta que há um incêndio ativo no objeto, ela passa a monitorar este incêndio. Caso após um tempo pré-determinado as chamas não tenham sido apagadas, inicia-se o processo de alteração de textura. Como já dito anteriormente, essa mudança é gradativa e busca acompanhar a propagação do incêndio. Todavia, as chamas podem ser extintas. Neste caso, a mudança de textura interrompe-se imediatamente.

Nas Figuras 12 e 13 verifica-se que de fato a alteração da textura ocorre de maneira dinâmica e seguindo o formato de uma linha reta. Além disso, é possível verificar também a existência da animação que simula a movimentação do incêndio na extremidade da textura queimada. Na figura 14 percebe-se que quando não há focos de incêndio ativos próximos ao objeto, interrompe-se a propagação da mudança de textura.

Figura 12 – Alteração da textura do sofá quando há focos de incêndio ativos dois minutos após o início do simulador.



Fonte: O autor

Figura 13 – Alteração da textura do sofá quando há focos de incêndio ativos três minutos após o início do simulador.



Fonte: O autor

Figura 14 – Interrupção da alteração da textura do sofá quando se extingui todos os focos de incêndio próximos.



Fonte: O autor

3.2.6 Destruição dos objetos

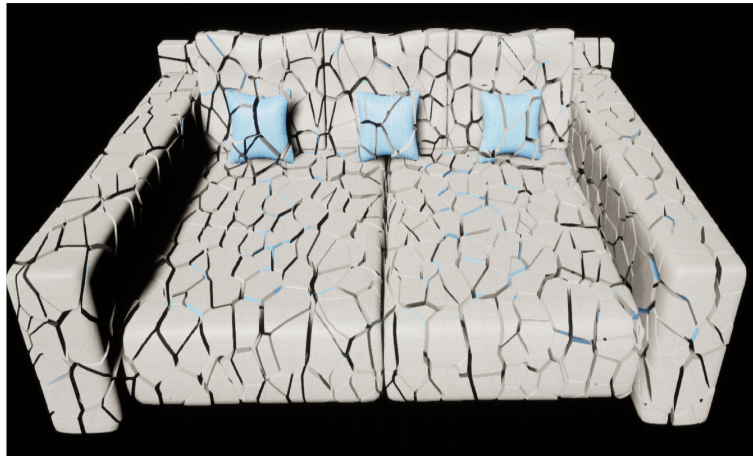
Para este simulador foram criados dois tipos de destruição, ambos utilizam ferramentas fornecidas pela própria UE4. O primeiro envolve a transformação de objetos modelados no *Blender* como objetos do tipo *Destructible Mesh* (DM) (malha destrutível). Neste tipo de destruição, o objeto é fragmentado em um número finito e determinado de pequenos pedaços. Na Figura 15 visualiza-se o sofá modelado no *Blender* em seu estado original. Já na Figura 16, nota-se a fragmentação do mesmo em 2000 pedaços, após sua transformação em um DM. Esse tipo de destruição provoca sobrecarga no processador da máquina.

Figura 15 – Sofá modelado no *Blender*.



Fonte: O autor

Figura 16 – Sofá modelado transformado em um objeto do tipo DM.



Fonte: O autor

A segunda forma de destruição baseia-se no princípio da conversão de uma malha estática em uma malha dinâmica. Utilizou-se essa forma exclusivamente na destruição das duas cortinas. Ao invés de fragmentá-las, optou-se por permitir que fosse concluída a alteração total da textura de cada cortina, posteriormente, convertendo-a em uma malha dinâmica que cai até colidir com o solo. Na Figura 17 nota-se o formato original da cortina retirada do pacote *Interior Toolkit* (DARK, 2016). Já na Figura 18 percebe-se que há uma grande diferença não só no formato como na textura desta cortina. Como dito anteriormente, a alteração de uma malha em outra só ocorrerá quando a cortina for totalmente destruída.

No que se refere ao primeiro estilo de destruição, é fundamental salientar a forma como os fragmentos desaparecem do cenário. Quando se inicia o simulador o objeto do tipo DM é automaticamente fragmentado. Todavia, tais fragmentos permanecem unidos, de tal forma que é impossível notar sua fragmentação. Além disso, cada fragmento apresenta vida própria, ou seja, cada pedaço é capaz de suportar uma quantidade de dano antes de desaparecer de cena. O incêndio, quando ativo, causa dano ininterruptamente dentro de um determinado raio de atuação, podendo atingir tanto o personagem principal quanto um objeto. É justamente isso que ocorre com os objetos do tipo DM: a medida que as chamas propagam-se pelo cenário, elas acarretam danos a estes fragmentos. Dependendo do tempo em que a chama permanece próxima do fragmento, ela provoca o dano necessário para destruí-lo. É importante acrescentar, ainda, que uma vez que se extingue o incêndio, interrompe-se a geração de dano provocada por ele. Logo, os fragmentos que não sumiram do cenário permanecem em sua posição original.

Figura 17 – Cortina original encontrada no pacote *Interior Toolkit* (DARK, 2016).



Fonte: Arthur Dark

Figura 18 – Cortina completamente queimada em sua nova forma estática.



Fonte: O autor

3.2.7 Diferença entre extintores

Para a primeira versão do simulador modelou-se apenas os extintores de CO_2 e H_2O . No que tange à modelagem destes objetos, as diferenças visuais podem ser encontradas na textura e na presença do difusor no extintor de CO_2 (Figuras 19 e 20 respectivamente).

Figura 19 – Extintor de CO_2 texturizado com difusor.



Fonte: O autor

Figura 20 – Extintor de H_2O texturizado.



Fonte: O autor

Dentro da UE4 a diferença entre esses extintores é mais significativa tanto visual quanto funcionalmente. Para o extintor de CO_2 criou-se uma partícula para simular o jato e adicionou-se partículas que ao colidirem com objetos emitem uma fumaça branca no sentido vertical ascendente. Já para o extintor de água, a partícula criada assemelha-se a um jato de água, que ao colidir com um objeto segue os princípios da física de reflexão. É válido acrescentar que ambas as partículas desaparecem do cenário após poucos segundos. Assim sendo, não ocorre a sobrecarga do processador do dispositivo.

Cada extintor apresenta um conjunto de funcionalidades independentes, porém muito parecidas, e uma referência própria. O intuito dessa referência é permitir que as demais funcionalidades tenham conhecimento de qual extintor está sendo portado pelo personagem principal. Deste modo, é possível gerar danos com intensidades diferentes no mesmo foco de incêndio. Como já mencionado anteriormente, para papel, madeira e tecidos (Classe A) recomenda-se o uso do extintor de água. Logo este provoca um dano duas vezes maior que o do extintor de CO_2 .

3.2.8 Atenção com a tomada

Embora o extintor recomendado para o cenário desse simulador seja o de H_2O , é necessário analisar o ambiente e encontrar os perigos iminentes. O foco de incêndio inicial pode propagar-se e atingir o criado ao lado do sofá. Neste criado há um abajur que está conectado na tomada. Como o criado é de madeira e há muito tecido no abajur,

o recomendado seria a utilização do extintor de H_2O . Todavia por haver uma tomada próxima, a utilização da água representa um risco de choque elétrico. Portanto, cabe ao usuário do simulador selecionar diretamente o extintor de CO_2 e então continuar o combate ao incêndio.

Com o intuito de deixar o simulador mais educativo, adicionou-se uma caixa de colisão próxima a essa tomada. Assim, permite-se que essa caixa tenha conhecimento de qual extintor está atingindo-a. Quando se tratar do extintor de CO_2 nada ocorrerá, apenas será mais difícil extinguir o incêndio. Todavia, quando se tratar do extintor de H_2O surgirá uma mensagem de alerta no centro da tela e o personagem principal terá sua vida reduzida, de tal forma que ele pode vir a óbito caso continue utilizando o extintor de água ou caso sua vida encontre-se em um nível crítico.

3.3 Desenvolvimento do simulador

3.3.1 Modelagens no *software Blender*

Assim como já foi visto na seção 1.3 Objetivos e Desafios da Pesquisa, utilizou-se o *software Blender* para a modelagem do personagem principal e dos demais objetos necessários para compor o cenário.

A Figura 21 representa o personagem principal construído no *Blender*. Percebe-se que o rosto do personagem está atrás da viseira de proteção do capacete. De todas as partes da modelagem, a mais difícil de ser feita é a que envolve a cabeça do personagem. Nela o padrão de qualidade necessita ser alto para produzir um bom nível de realismo no *game*. Como o simulador é voltado para o modo em primeira pessoa, não é possível ver o rosto do personagem. Portanto, este nível de detalhamento foi reduzido em uma primeira versão do simulador.

No início do desenvolvimento na *Unreal Engine*, o *template* escolhido para o simulador foi o de terceira pessoa, portanto foi necessário fazer a alteração do modo de câmeras. A Figura 22 retrata a posição da câmera, fixada na cabeça do personagem, para gerar o modo em primeira pessoa.

A Figura 23 representa um dos primeiros objetos criados no *software Blender*. Basicamente, qualquer objeto que apresente uma geometria relativamente simples, pode ser construído utilizando formas básicas como cubos e cilindros. Além disso, com as ferramentas fornecidas pelo próprio *Blender* é possível aumentar a qualidade da modelagem. Evidentemente, quanto mais ferramentas forem adicionados ao objeto, mais realista ele será.

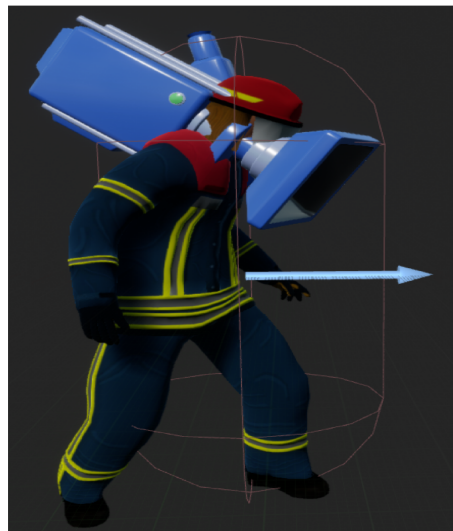
Assim como ocorreu na criação do personagem, há sempre uma parte do objeto criado que é mais difícil de ser reproduzida. Na Figura 23, fica nítido que a mangueira do extintor apresenta segmentos de retas ao invés de ser uma curva contínua. Todavia,

Figura 21 – Personagem principal do simulador criado no *software Blender*.



Fonte: O autor

Figura 22 – Posição da câmera para gerar o modo em primeira pessoa na UE4.



Fonte: O autor

Figura 23 – Extintor de CO_2 sem textura criado com o *Blender*.



Fonte: O autor

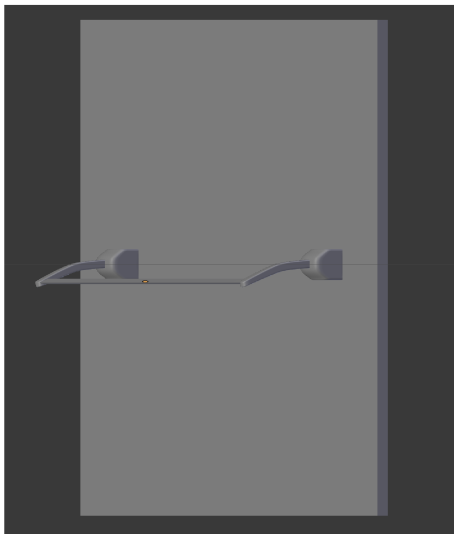
o intuito deste projeto não é criar objetos esteticamente perfeitos, e sim objetos que permitam uma jogabilidade adequada e reproduzam a dinâmica de interação com seus correspondentes reais.

3.3.2 Criação de texturas

A criação de texturas pode ser dividida em duas etapas: planificação do objeto modelado e pintura dessa planificação. Assim como já mencionado na seção 1.3, o arquivo com extensão *Portable Network Graphics* (PNG) da planificação foi gerado dentro do próprio *Blender*. Posteriormente, esse arquivo foi importado para dentro do GIMP e então criada a textura para o objeto.

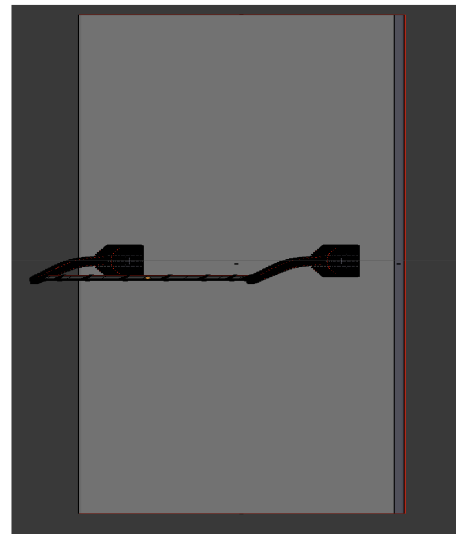
Após o término da modelagem 3D do objeto, as arestas deste foram selecionadas. Vale ressaltar que essa seleção de arestas pode ser algo bem complexo dependendo da forma do objeto. A Figura 24 retrata o objeto modelado antes de ser iniciado o processo de planificação. A Figura 25 retrata o objeto modelado após a seleção de todas as arestas para gerar o arquivo PNG planificado.

Figura 24 – Porta corta-fogo criada no *Blender* antes de selecionar as arestas para gerar a planificação.



Fonte: O autor

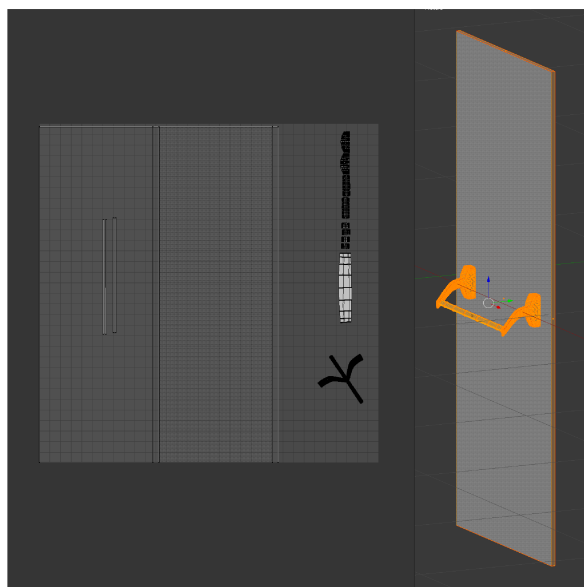
Figura 25 – Porta corta-fogo criada no *Blender* depois de selecionar as arestas para gerar a planificação.



Fonte: O autor

Ao final da seleção de todas as arestas necessárias, utilizou-se as ferramentas fornecidas pelo próprio programa para obter a planificação do objeto. A Figura 26 retrata, do lado direito, o objeto 3D selecionado e, do lado esquerdo, a planificação do objeto modelado.

Uma vez que o arquivo da planificação com extensão PNG foi gerado, ele pôde ser importado para dentro do GIMP. Após a importação, teve início a criação da textura do objeto. Para isso, pode-se utilizar ferramentas disponíveis no próprio programa ou então importar novas imagens no formato de camadas e criar a sobreposição dessas. A Figura 27 explicita a textura que foi criada para a porta corta-fogo. Vale destacar que a camada da planificação só está visível para facilitar a compreensão. Para gerar a textura final, tal camada deve ficar abaixo das demais. A Figura 28 representa o resultado final

Figura 26 – Porta corta-fogo criada no *Blender* com a sua respectiva planificação.

Fonte: O autor

da importação da textura e criação do material para a porta corta-fogo dentro da UE4.

Figura 27 – Textura criada no GIMP para a porta corta-fogo.



Fonte: O autor

Figura 28 – Resultado final do objeto texturizado.



Fonte: O autor

3.3.3 Criação do cenário

Após a modelagem de alguns objetos fundamentais para a narrativa do *game*, pôde-se iniciar a construção do cenário. Para isso, foi necessário criar um novo *Level* dentro da

UE4. Após essa etapa o desenvolvedor torna-se livre para criar o cenário da forma e na ordem que desejar.

Ao longo da construção do cenário é comum perceber que falta modelar algum objeto, o qual pode ser encontrado na loja da Epic Games. Nessa, existem milhares de objetos e funcionalidades. É importante ressaltar que alguns objetos que se encontram no cenário deste simulador são provenientes desses pacotes, assim como já mencionado anteriormente.

Quando os objetos estavam na posição desejada, foi possível iniciar a adição das luzes. Essa é uma das etapas mais difíceis da criação do cenário e requer muita atenção e cuidado. Quanto mais luzes houver melhor será a visualização e qualidade do jogo, entretanto maior será a necessidade de processamento do computador.

No caso deste simulador, foi escolhido o cenário de um apartamento com dois ambientes. O primeiro, onde se inicia o simulador, é composto por uma sala de televisão junto a uma sala de jantar. O segundo é o hall de acesso ao apartamento, onde se encontram os extintores. As Figuras 29 e 30 representam o interior do apartamento. A Figura 31 representa o exterior do apartamento, ou seja, o hall dos elevadores, onde o jogador poderá apanhar um extintor para apagar o fogo.

Figura 29 – Visão em primeira pessoa do cenário voltado para a sacada do apartamento.



Fonte: O autor

Figura 30 – Visão em primeira pessoa do cenário voltado para a porta de entrada do apartamento.



Fonte: O autor

Figura 31 – Visão em primeira pessoa do cenário: hall de acesso ao apartamento.



Fonte: O autor

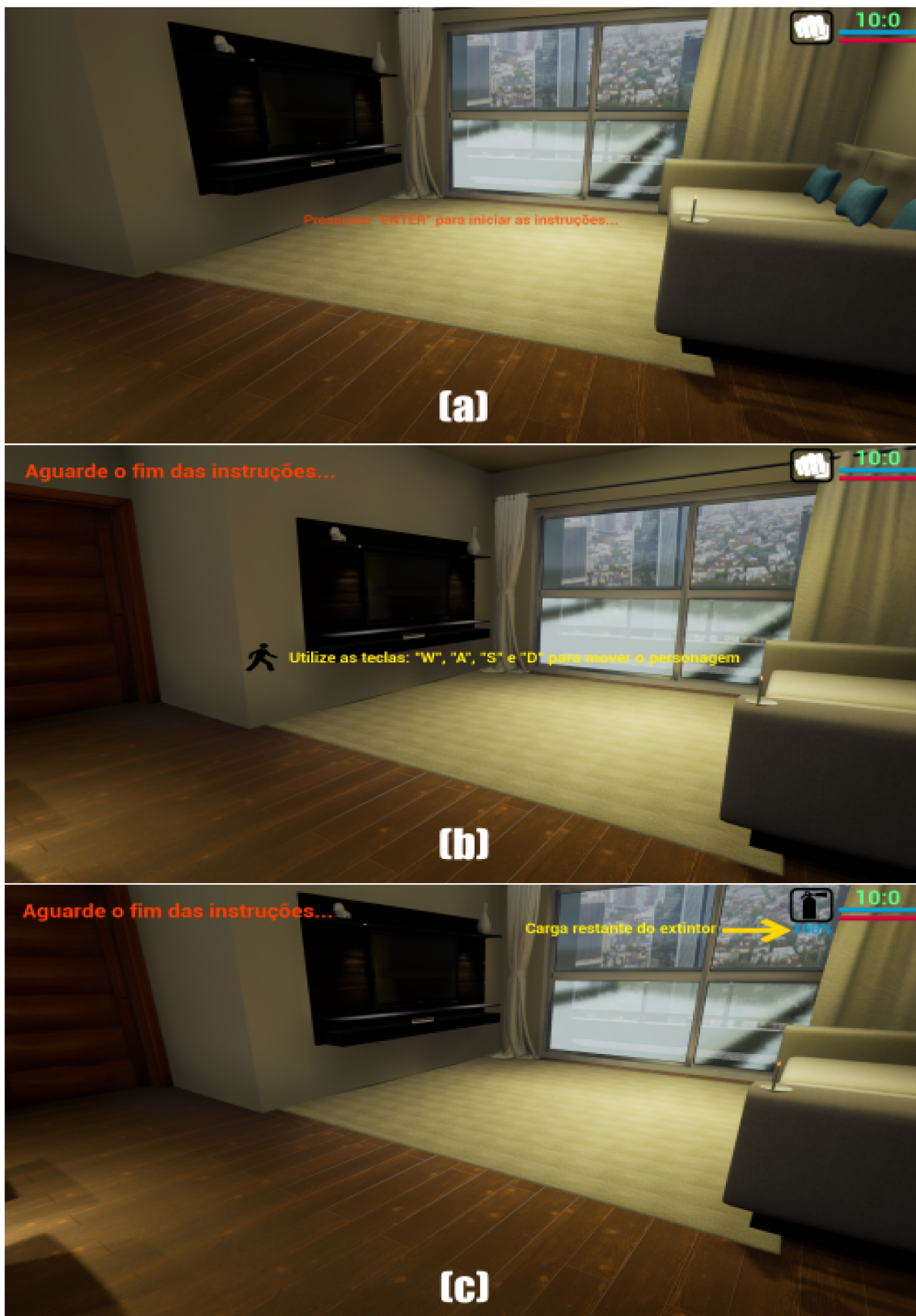
Resultados

Este capítulo será dividido em dois segmentos. Na seção 4.1 será apresentada uma sequência de imagens obtidas do próprio simulador, utilizadas para explicitar a propagação do incêndio pelo cenário e a destruição ocasionada neste. Além disso, serão apresentadas outras imagens que retratarão aspectos relevantes do simulador. Na seção 4.2 serão apresentados os resultados obtidos por meio das respostas dos voluntários.

4.1 Apresentação do simulador

O simulador de como apagar um incêndio de pequeno porte foi desenvolvido com intuito educacional. Dessa forma, espera-se que seja utilizado por indivíduos de diferentes faixas etárias. Para as gerações mais recentes, que cresceram imersas na tecnologia, não deverá haver dificuldades de manuseio do simulador, visto que este emprega o mesmo padrão de comandos de diversos jogos amplamente conhecidos. Todavia, para usuários de gerações anteriores talvez os comandos não sejam intuitivos. Justamente por isso, adicionou-se uma série de instruções para ensinar os comandos aos usuários. Além disso, tais instruções são úteis durante o processo de renderização das luzes do cenário. Na Figura 32 são retratadas algumas das instruções fornecidas aos usuários do presente projeto.

Figura 32 – Instruções fornecidas antes da inicialização do simulador.

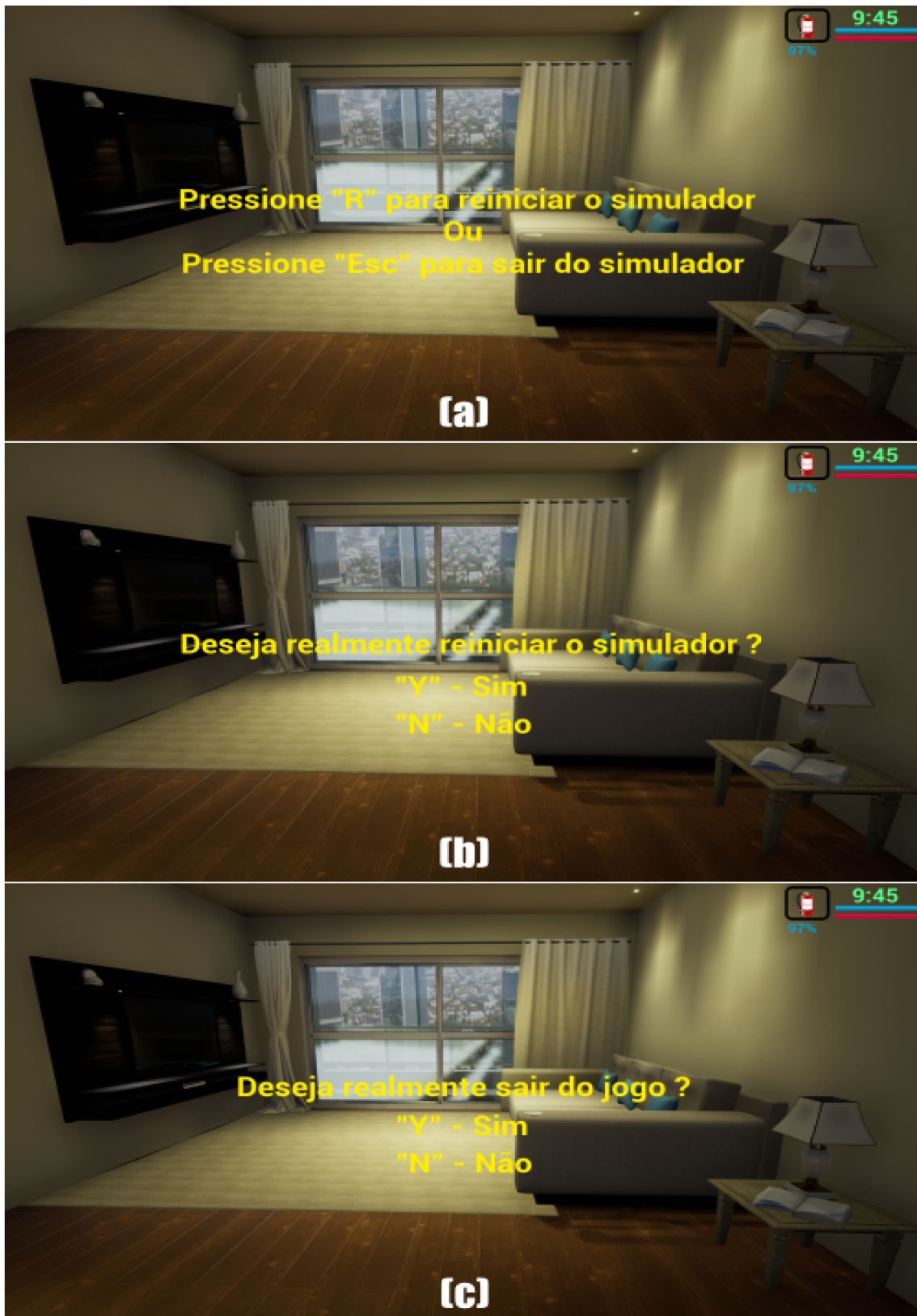


Fonte: O autor

Dividiu-se o conjunto de instruções em três etapas. A primeira é composta por uma mensagem apenas, assim como pode ser visto na Figura 32(a). Esta mensagem (“Pressione ‘ENTER’ para iniciar as instruções...”) ficará visível até que o usuário pressione a tecla ‘ENTER’. É justamente neste intervalo de tempo que ocorre a renderização das luzes. A segunda etapa é composta por 7 mensagens sequenciais de caráter geral (Figura 32(b)). Essas alteram-se automaticamente após um tempo pré-determinado e referem-se aos comandos básicos para a movimentação do personagem principal e interação com objetos. No Apêndice A.1 encontram-se todas as instruções gerais fornecidas ao usuário. A terceira etapa é composta por 6 mensagens sequenciais, que também se alteram após determinado intervalo de tempo. Contudo, essas são voltadas para algo específico, como apresentar o painel informativo (presente no canto superior esquerdo, Figura 32(c)). Além disso, como essas mensagens não estão localizadas na posição central da tela, adicionou-se um recurso para controlar o canal alpha, responsável pela transparência da mensagem, do formato de cores RGBA (vermelho, verde, azul e alpha). O resultado obtido com a alteração deste canal é o surgimento de mensagens intermitentes. Pode-se encontrar o conjunto completo das mensagens específicas no Apêndice A.2.

Além das mensagens iniciais de instruções, ao término do desafio presente no simulador novas mensagens são apresentadas ao usuário. Existem três situações que podem levar ao término do desafio presente no simulador: extinguir os focos de incêndio dentro do tempo determinado (isto é, concluir o desafio), não extinguir os focos de incêndio dentro do tempo (não concluir o desafio) e morrer (por conta da proximidade com as chamas ou por conta de choques elétricos). A Figura 33(a) retrata a mensagem apresentada após a conclusão do simulador, havendo êxito em apagar o incêndio ou não. Nessa o usuário pode escolher entre duas opções: pressionar a tecla “R” reinicia o simulador enquanto pressionar a tecla “ESC” encerra o simulador. Independente da escolha do usuário uma nova mensagem será apresentada para confirmar a decisão escolhida. As Figuras 33(b) e 33(c) representam essas novas mensagens. Nessas o usuário pode pressionar a tecla “Y” para confirmar sua decisão ou a tecla “N” para voltar para a mensagem anterior (Figura 33(a)).

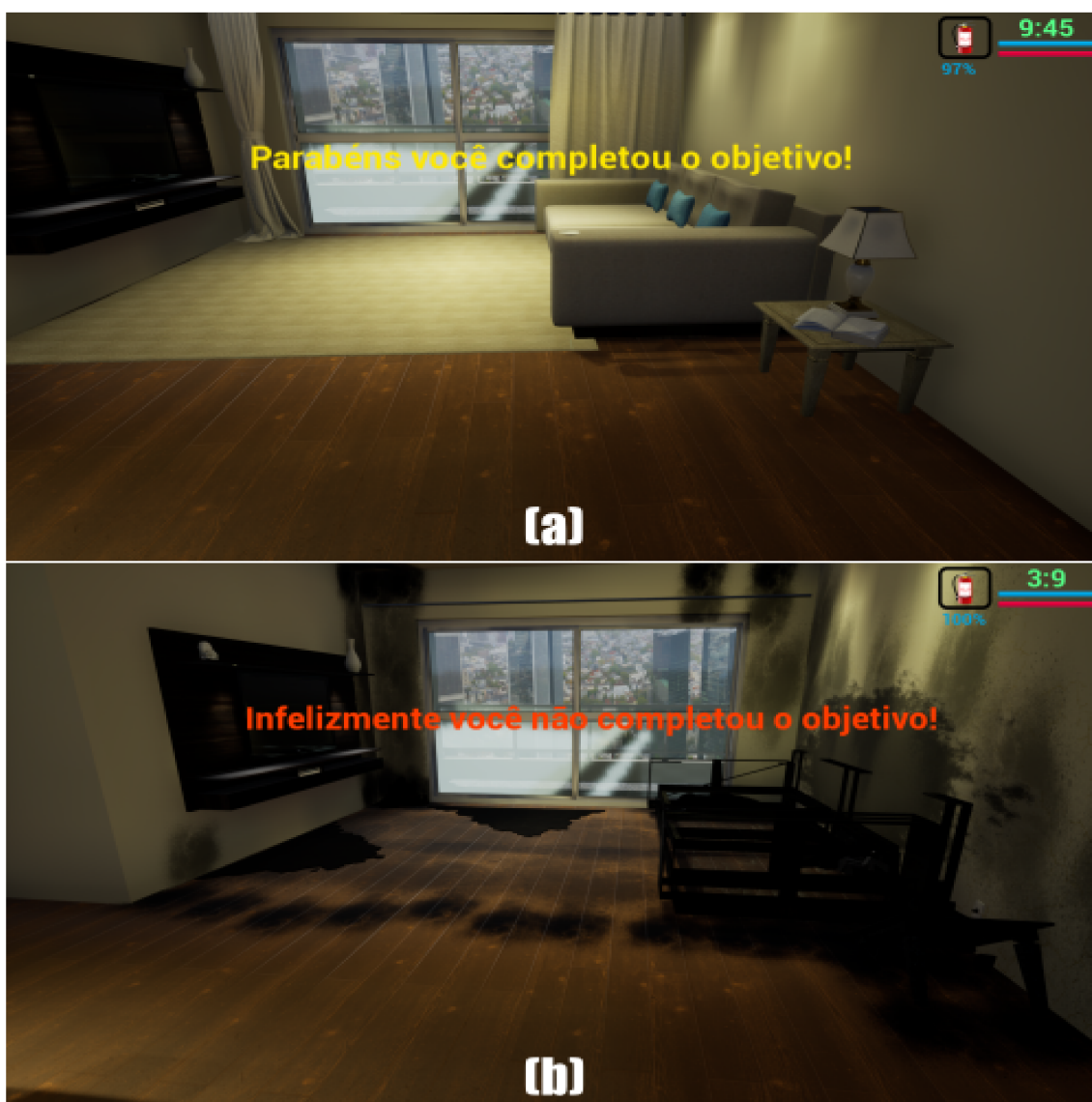
Figura 33 – Mensagens apresentadas após a conclusão do simulador.



Fonte: O autor

Caso o usuário obtenha êxito em extinguir todos os focos de incêndio, uma mensagem dinâmica (que se inicia na região central da tela e move-se em direção à parte superior, ao mesmo tempo em que se aumenta o tamanho da fonte) aparecerá com a frase: “Parabéns você completou o objetivo!”. Todavia, se o usuário não extinguir os focos de incêndio a tempo, aparecerá outra mensagem dinâmica com a seguinte frase: “Infelizmente você não completou o objetivo!”. A Figura 34 apresenta as frases mencionadas.

Figura 34 – Mensagens apresentadas quando o desafio é concluído com êxito (a) e sem êxito (b).



Fonte: O autor

No capítulo anterior, tanto a parte interna do apartamento quanto a parte externa (*hall* de acesso) deste foram devidamente retratados (Figuras 29, 30 e 31). É possível perceber a presença de inúmeros objetos pelo cenário: alguns são interativos enquanto

outros são apenas decorativos. A profusão de objetos fornece a imersão desejada para o presente projeto.

Evidentemente, o enfoque deste simulador não está nos detalhes ou na disposição dos objetos. O enfoque está nos focos de incêndio, nos extintores, na interação do usuário com o extintor, do usuário com o incêndio e do extintor com o incêndio, na propagação das chamas e na destruição do cenário. Justamente por isso, é apresentada uma sequência de imagens (Figura 35), que retrata a propagação das chamas pelo cenário e a destruição dos objetos nele presentes. Deve-se acrescentar que cada imagem apresenta uma diferença de trinta segundos em relação à imagem anterior.

Figura 35 – Propagação das chamas e da destruição nos instantes (a) $t_0=0:00$, (b) $t_1=0:30$, (c) $t_2=1:00$, (d) $t_3=1:30$, (e) $t_4=2:00$, (f) $t_5=2:30$, (g) $t_6=3:00$, (h) $t_7=3:30$, (i) $t_8=4:00$, (j) $t_9=4:30$, (k) $t_{10}=5:00$, (l) $t_{11}=5:30$, (m) $t_{12}=6:00$, (n) $t_{13}=6:30$, (o) $t_{14}=7:00$.











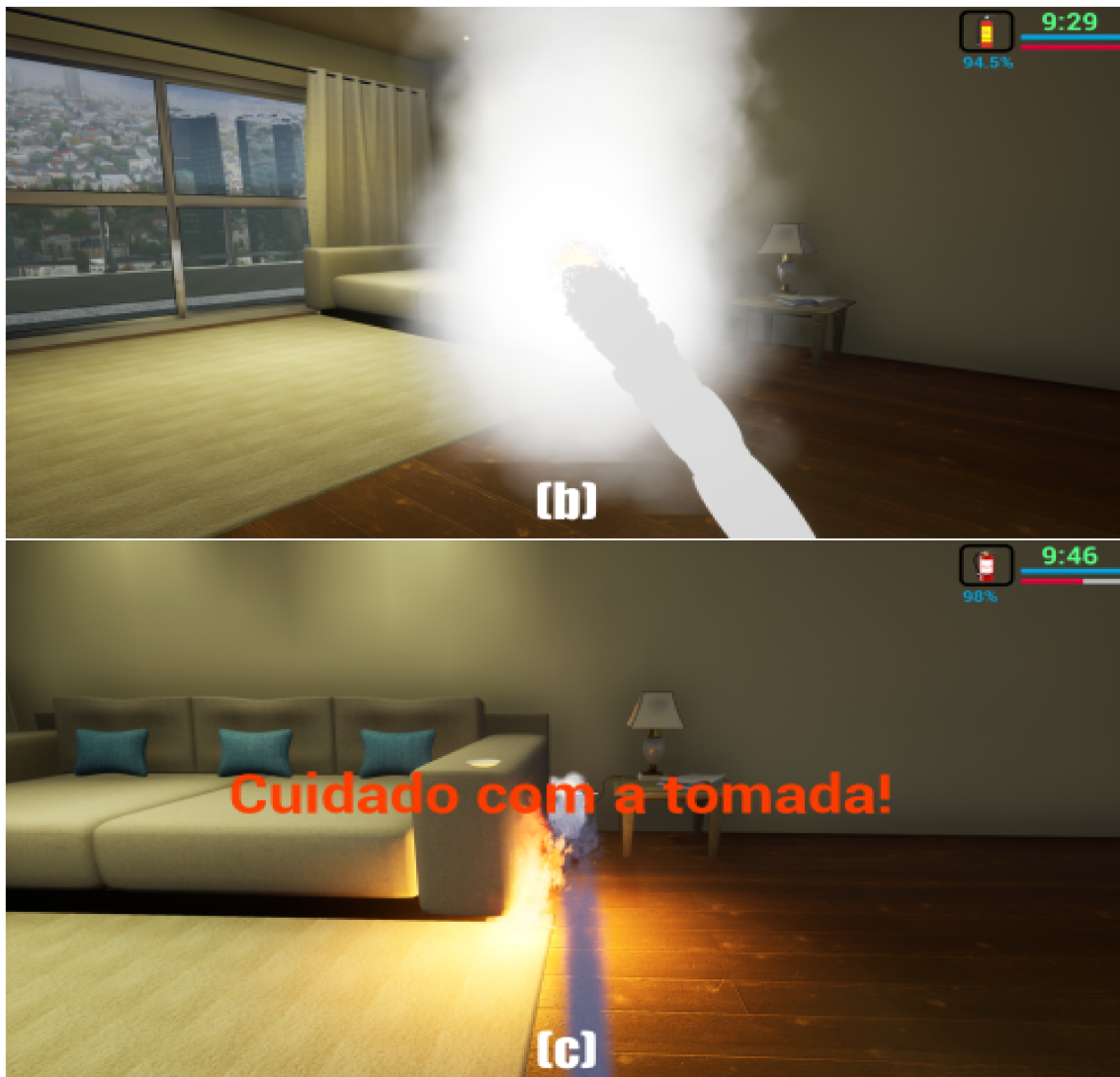


Fonte: O autor

A Figura 36 retrata as possíveis interações dos jatos de H_2O ou de CO_2 dos extintores com os focos de incêndio (Figuras 36(a) e 36(b) respectivamente) e com a tomada energizada (Figura 36 (c)). A Figura 36(c) representa ainda as consequências de disparar o extintor de H_2O em direção à tomada. Deve-se acrescentar que, além da mensagem apresentada (“Cuidado com a tomada!”), o personagem tem parte da sua vida reduzida, assim como pode ser observado pela barra vermelha (incompleta) presente no canto superior direito da Figura 36(c).

Figura 36 – Interação do jato dos extintores de H_2O e de CO_2 com objetos interativos do cenário.





Fonte: O autor

4.2 Resultados da pesquisa

Com o intuito de avaliar o simulador desenvolvido, entre os dias 18, 19 e 20 de junho 20 voluntários testaram o simulador e responderam a um questionário, o qual pode ser encontrado no Apêndice B. Durante a avaliação do simulador não houve nenhum tipo de comunicação entre o jogador e o desenvolvedor do presente projeto. Por se tratar de um jogo sério, repleto de instruções iniciais, espera-se que qualquer voluntário, mesmo que sem experiência na temática e/ou em jogos digitais, seja capaz de participar do desafio proposto. Deve-se acrescentar, ainda, que não foi dada qualquer explicação sobre qual tipo de extintor é mais adequado para a classe de incêndio ou qual a melhor maneira para extinguir as chamas. Justamente por isso, alguns resultados obtidos por meio da pesquisa encontram-se distantes do que era esperado. Percebeu-se que a maioria dos voluntários estava destinada a apagar os focos de incêndio no menor tempo possível, sem deixar que

as chamas se espalhassem pelo cenário. Contudo, não se analisava qual o extintor mais adequado. Este era escolhido aleatoriamente, num contexto de desespero.

Essa escolha aleatória do extintor de incêndio era esperada e confirma a importância de submeter cidadãos comuns a este tipo de simulação. Acredita-se que, após uma breve explicação sobre os diferentes tipos de incêndio, diferentes tipos de agentes extintores e diferentes técnicas para extinguir o incêndio, o usuário obteria melhores resultados no simulador. Ou seja, o simulador representa a aplicação prática da teoria, sem colocar a vida do usuário em risco.

O questionário desenvolvido foi dividido em quatro seções e totaliza dez perguntas, sendo nove obrigatórias e uma opcional. A primeira seção apresenta seis perguntas, sendo as quatro primeiras referentes à qualidade do simulador. Para respondê-las o usuário deve escolher um número de um a cinco (quanto mais próximo de um, mais insatisfeito; quanto mais próximo de cinco, mais satisfeito). A quinta pergunta questiona se o usuário completou ou não o desafio. A sexta pergunta da presente seção é condicional (dependendo da resposta a pesquisa pode ou não avançar para a próxima seção) e indaga se durante o treinamento no simulador o foco de incêndio havia se espalhado para a mesa próxima ao sofá. Caso o usuário responda “não”, a pesquisa é guiada para a quarta seção, visto que a segunda e terceira seções referem-se ao incêndio na mesa próxima ao sofá. Caso a resposta seja “sim”, encaminha-se para a segunda seção.

A segunda seção é composta por uma pergunta apenas. Questiona-se qual extintor foi utilizado para apagar as chamas próximas a mesa. Como resposta há duas opções: H_2O e CO_2 . Caso a resposta seja H_2O , avança-se para a próxima seção. Caso a resposta seja CO_2 , a pesquisa é guiada para a quarta seção, visto que a terceira seção aborda a temática do uso de água próximo à tomada energizada.

A terceira seção apresenta duas perguntas. A primeira questiona se ao jogar água na tomada o usuário do simulador recebeu alguma mensagem de atenção. A segunda questiona se, após treinar no simulador, o usuário utilizaria um extintor de água para combater um incêndio próximo à rede elétrica. Nessa pergunta espera-se que o usuário responda “não”, o que pode indicar que o simulador cumpriu seu objetivo educacional. Espera-se ainda que em uma situação real o usuário consiga recordar o que foi aprendido no ambiente virtual e coloque tais ensinamentos em prática.

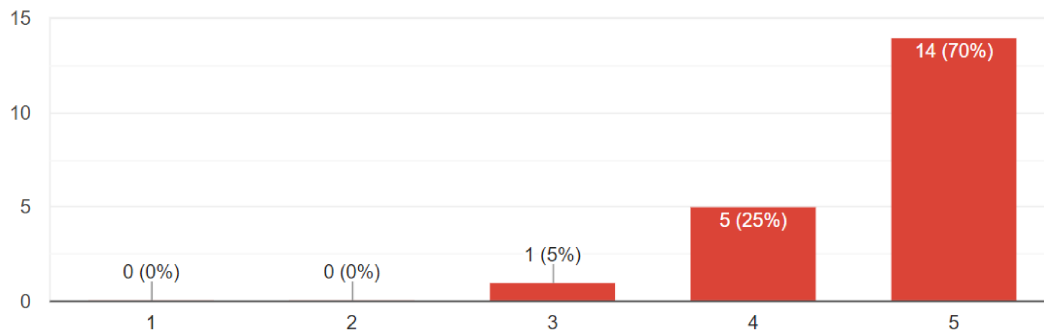
A quarta seção é composta pela única pergunta opcional da pesquisa. Caso o voluntário deseje, pode fornecer comentários ou sugestões para o projeto. Ressalta-se que a pesquisa é fundamental para formular o *feedback* do simulador.

A seguir são apresentados os resultados obtidos com o questionário. Além disso, calculou-se a média (\bar{x}) e o desvio padrão (σ) para as quatro primeiras perguntas da avaliação. Primeiramente deve-se ressaltar a obtenção de um *feedback*, no geral, satisfatório, assim como pode ser comprovado pelos resultados dessas perguntas (Figuras 37, 38, 39 e 40).

Figura 37 – Primeira pergunta da avaliação do simulador.

Qual nota você daria para a clareza das instruções iniciais ?

20 respostas



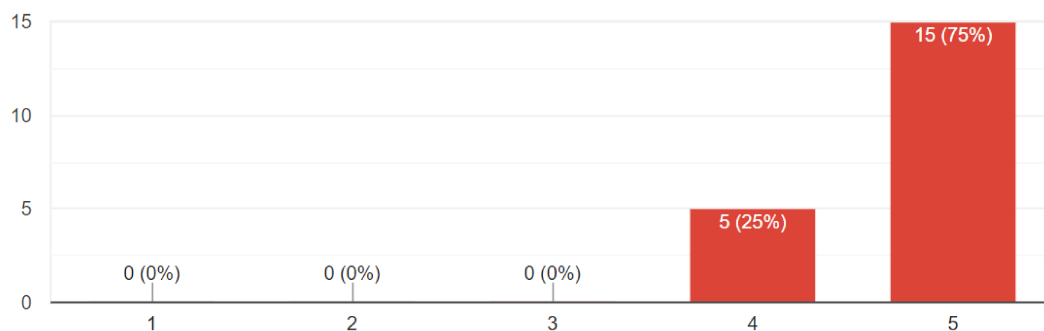
Fonte: O autor

$$\bar{x} = 4,65 \text{ e } \sigma = 0,57$$

Figura 38 – Segunda pergunta da avaliação do simulador.

Qual nota você daria para a qualidade das texturas dos objetos?

20 respostas



Fonte: O autor

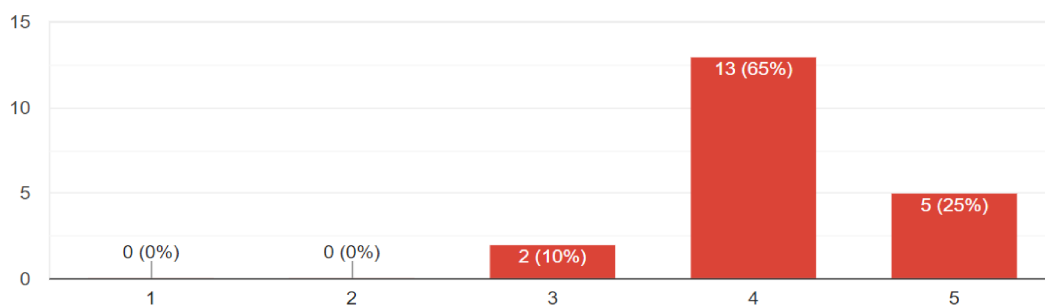
$$\bar{x} = 4,75 \text{ e } \sigma = 0,43$$

Figura 39 – Terceira pergunta da avaliação do simulador.

Qual nota você daria para a imersão do cenário (sensação de estar dentro do ambiente virtual) ?



20 respostas



Fonte: O autor

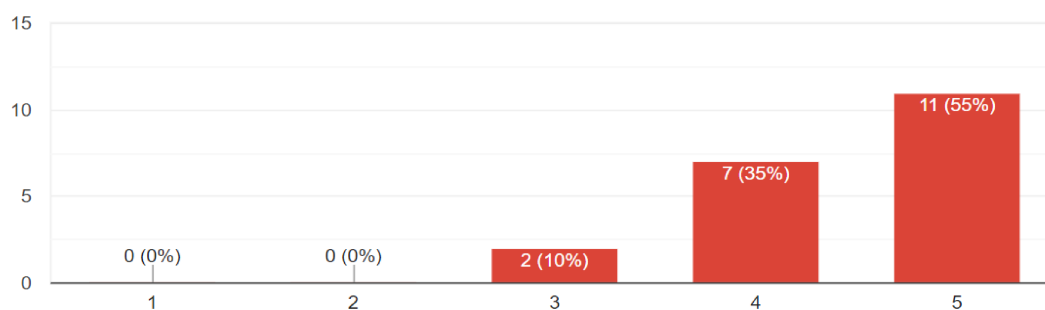
$$\bar{x} = 4,15 \text{ e } \sigma = 0,57$$

Figura 40 – Quarta pergunta da avaliação do simulador.

Qual nota você daria para a interação entre um foco de incêndio e o extintor, no que se refere a apagar o fogo ?



20 respostas



Fonte: O autor

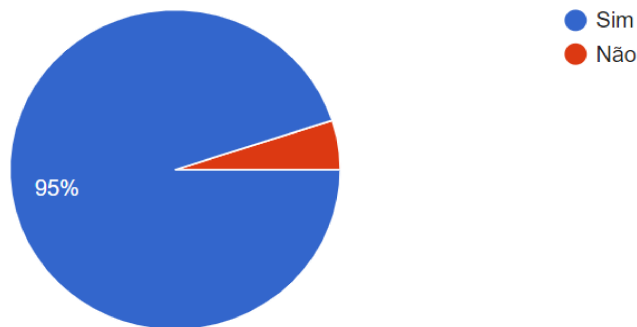
$$\bar{x} = 4,45 \text{ e } \sigma = 0,67$$

A Figura 41 refere-se à conclusão, com êxito ou não, do desafio presente no simulador. De todos os voluntários participantes apenas um não foi capaz de apagar os focos de incêndio, permitindo que o cenário fosse completamente destruído.

Figura 41 – Quinta pergunta da avaliação do simulador.

Você conseguiu completar o objetivo da missão ?

20 respostas



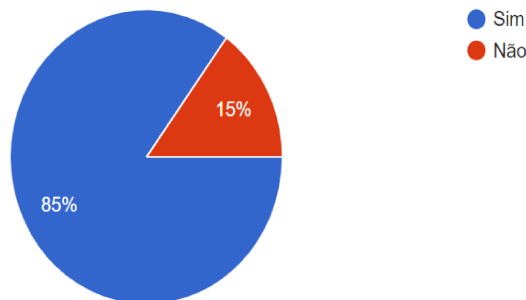
Fonte: O autor

De todos os jogadores do simulador, três deles rapidamente identificaram o desafio do cenário e encontraram facilmente os extintores. Por isso, foram capazes de apagar os focos de incêndio antes que estes atingissem a mesa próxima ao sofá (Figura 42). Deve-se acrescentar que estes três usuários não responderam as próximas três perguntas e foram encaminhados diretamente para a última seção da pesquisa.

Figura 42 – Sexta pergunta da avaliação do simulador.

Durante a sua experiência no simulador, o fogo espalhou-se para a mesa posicionada ao lado do sofá ?

20 respostas



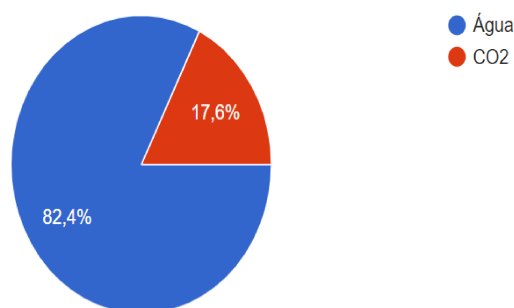
Fonte: O autor

A Figura 43 ilustra que a maioria dos jogadores fez uso do extintor de água para apagar os focos de incêndio próximos à mesa. É válido acrescentar que a maioria dos voluntários utilizou o extintor que já estava portando para extinguir essas chamas. Como mencionado anteriormente, a escolha do extintor ocorreu, de maneira geral, aleatoriamente. Todavia, o ideal para o cenário seria fazer uso do extintor de água para todos os focos de incêndio distantes da tomada energizada e, posteriormente, alterar para o extintor de CO_2 para extinguir o foco de incêndio próximo à mesa. Como já era de se esperar, em apenas dois casos o jogador do simulador realizou essa troca de extintores. Nos demais, a falta de informação sobre tipos de incêndio e tipos de extintores atreladas ao estresse suscitado pelo cenário em chamas impossibilitaram a observação dos detalhes mais sutis presentes no desafio. Como a terceira seção da avaliação refere-se à utilização de água próxima à tomada, quem utilizou o extintor de CO_2 , mesmo que de maneira acidental, teve sua pesquisa encaminhada para a quarta seção.

Figura 43 – Sétima pergunta da avaliação do simulador.

Para apagar o fogo nessa mesa você utilizou o extintor de Água ou de CO_2

17 respostas



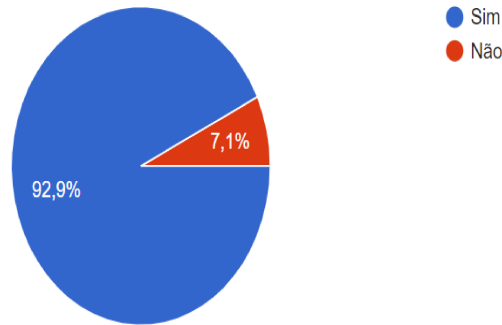
Fonte: O autor

Informou-se na seção 3.2.8 sobre a existência de uma caixa de colisão, próxima à tomada, responsável pela detecção de água. Essa caixa não abrange toda a mesa. Assim, dependendo da posição das chamas em relação à mesa, é possível utilizar o extintor de água para extingui-las sem atingir a caixa de colisão. Neste caso, o jogador do simulador não se depara com a mensagem de alerta, nem tem a vida de seu personagem reduzida. É justamente por isso que na Figura 44 um voluntário respondeu que não foi alertado para tomar cuidado com a água. Todavia, dado o desespero e a pressa para extinguir o incêndio, os demais usuário acabaram movimentando o jato de água ao redor do incêndio, o que implicou o surgimento da mensagem de alerta.

Figura 44 – Oitava pergunta da avaliação do simulador.

Você foi alertado para tomar cuidado com a água próximo à tomada ?

14 respostas



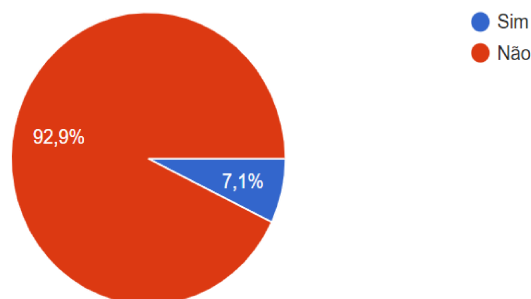
Fonte: O autor

A pergunta da Figura 45 é fundamental para avaliar o caráter educacional do simulador. Dos vinte voluntários que responderam a pesquisa, apenas quatorze responderam as duas perguntas presentes na terceira seção. Destes quatorze, treze depararam-se com a mensagem de alerta de utilização da água próxima à tomada. Além disso, treze voluntários também responderam, após utilizar o simulador, que não utilizariam água em uma situação real análoga.

Figura 45 – Nona pergunta da avaliação do simulador.

Imaginando uma situação real, você utilizaria um extintor de água próximo à uma tomada conectada à rede elétrica ?

14 respostas



Fonte: O autor

A Figura 46 apresenta os comentários e sugestões fornecidos pelos voluntários que responderam à pesquisa. Por não se tratar de algo obrigatório, obteve-se apenas nove

respostas, sendo duas exatamente iguais. Todavia, estas foram satisfatórias e vão de encontro ao que era esperado do projeto. A partir dessas respostas, fica evidente a presença do caráter educacional do simulador. Além disso, um terço das respostas obtidas sugerem a adição de novos cenários que abordem a mesma temática em situações diferentes. Em relação à sugestão para diminuir os *lags* (intervalo de tempo existente entre a execução de um comando e o instante em que isso torna-se visível) decorrentes da sobrecarga do processador, deve-se ressaltar que eles estão atrelados à fragmentação e destruição do sofá.

Figura 46 – Décima pergunta da avaliação do simulador.

Comentários ou sugestões para trabalhos futuros

9 respostas

O sistema desenvolvido é bastante útil para os treinamentos e cumpre seu objetivo.

Situações alternativas, como fogo em automóvel ou em materiais diferentes, onde o fogo se alastra de maneira diferente

Achei bem interessante

Muito instrutivo.

Ótimo simulador, com grande potencial para educar as crianças a respeito da segurança.

Diminuir os lags presentes

Sugestão para adotar para pequenas empresas

Adicionar situações diferentes, como fogo em automóvel ou materiais que queimam com velocidades diferentes

Fonte: O autor

Conclusão

Com o surgimento de novas tecnologias e a disseminação de conhecimento por meio da *internet*, pode-se notar um aumento da produção de jogos digitais nacionais. Esse aumento não se refere, exclusivamente, à quantidade, mas também à qualidade de tais produções. Além disso, as *game engines* surgiram como um facilitador para a criação de *games*. Essas ferramentas permitiram que desenvolvedores atuando individualmente ou em pequenos grupos criassem seus próprios jogos, de acordo com seus desejos ou necessidades, sem que fosse necessário despendar grandes somas monetárias.

O simulador desenvolvido neste projeto é a síntese do que foi apresentado no parágrafo precedente: trata-se de um jogo sério, desenvolvido por uma única pessoa, utilizando o motor da *Unreal Engine 4*.

Ademais, desde o surgimento da ideia, este projeto foi desenvolvido para ser utilizado como forma de treinamento prático e como ferramenta educacional. Após o término da criação do simulador e de inúmeras simulações com diferentes *players*, constatou-se que se pode obter melhores resultados utilizando o simulador como ferramenta complementar, após uma breve explicação teórica da temática abordada. Durante o decorrer das simulações com diferentes indivíduos, notou-se o total desconhecimento com as diferentes classes de incêndio e com os diferentes tipos de agentes extintores. Este desconhecimento reforça a necessidade da utilização do presente simulador de incêndio de pequeno porte como forma de treinamento.

Finalmente, a partir *feedback* satisfatório obtido em pesquisa, conclui-se ainda que, de fato, o simulador apresenta condições para ser utilizado como meio complementar educacional.

O jogo sério desenvolvido para o presente projeto não se encontra, naturalmente, nos mesmos níveis dos *games* desenvolvidos com intuito comercial por grandes produtoras. Todavia, para uma primeira versão, atende aos requisitos necessários para ser utilizado como simulador voltado para treinamento, com caráter educacional. No entanto, a seguir apresenta-se uma série de melhorias ou correções que podem ser implementadas em trabalhos futuros relacionados a este projeto:

- ❑ Melhoria na modelagem da face do personagem principal;
- ❑ Criação de partículas para as chamas do incêndio com nível de detalhamento reduzido;
- ❑ Melhorias na forma como ocorre a destruição dos objetos, visto que essa é a maior causa do *lag* verificado e constatado por alguns usuários durante a simulação;
- ❑ Melhorias na transição da textura não danificada do objeto para a textura danificada;
- ❑ Criação de novos cenários e materiais para o simulador (implicando novas missões com mais conteúdo educacional).

5.1 Intenção de pesquisa

Os dois jogos sérios apresentados na seção 2.8 apresentam aspectos deficitários no que se refere à interação entre o foco de incêndio e os objetos. Embora ambos projetos utilizem óculos de realidade virtual, a baixa qualidade gráfica do incêndio atrelado à insatisfatória propagação das chamas corroboram para a redução na capacidade de imersão dos simuladores. Em um futuro trabalho acadêmico, a temática do incêndio no que tange à propagação das chamas e destruição dos objetos será aprimorada. Assim, espera-se criar um cenário com nível elevado e satisfatório de imersividade.

Referências

- APPERLEY, T. H. *Genre and game studies: Toward a critical approach to video game genres*. Sage Publications, 2006.
- BATES, B. **Game design**. 2. ed. [S.l.]: Course Technology, 2004.
- BLUNT, R. **Does game-based learning work? Results from three recent studies**. 2007. Acessado pela última vez em 28 de maio de 2019. Disponível em: <http://www.rickblunt.com/blunt_game_studies.pdf>.
- BROWN, E.; CAIRNS, P. A grounded investigation of game immersion. In: **CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2004. (CHI EA '04), p. 1297–1300. ISBN 1-58113-703-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/985921.986048>>.
- CHIAVENATO, I. **Recursos humanos: edição compacta**. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 852243106X.
- DARK, A. **Interior Toolkit**. 2016. Acessado pela última vez em 03 de junho de 2019. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/slug/interior-toolkit-vol>>.
- FLORES, B. C.; ORNELAS Éliton A.; DIAS, L. E. **Manual de Bombeiros**. 2016. Fundamentos de combate a incêndio – manual de bombeiros. corpo de bombeiros militar do estado de Goiás.
- FOLEY, J. D. et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. 2nd. ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 1990.
- FRASCA, G. *Simulation versus narrative: Introduction to ludology*. Routledge, 2003.
- FROTTÉ, V. dos S. **Proposta de implantação de um manual de treinamentos diários para as guarnições de combate a incêndio e salvamento do corpo de bombeiros militar do estado de Goiás**. 2014. Artigo monográfico apresentado em cumprimento as exigências para término do curso de formação de oficiais - Secretaria de Segurança Pública e Justiça - Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás.
- GRUM, M.; BORS, A. G. 3d modeling of multiple-object scenes from sets of images. **Pattern Recogn.**, Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, v. 47, n. 1, p. 326–343, jan. 2014. ISSN 0031-3203. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2013.04.020>>.

- HALL, D. M. **A evolução e o impacto dos indie games: uma análise sobre no man's sky**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, 2017.
- HAMSTRA, S. J. et al. Reconsidering fidelity in simulation-based training. *Academic Medicine*, 2014.
- JENNETT, C. et al. Measuring and defining the experience of the immersion in games. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 66, p. 641–661, 09 2008.
- JIANFENG, B. et al. The progress of cdio engineering education reform in several china universities: a review. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** **93**, p. 381–385, 2013.
- KUTULAKOS, K. N.; SEITZ, S. M. **A theory of shape by space carving**. [S.l.], 1998.
- LATORRE Óliver P. Indie or mainstream? tensions and nuances between the alternative and the mainstream in indie games. **Anàlisi**, p. 15, 06 2016.
- LIPKIN, N. Examining indie's independence: The meaning of "indie" games, the politics of production, and mainstream co-optation. **Loading... The Journal of the Canadian Game Studies Association. Vol. 7, issue 11**, p. 8–24, 2013. Acessado pela última vez em 11 de junho de 2019. Disponível em: <<http://journals.sfu.ca/loading/index.php/loading/article/view/122>>.
- LUOS. **Luos's Particle Toolkit Vol. 1**. 2016. Acessado pela última vez em 06 de junho de 2019. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/slug/luos-s-a-particle-a-day-volume>>.
- MALLMANN, E. R. **Estudo e desenvolvimento de um jogo utilizando unreal development kit**. 2012. Monografia (bacharel em Ciência da Computação), UNIJUÍ (Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul), Santa Rosa - RS, Brasil.
- MESSAOUDI, F.; KSENTINI, A.; SIMON, G. Dissecting games engines: the case of unity3d. **IEEE - 2015 International Workshop on Network and Systems Support for Games (NetGames)**, p. 6, 12 2015.
- MICHAEL, D.; CHEN, S. **Serious games: games that educate, train, and inform**. 1. ed. [S.l.]: Course Technology PTR, 2005.
- OLIVEIRA, T. H. B. de; SILVA, G. de França Pereira e. Introdução a modelagem 3d com blender 3d. **ERIFE - Escola Regional de Informática de Pernambuco**, 2013.
- PAUL, P. S.; GOON, S.; BHATTACHARYA, A. History and comparative study of modern game engines. **International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences**, p. 5, 05 2012.
- RUFFINO, P. Narratives of independent production in video game culture. **Loading... The Journal of the Canadian Game Studies Association. Vol. 7, issue 11**, p. 106–121, 2013. Acessado pela última vez em 11 de junho de 2019. Disponível em: <<http://journals.sfu.ca/loading/index.php/loading/article/view/120>>.

SAKUDA, L. O.; FORTIM, I. (org.). 2o censo da indústria brasileira de jogos digitais. Ministério da Cultura: Brasília, 2018.

SHANNON, T. **Unreal engine 4 for design visualization: developing stunning interactive visualizations, animations, and renderings**. Addison-Wesley, 2017. (Game Design). ISBN 9780134680705. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1uskMQAACAAJ>>.

SIMPSON, J. **Game engine anatomy 101**. 2002. Acessado pela última vez em 13 de junho de 2019. Disponível em: <<http://www.extremetech.com/article2/0,2845,594,00.asp>>.

WATTANASOONTORN, V. et al. Serious games for health. Entertainment Computing, 2013.

WILMORE, J. **Dissecting the video game engine and a brief history**. 2010. Acessado pela última vez em 13 de junho de 2019. Disponível em: <<https://juliewilmore.files.wordpress.com/2010/07/tc339finalpaper.pdf>>.

Apêndices

APÊNDICE **A**

Instruções

A.1 Instruções gerais

- Instrução 1: Utilize as teclas “W”, “A”, “S” e “D” para mover o personagem;
- Instrução 2: Utilize o “SHIFT” esquerdo para correr;
- Instrução 3: Utilize a tecla “F” para interagir com os objetos do cenário;
- Instrução 4: Utilize o “mouse” para mover a câmera;
- Instrução 5: Utilize o botão direito do mouse para mirar;
- Instrução 6: Utilize o botão esquerdo do mouse para disparar;
- Instrução 7: Pressione a tecla “Seta Esquerda” para repetir as instruções ou Pressione a tecla “Seta Direita” para avançar as instruções.

A.2 Instruções específicas

- Instrução 1: Tempo para encerrar a missão;
- Instrução 2: Energia do personagem;
- Instrução 3: Vida do personagem;
- Instrução 4: Objeto portado;
- Instrução 5: Carga restante do extintor;
- Instrução 6: Pressione a tecla “Seta Esquerda” para repetir as instruções ou Pressione a tecla “Seta Direita” para iniciar o simulador

Avaliação do simulador

Neste Apêndice será apresentado o arquivo (.pdf) da avaliação do simulador gerado automaticamente pelo *Google Forms*. Deve-se acrescentar que a avaliação desenvolvida pode ser encontrada através do seguinte *link*: <<https://docs.google.com/forms/d/1pxidY64aY4p4uYJd31UHtdH7x61Ou38RRvd773H5IpU/edit>>

Avaliação do Simulador de Como Apagar um Incêndio de Pequeno Porte com os Principais Tipos de Extintores Existentes.

Esta pesquisa servirá para compor o capítulo dos Resultados do TCC referente a esse simulador. Além disso, o resultado final obtido servirá para avaliar a qualidade do simulador.

***Obrigatório**

1. Qual nota você daria para a clareza das instruções iniciais ? *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Confusas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Claras

2. Qual nota você daria para a qualidade das texturas dos objetos? *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Péssimas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Excelentes

3. Qual nota você daria para a imersão do cenário (sensação de estar dentro do ambiente virtual) ? *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nada imerso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente imerso

4. Qual nota você daria para a interação entre um foco de incêndio e o extintor, no que se refere a apagar o fogo ? *

Marcar apenas uma oval.

		1	2	3	4	5	
Não atende as expectativas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Atende as expectativas

5. Você conseguiu completar o objetivo da missão ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

6. Durante a sua experiência no simulador, o fogo espalhou-se para a mesa posicionada ao lado do sofá ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim Ir para a pergunta 7.
 Não Ir para a pergunta 10.

7. Para apagar o fogo nessa mesa você utilizou o extintor de Água ou de CO2 *

Marcar apenas uma oval.

- Água *Ir para a pergunta 8.*
- CO2 *Ir para a pergunta 10.*

8. Você foi alertado para tomar cuidado com a água próximo à tomada ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

9. Imaginando uma situação real, você utilizaria um extintor de água próximo à uma tomada conectada à rede elétrica ? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim *Ir para a pergunta 10.*
- Não *Ir para a pergunta 10.*

10. Comentários ou sugestões para trabalhos futuros

Powered by

