PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

Universidade Federal do Rio de Janeiro

CLAUDIO AZEVEDO PASSOS

AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO PARA TREINAMENTO DE AGENTES DE SEGURANÇA EM GRANDES EVENTOS

TESE DE DOUTORADO

Instituto de Matemática

Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
INSTITUTO TÉRCIO PACITTI DE APLICAÇÕES E PESQUISAS COMPUTACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

CLAUDIO AZEVEDO PASSOS

AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO PARA TREINAMENTO DE AGENTES DE SEGURANÇA EM GRANDES EVENTOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática e Instituto Tércio Pacciti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Informática.

Orientadores: Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, DSc e

Prof. Antônio Carlos de Abreu Mol, DSc

Rio de Janeiro
Março/2017

Passos, Claudio Azevedo

Ambiente Virtual Colaborativo para Treinamento de Agentes de Segurança em Grandes Eventos. Claudio Azevedo Passos - Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

Orientadores: Paulo Victor Rodrigues de Carvalho e Antônio Carlos de Abreu Mol;

Doutorado em Informática – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti, 2017

1. Ambientes Virtuais Colaborativos. 2. Treinamento Simulado. 3. Grandes Eventos - Teses. I. Carvalho, Paulo Victor Rodrigues de (Orient.). II. Mol, Antônio Carlos de Abreu (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais. IV. Título

CLAUDIO AZEVEDO PASSOS

AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO PARA TREINAMENTO DE AGENTES DE SEGURANÇA EM GRANDES EVENTOS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática, Instituto de Matemática e Instituto Tércio Pacciti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Informática.

Aprovada em 07/03/2017

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, DSc, PPGI/UFRJ(Orientador)

Prof. Antônio Carlos de Abreu Mol, DSc, CNEN/IEN (Orientador)

Prof. José Orlando Gomes, DSc, NCE e PPGI/UFRJ

Prof. Claudia Lage Rebello da Motta, DSc, NCE e PPGI/UFRJ

Prof. João Porto de Albuquerque, DSc, Universidade de Warwick

Prof. Claudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, DSc, CNEN/IEN

Prof. Luiz Landau, DSc, COPPE/UFRJ

Dedicatória

Aos meus Pais (in memorian) que dignamente me apresentaram à importância da família e ao caminho da honestidade e persistência.

Ao meu irmão Marcos e ao meu padrinho Emmanuel que tanto me incentivaram para a realização do doutorado.

À minha esposa Andrea e aos meus filhos Ana Carolina e Paulo Victor pelo apoio incondicional.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, que me permitiu a oportunidade de chegar até aqui.

Agradeço aos professores Paulo Victor Carvalho e Antônio Carlos Mol por terem me aceito como seu orientando e por estarem sempre disponíveis e dispostos a ajudar. Agradeço por ter intercedido nos momentos fundamentais.

Agradeço ao Márcio Henrique pela disponibilidade, dedicação e suporte na parte final da Tese.

Agradeço aos colegas e amigos do IEN, companheiros de jornada.

Agradeço aos alunos do colégio Pedro II, João Victor, Yuri Medeiros e Emmanuela, colaboradores vitais da pesquisa, pela disposição imbatível na confecção dos códigos de programação e na modelagem do ambiente virtual.

Agradeço aos agentes do IEN Cláudio Reis, Douglas Sales e Denilton Marins por participarem com toda a dedicação dos simulados.

Resumo

PASSOS, Claudio. **Ambiente virtual colaborativo para treinamento de agentes de segurança em grandes eventos.** 2017. 139. Tese (Doutorado em Informática) – Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacciti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017

Esta Tese apresenta um ambiente virtual colaborativo (AVC) para a formação de agentes de segurança para melhorar o seu desempenho ao lidar com emergências envolvendo materiais perigosos. Como a gestão de tais emergências está relacionada com situações dinâmicas e imprevisíveis, um maior esforço cognitivo pode ser requerido. Por esta razão, é muito importante propor formas alternativas para melhorar os métodos aplicados na formação de agentes de segurança que lidam com detecção de materiais perigosos como explosivos e elementos radioativos. Considerando o uso de técnicas de realidade virtual para treinar as questões de segurança física, nos últimos anos, o AVC proposto neste trabalho destina-se a melhorar o desempenho dos agentes de segurança na detecção de materiais perigosos. O AVC foi baseada em cenários modelados com o Autodesk 3ds Max, enquanto Unity 3D foi usado para fazer o terreno e para implementar as características que compõem um ambiente virtual. Para testar o AVC cada cenário foi planejado para estar de acordo com os protocolos de segurança que devem ser seguidos pelos agentes de segurança da Copa de 2014 e dos Jogos Olímpicos Rio 2016. O estádio de futebol brasileiro conhecido como Maracanã foi escolhido como caso particular de estudo, onde foram simuladas possíveis situações de ameaças de materiais perigosos com o objetivo de treinar os agentes de segurança. Os resultados indicaram que o método proposto é capaz de contribuir para aumentar a capacidade de cada membro da equipe de segurança na realização de seu dever.

Palavras-chave: realidade virtual, ambiente virtual colaborativo, treinamento simulado, avatar, detecção de materiais perigosos.

Abstract

PASSOS, Claudio. **Ambiente virtual colaborativo para treinamento de agentes de segurança em grandes eventos.**. 2017. 139. Tese (Doutorado em Informática) – Instituto de Matemática, Instituto Tércio Pacciti, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017

This Thesis presents a Collaborative Virtual Environment (CVE) for security agents training to improve their performance when dealing with emergencies involving hazardous materials. As the management of such emergencies is related to dynamic and unpredictable situations, it may requires an intense cognitive effort. For this reason, it is very important to propose alternative ways to improve the methods applied at the security staff training that deal with detection hazardous materials as explosives and radioactive elements. Considering that virtual reality techniques have being used to train physical security issues in recent years, the CVE proposed in this Thesis is intended to improve the performance of the security agents in the detection of hazardous materials. The CVE was based on scenarios modeled with Autodesk 3ds Max, while Unity 3D was used to make the terrain and to implement the features that make up a virtual environment. To test the CVE each scenario was planned to be in agreement with the safety protocols that must be followed by the security agents of 2014 FIFA World Cup and Rio 2016 Olympic Games. The Brazilian soccer stadium known as Maracanã was selected as particular case of study where were simulated possible situations referred to hazardous materials menaces aiming to training the security agents. Results indicated that the proposed method is capable to contribute to enhance the ability of each member of the security crew on performing his duty.

Keywords: Virtual Reality; Collaborative Virtual Environment; Simulated training; Avatar; Detection hazardous materials.

Lista de Figuras

Figura 1 - Incêndio em uma floresta (Fonte software XVR *Platform*)..... 25
Figura 2 - Colisão de veículos (Fonte software XVR *Platform*)..... 25
Figura 3 - Policiais em confronto com manifestantes (Fonte software XVR *Platform*) 25
Figura 4 – Avatares de pessoas normais (AUGUSTO, 2008)..... 26
Figura 5 - Ferramenta de Modelagem Autodesk 3ds Max..... 29
Figura 6 – Tela inicial do Unity 3D com os elementos necessários para o desenvolvimento do programa. 31
Figura 7 – Serviços de colaboração disponível no ambiente virtual da Tese adaptado de (FUKS e ASSIS, 2001)..... 34
Figura 8 - Abordagem Bloco de Construção (Adaptado do HSEEP, 2013)..... 38
Figura 9 – Exercícios baseados em discussão..... 39
Figura 10 – Exercícios baseados em operações..... 40
Figura 11 - Variedades de exercícios baseados em Discussão e baseados em Operações. (Adaptado do DHS, 2007). 42
Figura 12 – Modelagem do Maracanã e seu entorno..... 50
Figura 13 – Estátua do Belline e a rampa de acesso ao fundo 51
Figura 14 – Imagem topográfica do estádio do Maracanã e das ruas do seu entorno. Fonte Google Maps..... 52
Figura 15 – Estádio do Maracanã texturizado no 3ds Max..... 53
Figura 16 – Imagem topográfica já com o estádio modelado no 3ds Max..... 53
Figura 17 – Medida da rampa de acesso ao estádio. - Fonte Google Maps..... 54
Figura 18 - Modelagem de um dos prédios no 3ds Max visto em quatro ângulos diferentes..... 54
Figura 19 - Imagem do prédio texturizado visto de frente..... 55
Figura 20 – Visão de baixo das calçadas e dos marcadores de pistas criados no editor do Unity. 55
Figura 21 – Terreno plano criado no Unity 56
Figura 22 – Terreno textualizado 57
Figura 23 – Modelo tridimensional inserido no terreno texturizado no Unity..... 57

Figura 24 – Algumas etapas da modelagem da estátua do Bellini no 3ds Max e inserida no Unity. 58
Figura 25 – Modelo de Árvores criadas no Unity 59
Figura 26 – Modelagem do avatar no 3ds Max. 59
Figura 27 – Avatar inserido no Unity 60
Figura 28 – Diagrama de caso de uso do motor Unity. 61
Figura 29 – Diagrama de pacote do motor 64
Figura 30 – Diagrama de Classe referente as classes utilizadas para montagem do cenário do AVC no Unity. 65
Figura 31 – Diagrama de Classe referente as classes utilizadas para as funcionalidades do AVC 66
Figura 32 – Diagrama de Classe referente câmeras e iluminações existentes no cenário. 67
Figura 33 – Diagrama de Classe das telas de mensagens do AVC. 68
Figura 34 - Locais (apontados pelas setas) onde são criados os avatares. 69
Figura 35 – Corredor do anel superior. As setas são meramente ilustrativas; os locais exatos ficam aproximadamente a cinco metros do inicio do corredor. 70
Figura 36 – Rampa de acesso ao estádio com espectadores 70
Figura 37 – Tela de lista de opções de personagens disponíveis no AVC desenvolvido na Tese 72
Figura 38 - Avatar CNEN. 74
Figura 39 – Tela do componente Network Manager retirada do Unity 3D. 75
Figura 40 - Agente localizado na rampa de entrada do estádio. 77
Figura 41 – Procedimento utilizado para detecção de elementos radioativos realizada nos estádios da Copa do Mundo de 2014 79
Figura 42 – Planta do segundo andar do bloco de tecnologia do IEN. 84
Figura 43 – Gráfico referente a adaptação ao uso do ambiente virtual 88
Figura 44 – Gráfico comparativo entre as três sessões referente ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real 95
Figura 45 - Gráfico referente a utilização do ambiente virtual como ferramenta para novas estratégias de treinamento 96

Figura 46 - Textura do piso com a sinalização, indicando a rota para a saída (Braga,2006) 109
Figura 47 - Simulador para Avaliação de Multidão em Pânico (FOUDIL, NOUREDDINE, 2007) 109
Figura 48 - Esquema de vários estagiários que orientam seus personagens virtuais no ambiente de treinamento virtual. 110
Figura 49 - Treinamento de Evacuação de Incêndio em Edificação Pública (Li, *et al*. 2004). 110
Figura 50 -Tela principal do aplicativo 112
Figura 51 - Ambiente virtual colaborativo 3D mistura telas grandes escala com dispositivos móveis (Mendes et al, 2013) 113
Figura 52 – Fotos do Detector Geiger-Müller produzido no IEN. 135
Figura 53 - Esquema simplificado do Detector Geiger-Müller, adaptado do diagrama de blocos da eletrônica de contagem associado com um tubo GM (Knoll, 2000). 135

Lista de Quadros

Quadro 1 - Associação entre características de CSCW e AVC, Adaptado de Pinho (2002) 32
Quadro 2 – Comparação entre AVCs 35
Quadro 3 – Casos de Uso (Criar Componente) 61
Quadro 4 – Caso de Uso (Criar Cena) 62
Quadro 5 – Caso de Uso (Criar Camada) 62
Quadro 6 – Caso de Uso (Criar Câmera) 62
Quadro 7 - Caso de Uso (Criar Asset) 62
Quadro 8 - Caso de Uso (Criar Objeto do Simulador) 62
Quadro 9 - Caso de Uso (Executar Simulador) 63
Quadro 10 - Caso de Uso (Capturar entradas do usuário) 63
Quadro 11 - Caso de Uso (Tratar Colisões) 63
Quadro 12 - Caso de Uso (Desenhar Cena) 63
Quadro 13 - Funcionalidades disponíveis para os agentes 73
Quadro 14 - Funcionalidade disponíveis para os suspeitos 74
Quadro 15 - Competências exigidas nos cenários 78
Quadro 16 - Descrição dos cenários 81
Quadro 17 - Resultados da primeira sessão de testes 87
Quadro 18 - Resultados da segunda sessão de testes 89
Quadro 19 - Resultados da terceira sessão de testes 90
Quadro 20 – Descrição do procedimento utilizado nos Jogos Olímpicos Rio 2016 ... 93
Quadro 21 - Resultados da quarta sessão de testes 94
Quadro 22 – Avaliação das respostas coletadas no questionário 95
Quadro 23 - Questionário utilizado para avaliação após as sessões 115
Quadro 24 - Questionário utilizado para avaliação após a quarta sessão 116
Quadro 25 - Respostas do agente 1 referente ao questionário de avaliação da primeira sessão 117
Quadro 26 - Respostas do Agente 2 referente ao questionário de avaliação da primeira sessão 118

Quadro 27 - Respostas do Agente 3 (Colaborador) referente ao questionário de avaliação da primeira sessão 120
Quadro 28 - Respostas do Agente 1 referente ao questionário de avaliação da segunda sessão 121
Quadro 29 - Respostas do Agente 2 referente ao questionário de avaliação da segunda sessão 123
Quadro 30 - Respostas do Agente 3 (Colaborador) referente ao questionário de avaliação da segunda sessão 124
Quadro 31 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 1 na terceira sessão 126
Quadro 32 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 2 na terceira sessão 127
Quadro 33 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 3 na terceira sessão 129
Quadro 34 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 1 na quarta sessão 130
Quadro 35 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 2 na quarta sessão 131
Quadro 36 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 3 na quarta sessão 131
Quadro 37 - Valores de gamão – Fonte (Heilbron , 2004) 133

Lista de Siglas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AV	Ambiente Virtual
AVC	Ambiente Virtual Colaborativo
API	Application Programming Interface
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CPS	Counts Per Second
CRM	Cockpit Resource Management
CRP	Commision on Radiological Protection
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency - USA
Detector G-M	Detector Geiger-Müller
DHS	Department of Homeland Security
DSC	Disastre de Sioux City
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
HSEEP	Homeland Security Exercise and Evaluation Program
IEN	Instituto de Engenharia Nuclear
IAEA	*International Atomic Energy Agency*
IVR	Immersive Virtual Reality
NIVR	Non-Immersive Virtual Reality
RA	Radioativa Alta
RB	Radioativa Baixa
RPG	*Role-playing game*
RV	Realidade Virtual
SNDC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
UNICEF	United Nations Children's Fund

Sumário

1. INTRODUÇÃO 17
1.1 JUSTIFICATIVA 19
1.2 MOTIVAÇÃO 20
1.3 OBJETIVO GERAL 20
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21
1.5 CONTRIBUIÇÃO 21
2 REALIDADE VIRTUAL 22
2.1 REALIDADE VIRTUAL EM SEGURANÇA FÍSICA 23
2.2 AMBIENTES VIRTUAIS 24
2.2.1 Cenário 24
2.2.2 Avatar 26
2.2.3 Ferramentas de Modelagem 27
2.2.3.1 Autodesk 3ds Max 28
2.2.4 Motores de Jogos 29
2.2.4.1 Unity 3D 30
2.3 AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS (AVC) 31
2.3.1 Aplicações de AVCs para treinamento de segurança 34
2.4 DESAFIOS DE UM AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO 35
3 EXERCÍCIOS DE TREINAMENTOS BASEADOS EM AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS 37
3.1 EXERCÍCIOS DE PREPARAÇÃO 37
3.1.1 Exercícios baseados em discussão 39
3.1.2 Exercícios baseados em operações 40
3.2 TREINAMENTO 43
3.3 SIMULAÇÃO 45
3.4 EXERCÍCIOS SIMULADOS 47
3.5 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DO USUÁRIO EM SIMULAÇÕES POR RV 49
4 PROJETO DO AVC 50
4.1 MODELAGEM 51
4.1.1 Modelagem do Estádio e o seu entorno 52
4.1.2 Modelagem do Terreno 56
4.1.3 Modelagem dos Avatares 59

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DE FUNCIONALIDADES 60
4.2.1 Modelagem Funcional 60
4.2.1.1 Modelagem Funcional do Unity 61
4.2.1.2 Modelagem Funcional do AVC 65
4.2.2 Avatares Autômatos 69
4.2.2.1 Inteligência Artificial (IA) 71
4.2.3 Avatares Controláveis 72
4.2.4 Multiusuário no Unity 74
4.2.5 Detecção de radiação 76
5. EXPERIMENTO DO PROTÓTIPO 78
5.1 PROCEDIMENTO BASE UTILIZADO PARA CRIAR OS CENÁRIOS 79
5.2 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS 80
5.3 TREINAMENTO SIMULADO NO AVC A PARTIR DOS CENÁRIOS 83
5.4 AVALIAÇÃO DO AVC 85
6. RESULTADOS 86
6.1 RESULTADOS DA PRIMEIRA SESSÃO 86
6.2 RESULTADOS DA SEGUNDA SESSÃO 87
6.3 RESULTADOS DA TERCEIRA SESSÃO 89
6.4 DISCUSSÃO 90
6.5 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DO AVC APÓS AS TRÊS SESSÕES 94
6.6 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DO AVC REFERENTE A QUARTA SESSÃO 96
7. CONCLUSÃO 97
7.1 TRABALHOS FUTUROS 99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 100
APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 108
APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO 115
APÊNDICE C – RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO 117
ANEXO A - DOSIMETRIA 132
ANEXO B - EXEMPLO DE SUCESSO DE RESPOSTA À CRISES EM DECORRÊNCIA DE TREINAMENTOS 137

1. INTRODUÇÃO

As realidades do ambiente de ameaças do século 21 enfatizam que a comunidade de resposta está enfrentando novos tipos de exigências que desafiam as habilidades das organizações de serem capazes de se preparar, responder e se recuperar de eventos de crise ou de desastres. Para que as futuras operações possam obter melhores resultados, planejamento aprimorado e coordenação entre os vários grupos civis e militares envolvidos na busca por uma resposta à crise são cruciais.

Como resultado dessa dinâmica, as organizações, tais como a militar, a de energia nuclear, a de respostas a desastres, a de planejamento logístico de tráfego aéreo, a de controle de missão espacial entre outras, têm cada vez mais utilizado simulação de exercícios para treinamento dos seus profissionais (VOSHELL, 2009). Isso se reflete na busca por novas tecnologias para simular, explorar e testar novas formas de operações que visem solucionar situações adversas ou prevenir emergências futuras (HINTZE, 2008; SMITH, 2003; BALDWIN, 1994).

Embora historicamente o Brasil não seja alvo de ações terroristas, esse perigo não deve ser ignorado ou minimizado, pois a realização de eventos de grande magnitude, pode despertar a atenção das organizações criminosas para praticarem atos terroristas com o objetivo de conferir visibilidade a sua causa e projeção em âmbito internacional.

Sabendo que em eventos desta magnitude é comum a presença de autoridades e público de todas as partes do mundo, o governo, os organizadores e os órgãos competentes criaram gestões de emergências e procedimentos para garantir a segurança durante os mesmos. No entanto, tais procedimentos definem apenas alguns recursos básicos para ações de agentes de segurança. Portanto, há uma necessidade de propor novas formas, métodos, técnicas e exercícios que tornem os agentes capazes de lidar com ações hostis de forma satisfatória, garantindo assim, que os eventos transcorram de forma ordeira e segura.

Exercícios servem como simulações de futuros imaginados para explorar possíveis respostas a eventos (VOSHELL, 2009). Assim sendo, os exercícios devem ser planejados de modo a considerar as complexidades cognitivas que uma crise representa para os atendentes. Da forma como são executados atualmente, os

exercícios servem a propósitos múltiplos para as várias partes interessadas. A proposta e meta desses exercícios inclui a formação dos respondedores, proporcionando treinos e oportunidades de prática, além da avaliação de novos sistemas e da construção de confiança dos treinandos e identificando decisões críticas, melhorando a coordenação, e testando os planos à luz das novas ameaças.

No ambiente moderno de gestão de crise, estes exercícios não estão mais sendo realizados e avaliados para fins apenas de treinamento. Em vez disso, eles estão sendo executados como simulações complexas destinadas a satisfazer a uma multiciplidade de objetivos de aprendizagem através de uma variedade de trabalho cognitivo de exercícios baseados em habilidades para tomadas de decisões complexas sob incerteza (VOSHELL, 2009). Projetar exercícios que atendem a esses fins de aprendizagem variadas tem provado ser bastante difícil, dados os desafios de projetos colocados pelos ambientes em mudança, o aumento da escala de eventos, a variedade de agências de segurança trabalhando em conjunto, a necessidade de colaboração entre essas agências, os encargos logísticos e as incertezas com as metodologias de treinamento.

Indo ao encontro de tais necessidades, a utilização da realidade virtual tem se mostrado importante na construção de interfaces em ambientes virtuais tridimensionais. Esses ambientes proporcionam algumas vantagens, como: (i) serem atrativos para o usuário, pois permitem que o mesmo se sinta imerso nos respectivos ambientes, sem ser exposto a qualquer risco; (ii) permitir simulações e avaliações de instalações ainda não construídas no mundo real, ou que podem ser de difícil acesso; (iii) contribuir para um melhor planejamento das atividades na área de segurança nuclear permitindo, consequentemente, a avaliação dos riscos envolvidos.

Outro exemplo de uso da Realidade Virtual que vem crescendo nos últimos anos são as simulações de ambientes complexos. Vários destes projetos dedicam-se a empregar o arcabouço de técnicas e ferramentas já desenvolvidas para o mercado regular de realidade virtual. O apêndice A apresenta alguns desses projetos.

Após a realização da análise dos ambientes virtuais citados nestes projetos, foi constatado que esses ambientes foram projetados para resolverem problemas específicos, como evacuação de prédios, incêndios, visualização de radiação,

estratégias de segurança física em ambiente nucleares entre outros, mas nenhum em treinamento de segurança em grandes eventos, onde agentes de diferentes agências de segurança precisam trabalhar colaborativamente. A partir dessa observação, esta Tese propõe o desenvolvimento de um projeto para um Ambiente Virtual Colaborativo (AVC) no qual simulações de vários tipos de cenários de emergência poderão ser realizadas para aprimorar as habilidades dos agentes de segurança em situações de anomalias que possam ocorrer em grandes eventos.

Para validação do AVC serão elaborados cinco cenários para serem utilizados em simulações que visam treinar os agentes na identificação e abordagem de suspeitos de transporte de materiais perigosos em grandes eventos. Esses cenários serão criados com base em entrevistas com especialistas (agentes de segurança) que trabalharam tanto nos Jogos Olímpicos Rio 2016 como na Copa do Mundo da FIFA de 2014 e descreveram as características, ações e competências que devem ser treinados ou desenvolvidos para um agente lidar com esse tipo de evento para evitar falhas ou falso positivo.

No caso de materiais radioativos, o falso positivo é uma identificação incorreta do suspeito, causada por pessoas que foram recentemente submetidas a tratamentos baseados no uso de radiofármacos ou radioterapia. Por esta razão, sugere-se que os agentes recebam treinamento específico para o desenvolvimento de habilidades visando reduzir a ocorrência de tais eventos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso de simulações provou-se uma ferramenta particularmente útil para ajudar os participantes da simulação a compreender os conceitos por experiência, a adquirir conhecimento prático em um relativamente curto espaço de tempo, e também a praticar e avaliar tomadas de decisões em situações críticas e experimentar situações que raramente ocorrem na vida real (LAMB K, et al.,2015).

No entanto, o treinamento em simulados de campo é muito difícil na prática, pois envolve disponibilidade e deslocamento de vários agentes de diferentes agências de segurança, alocação e deslocamento de recursos (que podem ser necessários para uma emergência real), interdição de áreas urbanas entre outras. O desafio está em desenvolver uma ferramenta de simulação mais ágil onde o treinamento possa ser eficaz e eficiente, isto é, onde aqueles que serão treinados

estejam suficientemente imersos na situação simulada de modo a lhes permitir apresentar comportamentos dentro dos padrões considerados normais e onde eles possam se comunicar e interagir naturalmente com outros participantes.

A especificação de um Ambiente Virtual Colaborativo – AVC para exercícios simulados com diversas funcionalidades para treinamento de diferentes tipos de agentes nas várias situações que envolvem segurança em grandes eventos torna-se justificável porque possibilita uma alternativa que pode substituir ou complementar exercícios simulados em ambientes reais. Um AVC proporciona um ambiente com flexibilidade necessária para que os instrutores construam uma enorme variedade de cenários de incidentes, escolhendo e combinando diferentes ambientes, tipos de agentes e objetos. Estas possibilidades permitem treinar um sem número de procedimentos e suas variações em diversas situações, o que seria difícil de reproduzir em uma simulação em ambientes reais, como por exemplo, em um acidente radioativo ou um incêndio que se espalha rapidamente em uma fábrica de produtos químicos.

1.2 MOTIVAÇÃO

A demanda por agentes de segurança qualificados aliada à carência de métodos adequados de treinamento para estes profissonais em situações de emergência em grandes eventos é a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho. O AVC para treinamento de agentes em grandes eventos visa uma alternativa para os problemas dos simulados de campo em situações reais, que além de poder representar risco aos participantes, trazem problemas para a população envolvida, envolvem limitações quanto à flexibilidade e reprodução dos testes para assimilação do aprendizado. Um simulador virtual não oferece riscos aos participantes ou incômodos à população, além de oferecer uma alta disponibilidade para execução de treinamentos, para reprodução e variações de exercícios e para o treinamento de diferentes tipos e procedimentos e competências.

1.3 OBJETIVO GERAL

Fornecer uma proposta metodológica para o desenvolvimento de Ambientes Virtuais Colaborativos que possibilite um método alternativo para treinamento de

profissionais na área de segurança em grandes eventos no qual situações de difícil reprodutibilidade possam ser simuladas.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir e caracterizar os aspectos que devem ser tratados em diversos tipos de situações de emergência em grandes eventos;
- Definir competências que precisam ser treinadas para a qualificação dos agentes em cada cenário de emergência escrito;
- Identificar diferentes cenários de emergências onde o treinamento atual é considerado deficitário.

1.5 CONTRIBUIÇÃO

- Alternativa para os limites do treinamento convencional, cuja a sua realização na prática apresenta problemas como:
    - disponibilidade e deslocamento de vários agentes de diferentes agências de segurança;
    - alocação e deslocamento de recursos (que podem ser necessários para uma emergência real);
    - Alocação de centenas de pessoas para simular situações em grande evento.
    - interdição de áreas urbanas entre outras.
- Possibilitar a qualificação de agentes através de disponibilização de funções apropriadas que permitem ao usuário desenvolver e/ou aprimorar habilidades e competências exigidas para lidar com situações adversas em eventos com grande públicos.

2 REALIDADE VIRTUAL

Nos últimos anos a Realidade Virtual (RV) tem se consolidado como uma forma de interação homem-máquina, permitindo que o usuário explore e interaja com informações em um ambiente tridimensional gerado no computador, como se ele realmente fizesse parte do mundo virtual (KIRNER; SISCOUTTO, 2007). Isso tudo fez com que a RV passasse ter um reconhecimento maior pela comunidade científica, levando vários grupos de pesquisa a investigar novas técnicas e abordagens, além da utilização desta tecnologia por diversas áreas (BURDEA; COIFFET, 2003). O termo RV é definido de inúmeras formas pela comunidade cientifica, coexistindo variadas definições segundo a experiência de cada pesquisador. A maioria das definições são semelhantes, ainda que apresentem diferenças sutis. Fitzgerald e Riva (2001) a definem como um mundo, espaço ou ambiente que não existe, ou seja, é virtual, mas que se pode perceber e interagir através dos sentidos, tal como é feito no mundo real. Pimentel (1995) a define como o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele estaria em outra realidade, um novo meio de acessar e observar as informações, tratando-se de um lugar de humanos e computadores fazerem contato (troca de informações).

O conceito RV foi primeiramente utilizada pela Força Aérea dos Estados Unidos após o fim da Segunda Guerra Mundial, com fins de simulação de vôo (Rid, 2009). Hoje em dia RV pode ser comumente encontrada em uma grande variedade de aplicações, tais como modelagem virtual, estudos ergonômicos e, com maior intensidade, RV é usado na indústria do entretenimento para criar jogos, filmes e animações (FRANCIS; TAN, 1999). A grande variedade de aplicações de RV tornar possível classificar aplicações de RV de acordo com a maneira em que o usuário interage com o ambiente virtual. Existem duas classes: RV Imersivo (IVR) (do inglês, Immersive Virtual Reality) e RV Não-Imersivo (NIVR) (do inglês, Non-Immersive Virtual Reality) (BURDEA; COIFFET, 2003).

IVR pretende imergir o usuário dentro do ambiente do software, tanto quanto é possível, dando-lhe a sensação de total isolamento do mundo real. Por isso, tecnologias especiais são usadas para bloquear a percepção do usuário. IVR também tenta criar uma forma mais intuitiva de lidar com o mundo virtual, ao permitir

que o usuário ao mover sua cabeça, olhe ao seu redor e tenha a percepção de espaço, emulando visão humana, por exemplo (HAGUENAUER et al., 2011).

Por outro lado, NIVR não exige o isolamento total do utilizador. Assim, os dispositivos regulares, como monitores, teclados, mouse e outros são usados como se observa na aplicação proposta nesta Tese.

Nos tópicos seguintes deste capitulo serão mostradas as aplicações de RV na área de segurança física (seção 2.1), algumas definições sobre ambiente virtual e os elementos que o compõem (seção 2.2), a extensão do conceito de ambiente virtual para ambiente virtual colaborativo (seção 2.3) e os desafios encontrados em um ambiente virtual colaborativo (seção 2.4).

2.1 REALIDADE VIRTUAL EM SEGURANÇA FÍSICA

A Realidade Virtual tem aplicabilidade nos mais diversos campos científicos (GRIMES, 1991) e, principalmente, no âmbito de segurança física, onde sua utilização possibilita a melhoria do treinamento do agente de segurança (BURDEA; COIFFET, 2003). Assim os erros iniciais passam a ser realizados nos modelos virtuais. Além disso, o uso desta técnica torna possível treinar situações raras e não usuais, como por exemplo, um incidente de suspeita de contaminação radioativa em um estádio de futebol, onde a operação envolve ações de colaboração, técnicas de progressão do terreno, evacuação e isolamento da área, análise do material suspeito entre outras. Essas ações podem ter uma chance muito maior de sucesso se os agentes puderem, a priori, caminhar pelo estádio e analisar os caminhos e obstáculos que terão de enfrentar. Com isso eles terão acesso a um número muito maior de informações do que a análise de uma planta ou de fotos do local poderia proporcionar. Outro fator importante é a possibilidade de repetição dos procedimentos quantas vezes for necessário, permitindo então, o desenvolvimento da resposta motora (programa motor) dos agentes, diminuindo assim o tempo reação dos mesmos ao deparar-se com cena semelhante depois de ter sido treinado.

Entre os tipos de treinamentos existentes que utilizam a RV, pode ser citado os trabalhos na área de segurança física em instalações nucleares de (SILAS et al., 2009) (SILVA et al.,2015), os de policiais que tem sido realizado no Brasil (ROSA,

2014) e em outros países como, por exemplo, China (XIAOWEI, 2010), Alemanha (BERTRAM et al, 2011) e Chipre (HIMONA et al, 2011).

2.2 AMBIENTES VIRTUAIS

Entendem-se por ambientes virtuais (AVs) os cenários reproduzidos por Realidade Virtual, onde são executadas todas as ações da aplicação observadas em um procedimento real. Estes ambientes são povoados por avatares que se deslocam e interagem com todos os elementos existentes (STANNEY, 2002), em outras palavras, em sistemas desenvolvidos com tecnologia de realidade virtual os usuários participam da cena. Por isto os AVs podem oferecer aos usuários uma experiência virtual tanto em ambientes que representam espaços construídos, como em ambientes que só existem no meio virtual (GARCIA, 2001).

As simulações em Realidade Virtual são executadas nestes ambientes virtuais, geralmente construídos de acordo com ambientes reais, buscando estabelecer uma semelhança auditiva e visual, respeitando proporções, disposição de objetos, metragens, iluminação, sombras, etc. Segundo Augusto e outros (2007), estes cenários buscam respeitar as leis da física, garantindo que a interação do avatar com o ambiente virtual seja semelhante à interação humana com o ambiente real equivalente.

O desenvolvimento de um ambiente virtual passa por etapas que consistem em definição de cenários, tipos de avatares e escolha de ferramentas para modelagem destes e de um motor de jogo (também conhecido pelo termo em inglês, *game engine*) para a implementação das funcionalidades que compõe um ambiente virtual. Os itens seguintes descrevem essas etapas.

2.2.1 Cenário

No contexto desta Tese, cenário é um ambiente temático tridimensional, criado com objetivo de fornecer um espaço onde os usuários possam interagir (Pinto, 2001). A fim de facilitar a imersão e para garantir a credibilidade, os cenários criados devem ser realistas, determinar ameaças/riscos e ser desafiadores, além de incluir as condições que permitam aos usuários (agentes) demonstrar proficiência e competência e, o mais importante, ser adequados às suas funções.

Os cenários estão diretamente relacionados ao aprendizado e à experiência adquirida nos simuladores de treinamentos propostos. Eles podem reproduzir tanto situações de rotina como podem também retratar situações de exceção ou críticas quando os agentes devem realizar tarefas complexas e muitas vezes raras (ref). Cenários normalmente são criados para um tipo específico de treinamento (SILVA et al., 2015). A necessidade de treinamentos mais abrangentes requer construção de uma diversidade de cenários com características específicas. As Figuras 1, 2 e 3 mostram alguns exemplos de cenários para diferentes tipos de treinamentos.

Figura 1 - Incêndio em uma floresta (Fonte software XVR *Platform*)

Figura 2 - Colisão de veículos (Fonte software XVR *Platform*)

Figura 3 - Policiais em confronto com manifestantes (Fonte software XVR *Platform*)

Para Schoemaker e Heijden (1992), cenários são ferramentas que tem como objetivo melhorar o processo de tomada de decisão com base no estudo de possíveis ambientes futuros. Os cenários têm como foco os assuntos e informações de grande importância para os tomadores de decisão, como também, os elementos previsíveis e imprevisíveis do ambiente que afetam o sistema em que a organização está inserida.

Os cenários têm sido utilizados para atender a diversos propósitos, tais como os listados por Schoemaker (1995): 1) identificar sinais de alerta precoces; 2) avaliar a robustez das competências centrais da organização; 3) gerar opções estratégicas melhores; 4) analisar o perfil de risco/retorno de cada opção frente às incertezas; 5) auxiliar na comunicação interna das novas políticas da organização.

2.2.2 Avatar

O avatar é uma representação, humanóide ou não, do usuário no mundo virtual. Estas entidades transitam pelo cenário tridimensional em que estão inseridas, proporcionando ao usuário a sensação de imersão no mesmo. Nas aplicações que necessitam de forte identificação com a realidade utilizam-se de avatares com aparência humana e vestimentas de acordo com o cenário em que ele está inserido para que seja possível saber quem está sendo representado por ele ou qual seu papel no ambiente. A Figura 4 mostra exemplo de avatares com aparências de pessoas.

Através da representação dos avatares, os usuários podem treinar suas competências para saberem lidar com situações esperadas e inesperadas sem ser submetidos aos risco inerentes a um treinamento convencional.

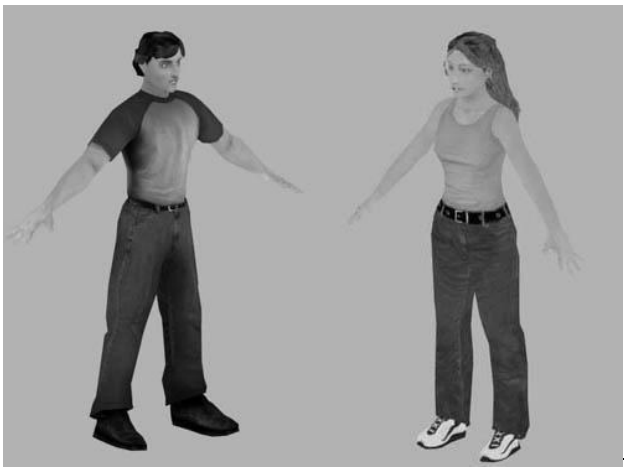


Figura 4 – Avatares de pessoas normais (AUGUSTO, 2008)

2.2.3 Ferramentas de Modelagem

A modelagem tridimensional consiste no processo de desenvolvimento de representação gráfica computacional de superfícies ou objetos de três dimensões. Estes modelos produzidos podem ser estáticos ou animados, e são desenvolvidos em diversos softwares especializados. Tais softwares são comumente denominados ferramentas de modelagem.

As ferramentas de modelagem têm por objetivo centralizar funções necessárias à construção de modelos tridimensionais, como, por exemplo, técnicas de construção de malhas (que dão formas aos objetos) por polígonos, vértices e bordas, facilitando o trabalho do desenvolvedor, que, desta forma, não precisa deterse a representação matemática de cada modelo (AUTODESK, 2010).

A modelagem tridimensional conta com uma enorme variedade de ferramentas computacionais, como por exemplo, SketchUp, 3ds Max, Blender, Cinema 4D, Maya, ZBrush. Essas ferramentas de modelagem reúnem diferentes técnicas de construção de malhas como polígonos, vértices e bordas, destinadas a darem formas aos objetos desenvolvidos. Esta flexibilidade permite que o desenvolvedor abstraia a representação matemática de cada modelo, detendo-se na arte visual do objeto modelado (AUTODESK, 2010).

De forma simplificada, o processo de modelagem tridimensional pode ser descrito em algumas etapas (CALCIOLARI, 2011):

- modelagem – através de malhas, concedendo formato ao objeto pretendido;
- iluminação – fornecerá ao objeto modelado as características relacionadas ao posicionamento de luzes e sombras;
- texturização – destinada a fornecer aos modelos virtuais a textura de suas superfícies;
- renderização – construção de imagem a partir do modelo virtual tridimensional desenvolvido;
- animação – fornece ao objeto modelado a capacidade de realizar ações animadas, movimentos, etc. Essa fase é opcional.

As bases de modelagem, textura, iluminação são iguais para todas as ferramentas, e os conceitos são os mesmos, variando em termos de comandos, maior ou menor eficiência e quantidade de ferramentas de apoio.

A próxima seção descreve a ferramenta de modelagem 3ds Max da Autodesk que foi escolhida pela usabilidade e por trabalhar com arquivos FBX que podem ser exportados para o Unity 3D que foi o motor de jogo escolhido para o desenvolvimento do AVC desta Tese.

2.2.3.1 Autodesk 3ds Max

O Autodesk 3ds Max é um programa de modelagem tridimensional bastante utilizado atualmente e tem como objetivo fornecer a centralização de todos os recursos necessários para realizar modelagens, renderizações, animações e simulações, sendo usado na produção de filmes de animação, criação de personagens de jogos em 3d, vinhetas e comerciais para TV, maquetas eletrônicas e na criação de qualquer mundo virtual (HARPER,2012), além de possibilitar o controle e animação dos personagens nela modelados para atender as necessidades de desenvolvedores de jogos e vídeos, fornecendo maior realidade às cenas geradas. Para isso, existe o apoio de diversas ferramentas auxiliares e suporte a *plugins* como controle de colisões, inserção de gravidade, explosões, vento, etc., (GAHAN, 2011).

De acordo com a Autodesk (2010) para garantir uma maior realidade aos modelos, este software permite ainda a aplicação de dinâmica e efeitos específicos em seus objetos, como dinâmica de fluxo de partículas, de movimentação de cabelos e pelos, movimentação de tecidos, e dinâmica de corpos rígidos. Com formas flexíveis e integradas de renderização, o Autodesk 3ds Max permite ao desenvolvedor uma boa manipulação das imagens a serem produzidas.

Em função das características expostas e da facilidade de configuração da interface de usuário, esta ferramenta foi a escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho. Com grande aceitação no atual mercado de computação gráfica, o 3ds Max, Figura 5, é uma das principais ferramentas proprietárias para modelagem tridimensional.

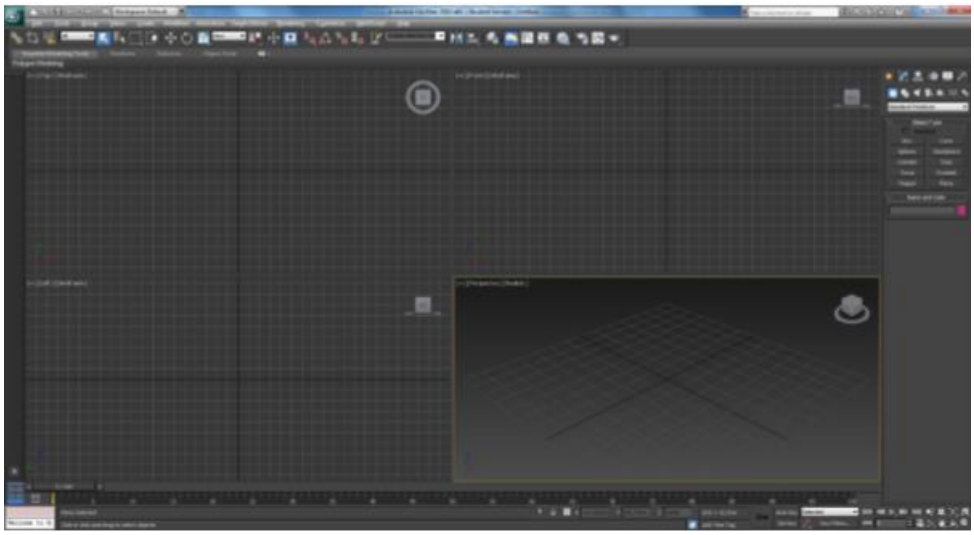


Figura 5 - Ferramenta de Modelagem Autodesk 3ds Max

2.2.4 Motores de Jogos

Desenvolvidos inicialmente para destinar-se à produção de jogos eletrônicos, os motores de jogos são um conjunto de bibliotecas que reúne diversas funções como, o núcleo de renderização de gráficos em tempo real e o núcleo de física e funções destinadas à detecção de colisão. Cada um desses itens deve ser desenvolvido nos mínimos detalhes, uma vez que a união desses “motores” é responsável pelo controle do que acontece no jogo.

Além dessas funcionalidades, os motores de jogos mais utilizados são comumente acompanhados de editores de cenários, ferramentas destinadas à criação e à edição de conteúdo, suporte à importação de objetos oriundos de outras ferramentas de modelagem, interpretadores de *scripts*, suporte a animações, suporte à reprodução de áudio e vídeos, comunicação por rede (aplicações *multiplayer*), manipulação de arquivos e funções de inteligência artificial, etc. Isto possibilita o desenvolvimento de outras aplicações relacionadas à realidade virtual como simulações e treinamentos, um dos objetivos desta Tese.

Atualmente, existem diversos motores de jogos disponíveis, em versões gratuitas e versões proprietárias (com licenças pagas), sendo os mais utilizados a CryEngine 3 (mycryengine.com), o Unreal Engine (unrealengine.com), a Source Engine (source.valvesoftware.com) e o Unity 3D (unity3d.com), que foi o escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, pois apresenta todos os recursos necessários, como suporte a importação dos objetos modelados pelo Autodesk 3ds

Max, suporte a linguagem C, o que possibilita a manipulação de arquivos textos e banco de dados além de já ter sido utilizado em outros trabalhos (MÓL et al, 2012, 2011a, 2011c).

2.2.4.1 Unity 3D

Conforme mencionado anteriormente, o Unity 3D é um dos motores de jogos mais poderosos utilizados atualmente. O fato de ser composto por um motor de renderização bidimensional e tridimensional, facilita o trabalho do desenvolvedor, principalmente nos jogos tridimensionais.

O Unity 3D utiliza para renderização de seus objetos as APIs Direct3D (msdn.microsoft.com/directx), OpenGL (www.opengl.org), OpenGL ES (www.khronos.org/opengles), dentre outras proprietárias de menor expressão no mercado de desenvolvimento de jogos. Suas principais características de renderização são suporte a mapeamento de relevo, processamento de sombras dinâmicas, reflexão e paralaxe e efeitos pós-processamento. Destaca-se também a utilização do Método da Oclusão Implícita (*occlusion culling*), que possibilita a renderização seletiva, em tempo real, apenas dos objetos visíveis em cada cena. Com a utilização do *occlusion culling* os objetos ocultos à câmera do jogo não são processados, evitando cálculos desnecessários e, consequentemente, melhorando o desempenho da aplicação (BLACKMAN, 2011).

Os jogos atualmente desenvolvidos nessa ferramenta podem ser portados para iOS, Android, Windows, Blackberry 10, OS X, Linux, PlayStation 3, Xbox 360, Windows Phone 8, Wii e Wii U. Além disso, a portabilidade também atende a execução de jogos em navegadores como Chrome, Safari, Firefox e Internet Explorer, para isso torna-se necessário a instalação do plugin Unity Web Player.

O Unity 3D foi criado no *framework* de desenvolvimento Mono (www.mono-project.com), que consiste em uma implementação da plataforma .NET (www.microsoft.com/net) em código fonte aberto. Contudo, o desenvolvimento dentro do motor de jogo é multilinguagem de programação, onde é permitido utilizar as linguagens de programação C#, JavaScript e Boo (Python) no mesmo projeto. Outro recurso interessante é o seu editor. Nele é possível posicionar objetos, suportar sistema de importação de arquivos 2D e 3D, como por exemplo, arquivos com as extensões .jpg e .png para 2D, .blend, .max e .fbx para 3D, entre outros. O

editor também é totalmente customizável e possui opção de testar o jogo com a possibilidade de pausar e continuar infinita vezes. A Figura 6 mostra a tela inicial do ambiente de desenvolvimento do Unity 3D.

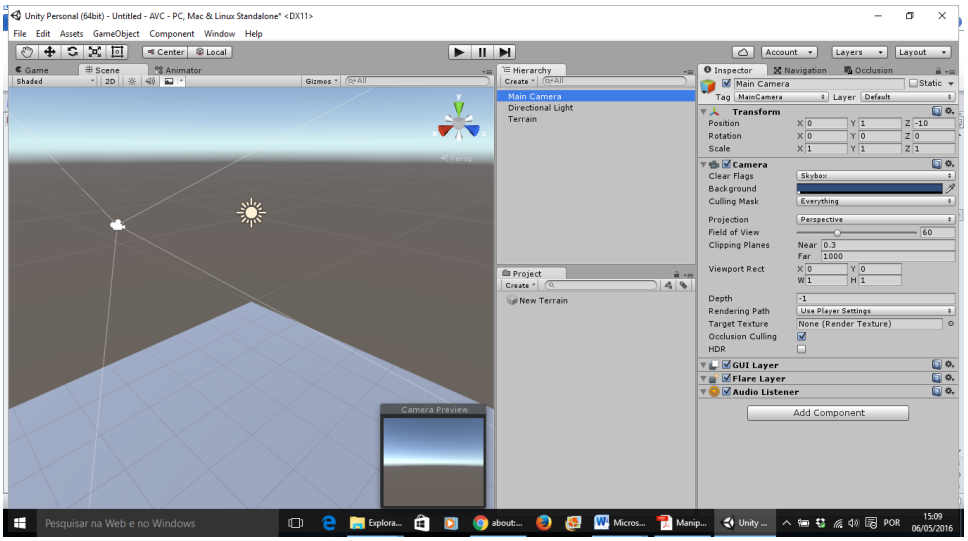


Figura 6 – Tela inicial do Unity 3D com os elementos necessários para o desenvolvimento do programa.

2.3 AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS (AVC)

Impulsionado pelo rápido desenvolvimento das redes de computadores, o Ambiente Virtual Colaborativo (AVC) é a evolução dos ambientes virtuais para suportar múltiplos usuários participando de uma mesma interação.

Santos e outros (2002) definem AVC como sendo o ponto de convergência da pesquisa das áreas de realidade virtual e sistemas colaborativos (CSCW - Computer Supported Cooperative Work). AVCs vêm se destacando como uma maneira atraente de apoiar atividades assistidas por computadores nos mais diversos campos tais como medicina (RIVA, 2003), educação (BLAS; POGGI, 2007), entretenimento (KIRNER, 2004) entre outros. O quadro 1 mostra de forma compacta como características dos AVCs podem ser associadas às principais caracteristicas dos ambientes de CSCW relacionando-as (PINHO, 2002).

Quadro 1 - Associação entre características de CSCW e AVC, Adaptado de Pinho (2002)

Características CSCW	Identificação nos AVCs
Formação de grupos	Pode ser feita através de navegação. A proximidade física entre os avatares suporta a formação de grupos.
Suporte a negociação	Além dos mecanismos tradicionais encontrados no CSCW, como textos ou áudio de conversas, as formas de realização (gestos, acenos de cabeça, etc) e os artefatos como documentos e ferramentas encontrados nos AVC's podem facilitar a comunicação.
Necessidade de controle das transições de estado	A noção de espaço 3D e a possibilidade de comunicação entre os usuários dão suporte às transições
Compartilhamento de um mesmo entendimento	A existência de um espaço 3D no qual todos os usuários possam compartilhar com os demais suas atividades individuais, dentro de um mesmo contexto, permite a ideia de compartilhamento de maneira implícita. O contexto compartilhado é crucial para atividades colaborativas. Ele pode significar o compartilhamento das atividades atuais e passadas de cada um, artefatos e ambiente. Juntos, eles levam a entendimentos comuns entre todos os usuários. Espaços físicos compartilhados e lugares familiares facilitam ou 'proporcionam' o entendimentos de todos.
Múltiplas visões de uma mesma informação	Cada usuário pode ver os objetos 3D (dados) como uma aparência diferente.
Consciência ou percepção de situação	O uso de avatares permite que um usuário perceba a existência de um parceiro, identificando-o e compreendendo sua atividade.

A utilização de AVCs estimula a participação das pessoas pelo fato de viabilizar dinamicamente atividades de ensino, treinamento e outras através da simulação de um mundo real ou imaginário. Assim sendo, um AVC pode interligar remotamente diferentes Centros de Pesquisa e Centros de Comandos e Controle Regionais, para, por exemplo, efetuar treinamentos de técnicas de procedimentos de detecção e abordagem a indivíduos transportando elementos radioativos.

Em AVCs, os usuários, na forma de seus avatares, são livres para navegar no espaço virtual (compartilhamento de espaço), encontrando-se uns com os outros (presença compartilhada). Além disso, um participante deve ser capaz de ver o comportamento dos outros no momento em que isto ocorre (compartilhamento de tempo).

Já a comunicação verbal geralmente realizada através de ferramentas de bate-papo, ou na forma de áudio e videoconferência e a não verbal normalmente realizada na forma de gestos, expressões faciais e postura do avatar, acabam necessariamente ocorrendo, assim como características de coordenação e cooperação. Apesar de poder ser feita de forma assíncrona (devido à possibilidade de alterar e deixar recados em artefatos do mundo virtual), a comunicação verbal nos AVCs geralmente é síncrona.

As trocas de informações ocorridas durante a comunicação geram compromissos que são gerenciados pela coordenação, que por sua vez fornece as regras e protocolos necessários para organizar as atividades, evitando, assim, o disperdício de comunicação e esforços de cooperação entre os indivíduos.

A necessidade de renegociar e tomar decisões sobre situações não previstas que ocorrem durante a cooperação demanda comunicação que, por sua vez, demanda coordenação para reorganizar as tarefas. Isto mostra o aspecto cíclico da colaboração e a interdependêcia entre a comunicação, coordenação e cooperação que geram em cada um dos seus eventos informações que são disponibilizadas ao grupo através de elementos de percepção. A Figura 7 mostra os serviços de colaboração disponibilizado no AVC desta Tese.

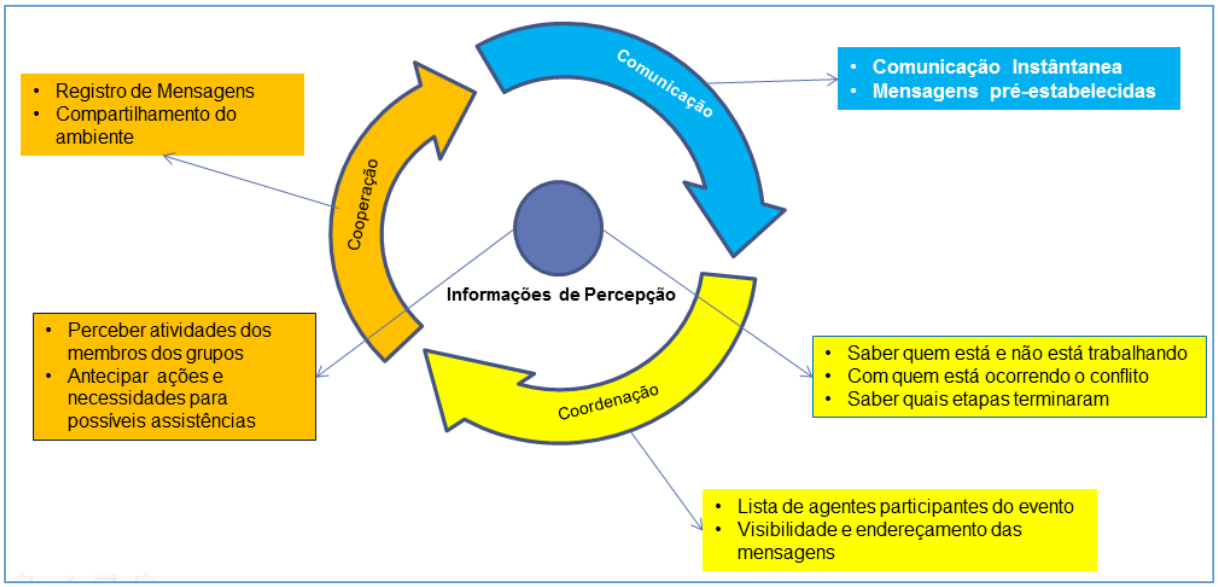


Figura 7 – Serviços de colaboração disponível no ambiente virtual da Tese adaptado de (FUKS e ASSIS, 2001)

2.3.1 Aplicações de AVCs para treinamento de segurança

Em aplicações de segurança, um AVC pode conectar remotamente diferentes instalações de pesquisas e centros de comando locais para realizar treinamentos em procedimentos como combate a incêndios (plataforma XVR, 2016), gestão de conflitos (Emmerich et al., 2012), treinamento de resgate (Chen e Huadong, 2006), suporte a segurança física das instalações nucleares (Silva, et al., 2015), entre outras aplicações. por exemplo. O Quadro 2 mostra uma comparação entre os AVCs mencionados e o apresentado neste trabalho.

Quadro 2 – Comparação entre AVCs

	AVC Tese	*Collaborative Conflict Management* (Emmerich et al., 2012)	*XVR platform*	*A Collaborative Virtual Simulation System Based on HLA for Emergency Rescue Training* (Chen e Huadong, 2006)	*Using virtual reality to support the physical security of nuclear facilities* (Silva, et al., 2015)
Ambiente Virtual 3D	x		x	x	x
Ambiente Virtual 2D		x			
Comunicação não-verbal	x		x	x	
Comunicação Verbal	x		x	x	
Bate-papo	x	x	x	x	
Coordenação	x	x	x	x	
Múltiplos usuários	x	3	x	3-6	
Avatars controlados	x		x	x	x
Avatares autômatos	x				
Ver o que o(s) outro(s) avatar(es) está(ão) fazendo	x		x	x	
Multiplataforma	x				x
Hardware de alto desempenho			x		
Em relação ao suporte à segurança física					
Exercícios com Multiagências	x		x		
Bombeiro (Fogo e resgate)			x	x	
Bombeiro (radiação)	x				
Policia	x		x		
Ambulância			x		
Agente Nuclear	x				x

2.4 DESAFIOS DE UM AMBIENTE VIRTUAL COLABORATIVO

Um dos maiores desafios encontrados nos AVCs envolve a preservação da consistência do ambiente entre todos os participantes (ZHOU et al., 2004), isto é, garantir que cada usuário participante da simulação seja capaz de ter as mesmas informações dos demais participantes, garantindo assim, com exatidão, o mesmo ambiente a todos os usuários. Segundo Zhou e outros (2004) a inconsistência em um ambiente virtual pode ocorrer de duas formas:

- Violação de ordem das causas - é a violação da ordem dos acontecimentos dentro de um ambiente virtual. Por exemplo, um incêndio não pode existir antes de haver fogo.

- Inconsistência espaço-temporal - é a inconsistência da visualização dos estados dos objetos em ambiente virtual, ou seja, em um determinado tempo da simulação alguns participantes visualizam um mesmo objeto de forma diferente, causando uma inconsistência de percepção entre os participantes. Essa diferença está relacionada ao tempo de envio de mensagem de atualização do ambiente e o seu tempo de chegada, que pode ser ocasionada pelo problema de escalabilidade.

A escalabilidade é talvez o ponto mais difícil a ser alcançado em AVCs, pois para cada novo participante no ambiente virtual, haverá demanda de mais recursos computacionais como o poder de processamento da máquina responsável pela entrada e saída do ambiente, pela leitura e escrita para a rede, pelos dispositivos gráficos responsáveis por renderizar as imagens e pelos transportes dos dados pela rede (FAISSTNAUER, 2001). Segundo Boukerche e outros (2004), também são alguns requisitos de AVCs:

- **Persistência:** O estado do sistema tem que ser mantido, independentemente se o usuário está presente no ambiente ou não;

- **Adaptabilidade:** Um grande número de usuários conectados a partir de redes e dispositivos heterogêneos deve ser suportado;

- **Segurança:** um usuário não deve ser capaz de se sobressair sobre outro devido às falhas do sistema.

No próximo capítulo serão apresentados os conceitos e requisitos básicos associados aos treinamentos focados em simulação.

3 EXERCÍCIOS DE TREINAMENTOS BASEADOS EM AMBIENTES VIRTUAIS COLABORATIVOS

Os AVCs abrem uma nova perspectiva para a colaboração em treinamentos simulados, ao possibilitar que os usuários interajam através de simulações. Os AVCs voltados para simulações militares e jogos multi-usuários são exemplos de aplicações colaborativas que necessitam de sofisticados mecanismos de Coordenação para garantir a realização das tarefas (CAPPS et al. 2001). Um uso relativamente comum de AVCs que permite classificá-los como ferramenta focada em coordenação é o treinamento. Os tópicos seguintes deste capitulo apresentam os conceitos de exercícios de preparação, treinamento, simulação e exercício simulado, além de apresentar a importância do monitoramento nestes tipos de atividades.

3.1 EXERCÍCIOS DE PREPARAÇÃO

O termo geral exercício de preparação inclui atividades que se enquadram em uma ampla gama de escala, escopo e complexidade. Descrito em detalhes no primeiro volume de guias produzidos pelo Programa de Segurança Interna Exercício e Avaliação (HSEEP) (do inglês Homeland Security Exercise and Evaluation Program), o exercício pode variar desde o mais básico de interações do tipo seminário até em grande escala simulações de resposta onde as unidades, equipamentos e pessoal operam como se estivessem em um incidente real e voluntários serviriam no papel de vítimas que necessitam de tratamento.

Organizações de resposta e salvamento treinam e realizam exercícios para uma variedade de razões visando melhorar a formação individual e a capacidade do sistema (VOSHELL, 2009). Às vezes, o treinamento faz parte das exigências regulatórias, tais como com a Comissão Reguladora Nuclear, ou de licenciamento para exercer a profissão com pilotos de avião e pessoal médico. A principal diferença, porém, é como eles treinam. A Agência Federal de Gestão de Emergências, FEMA (do inglês *Federal Emergency Management Agency*), e o Departamento de Segurança Interna, DHS (do inglês *Department of Homeland Security*), enfatizam a força motriz por trás de qualquer programa de exercício é usar exercícios de treino para melhorar a prontidão de uma organização e a

competência. Aulas de exercícios dão um meio de avaliar planos, procedimentos e operações, cultivar o trabalho em equipe, e ilustrar uma organização ou a capacidade da comunidade para se preparar para situações de desastre (Voshell, 2009).

Os principais objetivos para a realização de exercícios servem para melhor estabelecer papéis e responsabilidades, melhorar a coordenação entre agências, identificar lacunas de recursos, aprimorar habilidades de desempenho individual, e identificar oportunidades de melhoria. Exercícios podem diferir entre um número de dimensões no que diz respeito à sua escala, complexidade, o âmbito, o objetivo, abordagem, e custo.

FEMA e DHS incentivam que programas de exercícios abrangentes usem uma "abordagem bloco de construção (VOSHELL, 2009)" (ver Figura 8), onde vários exercícios são planejados em um ciclo iterativo. Cada exercício é progressivamente mais complexo no ciclo subsequente e baseia-se no exercício anterior, com os planejadores aumentando gradualmente a escala e complexidade.

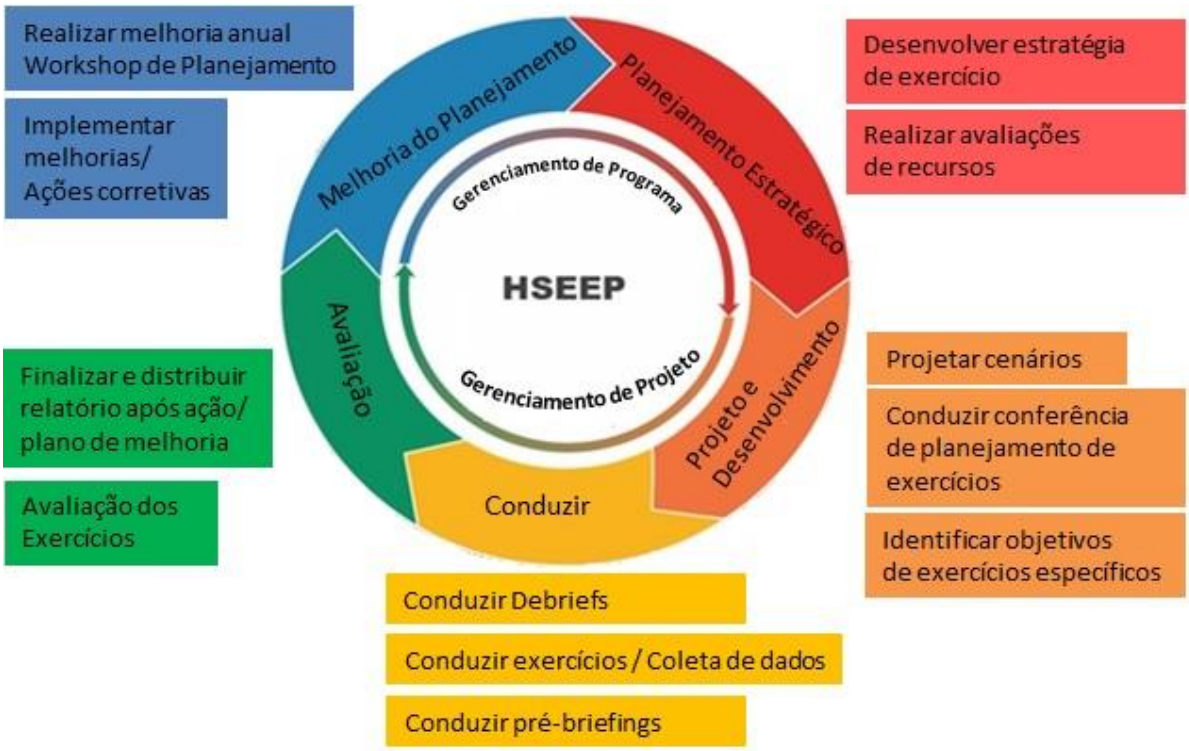


Figura 8 - Abordagem Bloco de Construção (Adaptado do HSEEP, 2013).

A abordagem bloco de construção é composta por duas categorias gerais de atividades de exercícios: exercícios baseados em discussão e exercícios baseados em operações.

3.1.1 Exercícios baseados em discussão

Esses exercícios são baseados em discussões moderadas que não envolvem a utilização dos recursos e, como tal, são o tipo menos complexo de exercício a ser executado. São geralmente usados quando os titulares do problema desejam avaliar ou se concentrar em questões de nível mais alto, como a estratégia, a política, a formação geral e procedimentos, ou a construção de relacionamento com outras agências. Um exemplo de objetivo desse exercício seria avaliar o procedimento operacional padrão para um tipo específico de resposta (VOSHELL, 2009). Existem três tipos desses exercícios: seminários e *workshops*, *tabletops* (mesa), e jogo de interpretação de papéis (RPG[1]). A Figura 9 mostra os exercícios baseados em discussão.

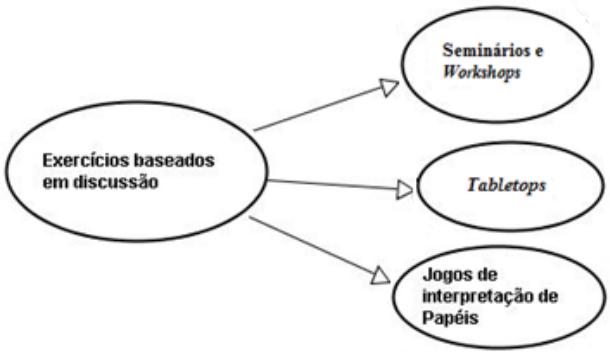


Figura 9 – Exercícios baseados em discussão

Seminários e workshops são utilizados para familiarizar os participantes com os planos, procedimentos e equipamentos. Estes são liderados por um facilitador e não envolvem qualquer simulação.

Exercício de mesa (do inglês *tabletop*) é uma análise facilitada de eventos de emergência em um ambiente de baixa tensão. Existe um elemento de simulação, mas a sua potência é baseada na discussão de participantes e resolução de problemas durante o curso dos acontecimentos. Um facilitador é necessário para guiar a discussão, injetar informações, e orientar a resolução de problemas. O

[1] RPG é um tipo de jogo em que os jogadores assumem os papéis de personagens e criam narrativas colaborativamente (fonte Oxford Dictionaries).

exercício de mesa tende à falta de realismo e não estresse dos participantes de resposta.

O último tipo de exercício com base em discussão é o jogo de dramatização ou jogos de decisão tática. Esta forma tem crescido em popularidade nos últimos anos, especialmente como meio de planejamento de cenários e avaliação de sistemas de apoio à decisão (CHUMER et. al, 2005; WOLTJER et. al, 2006). Exercícios deste tipo envolvem um *game master*[2] que cria condições para o jogo por trás de um cenário que os participantes assumem papéis. O papel do jogo é uma troca de colaboração entre o *game master*, que cria e fornece detalhes contextuais em torno das condições de cenários e obstáculos. Isso permite cenários mais dinâmicos na simulação enquanto ainda em um ambiente de baixa tensão.

3.1.2 Exercícios baseados em operações

Além dos exercícios baseados em discussão, existem os exercícios baseados em operações que envolvem recursos e pessoal de implantação. Esses exercícios representam uma ordem de complexidade acima dos exercícios baseados em discussão. Um exemplo seria testar a capacidade de uma equipe especializada em materiais perigosos para coordenar com uma agência de resposta local durante um incidente químico.

Sua avaliação, consiste em objetivos como a efetividade das comunicações, a forma como o equipamento foi utilizado, ou quão boa foram a coordenação e cooperação das diferentes agências. Exercícios de operações vêm na forma de exercícios setoriais, exercícios funcionais e exercícios em escala real, conforme mostrado na Figura 10.

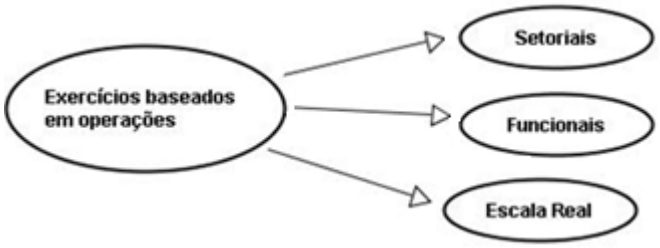


Figura 10 – Exercícios baseados em operações

[2] Game Master é o responsável por conduzir o jogo, narrando as situações que acontecem com os personagens de outros jogadores (Fonte Significados.com.br)

Exercícios setoriais estão em agências únicas e geralmente são executados com um foco específico de operação. Eles são comumente usados para treinar novos equipamentos, testar novos procedimentos ou manter e praticar habilidades. Esses exercícios fornecem *feedback* imediato, mas em um ambiente relativamente isolado, exigem um supervisor ou gerente exercício com uma equipe de apoio (Voshell, 2009).

O próximo nível de complexidade são exercícios funcionais, também conhecidos como exercícios de posto de comando em ambientes militares. Esses exercícios visam tanto as atividades individuais ou coletivas que testam as capacidades e funções em uma resposta simulada. Estes exercícios são totalmente baseados em simulações interativas de alta tensão e exigem uma rápida tomada de decisão. Muitas vezes realizados em Centros de Operações de Emergência, os exercícios funcionais testam várias funções do plano operacional de uma organização. Tendem a ser complexos, sendo principalmente orientados para a coordenação de testes. Também exigem que um controlador gerencie e oriente o exercício, que os jogadores participantes assumam papéis típicos, e que haja confederados ou agentes de computador para papéis simulados e avaliadores para monitorar e avaliar o desempenho.

Por último, exercícios em grande escala tentam simular de perto os acontecimentos reais em condições de resposta de alta fidelidade. Destinam-se a vários órgãos e jurisdições que envolvem a implantação coordenada de pessoal e recursos. Estes exercícios realistas de alta tensão seguem um *script* de cenário do exercício e permitem que organizadores avaliem os planos e procedimentos, bem como a resposta em condições de crise realistas. Exercícios em grande escala representam a logística mais complexa e exigem uma equipe de planejamento dedicado e vários controladores e avaliadores que devem coordenar o grande número de pessoal e equipamento. A Figura 11 ilustra a gama de tipos de exercícios, por ordem de complexidade crescente.

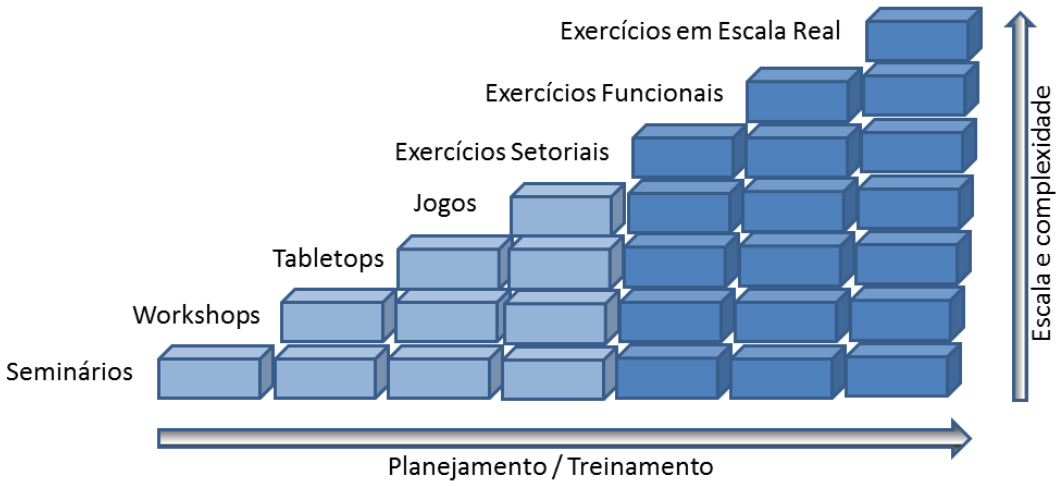


Figura 11 - Variedades de exercícios baseados em Discussão e baseados em Operações. (Adaptado do DHS, 2007).

Como um componente de um programa de preparação, exercícios desses tipos variados são vistos como uma ferramenta versátil que pode ajudar a contribuir para a realização de uma variedade de objetivos diferentes. Apesar de as taxonomias dos objetivos dos exercícios variarem na literatura, a maioria inclui o seguinte (HSEEP Exercise Guidance, 2013):

Planejamento – Exercícios fornecem uma estrutura para avançar o planejamento para um determinado cenário de incidente, identificando problemas e explorar suas soluções de maneira focada.

Coordenação Interagencial - Exercícios podem agir como um local para membros de diferentes agências de conhecer e interagir, para construir relacionamentos que são importantes para uma coordenação eficaz em um evento real, para identificar problemas potencialmente caindo em lacunas de autoridade, jurisdição, etc., para testar mecanismos e tecnologias para o compartilhamento de informações entre as agências que podem raramente ser usados em eventos de rotina, e para identificar se existem agências "ausentes" de planos que seriam necessários em um desastre em grande escala, acidente ou ataque terrorista.

Educação Pública - Os exercícios podem atuar como um "evento" que, ao ser coberto pela mídia e discutido publicamente, faz com que seja possível ensinar o público sobre as capacidades dos sistemas de resposta, cria a oportunidade de educá-los sobre as ações de preparação que poderia tomar, e informa-los sobre os esforços de preparação no seu município, estado ou do governo federal.

Treinamento - Os exercícios podem tornar possível para expor a equipe de resposta a incidentes raros e suas demandas exclusivas - ao invés de sua encontrá-los pela primeira vez em uma emergência real. Tais simulações tornam possível para ensinar respondedores e voluntários tarefas específicas, o uso do equipamento na prática, e para aprender ou atualizar outros conhecimentos específicos a um incidente incomum.

Avaliação - exercícios têm sido usados para avaliar as atividades de preparação de emergência em uma variedade de formas. Tais avaliações variam de, avaliações qualitativas muito amplos (por exemplo, garantindo que todas as questões significativas foram consideradas no planejamento) para muito detalhado, estudos quantitativos (por exemplo, medindo diretamente a taxa de transferência do paciente de uma instituição médica). Exercícios de avaliação mais elaborados e realistas têm o potencial para avaliar não apenas de que um plano de preparação pode ser executado, mas o quão bem ele pode ser colocado em prática nas condições simuladas do cenário do exercício.

Um único exercício às vezes deverá prosseguir alguns ou todos esses objetivos simultaneamente (IAEA, 2003). Isto pode ser um desafio, uma vez que os diferentes objetivos sugerem diferentes prioridades e requisitos para o projeto do exercício que podem entrar em conflito uns com os outros. Por exemplo, a exigência de certos tipos de realismo pode diferir consideravelmente entre um exercício de treinamento e um exercício focado na avaliação.

3.2 TREINAMENTO

As organizações buscam tornar-se melhor preparadas para lidar com diferentes tipos de crises, catástrofes ou emergências, por meio do treinamento de seus agentes. O termo “treinamento” pode ser definido como *“*um processo educacional de curto prazo aplicado de maneira sistemática e organizada, através do qual as pessoas aprendem conhecimentos, atitudes e habilidades em função de objetivos definidos*”* (CHIAVENATO, 1999, p.295).

Uma quantidade significativa de treinamento baseia-se em sala de aula tradicional (VOSHELL, 2009). Abordagens em sala de aula se concentram em práticas doutrinárias e funcionam através de emergências previstas, bem como o treinamento repetido para os planos e procedimentos existentes. No entanto, um

elevado grau de aprendizagem relacionada com o trabalho se desenvolve em formas menos tradicionais; é a denominada "aprendizagem situada", frequentemente encontrada em resposta de emergências e domínios semelhantes. (KLEIN; CALDERWOOD; CLINTON-CIROOCO, 1986; HINTZE, 2008).

Como mencionado na discussão de Sioux City no anexo B (VOSHELL, 2009), ao mesmo tempo que procedimentos repetitivos e competências essenciais são críticos para a equipe de emergência (PFEIFER, 2005), as habilidades cognitivas (por exemplo, avaliação da situação, planejamento) são necessárias para a tomada de decisão em situações nas quais os eventos se movem além da doutrina prescrita onde não podem existir procedimentos formais.

Em análise semelhante, Mumaw e outros (1994) olharam para habilidade cognitiva e requisitos de tomada de decisão em acidentes nucleares complexos que reforçam a validade e a necessidade crítica de tais abordagens.

Como o treinamento prático de exercícios *in vivo* torna-se caro e difícil de organizar (JAIN; MCLEAN, 2005), o treinamento baseado em ambientes simulados por computador é sugerido por ser uma maneira eficiente de gerar recursos como complemento dos exercícios tradicionais (LUKOSCH et. al, 2012), chegando até mesmo a substituí-los.

Na área de treinamento e simulação, destaca-se um exemplo de aplicação militar que simula uma cabine de avião de combate, desenvolvida pela *British Aerospace Real* para treinamento dos cadetes britânicos (KALAWSKY, 1993). A realidade virtual também é usada para treinar operadores de radares (BENNETT et al., 2010) e no treinamento de soldados na operação de tanques de guerra. Esse último trabalho é vinculado ao projeto SIMNET desenvolvido pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency* – USA) que disponibiliza um ambiente virtual distribuído com vários simuladores virtuais remotos interligados entre si, trocando informações e mantendo atualizada a descrição do ambiente (PIMENTEL; BLAU, 1994; MOSHELL *et al*., 1994).

Outros autores (ROSENBLUM, 1995; MCCARTY *et al.*, 1994; MOSHELL *et al.*, 1994) também relatam o uso da realidade virtual para ensino e treinamento, enquanto Kozak e outros (1993) e Wittenberg (1995) apresentam estudos realizados nos quais os resultados obtidos em treinamentos com o uso de realidade virtual são claramente superiores àqueles obtidos com sistemas de interfaces convencionais.

Atualmente as pesquisas estão bastante avançadas, com diversas empresas no mundo investindo no desenvolvimento de protótipos e em novas formas de aplicações da realidade virtual em diferentes áreas. Dentre elas destaca-se, no Brasil, o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), um orgão ligado ao governo federal, que tem como uma de suas linhas de pesquisa a criação de ferramentas em Realidade Virtual para estudo, revisão e treinamento em estratégias de segurança física para aplicação em instalações nucleares (SILVA et. al, 2015).

3.3 SIMULAÇÃO

Simulação remete à ideia de um treinamento, de um estágio prévio a uma atividade determinada com possibilidade de manipulação de parâmetros, onde são dadas condições similares às do ambiente em que a ação para a qual se treina ocorrerá. Segundo Lévy (1993), a possibilidade de manipulação desses parâmetros e a simulação de todas as circunstâncias possíveis dão ao usuário do programa uma espécie de intuição sobre as relações de causa e efeito presentes no modelo. Ele adquire um conhecimento por simulação do sistema modelado, que não se assemelha nem a um conhecimento teórico, nem a uma experiência prática, tampouco ao acúmulo de uma tradição oral.

No entanto, para Lévy (1993), a simulação comporta uma dimensão interativa e é um dos novos gêneros que a ecologia cognitiva informatizada carrega. Segundo o autor, a simulação e a visualização têm um potencial maior que o do treinamento, pois servem como um dispositivo externo para imaginar. E aponta:

> *"Nossa capacidade de simular mentalmente os movimentos e reações possíveis do mundo exterior nos permite antecipar as consequências de nossos atos. A imaginação é a condição da escolha ou da decisão deliberada. (O que aconteceria se fizéssemos isso ou aquilo?) Tiramos proveito de nossas experiências passadas, usando-as para modificar nosso modelo mental do mundo que nos cerca. A capacidade de simular o ambiente e suas reações certamente desempenha um papel fundamental para todos os organismos capazes de aprender. "* (Lévy, 1993,p.124)

Lévy fez algumas afirmações sobre simulações como:

- as simulações estão mais próximas das atividades intelectuais do que as teorias;
- as simulações apresentaram utilidade como forma de comunicação e persuasão;
- as simulalções ligam-se ao ritmo sociotécnico das redes ao tempo real;
- as simulações permitem que uma pessoa explore modelos complexos, aumentando suas capacidades de imaginação e intuição.

Lévy (1993, p.125/126) ainda destaca que*:*

> *"A simulação por computador permite que uma pessoa explore modelos mais complexos e em maior número do que se estivesse reduzido aos recursos de sua imagística mental e de sua memória de curto prazo, mesmo se reforçadas por este auxiliar por demais estático que é o papel. A simulação, portanto, não remete a qualquer pretensa irrealidade do saber ou da relação com o mundo, mas antes a um aumento dos poderes da imaginação e da intuição. "*

Uma característica desejável da simulação é a animação gráfica (onde se encontra o uso da realidade virtual), especialmente para modelagem de processos de manufatura (LAW; HAIDER, 1989) e em aplicações militares que, quando são adequadamente projetados, oferecem ao usuário uma simulação exata dos acontecimentos reais em um ambiente seguro e controlado, pois alguns procedimentos de treinamento podem estar associados a elementos de perigo ao representar situações reais. Embora o desenvolvimento inicial de *softwares* simuladores seja caro, a longo prazo, é mais barato do que colocar soldados em veículos de verdade ou situações fisicamente simuladas.

Simuladores são amplamente utilizados em negócios, educação, e treinamentos militares (JACOBS; DEMPSEY, 1993). Na verdade, as forças armadas e a indústria da aviação comercial são, provavelmente, os maiores investidores na formação baseada em simulação (SALAS; CANNON-BOWERS, 2001). Estas simulações variam em custo, fidelidade e funcionalidade. Muitos sistemas de simulação (incluindo simuladores e ambientes virtuais) têm a capacidade de imitar terreno detalhado, falhas de equipamento, movimento, vibração e pistas visuais sobre uma situação.

Outros são menos sofisticados e têm menos fidelidade física, mas representam bem o conhecimento, a habilidade e as atitudes para ser treinado (JENTSCH; BOWERS, 1998). Uma tendência recente é a utilização destes dispositivos de baixa fidelidade para treinar habilidades complexas, onde existem mais evidências sobre transferência de habilidades após o treinamento nessas simulações (GOPHER et al.,1994).

Ainda são necessárias avaliações mais sistemáticas e rigorosas de simuladores e simulações em grande escala. No entanto, o uso de simulação continua em um ritmo acelerado na medicina, manutenção, aplicação da lei, e em configurações de gerenciamento de emergência. Salas e outros (1998) observaram que simulação e simuladores estão sendo usados sem muita consideração sobre o que foi aprendido sobre a cognição, modelo de treinamento, ou eficácia. Há uma crescente necessidade de incorporar os últimos avanços na pesquisa sobre treinamento na concepção e prática de simulação.

Nesse sentido, alguns autores têm defendido uma abordagem baseada em evento para treinamento com simulações (CANNON-BOWERS et al. 1998; OSER et al. 1999; FOWLKES et al. 1998). De acordo com esta perspectiva, o treinamento baseado em simulação deve ser desenvolvido com os objetivos do treinamento em mente, e permitir a medição do processo, dos resultados e disposições para *feedback* (tanto durante o exercício como para fins de esclarecimento).

3.4 EXERCÍCIOS SIMULADOS

Um exercício simulado nada mais é do que uma verificação prática dos procedimentos propostos, mas pode ser utilizado para testar o sistema de comunicação e o tempo de resposta das equipes. Isso envolve a utilização de equipamentos, e, para exercícios mais complexos, envolve todas as atividades de um evento real, como por exemplo, testar a habilidade do grupo de resposta em disponibilizar os recursos materiais e humanos no local de ocorrência para atender adequadamente uma emergência. Resumindo, exercícios simulados são fundamentais para validação de planos, treinamento e preparação dos elementos participantes, principalmente em situações de crise, onde o pânico e o caos podem ser instalados facilmente.

A necessidade de exercícios simulados é afirmada por Gonçalves (2007):

> *"A pessoa que tem a responsabilidade pela tomada de decisão deve ser adequadamente treinada, pois a possibilidade de cometer falhas em situações de emergência é muito grande. A estratégia é criar exercícios simulados que preparem a organização para o atendimento de emergências".*

A preparação de um exercício simulado envolve planejamento e a tomada de providências para que o exercício alcance os objetivos e aconteça com segurança. Ao preparar um exercício desta natureza é importante (SNDC, 2012).:

- Estabelecer objetivos claros, realísticos e mensuráveis;
- Elaborar cenários de riscos
- Descrever os problemas e as ações esperadas
- Definir as pessoas que serão envolvidas
- Elaborar um plano de ações e o passo a passo da programação do simulado
- Definir planos de ação alternativos para execução do simulado
- Definir os observadores
- Difundir o plano de ações do simulado
- Saber que obter êxito na avaliação é tão importante quanto sucesso na condução do simulado;
- Reconhecer como significativa a realização, o planejamento e a condução de um exercício bem-sucedido.

Com relação à organização do exercício, deve-se ter clareza que "um simulado tem a intenção de uma aprendizagem, a qualidade deste dependerá da qualidade de sua preparação. Nem o sentido comum, nem a boa vontade são suficientes para realizar um bom simulado" (UNICEF, 2010, p.14).

A periodicidade da realização dos exercícios simulados tem o objetivo de atualizar e revisar planos e funções. O desafio é conduzir processos e relações que se mantenham após a realização dos exercícios simulados e sejam efetivos em situações reais de emergência. Assim sendo, a comunicação na rede, a revisão das funções e tarefas, recursos e objetivos, precisam ser permanentemente revisadas e atualizadas (SNDC, 2012).

3.5 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DO USUÁRIO EM SIMULAÇÕES POR RV

Uma das qualidades relacionadas aos sistemas de computação para simulação e treinamento é a possibilidade do monitoramento das ações realizadas pelos usuários no sistema. Esse monitoramento corresponde ao que o usuário compreende no mundo virtual, permitindo então, o uso de informações de interação para fins diversos que variam desde a quantificação da compreensão, à usabilidade e à avaliação do usuário na realização de um procedimento (MACHADO et. al, 2000; SHARABI et. al, 2007).

A avaliação de um simulado ocorre durante a realização do mesmo, sendo fundamental no sentido de identificar oportunidades de melhorias dos procedimentos. Como várias dessas ações podem ser complexas, suas simulações não devem ser classificadas apenas como “boas” ou “ruins” (SANTOS et. al., 2010). Na avaliação é interessante considerar a agilidade na execução dos procedimentos, comportamento e ações das equipes envolvidas, sequência do desencadeamento das ações de controle e a sua eficácia, qualidade da comunicação das equipes envolvidas, tempo de resposta das equipes envolvidas, ações adotadas pelo coordenador da gestão de emergência e ações de desmobilização pós-emergência.

Segundo Färber e outros (2008), a existência de um módulo de avaliação do treinamento do usuário incorporada ao simulador é importante para prover uma melhora no aprendizado e na avaliação do usuário. A pesquisa por sistemas de avaliação para treinamentos complexos requer um equilibrio entre a complexidade computacional do meio virtual, a complexidade computacional do meio de avaliação, a acurácia do método e o sistema computacional disponível para a execução.

Os profissionais selecionados para avaliar as ações do exercício simulado devem estar cientes dos objetivos propostos, ter vivência prática dos quesitos que serão avaliados e ser capacitados para o objeto de avaliação. A equipe avaliadora deve fazer parte do planejamento do simulado.

4 PROJETO DO AVC

Para realização de treinamentos simulados referentes a procedimentos de segurança em grandes eventos, foi necessário desenvolver um ambiente virtual colaborativo que atendesse a diversas funcionalidades inerentes aos diferentes tipos de agências de segurança.

O desenvolvimento do AVC envolveu etapas referentes à escolha de tecnologias e as ferramentas escolhidas para o desenvolvimento do mesmo foram o AutoDesk 3ds Max para modelagem tridimensional dos objetos e o motor de jogos do Unity 3D. O cenário modelado no AVC, foi o estádio do Maracanã e seu entorno. A Figura 12 mostra o Maracanã e seu entorno (cenário) modelado para o AVC desta Tese.

Figura 12 – Modelagem do Maracanã e seu entorno

A escolha de um estádio como cenário, se deu por ser um local de ocorrência de grandes eventos, como jogos e shows, e também porque os estádios apresentam similidades de estruturas, o que possibilita treinar agentes que vão executar procedimentos de segurança em outros estádios.

O projeto do AVC iniciou-se com o levantamento dos requisitos necessários para a construção do ambiente, que foi a coleta das informações sobre as dimensões do estádio e o seu entorno. Para obtenção dessas informações, foram realizadas buscas no aplicativo google maps e utilizadas as funcionalidades de medidas disponíveis no próprio aplicativo. Aprovado o estado das informações

coletadas, definiu-se o escopo do projeto, isto é, a área onde ocorrerá as ações de treinamento, que foi a área da região onde está localizada a estátua do Belline que fica em frente a uma das rampas de acesso ao estádio, conforme mostrado na Figura 13.

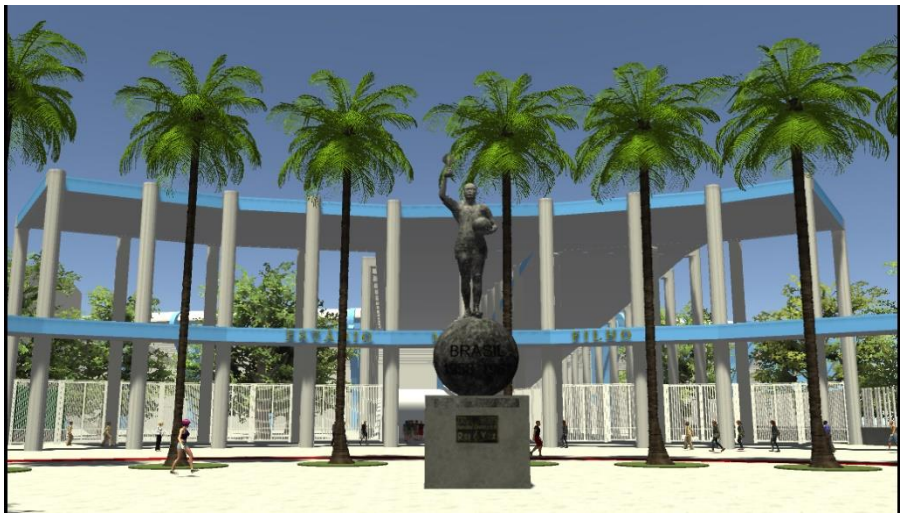


Figura 13 – Estátua do Belline e a rampa de acesso ao fundo

A modelagem gráfica dessas informações, assim como os avatares e os objetos que constituem o ambiente estão detalhadas na Seção 4.1 e nas suas subseções e a implementação das funcionalidades do ambiente estão descritas na Seção 4.2.

Para validação do AVC foram elaborados cenários sobre segurança nuclear em grandes eventos com os agentes da CNEN que serão detalhados na Seção 5.2.

4.1 MODELAGEM

A construção de um ambiente virtual requer o emprego de diferentes tipos de componentes, que fazem parte da Biblioteca de Mundos, incluindo: cenário, objetos, avatares, animações, textos, vídeos e sons. Os componentes foram construídos, tendo como premissa disponibilizar ao usuário características que cumprem uma serie de exigências inerentes aos ambientes e aplicações de realidade virtual, como, imersão, atratividade e realismo.

4.1.1 Modelagem do Estádio e o seu entorno

A modelagem do estádio e de seus arredores foi feita por meio do software Autodesk 3ds Max. O processo inicia-se adicionando uma imagem topográfica que servirá como referência para a área a ser modelada. A Figura 14 mostra a base topográfica planimétrica do estádio do maracanã e do seu entorno obtida através do *google earth*.

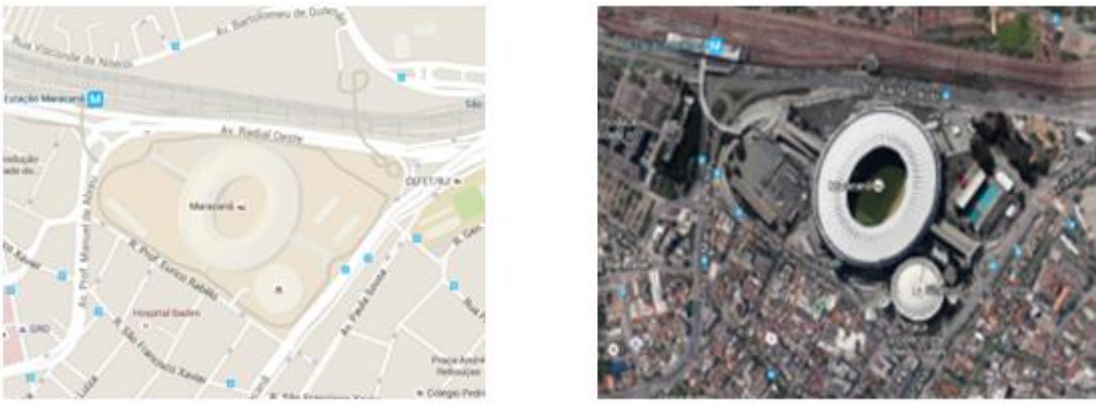


Figura 14 – Imagem topográfica do estádio do Maracanã e das ruas do seu entorno. Fonte Google Maps

A técnica utilizada para a modelagem foi o *Poly Modelling*, que consiste em adicionar uma primitiva *Box* ao espaço virtual. Em seguida, através das ferramentas oferecidas pelo software, foi modelada a forma até o estágio em que o modelo virtual transmitisse a credibilidade de ser uma representação da realidade.

Após a definição da forma, a próxima etapa consistiu no processo de texturização. Ainda no 3ds Max, o objeto teve sua malha planificada e posteriormente transformada em uma figura. As camadas de textura aplicadas foram baseadas em fotos colhidas no próprio local. Nas texturas foram atribuídos os aspectos do estado de conservação e efeitos naturais causados pela umidade, poeira e etc. A Figura 15 mostra o estádio do Maracanã com a textura planificada aplicada ao modelo no 3ds Max e a Figura 16 mostra o estádio do Maracanã posicionado no espaço virtual.

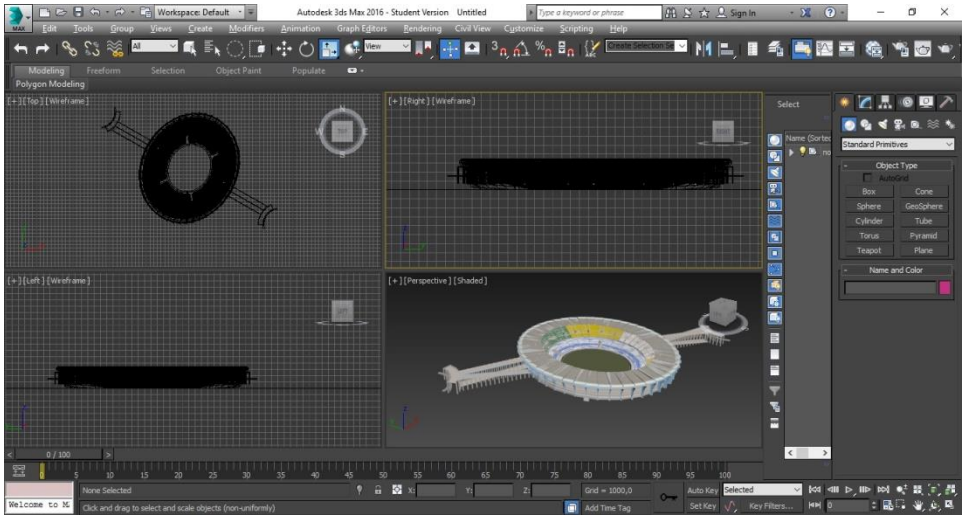


Figura 15 – Estádio do Maracanã texturizado no 3ds Max

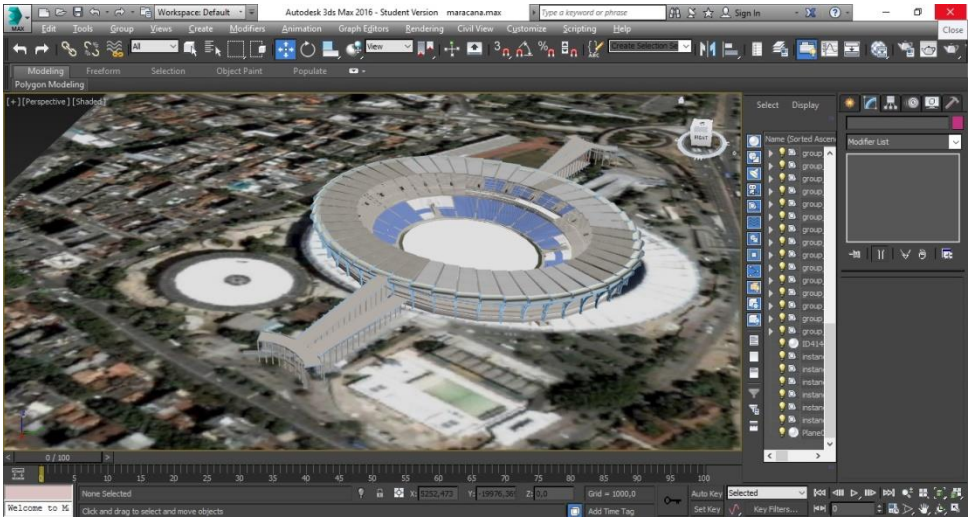


Figura 16 – Imagem topográfica já com o estádio modelado no 3ds Max.

A altura pôde ser estimada posicionando-se uma pessoa de um metro e setenta ao lado do estádio e então foi feito o registro fotográfico. Dessa maneira, chegava-se a altura que era transportada para o 3ds Max.

Através da planta baixa do estádio e do *google maps*, foram obtidas as medidas e a localização planimétrica utilizada para a modelagem da estrutura física interna e externa como rampas, portas, paredes, grades de ferro, corredores e tetos. Estas medidas foram obtidas para aferir a distância entre os objetos referentes aos ambientes modelados, dando assim um maior realismo. Alguns objetos tiveram as medidas verificadas no próprio local, pois não estavam disponíveis na planta baixa utilizada.

A Figura 17 mostra a extensão da rampa de acesso situada em frente a estátua do Bellini.

Figura 17 – Medida da rampa de acesso ao estádio. - Fonte Google Maps

Objetos que constituem o redor do estádio como prédios e casas foram modelados no 3ds Max, já as calçadas, rios e grades móveis foram modelados no próprio ambiente do Unity 3D (após o procedimento de criação do terreno, detalhado na seção 4.1.2) e os postes de luz foram comprados na *Asset Store*[3]. A Figura 18 mostra a modelagem de um dos prédios no 3ds Max e a Figura 19 mostra o mesmo prédio já texturizado.

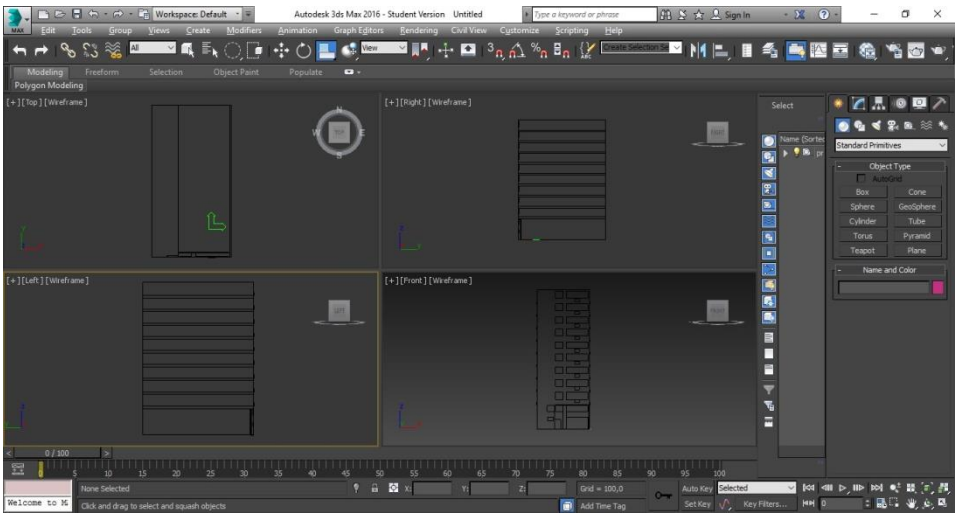


Figura 18 - Modelagem de um dos prédios no 3ds Max visto em quatro ângulos diferentes.

[3] Loja virtual do Unity - https://www.assetstore.unity3d.com/en/

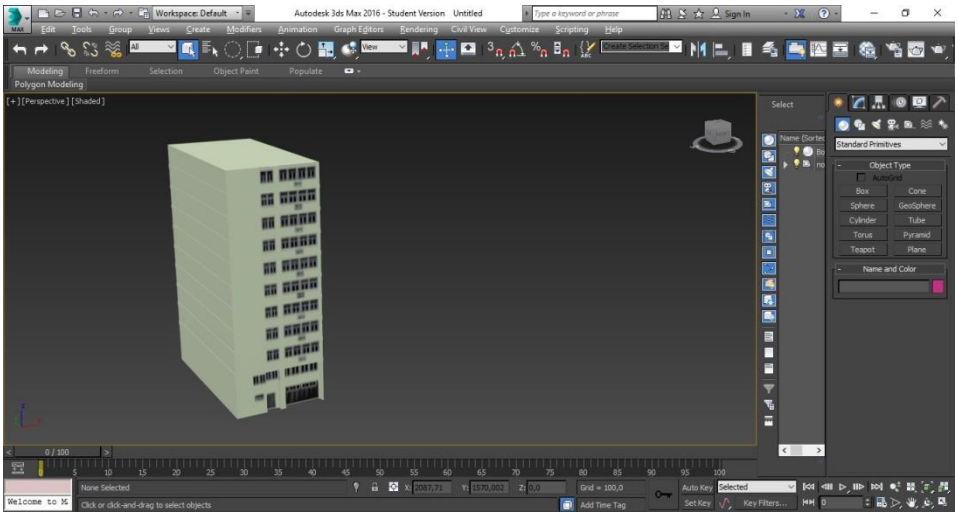


Figura 19 - Imagem do prédio texturizado visto de frente.

A criação das caçadas e grades foram feitas através de composição com outros objetos já existentes no Unity como cubos, esferas, cilindros, planos entre outros. A Figura 20 mostra as calçadas e os marcadores de pista criadas no Unity a partir do objeto cubo.

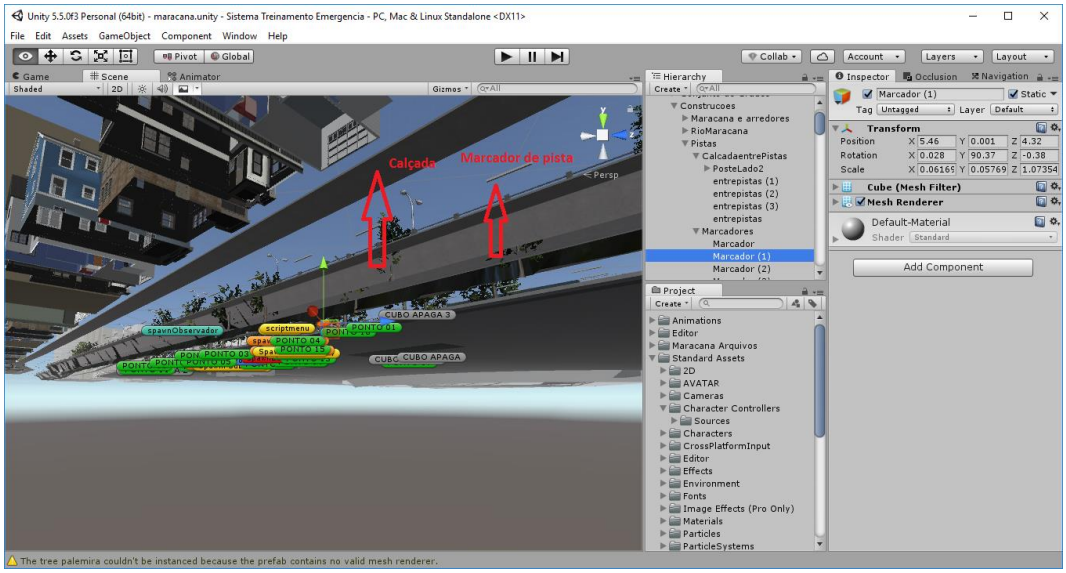


Figura 20 – Visão de baixo das calçadas e dos marcadores de pistas criados no editor do Unity.

4.1.2 Modelagem do Terreno

O núcleo de jogo Unity 3D foi utilizado para realizar a modelagem do terreno da área estudada neste trabalho. Em um primeiro momento, criou-se um terreno padrão da ferramenta, sem formas, relevos ou texturas, destinado a servir de base para as construções e alterações posteriores (Figura 21).

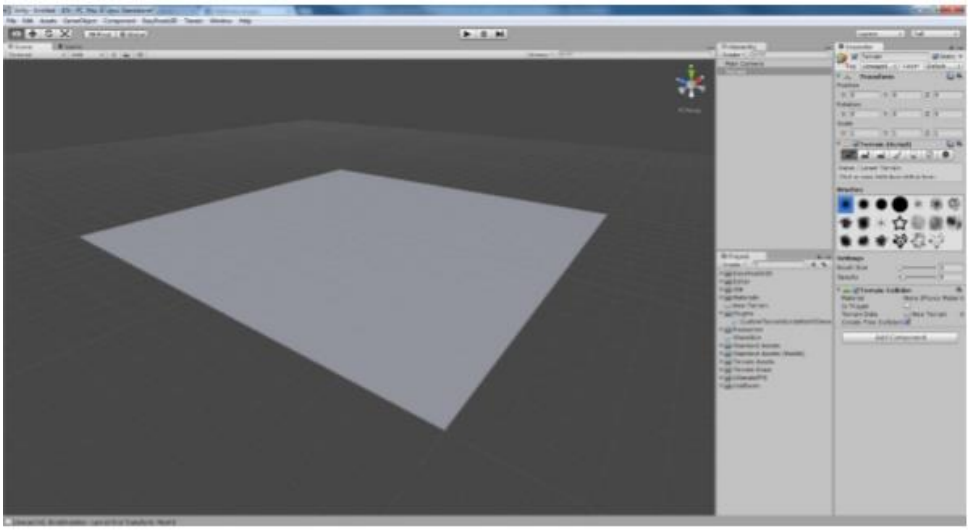


Figura 21 – Terreno plano criado no Unity

Utilizando as medidas e proporções oriundas da imagem topográfica do estádio do Maracanã e seu entorno, no que diz respeito às extensões e escalas do cenário, dimensionou-se o terreno padrão do Unity 3D, assim, as formas, grandezas de largura e comprimento do terreno em desenvolvimento foram adequadas às medidas reais encontradas.

Após ajustar o terreno virtual em relação às formas e escalas do ambiente real, aplicou-se a mesma imagem topográfica utilizada para referência como textura deste terreno, como observado na Figura 22. Com as proporções já equivalentes, esta textura, ainda planificada, ajustou-se corretamente ao ambiente modelado, possibilitando a visualização dos pontos necessários à inserção de relevos e dos exatos locais onde as edificações deveriam ser posicionadas.

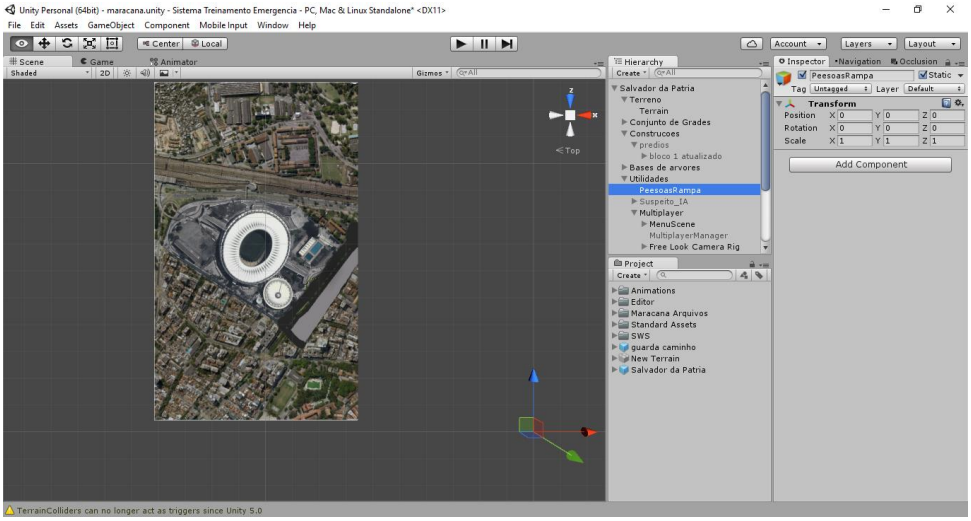


Figura 22 – Terreno textualizado

A partir do terreno virtual modelado, texturizado e com as devidas alterações referentes ao relevo da área do estádio realizadas, iniciaram-se as inserções de objetos e edificações existentes no ambiente real. Os objetos 3D produzidos no Autodesk 3Ds Max, conforme abordado na Seção 4.1.1, foram importados para o terreno do Unity 3D. Estes elementos foram posicionados de acordo com a verdadeira disposição das edificações do sítio, e receberam escalonamento dentro do núcleo de jogo, para respeitar as proporções existentes (Figura 23). No Unity uma unidade métrica equivale a 1 (um) metro, sendo necessário um ajuste de parametrização para que os objetos importados conservem esta escala.

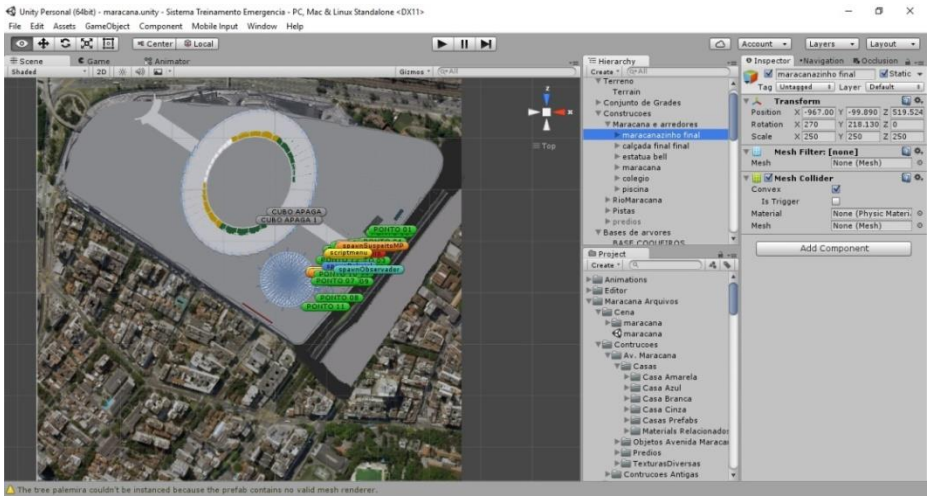


Figura 23 – Modelo tridimensional inserido no terreno texturizado no Unity

No *Unity*, existem ferramentas específicas para criação de terrenos, que possibilitam esculpir, subir, descer, entalhar, pintar, utilizar efeitos de luz, vento, inserção de árvores, entre outros. Visando fornecer maior realismo ao cenário virtual, inseriu-se características presentes no estádio, como a estátua do Bellini (Figura 24(a), 24(b), 24(c) e 24(d)) e a vegetação encontrada, como as árvores (Figura 25).

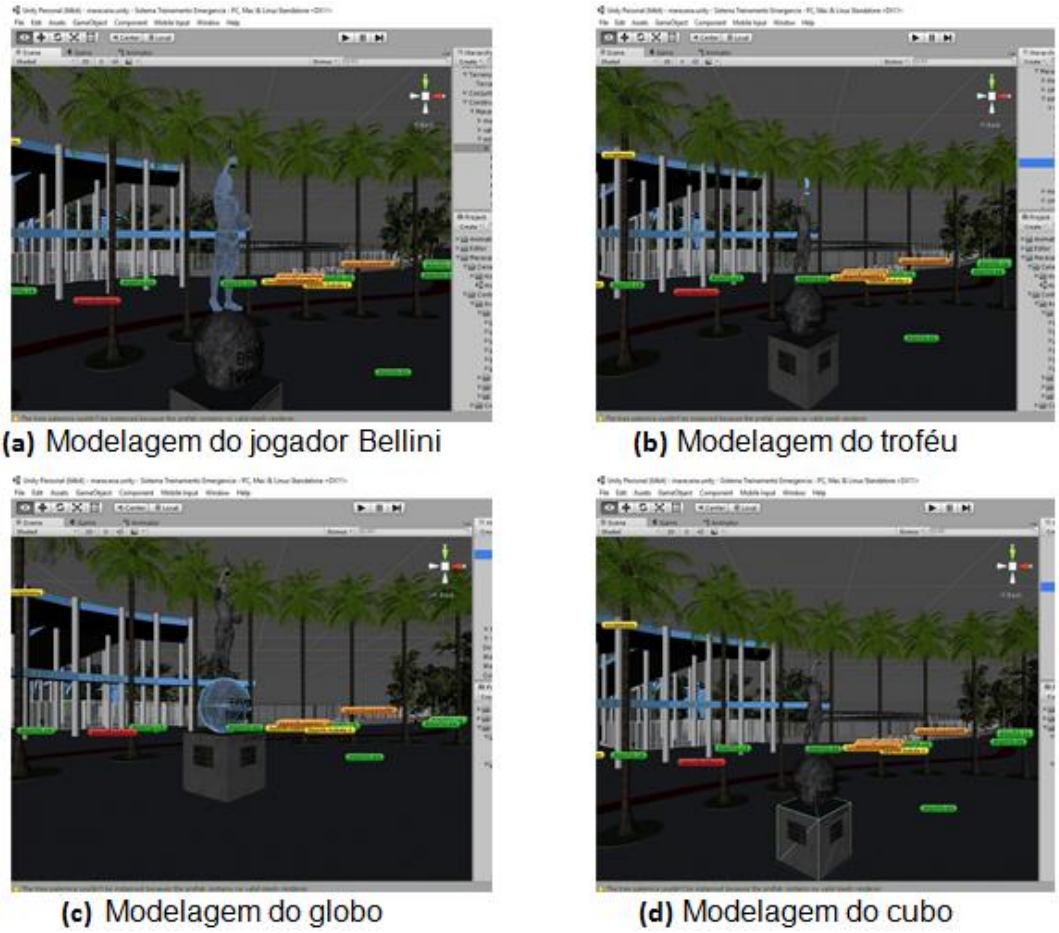


Figura 24 – Algumas etapas da modelagem da estátua do Bellini no 3ds Max e inserida no Unity.

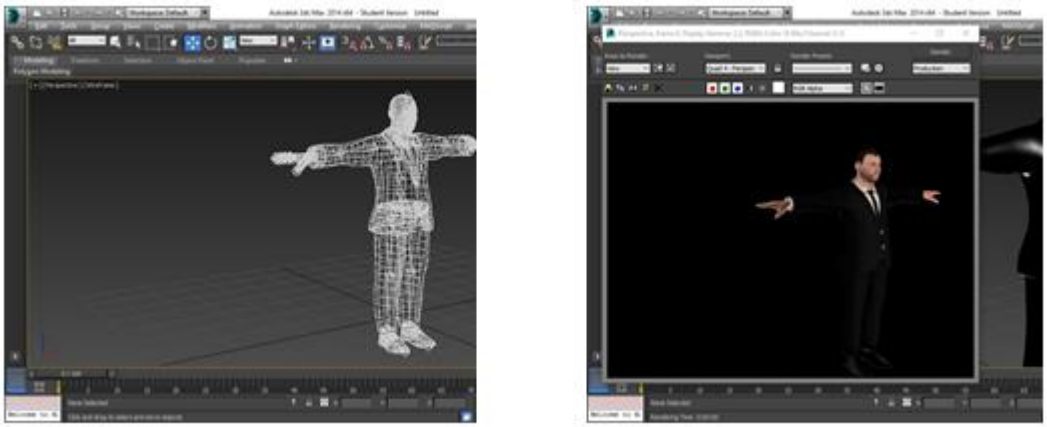
Efeitos visuais presentes no Unity como: vento interagindo com o cenário, movimento de água e animações de árvores também foram implementados.

Figura 25 – Modelo de Árvores criadas no Unity

4.1.3 Modelagem dos Avatares

Para possibilitar a interação com o cenário desenvolvido, foram inseridos avatares. Para fornecer maior realismo, realizaram-se alterações nas características dos avatares presentes no AVC. Primeiramente alterou-se as características visuais destes personagens, utilizando uniformes, acessórios e características físicas condizentes com a temática em questão. Além de roupas e expressões alterou-se a altura dos avatares para 1 m e 70 cm, de acordo com a altura média de um homem adulto.

As Figuras 26(a) e 26(b) mostram a modelagem do avatar referente ao agente CNEN no 3ds Max enquanto a figura 27 apresenta o avatar inserido no Unity.



(a) Geração da Malha do Avatar. (b) Avatar pré-renderizado

Figura 26 – Modelagem do avatar no 3ds Max.

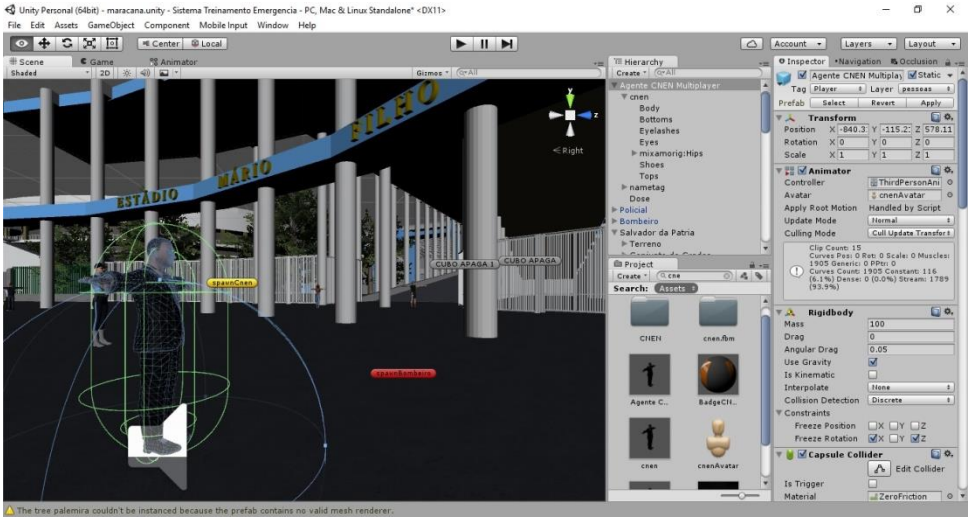


Figura 27 – Avatar inserido no Unity

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DE FUNCIONALIDADES

Para o AVC deste trabalho foram implementadas as animações tradicionais de andar, correr e pular, e também funcionalidades necessárias para a realização do treinamento dos treinamento dos agentes, como: simulação com mais de um agente (*multiplayer*), medir radiação, criar suspeitos, abordar suspeito, prender suspeito, conduzir suspeito, pegar grade, soltar grade. A seção a seguir descreve a modelagem funcional do AVC desenvolvido .

4.2.1 Modelagem Funcional

Antes de iniciar a descrição das funcionalidades disponíveis no AVC, torna-se necessário apresentar o diagrama de casos de uso das funcionalidades disponibilizadas pelo motor de jogos (Unity 3D) bem como seu diagrama de pacotes, o que será feito na seção 4.2.1.1. Em seguida, na seção 4.2.1.2, são descritas as informações sobre as classes e estruturas que constituem o AVC desenvolvido.

4.2.1.1 Modelagem Funcional do Unity

As figuras 28 e 29 mostram os diagramas de caso de uso e as dependências entre os pacotes do motor de jogos (Unity 3D) respectivamente.

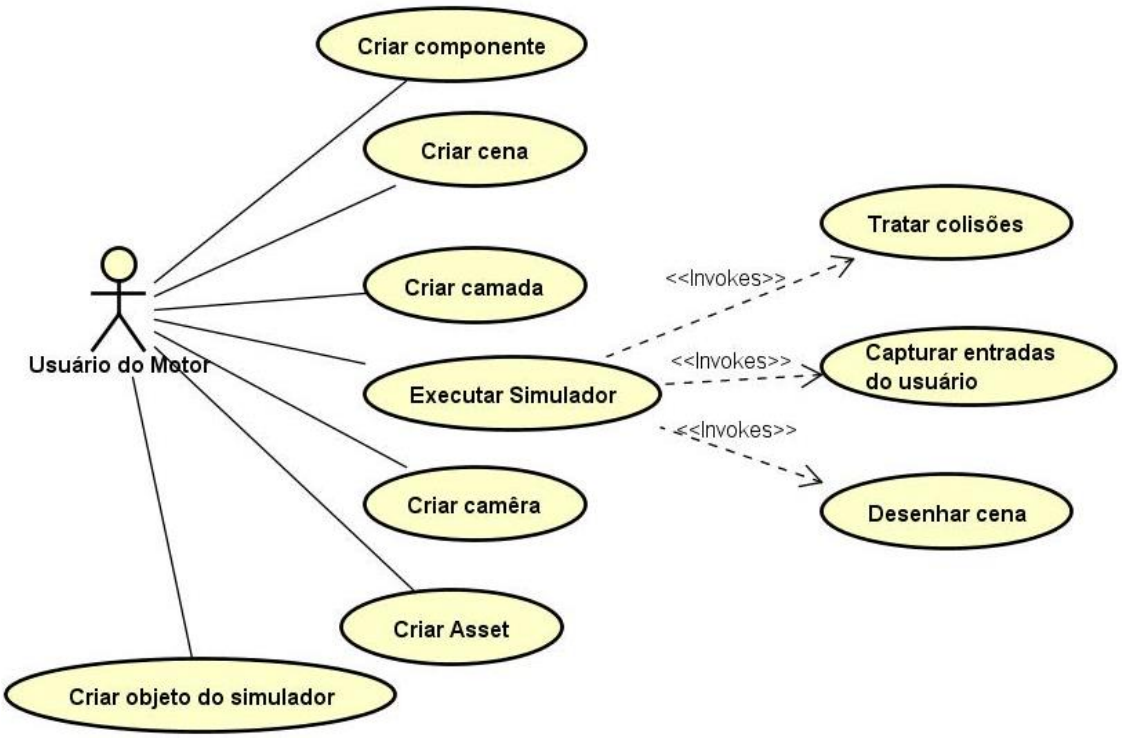


Figura 28 – Diagrama de caso de uso do motor Unity.

Do quadro 3 ao quadro 12 são apresentados os casos de uso referentes ao Usuário do Motor.

Quadro 3 – Casos de Uso (Criar Componente)

Criar componente	
Descrição	Permite que crie um novo componente dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	1. O Usuário cria um objeto que estenda do objeto Component. 2. O Usuário implementa os métodos padrões do objeto Component.
Pós-Condição	O Usuário possui um componente que pode ser associado aos objetos do jogo.

Quadro 4 – Caso de Uso (Criar Cena)

Criar Cena	
Descrição	Permite que o Usuário crie uma nova cena dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	1. O Usuário cria um novo objeto Scene.
Pós-Condição	O Usuário possui uma cena na qual podem ser inseridas camadas e componentes.

Quadro 5 – Caso de Uso (Criar Camada)

Criar Camada	
Descrição	Permite que o Usuário crie uma nova camada dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	1. O Usuário cria um novo objeto Layer.
Pós-Condição	O Usuário possui uma camada na qual podem ser adicionados os objetos do jogo.

Quadro 6 – Caso de Uso (Criar Câmera)

Criar Câmera	
Descrição	Permite que o Usuário crie uma nova câmera dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	O Usuário cria um novo objeto Camera.
Pós-Condição	O Usuário possui uma câmera que pode ser adicionada no jogo para mudar a visão da cena.

Quadro 7 - Caso de Uso (Criar Asset)

Criar Asset	
Descrição	Permite que o Usuário crie um novo *asset* dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	O Usuário cria um novo objeto Asset.
Pós-Condição	O Usuário possui um *asset* que pode ser utilizado por algum objeto do jogo.

Quadro 8 - Caso de Uso (Criar Objeto do Simulador)

Criar objeto do Simulador	
Descrição	Permite que o Usuário crie um novo objeto do jogo dentro do motor de jogos.
Cenário Principal	1. O Usuário cria um objeto que estende de GameObject. 2. O Usuário implementa os métodos padrões da classe GameObject.
Pós-Condição	O Usuário possui objeto do jogo que pode ser associado a alguma camada, receber componentes e desenhado na cena.

Quadro 9 - Caso de Uso (Executar Simulador)

Executar Simulador	
Descrição	Permite que o Usuário execute o simulador.
Cenário Principal	1. O Usuário chama o método Game.init(). 2. O motor começa o *loop* principal do jogo, chamando o estudo de caso Capturar entrada do usuário, tratar colisões e desenhar cena.
Pós-Condição	O simulador é executado no ambiente operacional da máquina

Quadro 10 - Caso de Uso (Capturar entradas do usuário)

Capturar entradas do usuário	
Descrição	Permite que o motor capture e propague as entradas do usuário.
Cenário Principal	1. O motor deve se registrar nos eventos disparados pelos dispositivos: mouse, teclado e *joysticks*. 2. O motor deve propagar estes eventos para todos os componentes que se registraram nestes eventos.
Pós-Condição	O Usuário irá receber os eventos disparados pelo Motor.

Quadro 11 - Caso de Uso (Tratar Colisões)

Tratar Colisões	
Descrição	Permite que o motor identifique colisões entre objetos da cena.
Cenário Principal	1. O motor deve se registrar no evento de colisão propagado pela *Box Collider, Capsule Collider, Mesh Collider, Sphere Collider, Wheel Collider e Terrain Collider.* 2. O motor deve propagar esta colisão para todos os componentes que se registraram neste tipo de evento.
Pós-Condição	O Usuário irá receber o evento de colisão e o objeto que está colidindo.

Quadro 12 - Caso de Uso (Desenhar Cena)

Desenhar cena	
Descrição	Permite que o motor desenhe a cena atual.
Cenário Principal	1. O motor deve percorrer todos os componentes do tipo RenderSystem. 2. O motor chama o método MeshRenderer() do componente atual.
Pós-Condição	O Usuário do Motor irá receber o evento de desenhar e cabe a ele a implementação.

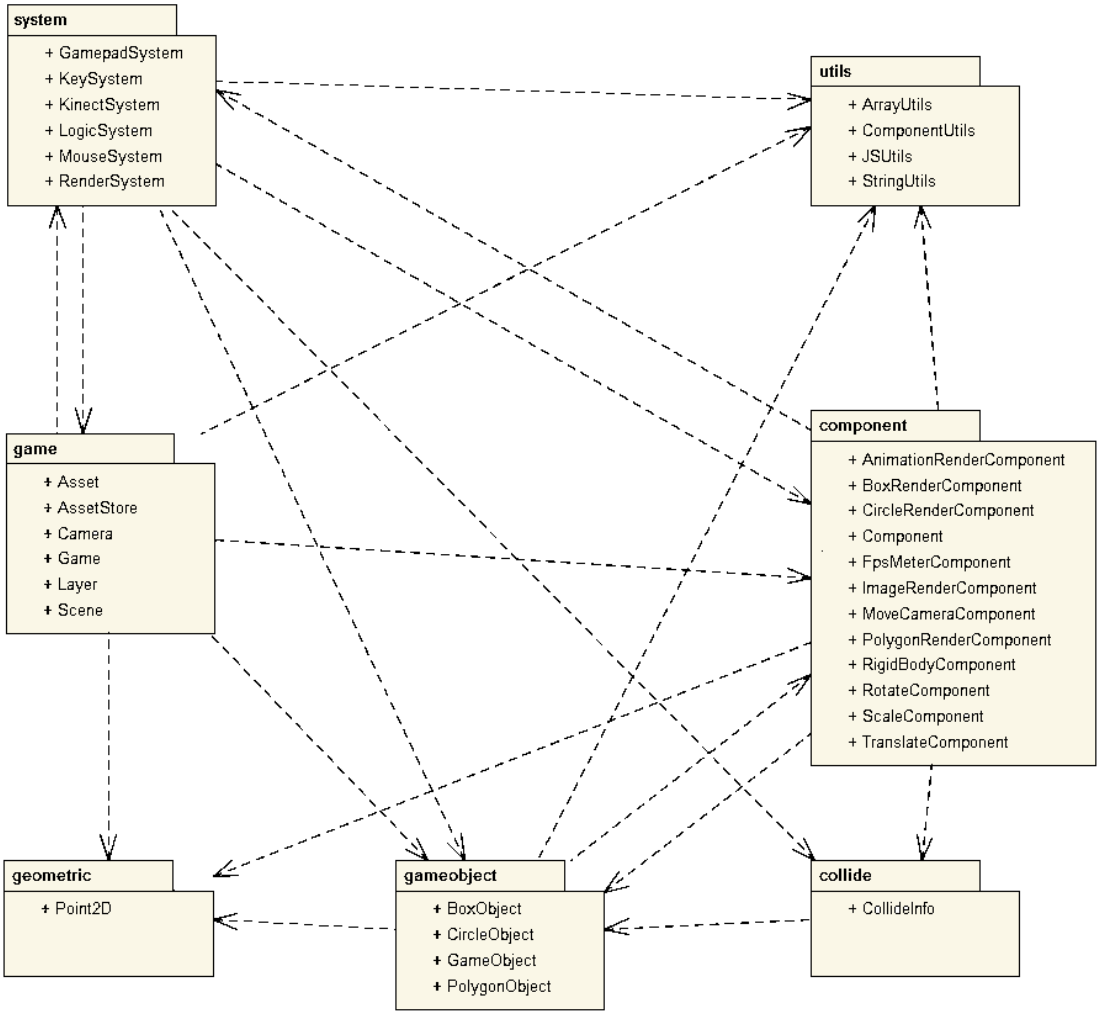


Figura 29 – Diagrama de pacote do motor

Cada objeto no jogo é um *GameObject*. No entanto, os GameObjects não fazem nada por conta própria. Eles precisam de propriedades especiais antes que eles possam se tornar um personagem, um ambiente ou um efeito especial. *GameObjects* são contêineres. Eles podem conter diferentes peças (componentes) que são necessárias para compor um personagem, uma luz, uma árvore, um som, ou qualquer outro tipo de objeto que possa ser construído.

Dependendo do tipo de objeto a ser criado, diferentes combinações de componentes podem ser adicionados ao *GameObject*. Os componentes são então responsáveis por implementar os diversos comportamentos que um Game Object pode ter. Um componente pode ser desde um script, uma geometria de colisão, ou até uma textura de GUI.

4.2.1.2 Modelagem Funcional do AVC

Os nomes utilizados para identificar as classes sofreram alterações para um melhor entendimento no documento. A Figura 30 mostra as classes construídas para a montagem do cenário, as Figuras 31(a) e 31(b) mostram as classes criadas para a implementação das funcionalidades do AVC, enquanto as Figuras 32 e 33 mostram as classes referentes as câmeras do cenário e das telas do menu.

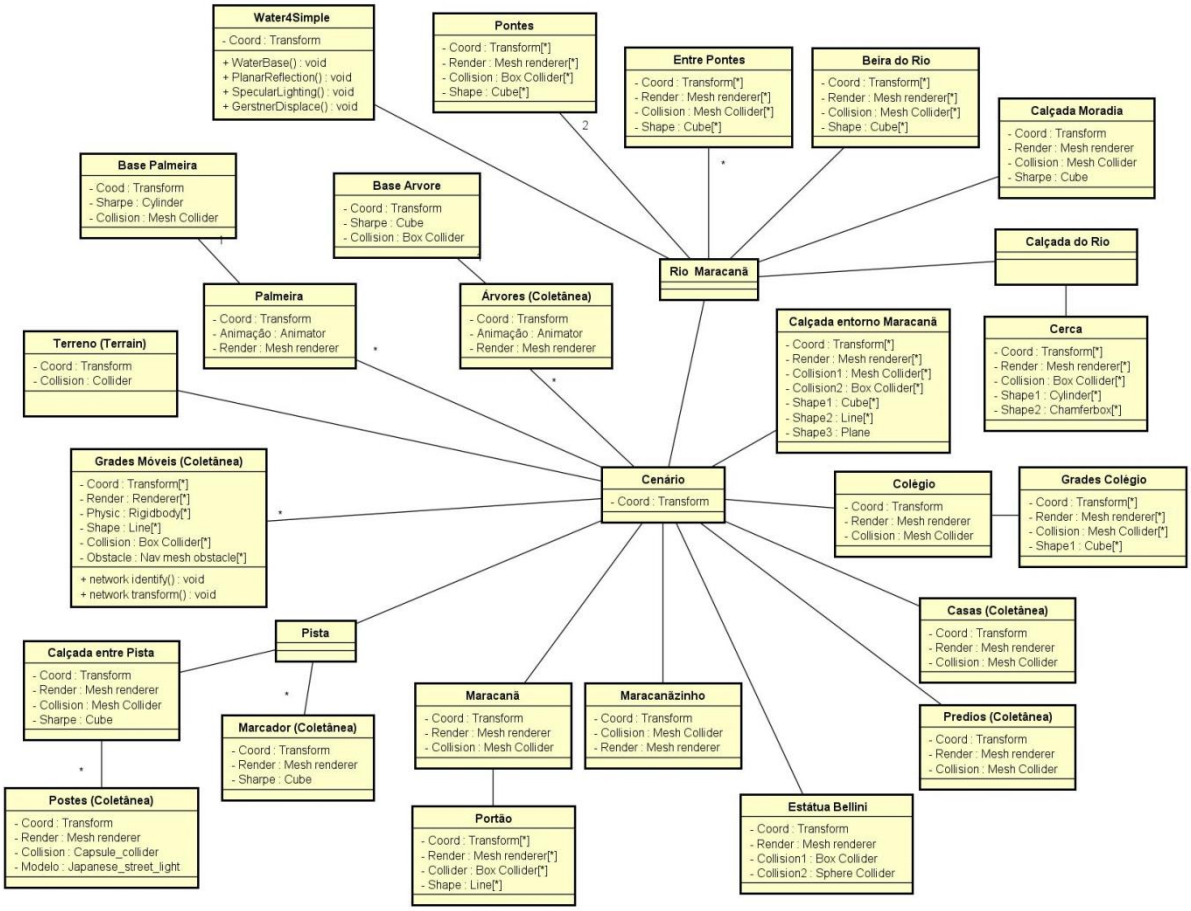
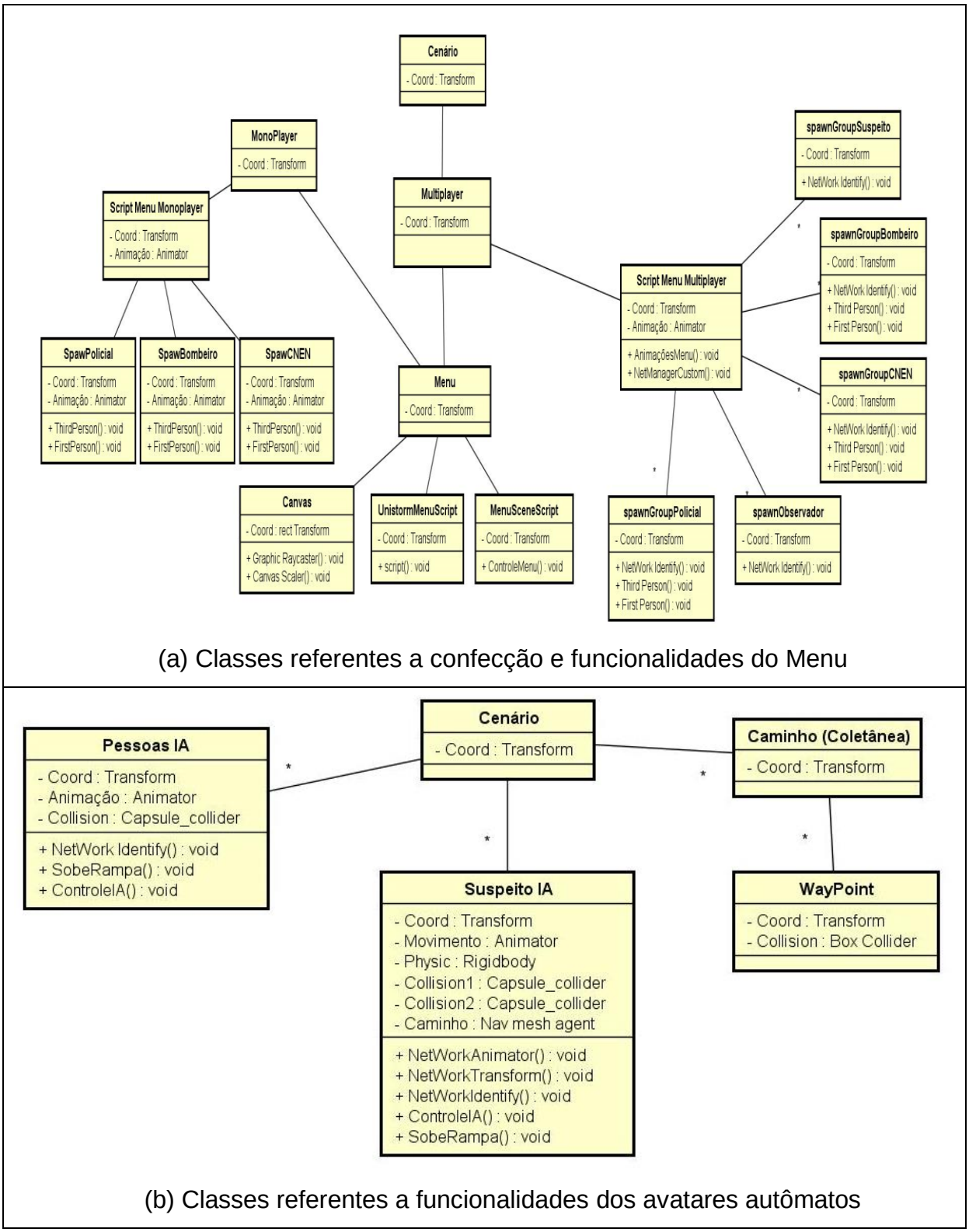


Figura 30 – Diagrama de Classe referente as classes utilizadas para montagem do cenário do AVC no Unity.

Todas as classes (*GameObjects*) utilizadas para a montagem do cenário, tem o componente *transform* que determina a posição, a rotação e a escala de cada objeto da cena, o componente de renderização *mesh renderer* e os componentes de detecção de colisões que podem ser o *Box Collider, Capsule Collider, Mesh Collider, Sphere Collider, Wheel Collider e Terrain Collider* dependendo do formato e/ou do uso do objeto. O método de renderização utilizada no AVC é a seletiva, a seção 2.2.4.1 tem a explicação desse método. Algumas classes como o Maracanã, Maracanãzinho, colégio, casas e prédios tiveram seus modelos importados do 3ds

Max e outras como árvores, calçadas, postes, pistas, pontes e rios foram modeladas a partir do pacote *gameobject* do Unity 3D.



(a) Classes referentes a confecção e funcionalidades do Menu

(b) Classes referentes a funcionalidades dos avatares autômatos

Figura 31 – Diagrama de Classe referente as classes utilizadas para as funcionalidades do AVC

Na tela de menu inicial, o usuário escolhe a forma de interação com o simulador, isto é, se vai realizar treinamento individual (monousuário) ou treinamento em equipe (multiusuário distribuído[4]), a seção 4.2.4 detalha o funcionamento do multiusuário no Unity. Na tela do menu de seleção de personagem, o usuário tem a opção de escolher um dos três tipos de agentes, CNEN, Policial e Bombeiro, ou escolher um personagem do tipo suspeito que pode transportar materal de alta ou baixa atividade radioativa. Já o diagrama de classe da Figura 31(b) mostra as funcionalidades referentes aos avatares autômatos (ver seção 4.2.2), como por exemplo, os caminhos que devem ser percorridos por eles, os obstáculos que eles devem desviar, a parada que eles devem exercer quando algum portão estiver fechado.

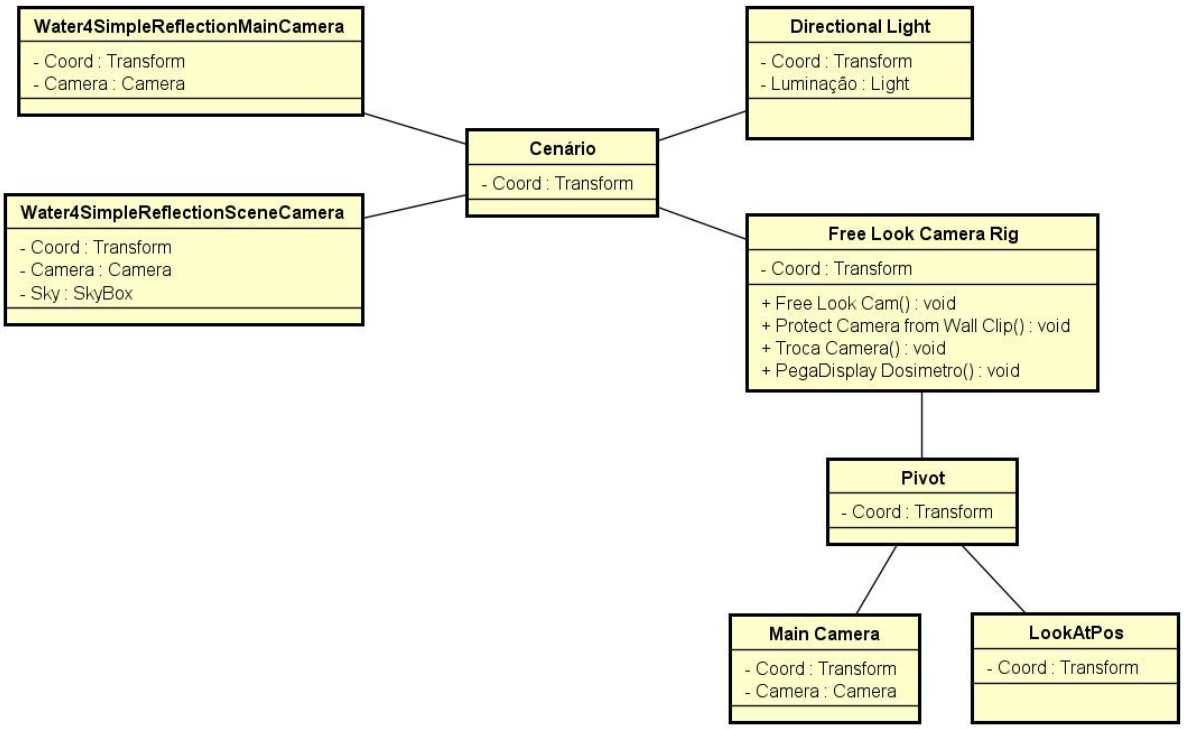


Figura 32 – Diagrama de Classe referente câmeras e iluminações existentes no cenário.

A classe *Directional Light* cria uma luz direcional na cena para iluminar o terreno. Já as classes *water4simpleReflectionMainCamera* e

[4] Estas aplicações são essencialmente simulações interativas em tempo real que permitem que uma pessoa chamada jogador utilize um computador conectado a alguma rede para interagir, em um ambiente virtual com outros jogadores (Cecin, 2005).

water4simpleReflectionSceneCamera trabalham na reflexão das águas do rio Maracanã em conjunto com a imagem do céu ao fundo (*skybox*). A câmera "*Free Look*" é projetada para seguir a posição de um alvo (avatar controlado), enquanto permite ao usuário girar o ângulo da câmera com o mouse (ou via teclado). O deslocamento da câmera é especificado pela altura (o valor Y) do objeto "Pivot" e o deslocamento para a frente do objeto final "Camera". A configuração utilizada no AVC para o valor de posicionamento Y do conjunto Pivot foi de 1 (para 1 metro acima do alvo) e para o valor da posição Z da câmera foi -4 (para 4 metros atrás do alvo). Para o ajuste da câmera para uma visão ao lado do alvo, como a utilizada na visão na terceira pessoa,o valor da posição X utilizado foi de 1 (1 metro em cima do ombro).

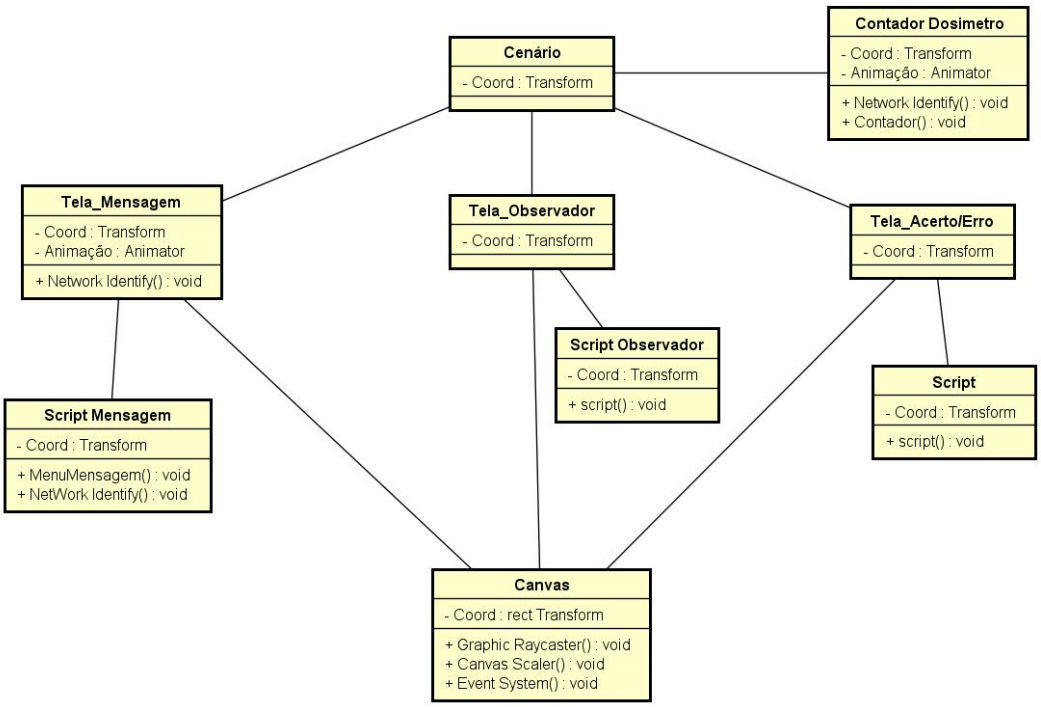


Figura 33 – Diagrama de Classe das telas de mensagens do AVC.

Como visto no diagrama da Figura 33, com exceção da classe Contador de dosímetro, que utiliza a própria tela da cena para escrever o valor da radiação (ver seção 4.2.4), as outras classes criadas para desenvolver telas, usam a classe *Canvas*, que é uma classe utilizada para aglutinar elementos de interface para o usuário, como por exemplo, botões e textos. O Canvas usa o objeto EventSystem para ajudar o *Messaging System*.

4.2.2 Avatares Autômatos

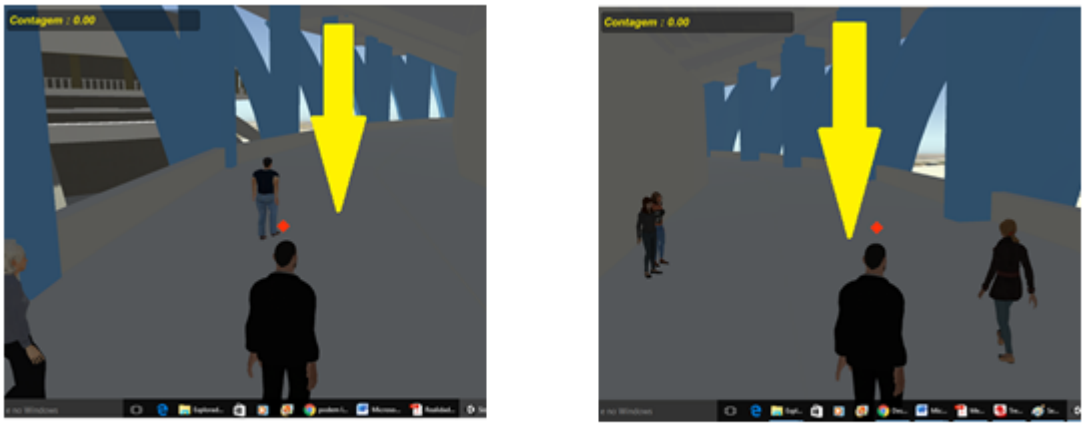
O AVC utiliza avatares autômatos baseados em inteligência artificial (ver seção 4.2.2.1) para simular os espectadores caminhando em direção aos assentos do estádio. Esses espectadores são criados aleatóriamente em dois locais definidos a cada dois segundos e suas velocidades de deslocamento foram ajustadas para refletir a verdadeira velocidade de deslocamento de um ser humano subindo tanto na rampa de acesso como nos arredores do estádio. Realizou-se medições de velocidades médias de pessoas caminhando e correndo na rampa de acesso, e tais medidas foram aplicadas aos avatares. As Figuras 26(a) e 26(b) mostram os locais onde os avatares são criados.

(a) Lado direito da entrada do estádio

(b) Lado esquerdo da entrada do estádio

Figura 34 - Locais (apontados pelas setas) onde são criados os avatares.

O tempo médio de duração de cada avatar no ambiente é de quatro minutos e dez segundos, sendo que desse tempo, dois minutos e vinte segundos são destinados ao percurso da rampa de acesso. As Figura 27(a) e 27(b) mostram os dois locais (indicados pelas setas) em que os avatares são retirados do ambiente.



(a) Corredor do lado esquerdo da rampa

(b) Corredor do lado direito da rampa

Figura 35 – Corredor do anel superior. As setas são meramente ilustrativas; os locais exatos ficam aproximadamente a cinco metros do inicio do corredor.

Para o *hardware* utilizado (8 GB de memória RAM e Processador Intel Core I5 de 3ª geração), o número máximo de avatares autômatos no ambiente ficou limitado em cento e cinquenta, o que gera uma quantidade próxima da realidade em um ambiente real em uma situação normal (de acordo com o depoimento de especialistas com experiência de campo neste tipo de situação). A Figura 28 mostra uma visão da rampa com cerca de 80 de espectadores.

Figura 36 – Rampa de acesso ao estádio com espectadores

O AVC também permite que espectadores carregando material radioativo sejam criados pelo o agente que esteja utilizando o computador com a função de servidor na simulação, bastando para isso, pressionar a tecla F2 do computador.

Cada vez que este comando for acionado, um novo espectador (avatar autômato) com material radioativo será criado. Com essa funcionalidade, as simulações podem conter tanto avatares suspeitos controlados como autômatos. Esse tipo de avatar automâto é muito útil para treinar individualmente a habilidade do agente no AVC, bastando para isso, executá-lo pelo modo monousuário, escolher o tipo de agente e criar os espectadores com material radioativo quantas vezes achar necessário.

4.2.2.1 Inteligência Artificial (IA)

O AVC utilizou a técnica de Inteligência Artificial para fornecer aos avatares autômatos (suspeito(s) ou espectadores) um comportamento inteligente, como percorrer um caminho de forma coerente e se desviar de obstáculos em seu caminho. Para o desenvolvimento dessa técnica, foram utilizados três componentes do Unity 3D que facilitaram muito esse trabalho: o *WayPoint,* o *NavMesh Agent* e o *NavMesh Obstacle*.

O *WayPoint* foi utilizado para traçar caminhos que chegam aos assentos do estádio. O *NavMeshAgent* é um componente que foi atribuído a cada avatar autômato do simulador. Uma vez que este componente é atribuído, cada avatar recebe uma lista com a posições de todos os demais, e assim eles sabem como evitar uns aos outros. O *NavMesh Agent* contém um número de parâmetros que têm de ser ajustados para conseguir o comportamento desejado. Por exemplo, para cada objeto que contém o componente, deve ser atribuído um número de prioridade. Assim, se dois ou mais avatares cruzarem o caminho um do outro, poderão decidir qual deve evitar uma colisão e se desviar , com base neste parâmetro.

Já o *NavMesh Obstacle* é um componente que foi atribuído aos objetos grades móveis e portões do estádio. Uma vez que os avatares detectam um portão fechado ou grades móveis no caminho, uma mudança de paradigma ocorre no código. Os avatares deixam de desempenhar o seu caminho predeterminado e passam a se comportar de uma das seguintes maneiras:

- Portão fechado – Ficam parados em frente ao portão.
- Grades Móveis em forma de fila – Seguem o caminho em fila pré-determinada pela grade.
- Grades móveis em forma de cerca – desviam da grade e continuam o seu trajeto.

4.2.3 Avatares Controláveis

Além dos avatares genéricos autômatos que representam os espectadores, há também alguns avatares específicos e controláveis que podem representar tanto suspeito(s) como os agentes de segurança.

O AVC disponibiliza seis tipos de avatares diferentes. Dentre eles, somente os avatares que representam os personagens "agente CNEN" e "suspeito RA" (fonte de alta atividade radioativa) e "suspeito RB" (fonte de baixa atividade radioativa) estavam disponíveis para os voluntários que participaram da simulação do estudo de caso. A Figura 29 apresenta a lista de opções de personagens disponíveis para os usuários em uma simulação.

Figura 37 – Tela de lista de opções de personagens disponíveis no AVC desenvolvido na Tese

O personagem do tipo "agente CNEN" tem a funcionalidade de detecção de radiação. Esta mesma função também está disponível para o personagem "bombeiro", enquanto o personagem "policial" tem a funcionalidade de pegar e soltar grades, que pode servir para organizar filas ou evacuar áreas, por exemplo.

O personagem do tipo "observador" não participa da simulação como avatar. Em função disso, a interação dele nas simulações se restringe a observar as ações executadas pelos demais usuários. Assim sendo, é permitido que este personagem tenha acesso às câmeras individuais de cada um deles.

Os personagens do tipo "suspeito RA" (fonte de alta atividade radioativa) e "suspeito RB" (fonte de baixa atividade radioativa) carregam as fontes radioativas que devem ser encontradas pelos usuários que controlam os "agentes CNEN". Dentro do ambiente virtual, junto a esses personagens controláveis, estão também os chamados "avatares autômatos", conforme descrito na seção 4.1.2.1.

O quadro 13 mostra de forma exemplificada as funcionalidades presentes no AVC para o treinamento dos agentes e o quadro 14 as funcionalidades do(s) suspeito(s).

Quadro 13 - Funcionalidades disponíveis para os agentes

Agente	Funcionalidade
	• Medir radiação para identificação de suspeitos. • Abordar os suspeitos • Comunicar com agentes da própria agência e de outras agências
	• Usar o detector de radiação. • Comunicar com agentes da própria agência e de outras agências
	• Prender suspeito • Cercar e evacuar área(s) com grades • Organizar fila(s) com grades • Comunicar com agentes da própria agência e de outras agências
Observador (sem avatar)	• Selecionar a câmera do agente que deseja observar • Comunicar com o(s) agente(s) • Coordenar equipe

Quadro 14 - Funcionalidade disponíveis para os suspeitos

	• Transportar material radioativo • Comunicar com outro(s) suspeito(s)

Foi também implementada neste trabalho a alternância entre avatares de primeira e terceira pessoa, conforme mostrado nas Figuras 30(a) e 30(b). Um avatar em primeira pessoa é aquele que visualiza o ponto de vista do protagonista, sendo o usuário do sistema e o avatar o mesmo observador, permitindo ao usuário uma percepção de estar inserido no ambiente. Já o avatar em terceira pessoa é aquele que durante a utilização da aplicação pode ser visto pelo usuário, como sendo outra pessoa controlada pelo mesmo. Desta maneira, o usuário do sistema sempre poderá escolher, de forma dinâmica, durante a utilização da aplicação, qual visualização melhor atenderá suas necessidades.

(a) Em primeira pessoa (b) Em terceira pessoa

Figura 38 - Avatar CNEN.

4.2.4 Multiusuário no Unity

O Unity disponibiliza uma API de alto nível que permite aos desenvolvedores sincronizar o *GameObjects* em uma rede. Para desenvolver o multiplayer no AVC o *script NetworkManager* foi adicionado aos *prefabs*[5] que serviram como base da

[5] Um *Prefab* é simplesmente um modelo de composição de *GameObject* já definido ou, mais precisamente, um *template* que define um elemento através da composição dos vários componentes.

construção dos avatares, já que este componente será central para todo o sistema de rede. A Figura 39 mostra os componentes do Network Manager.

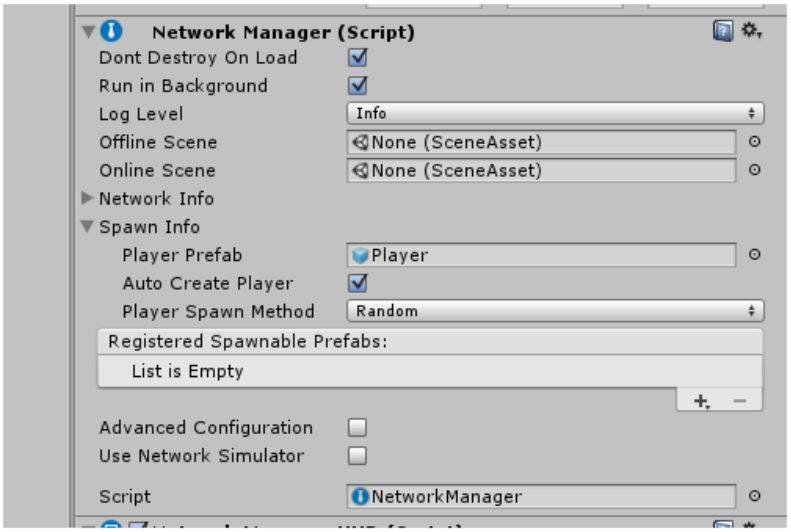


Figura 39 – Tela do componente Network Manager retirada do Unity 3D.

O campo mais importante neste componente é o "*Player Prefab*". Quando o jogo está conectado a uma sessão multiplayer, o *NetworkManager* automaticamente gerará um objeto *player* em cada cliente conectado. O objeto *spawned* será baseado no *prefab* que foi atribuído a esse campo.

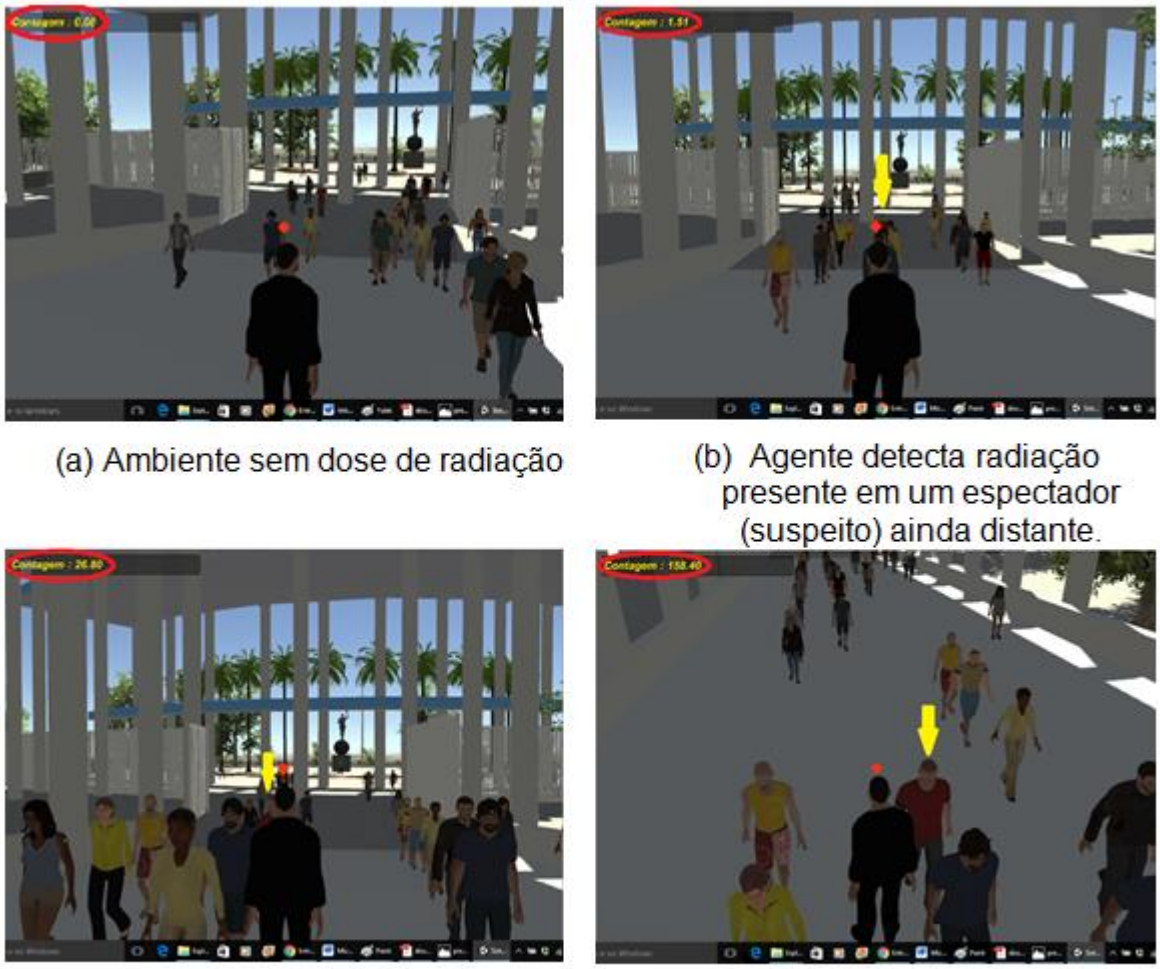
Em seguida, é adicionado um componente *NetworkIdentity* ao *prefab* verificado-se o campo "*Local Player Authority*" está marcado. Esse componente indicará que se trata de um objeto a ser compartilhado na rede e esse campo específico indica que o objeto está conectado a um jogador em vez de apenas uma entidade de jogo neutra.

Para executar o recurso multiplayer, é necessário no lado do servidor chamar a função *NetworkManager.singleton.StartHost()* e no lado cliente chamar a função *NetworkManager.singleton.StartClient()* para se conectar como um cliente. Para adicionar o movimento do jogador ao simulador, será necessário incluir no *prefab* o componente *NetworkTransform*, que permite que a posição, rotação e escala do objeto sejam automaticamente sincronizadas na rede. O outro componente necessário para adicionar ao *prefab* é um *script* que vai ler a entrada do jogador e mover o objeto. Ao contrário de um *script* normal, esse *script* terá que derivar da classe *NetworkBehavior* em vez de *MonoBehavior*. Ao herdar de *NetworkBehavior*, o *script* terá acesso a funcionalidades adicionais que foram especificamente feitas para lidar com várias situações de rede.

Para que os movimentos sejam executados somente para o avatar controlado pelo usuário, é necessário verificar no *script* se o objeto a ser movimentado é o avatar controlado pelo próprio usuário, caso contrário, sua entrada irá mover os avatares de todos os outros usuários em vez de apenas o seu próprio, uma vez que em projetos multiplayer Unity, o código será executado em todos os clientes conectados.

4.2.5 Detecção de radiação

O dosímetro está incorporado ao avatar que representa o agente CNEN, permanecendo constantemente visível durante os deslocamentos realizados por ele. Dessa forma, a taxa de dose necessita ser ajustada dinamicamente de acordo com a variação da distância entre o agente CNEN e a fonte radioativa transportada pelo espectador (suspeito). A configuração desse dosímetro foi realizada de acordo com o cálculo da taxa de exposição (taxa inversamente proporcional ao quadrado da distância) (ver anexo A) (Knoll, 2000). As Figuras 40(a), 40(b), 40(c) e 40(d) mostra a visualização das taxas de dose presente no ambiente de acordo com a localização do avatar no ambiente. O contorno em vermelho sobre a taxa de dose e a seta amarela sobre o suspeito foram editadas somente para melhor visualização nas figuras.



(a) Ambiente sem dose de radiação

(b) Agente detecta radiação presente em um espectador (suspeito) ainda distante.

(c) Espectador (suspeito) se aproximando do agente.

(d) Agente identifica o espectador (suspeito).

Figura 40 - Agente localizado na rampa de entrada do estádio.

Para oferecer maior realismo, o detector de radiação também emite um som, que tem sua frequência aumentada de acordo com a proximidade entre o agente e o avatar portando a fonte radioativa.

5. EXPERIMENTO DO PROTÓTIPO

Foram elaborados cenários visando treinar simulações de estratégias de identificação a indivíduos suspeitos de portar materiais radioativos em grandes eventos, como foi a Copa do Mundo de 2014 e as Olímpiadas Rio 2016. Cada cenário propõe uma situação que exige diferentes estratégias de ação para capturar o(s) suspeito(s). A seção 5.2 irá descrever em detalhes cada um destes cenários, especificando seu objetivo e destacando a competência que se espera que o usuário aprimore ao ser treinado conforme mostrado no quadro 15. Já as seções 5.1 e 5.3 descreverão o procedimento das ações e a simulação respectivamente.

Quadro 15 - Competências exigidas nos cenários

Competências desenvolvidas	Descrição

Colaboração	• Promover a colaboração e trabalhar bem com os outros para cumprir eficazmente a missão.
	  ○ Manter informado os outros agentes sobre o que está acontecendo
	  ○ Assegurar a integração com agentes de outras agências

Comunicação	Proporcionar uma comunicação verbal clara, concisa, completa e correta aos outros agentes participantes do evento
Coordenação interna	Proporcionar aos agentes coordenarem entre si novas estratégias de identificação
Identificação de fonte radioativa	Promover o domínio do uso do dosímetro pelos agentes
Abordagem em campo	Executar de maneira correta e eficiente os procedimentos determinados previamente

5.1 PROCEDIMENTO BASE UTILIZADO PARA CRIAR OS CENÁRIOS

Para a realização do exercício simulado proposto nesta Tese foi foi adotado o mesmo procedimento utilizado durante os jogos da Copa do Mundo de 2014. Para isso, foi realizado uma entrevista gravada de uma hora de duração com três funcionários da CNEN que atuaram na identificação pessoas que transportavam algum tipo de material radioativo para o interior do estádio que seria realizado um jogo da Copa do Mundo de 2014. Na entrevista, os funcionários relataram os procedimentos adotados e a forma de manuseio do dosímetro utilizado. Após a entrevista, o material gravado foi transcrito e apresentado aos funcionários para validação. A Figura 41 ilustra o procedimento padrão utilizado para abordagens de pessoas suspeitas.

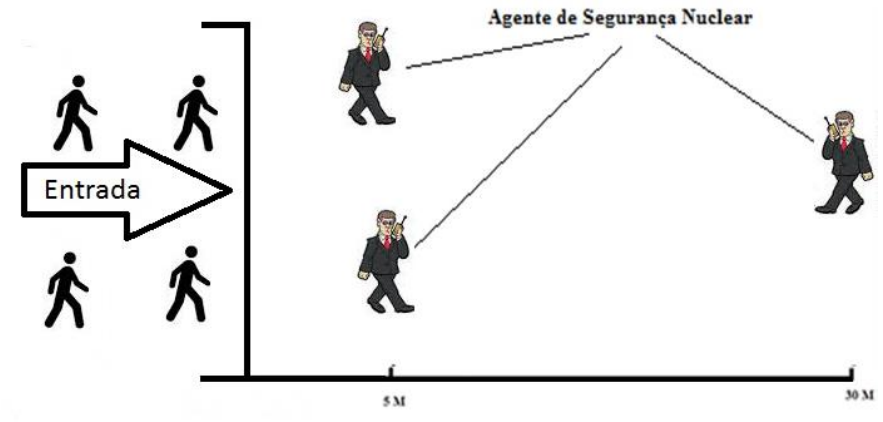


Figura 41 – Procedimento utilizado para detecção de elementos radioativos realizada nos estádios da Copa do Mundo de 2014

Para entrar no estádio, o espectador passa por duas barreiras de radiação impostas pelos agentes da CNEN, a primeira posicionada cinco metros após a roleta da entrada e a segunda posicionada 20 metros depois. Essa etapa, não foi percebida pela maioria dos espectadores, pois os agentes, posicionados em lugares estratégicos, não ofereciam nenhum tipo de impedimento para a caminhada destes.

Portanto, para que a simulação mantivesse a similaridade com os procedimentos realizados, os exercícios foram realizados com:

- Duas barreiras, sendo a primeira barreira com dois agentes (um de cada lado da entrada) após 5 metros da passagem dos espectadores pela roleta e a segunda barreira composta por um agente implementada 20 metros depois da primeira barreira.

- Utilização de aparelhos de comunicação (*headset*) gerenciado pelo AVC para facilitar a troca de informações e cooperação entre os agentes
- Utilização de dosímetros virtuais para detecção de radiação

No entanto, o processo de identificação e abordagem a um suspeito requer um elevado grau de interação entre os agentes. Como resultado foram relatados vários casos em que a ação dos agentes resultou em falso positivo, situação na qual ocorre uma identificação incorreta do suspeito, geralmente ocasionados por pessoas que foram recentemente submetidos a tratamentos baseados no uso de radiofarmacos ou radioterapia. Por esta razão, é sugerido que os especialistas recebam treinamento específico para o desenvolvimento de competências no sentido de diminuir a ocorrência de tais eventos. Assim sendo, o AVC proposto nesta Tese vai ao encontro deste objetivo com a proposição dos cinco cenários que serão discutidos em mais detalhes na próxima seção.

5.2 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Em cada um dos cenários apresentados existem dois tipos de avatar: controlados (suspeito e agentes CNEN nas barreiras de segurança), que, como o nome já deixa claro, podem ser guiados pelo usuário e autômatos (transeuntes), que se movimentam seguindo programação definida antes de ser iniciada a simulação. É também importante ressaltar que foram simuladas situações onde era utilizado material de baixa atividade radioativa e outras onde o material utilizado era de alta atividade radioativa.

Quando a atividade do material radioativo é baixa, é preciso que haja uma menor distância entre o mesmo e o detector utilizado pelo agente para que se consiga fazer a detecção devido à lei do inverso do quadrado da distância. Isto, associado ao grande número de transeuntes entrando no estádio simultaneamente, cria uma maior dificuldade para o usuário e requer uma maior atenção por parte dele.

Quando a atividade do material radioativo é alta, o agente consegue detectá-lo com maior facilidade. No entanto, isto vale para ambos os agentes, tendo em vista que os detectores por eles utilizados são idênticos. A dificuldade neste caso está na maior possibilidade de confusão entre os agentes, uma vez que ambos conseguem captar o sinal da fonte com mais facilidade.

Na intenção de aumentar o grau de dificuldade de identificação dos suspeitos, o usuário que controla o avatar "suspeito" foi orientado a esconder-se entre os outros avatares imitando seus gestos ou modo de andar. O quadro 16 explica cada uma das situações propostas e seus respectivos objetivos.

Quadro 16 - Descrição dos cenários

Cenário 1

Neste cenário, existe um suspeito (avatar controlado) carregando uma fonte de baixa dose radioativa. O objetivo deste cenário é dificultar sua identificação por parte dos agentes, pois a sua deteção vai exigir que o dosímetro esteja em proximidade com o suspeito. Além disso, o suspeito pode esconder-se entre os outros espectadores (avatares autômatos).
Objetivos
• Promover a colaboração para efetivamente cumprir a missão.
  ○ manter informado os outros agentes sobre o que está acontecendo.
  ○ Assegurar a integração com agentes de outras agências
• Fornecer uma comunicação verbal clara, concisa, completa e correta para os outros agentes participantes no processo de formação
• Promover o domínio de utilização do dosímetro por agentes

Cenário 2

Neste cenário, existe um suspeito (avatar controlado) carregando uma fonte de elevada dose radioativa. O objetivo deste cenário é promover a colaboração por parte dos agentes, pois ambos os dosímetros dos agentes vão detectar a radiação com valores diferentes (por causa da relação da distância de cada agente com o suspeito). Estas características são destinados a estimular a comunicação, além de melhorar a sua coordenação. Como observado no cenário 1, o suspeito pode esconder-se entre os outros espectadores (avatares autômatos).
Objetivos
• Promover a colaboração para efetivamente cumprir a missão.
  ○ manter informado os outros agentes sobre o que está acontecendo.
  ○ Assegurar a integração com agentes de outras agências
• Fornecer uma comunicação verbal clara, concisa, completa e correta para

os outros agentes participam do evento

- Promover o domínio de utilização do dosímetro por agentes

Cenário 3

Neste cenário, existem dois suspeitos (avatares controlados), cada um carregando uma fonte radioativa de baixa dose. Com dois suspeitos, há uma grande probabilidade de falha de visualização caso o número de agentes não seja alterado. Nos exercícios simulados, consideramos que, se apenas um deles é identificado, o resultado da simulação é definida como falha ou seja, é necessário que ambos sejam capturados para alcançar o sucesso. Este cenário permite promover o desenvolvimento de novas estratégias para os agentes e suspeitos de acordo com seus objetivos particulares. Como observado em cenários 1 e 2, os suspeitos também podem esconder-se entre os outros espectadores (avatares autômatos), o que contribui para aumentar a dificuldade em encontrar-los. Estas características são destinadas a estimular a comunicação, além de melhorar a sua coordenação e cooperação.

Objetivos

- Promover a colaboração para cumprir eficazmente a missão.
    - manter informado os outros agentes sobre o que está acontecendo.
    - Assegurar a integração com agentes de outras agências
- Fornecer uma comunicação verbal clara, concisa, completa e correta para os outros agentes participam do evento
- Promover o domínio de utilização do dosímetro por agentes

Cenário 4

Este cenário descreve uma situação hipotética em que a falha é o único resultado possível. Diante disso, eles devem coordenar entre si para definir novas estratégias de identificação, tais como novas formas de posicionamento e deslocamento.

Objetivo

- Promover coordenação entre os agentes e novas estratégias de identificação.

Cenário 5
Este cenário destina-se a melhorar o uso do dosímetro por agentes sem expô-los a riscos radiológicos. **Objetivo** • Promover o domínio do dosímetro usado pelos agentes.

5.3 TREINAMENTO SIMULADO NO AVC A PARTIR DOS CENÁRIOS

As simulações foram realizadas em quatro momentos diferentes, chamado neste trabalho de sessão e foram realizadas nas dependências do IEN. Nas duas primeiras sessões (com duração aproximada de 2 horas cada), realizadas nos meses de janeiro e fevereiro, participaram cinco pessoas, sendo três colaboradores e dois especialistas com mais de 25 anos de experiência em inspeção radiológica ligados à CNEN que já haviam atuados na função de identificação de suspeitos durante a Copa do Mundo de 2014 da FIFA no Brasil sendo, portanto, profissionais qualificados e com experiência na realização dos procedimentos aqui simulados.

Os agentes especialistas convidados ficaram encarregados de controlar os agentes de segurança que compunham a primeira barreira enquanto um dos colaboradores agiu como o agente na segunda barreira recebendo orientações quanto aos procedimentos que deveria realizar durante a simulação. Por essa razão, sua função era subordinada à destes especialistas, tendo todas as suas ações guidas por eles. Os outros dois colaboradores ficaram encarregados de controlar o(s) suspeito(s).

Na terceira sessão, que teve uma duração de aproximadamente três horas, além das cinco pessoas que participaram das duas anteriores, foi convidado um terceiro especialista. Na época da realização desta última sessão, estes agentes já haviam atuado nas Olimpíadas Rio 2016, mas as simulações ainda foram feitas sobre os mesmos procedimentos realizados na Copa do Mundo de 2014. Assim sendo, eles ficaram encarregados de controlar os avatares que representavam os agentes de segurança, enquanto os 2 (dois) dos colaboradores controlavam os avatares que representavam os suspeitos.

A quarta sessão que teve a duração de uma hora, foi realizada com os mesmos participantes da sessão anterior, mas os procedimentos de abordagens utilizados nas simulações, foram os mesmos da Olimpiadas Rio 2016 (Quadro 21).

A Figura 42 mostra a planta do segundo andar do IEN do bloco de tecnologia onde foram realizadas as três sessões de simulações.

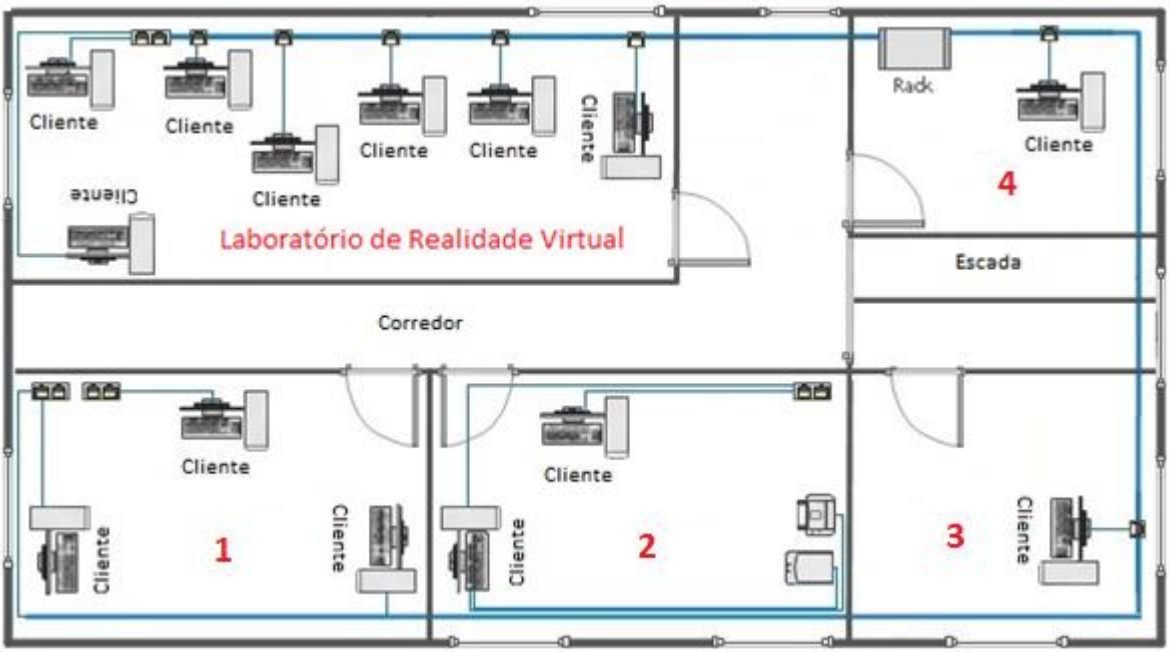


Figura 42 – Planta do segundo andar do bloco de tecnologia do IEN.

Os colaboradores que controlaram os avatares do tipo "suspeito" ficaram no laboratório de RV enquanto os agentes ficaram posicionados em salas separadas. Todos os computadores eram compostos por processadores intel® Core™ I7 com 8 GB de memória RAM e placas de vídeos GeForce GTX 950[6], rodavam o Sistema Operacional Windows 10 de 64 bits e estavam interligados em uma mesma rede de computadores.

A experiência que estes especialistas adquiriram durante a realização de procedimentos de identificação de fontes radioativas em situações reais contribuiu para enriquecer o realismo das situações analisadas no ambiente virtual proposto . A eles também coube avaliar se o produto desta Tese está adequado para ser utilizado futuramente como ferramente auxiliar no treinamento de agentes em situações semelhantes às descritas nos cenários propostos na seção 5.2. Antes do início das simulações, os participantes tiveram um breve período de treinamento para melhor adaptação e interação com o ambiente.

[6] Placa de vídeo voltada para jogos e simuladores desenvolvido pela empresa NVIDIA Corporation.

5.4 AVALIAÇÃO DO AVC

A metodologia utilizada para a avaliação consistiu em uma autoavaliação quanto à experiência do agente CNEN com relação à simulação realizada no ambiente virtual proposto através de um questionário disponível no apêndice B com perguntas qualitativas relacionadas:

- à experiência prévia;
- à adaptação ao uso do ambiente virtual;
- ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real;
- à utilização do AVC como ferramenta de treinamento de segurança
- à utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo;

Quanto à avaliação do AVC como ferramenta colaborativa, os agentes responderam a questões relacionadas à comunicação, coordenação e cooperação. Foram levantadas questões visando avaliar o grau de satisfação dos participantes quanto à qualidade da comunicação verbal e / ou textual proporcionada pelo AVC; da coordenação e da cooperação que o AVC permirte simular na situação apresentada.

As questões relacionadas à coordenação, por exemplo, abordaram a qualidade dos serviços disponíveis, como listas de agentes presentes, visualização das tarefas desses agentes e acesso às mensagens trocadas entre eles. Quanto às questões de cooperação, avaliaram se o ambiente permite a realização de operações em um espaço compartilhado para a execução das tarefas. Uma sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros na linha desta Tese seria a implementação da comunicação não-verbal através de gestos realizados pelos avatares, o que poderia ajudar na comunicação e coordenação.

6. RESULTADOS

Foram realizadas 24 (vinte e quatro) simulações divididas em quatro sessões de treinamento, sendo 6 (seis) simulações na primeira sessão, 8 (oito) simulações na segunda sessão, 6 (seis) simulações na terceira sessão e 4 (quatro) simulações na quarta sessão, com um intervalo de 3 (três) semanas entre as duas primeiras sessões, 7 (sete) meses destas para a terceira sessão e 3 (três) semanas da terceira para a quarta sessão. Ao final das sessões, todos os participantes que atuaram no papel de agente foram submetidos a um questionário de avaliação (detalhado no apêndice B). As respostas obtidas são mostradas no apêndice C.

Nos gráficos presentes nas Seções 6.1 a 6.3, o eixo das ordenadas representa o grau atribuído a cada ítem (em uma escala de 0 a 10), enquanto o eixo das abcissas representa cada um dos agentes numerados de 1 a 3.

6.1 RESULTADOS DA PRIMEIRA SESSÃO

A primeira sessão de treinamento pode ser considerada como um ensaio, pois os agentes ainda não conheciam o AVC desenvolvido e era a primeira vez que o AVC estava sendo testado por pessoas externas ao desenvolvimento. Assim sendo, foram realizadas simulações referentes aos cenários 1 e 2, considerados mais simples por utilizarem somente um suspeito.

Os resultados obtidos demonstraram a aceitação do AVC em relação a usabilidade, uma vez que o manuseio do mouse/teclado, assim como o controle dos personagens, mostrou-se de fácil domínio pelos agentes. Com relação ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e o seu equivalente real, a detecção da fonte pelo dosímetro teve uma avaliação boa mas um pouco inferior que aquela relacionada à representação do estádio e dos avatares.

Além disso, a utilização do AVC como ferramenta de treinamento também teve boa aceitação visto que os agentes aprovaram o seu uso como forma de aprimoramento das habilidades, uma vez que as ações executadas dentro do(s) procedimento(s) foram fiéis ao ambiente real.

A avaliação dos agentes também foi positiva no quesito de ferramenta colaborativa, tendo aprovado a forma de comunicação via headset e destacado a disponibilidade de serviços apresentados pelo AVC que facilitam a coordenação e a

realização das operações em um espaço compartilhado, facilitando em muito a cooperação, segundo seus relatos.

Após o término da primeira sessão foram sugeridas algumas implementações no ambiente como a inclusão de som no dosímetro, possibilidade de utilizar o avatar controlado também na primeira pessoa e do uso do *joystick* como sendo o dispositivo de entrada no manuseio das operações. Os resultados da primeira sessão de treinamento são apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 - Resultados da primeira sessão de testes

Sessão 1								
Simulação	Cenário analisado	Resultado	Barreira de identificação	Colaboração			Controle dos Avatares	Visão do Usuário
				Comunicação	Coordenação	Cooperação		
1	1	Falha	-	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
2	1	Falha	-	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
3	1	Sucesso	Segunda Barreira	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
4	2	Sucesso	Primeira Barreira	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
5	2	Sucesso	Primeira Barreira	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
6	2	Sucesso	Segunda Barreira	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa

6.2 RESULTADOS DA SEGUNDA SESSÃO

Das oito simulações realizadas, três foram relativas ao cenário 1, uma relativa ao cenário 2 e outras quatro simulações relativas ao cenário 3. No grupo de respostas referentes ao uso do ambiente, o item *joystick,* implementado para a segunda sessão a pedido dos agentes, recebeu uma avaliação inferior em relação à avaliação do mouse/teclado, considerados mais fáceis de serem utilizados. O mesmo aconteceu em relação ao controle do avatar.

Embora os agentes tivessem considerado o uso da visão em primeira pessoa mais realista, se adaptaram melhor à visão em terceira pessoa. Em relação à

utilização do AVC como ferramenta de treinamento e como ferramenta colaborativa, os agentes continuaram mantendo uma boa avaliação. A Figura 43 mostra a avaliação dos agentes em relação ao uso do ambiente virtual. Vale ressaltar a pouca aceitação pelo uso do *joystick* e pela aceitação inferior do uso do avatar em primeira pessoa em relação ao uso na terceira pessoa.

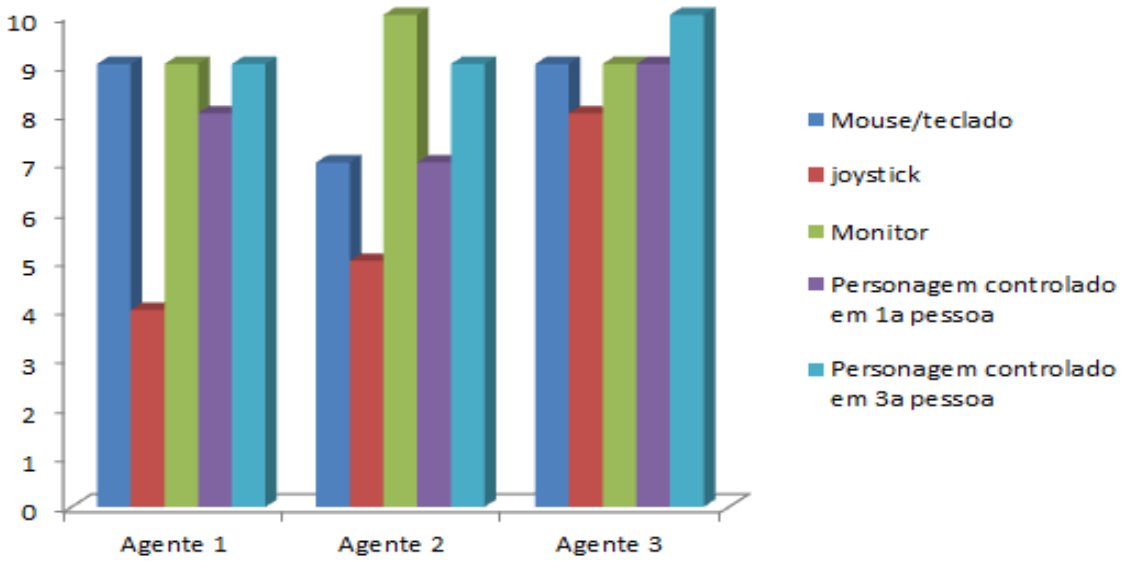


Figura 43 – Gráfico referente a adaptação ao uso do ambiente virtual

Com relação ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e o seu equivalente real, a detecção da fonte pelo dosímetro teve a avaliação melhorada em relação a primeira sessão em vitude da inclusão do som nos dosímetros. Segundo os agentes, esse foi um fator preponderante para o sucesso da identificação dos suspeitos. Os resultados obtidos ao fim da segunda sessão de treinamento são mostrados no Quadro 18.

Após a realização das duas sessões, foram implementadas novas funções de teclado e mouse referentes ao controle do avatar visando aprimorá-lo, como a função de "*andar*", que agora passa a ser executada também pelo botão direito do mouse. Originalmente, a combinação das teclas seta para frente e *shift* tinha a função *"andar".* Agora esse mesmo comando passa a ter a função "*correr*". A necessidade desses ajustes foi observada pelo autor do trabalho e pela equipe de desenvolvimento durante a realização das simulações.

Quadro 18 - Resultados da segunda sessão de testes

Sessão 2								
Simulação	Cenário analisado	Resultado	Barreira de identificação	Colaboração			Controle dos Avatares	Visão do Usuário
				Comunicação	Coordenação	Cooperação		
1	1	Sucesso	Primeira Barreira	Não	Não	Não	*Joystick*	1ª Pessoa
2	1	Sucesso	Segunda Barreira	Sim	Não	Sim	*Joystick*	1ª Pessoa
3	1	Sucesso	Primeira Barreira	Sim	Não	Sim	*Joystick*	3ª Pessoa
4	2	Sucesso	Primeira Barreira	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	1ª Pessoa
5	3	Falha	-	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
6	3	Sucesso	Segunda Barreira	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
7	3	Sucesso	Primeira Barreira	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
8	3	Sucesso	Primeira Barreira	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	1ª Pessoa

6.3 RESULTADOS DA TERCEIRA SESSÃO

Das seis simulações realizadas, cinco foram relativas ao cenário 3 e uma relativa ao cenário 1. Os resultados obtidos ao fim da terceira sessão de treinamento são mostrados no Quadro 19. Essa sessão teve a participação de um terceiro agente especialista que assim como os outros dois, que estiveram nas sessões anteriores, havia atuado na Copa do Mundo no Brasil em 2014 e nas Olimpiadas Rio 2016. Porém essa foi sua primeira interação com um simulador virtual.

Durante a sessão, somente o terceiro agente (aquele que não havia participado das sessões anteriores) utilizou o personagem com visão em terceira pessoa e, ainda assim, esporadicamente. A ausência do uso do joystick, se deve ao fato de ele não ter sido utilizado, por opção dos próprios agentes que preferiram controlar os avatares por meio de mouse/teclado.

Sobre as respostas referentes à comunicação, os agentes apontaram uma pequena queda na qualidade. Isso pode ser atribuído a informações equivocadas compartilhadas por eles, o que resultou em diversas falhas na correta identicação dos suspeitos. Vale ressaltar, que os erros gerados estavam associados a grande

quantidade de avatares autômatos (representando os espectadores) que passavam pelo local e acabavam dificultando a identificação.

Quadro 19 - Resultados da terceira sessão de testes

Sessão 3								
Simulação	Cenário analisado	Resultado	Barreira de identificação	Colaboração			Controle dos Avatares	Visão do Usuário
				Comunicação	Coordenação	Cooperação		
1	1	Sucesso	1ª Barreira	Não	Não	Não	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
2	3	Falha	1ª Barreira (um dos suspeitos)	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
3	3	Falha	1ª Barreira (um dos suspeitos)	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
4	3	Sucesso	1ª Barreira (os dois suspeitos)	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
5	3	Falha	1ª Barreira (um dos suspeitos)	Sim	Não	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
6	3	Sucesso	1ª Barreira (um dos suspeito) 2ª Barreira (outro suspeito)	Sim	Sim	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa

A Coordenação presente na simulação 6, foi exercida antes do inicio da simulação, atravé de uma reunião, onde definiram estratégias de troca de mensagens e deslocamento.

6.4 DISCUSSÃO

Como observado nos resultados da primeira sessão (Quadro 17), das três simulações referentes ao cenário 1, duas resultaram em fracasso dos agentes, pois o suspeito conseguiu passar pelas barreiras de segurança. Na terceira simulação os agentes obtiveram êxito na captura do suspeito. Nas duas situações em que o suspeito conseguiu passar pelas barreiras houve ausência de colaboração entre os agentes, pois faltou comunicação e, como consequencia, não ocorreu cooperação

entre eles. Já na simulação em que o suspeito foi corretamente identificado, ocorreu intensa troca de informações entre os agentes.

Os dois agentes da primeira barreira, ainda que tenham sido incapazes de identificar o suspeito, forneceram as informações necessárias para que o agente posicionado na segunda barreira de segurança tivesse condições de identifica-lo. Desta forma, conseguiram reduzir a área de busca e informar para seu colega as características do suspeito de forma mais efetiva através de comunicação via *headset*, o que o ajudou na identificação do mesmo.

Nas simulações referentes ao cenário 2, os agentes conseguiram identificar os suspeitos em todas as tentativas, sendo que em duas das simulações o suspeito foi identificado na primeira barreira (provavelmente em função do uso de material de alta atividade radioativa, mais facilmente identificado pelos detectores), necessitando de pouca comunicação entre os agentes, somente o aviso de captura. Já na simulação em que o suspeito foi identificado pelo agente da segunda barreira, houve trocas de informações entre os agentes da primeira e da segunda barreira, onde foram informadas as características e a direção de deslocamento dos prováveis suspeitos, contribuindo assim para identificação correta do mesmo.

Tendo sido implementadas as alterações sugeridas pelos agentes, observou-se que, na segunda sessão (Quadro 18), os agentes conseguiram identificar todos os suspeitos nas simulações referentes ao cenário 1. Na primeira simulação, a identificação ocorreu após uma perseguição dos agentes da primeira barreira e na segunda simulação, a identificação ocorreu na segunda barreira, após trocas de informações sobre características dos suspeitos entre os agentes. Na terceira simulação, houve uma intensa comunicação entre os agentes, onde foi observado que um dos agentes da primeira barreira descreveu as características do suspeito de forma imprecisa para o agente posicionado na segunda barreira. Ainda assim, o segundo agente da primeira barreira conseguiu identificar o suspeito. Dessas três simulações, nas duas primeiras os avatares dos agentes estavam sendo controlados em primeira pessoa e na terceira simulação, em terceira pessoa.

A simulação referente ao cenário 2 foi feita com avatares controlados em primeira pessoa. A identificação do suspeito ocorreu de maneira correta com a identificação ainda na primeira barreira, facilitada pela carga de alta atividade radioativa que o mesmo transportava.

As quatros últimas simulações foram feitas no contexto do cenário 3, sendo as três primeiras com os avatares em terceira pessoa e a última em primeira pessoa. Na primeira simulação com este cenário, um suspeito foi identificado e o outro conseguiu passar pelas barreiras. Nesta simulação, a quantidade de informações trocadas entre os agentes foi determinantes para o resultado obtido. Na segunda simulação, os dois suspeitos foram identificados, sendo um na primeira barreira e o outro na segunda barreira, após troca de informações sobre característica(s) do(s) suspeito(s) e medições dos dosímetros. Na terceira simulação, os dois suspeitos também foram identificados, sendo que ambos na primeira barreira por agentes diferentes. O mesmo ocorreu na quarta simulação, mas com os agentes tendo usados avatares controlados na primeira pessoa.

Considerando-se que os agentes que participaram das sessões anteriores iriam trabalhar na segurança radiológica dos Jogos Olímpicos Rio 2016, o intervalo entre a relização da segunda e da terceira sessão teve que ser maior em relação ao das duas primeiras. A sessão foi então composta por seis simulações, das quais somente a metade correspondeu a sucesso na correta identificação dos suspeitos, conforme mostrado no Quadro 19. Considerando somente as simulações sobre o cenário 3, o total de acerto foi de 40%, o que refletiu o grau de dificuldade apresentado no cenário, cujas simulações contavam com dois suspeitos. Enquanto um deles atraía a atenção dos agentes, o outro tentava ultrapassar a barreira, já que o dosímetro não é capaz de distinguir a atividade radioativa de mais de uma fonte por vez.

Segundo os relatos dos especialistas envolvidos, a inadequação do procedimento para identificação de suspeitos adotado durante a Copa do Mundo de 2014, evidenciada pelas falhas observadas e falsos positivos, tornou necessário propor um novo procedimento visando evitar que este problema persistisse nos Jogos Olímpicos Rio 2016. Esta nova forma de atuação passou a ser executada da seguinte maneira: assim que um agente detectava a presença de atividade radioativa, a força nacional de segurança era acionada para bloquear a passagem de todas as pessoas, até que o(s) portador(es) do material radioativo fosse(m) encontrado(s). O Quadro 20 descreve esse novo procedimento.

Quadro 20 – Descrição do procedimento utilizado nos Jogos Olímpicos Rio 2016

Procedimento utilizado durante os Jogos Olímpicos Rio 2016
I. Assim que um agente detectar a presença de atividade radioativa, avisa a Força Nacional de Segurança (FNS)
II. A FNS bloquea a passagem de todas as pessoas para o interior do estadio
III. Os agentes CNEN fazem a varredura até que o(s) portador(es) do material radioativo fosse(m) encontrado(s).
IV. A FNS reabre o portão

Tendo em vista que os cenários propostos nas simulações descritas anteriormente permitiram reproduzir o procedimento original de modo fiel, inclusive com resultados iguais aos observados em campo, e, baseado na descrição da nova abordagem adotada para os Jogos Olímpicos Rio 2016, um novo cenário utilizando o AVC proposto nesta Tese foi preparado visando reproduzir esta nova estratégia. Com isso, o objetivo deste novo simulado é avaliar a capacidade do AVC na função de ferramenta de elaboração de novas estratégias de identificação de suspeitos. A principal vantagem de um modelo como este é a possibilidade de desenvolver novas estratégias sem a necessidade de expor os agentes a qualquer tipo de risco ou de deslocamento de recursos humanos e materiais, bastando apenas que haja computadores disponíveis.

Diante disso, foi elaborada uma quarta sessão com quatro simulações de treinamento, todas sobre o contexto do cenário 3, com o objetivo de testar a capacidade da ferramenta no auxilio de desenvolvimento de novas estratégia de treinamento. Os resultados obtidos foram de sucesso na identificação nas quatro simulações e com os agentes aprovando o procedimento. O Quadro 21 mostra os resultados obtidos na sessão.

Quadro 21 - Resultados da quarta sessão de testes

Sessão 4						
Simulação	Resultado	Colaboração			Controle dos Avatares	Visão do Usuário
		Comunicação	Coordenação	Cooperação		
1	Sucesso	Sim	Sim	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
2	Sucesso	Sim	Sim	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
3	Sucesso	Sim	Sim	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa
4	Sucesso	Sim	Sim	Sim	Teclado e Mouse	3ª Pessoa

Nas respostas apresentadas no questionário, os agentes foram unânimes em afirmar que os objetivos do treinamento foram cumpridos, visto que o simulador permitiu a correta execução das ações dentro do procedimento adotado. Segundo seus relatos, o grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real foi satisfatório, podendo contribuir como ferramentar auxiliar no treinamento de identificação a suspeitos em grandes eventos.

No quesito da comunicação proporcionada pelo ambiente, os agentes a avaliaram como satisfatória, sendo capaz de cumprir sua função básica sem perda de qualidade causada por ruído ou atraso (*delay*), por exemplo. Além disso, afirmaram que esta foi de fundamental importância para as ações colaborativas entre eles na tarefa de identificação dos suspeitos.

6.5 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DO AVC APÓS AS TRÊS SESSÕES

Independentemente da experiência dos agentes e dos colaboradores em relação à utilização do AVC proposto nesta Tese, o mesmo foi avaliado como tendo sido amplamente satisfatório, conforme mostrado no Quadro 22, cujo os resultados foram obtidos através da média das respostas dos agentes na coleta de dados realizada com questionário após cada sessão.

Quadro 22 – Avaliação das respostas coletadas no questionário

Perguntas relacionadas à:	Avaliação		
	1ª Sessão	2ª Sessão	3ª Sessão
Adaptação ao uso do ambiente virtual;	Boa	Boa	Muito Boa
Ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real;	Boa	Muito Boa	Muito Boa
Utilização do AVC como ferramenta de treinamento de segurança	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa
Utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa

A análise da informação apresentada no Quadro 22, leva à conclusão de que o ambiente passou a ser melhor avaliado com decorrer das sessões. Essa melhora se deve ao fato do aprimoramento das funções de mouse/teclado (Seção 6.2) e da experiência adquirida pelos mesmos em decorrência das simulações realizadas. Já a melhora em relação ao grau de fidelidade foi motivada principalmente pela inserção do som no dosímetro nos treinamentos realizados a partir da segunda sessão.

A Figura 44 mostra o comparativo entre as sessões em relação a este tópico. O eixo das ordenadas representa o valor médio (em uma escala de 0 a 10), enquanto o eixo das abcissas representa cada uma das perguntas.

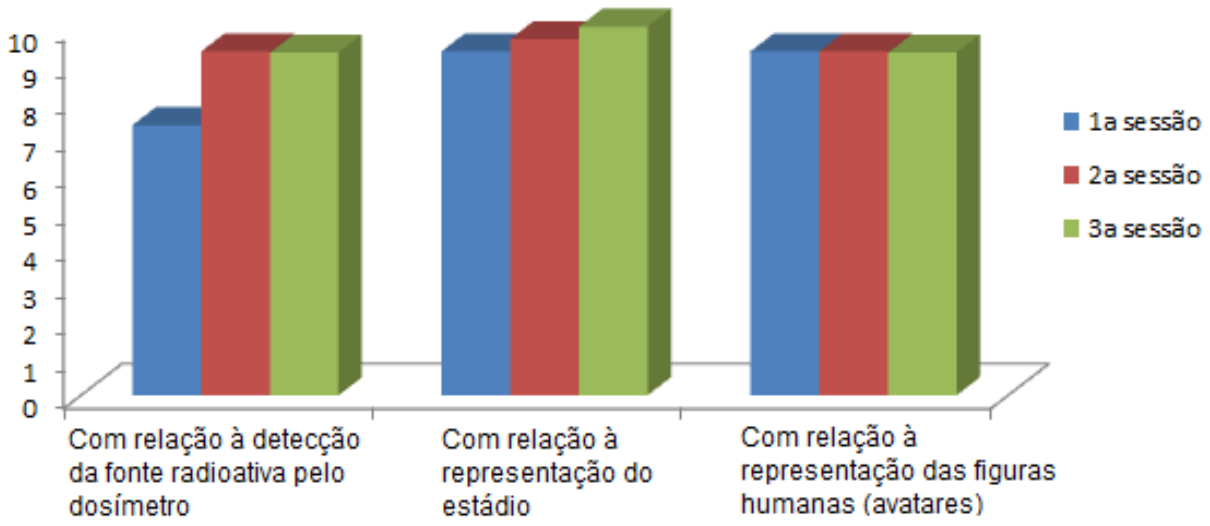


Figura 44 – Gráfico comparativo entre as três sessões referente ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real

6.6 ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DO AVC REFERENTE A QUARTA SESSÃO

Essa sessão teve como objetivo testar a capacidade da ferramenta no auxilio de desenvolvimento de novas estratégia de treinamento. Para isso, foi elaborado um questionário específico para estas últimas simulações, que está detalhado no quadro 23 do apêndice B, e as respostas obtidas são mostradas nos quadros 33, 34 e 35 do apêndice C.

Conforme mostrado no gráfico da Figura 45, a avaliação dos agentes sobre o AVC proposto a partir das perguntas do questionário foi amplamente satisfatório. O eixo das ordenadas representa o grau atribuído a cada ítem (em uma escala de 0 a 10), e o eixo das abcissas representa cada um dos agentes numerados de 1 a 3.

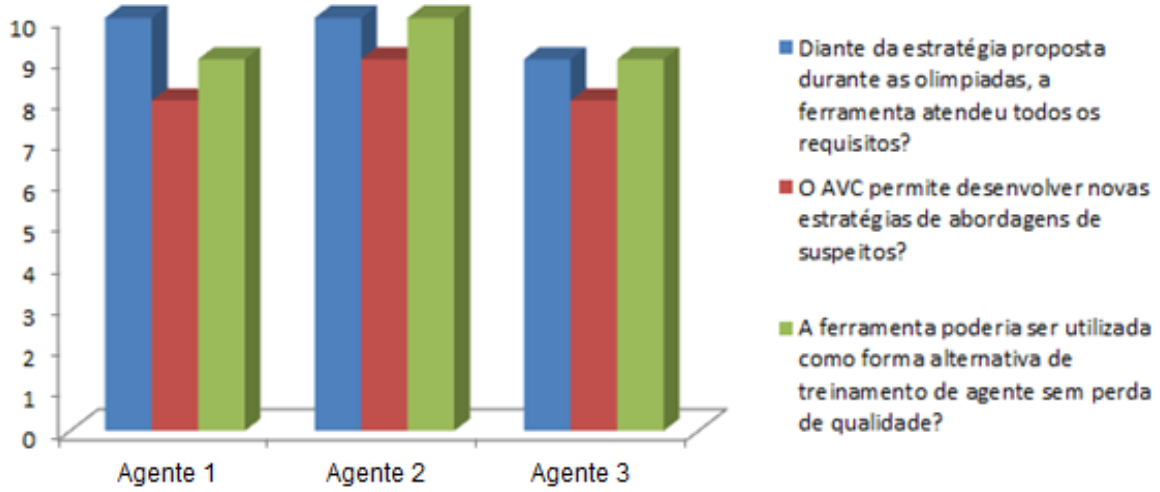


Figura 45 - Gráfico referente a utilização do ambiente virtual como ferramenta para novas estratégias de treinamento

7. CONCLUSÃO

Como apontado na introdução deste trabalho, para um AVC ser eficáz como formador de agentes, o AVC deve proporcionar treinamentos próximos da realidade, sem expor os treinandos aos perigos da situação real, e em muitas vezes simulando situações poucos prováveis e difíceis de reproduzir.

A arquitetura e o ambiente virtual foram desenvolvidos de modo a agregar ao sistema de treinamento um maior grau de interatividade e imersão, transferindo o participante para um ambiente virtual tridimensional, o qual reproduz o cenário da ação de treinamento e nele o usuário (representado por avatar) deve tomar decisões e desenvolver ações coordenadas e colaborativas, ajudando-os no seu desenvolvimento individual e coletivo e agregando-se um valor a mais ao treinamento, uma vez que o aproxima do ambiente real. As ações implicam na movimentação, no encontro e desvio dos obstáculos físicos e na interação em tempo real com outros usuários ou avatares autômatos presentes no ambiente virtual, que sofre influência de fatores diversos correspondentes no ambiente real, como som, visibilidade e iluminação, interação física, entre outros.

Neste contexto, o papel dos usuários (agentes) passa a ser totalmente ativo, pois além de exercitarem os seus conhecimentos a partir de situações simuladas, ele deve exercitar suas relações e interações profissionais com os outros agentes de seu próprio grupo (essencialmente colaborativo).

Após as quatro sessões de treinamentos, ficou evidenciado pelos resultados nas abordagens que sem a colaboração torna-se mais difícil de identificar o suspeito. Além disso, como confirmado pelos profissionais experientes, o método proposto pode contribuir efetivamente para melhorar competências, como organização da equipe e liderança, melhorar a qualificação dos agentes, além de permitir avaliar o nível de colaboração da equipe por meio da coordenação, comunicação e análise de cooperação entre os membros da equipe. Também foi possível observar que os participantes não tiveram dificuldade para operar em conjunto no ambiente compartilhado, devido à percepção do ambiente.

Quanto ao procedimento de identificação utilizada pelos agentes, concluiu-se após as sessões de treinamentos, que funciona bem quando existe somente um suspeito passando por vez pela barreira ou quando tem mais de um, que eles

passem em um intervalo de tempo que não proporcione a marcação da radiação de ambos pelo dosímetro dos agentes. As simulações que utilizaram o contexto do cenário 3 evidenciaram a falha do procedimento quando os suspeitos passavam próximos, pois os agentes acabavam detectando somente um deles. A primeira mudança sugerida pelos agentes para melhorar o procedimento, foi o aumento no número de barreiras, mas após algumas reflexões, eles perceberam que o problema poderia persistir se o número de suspeitos fossem maior que o número de barreiras, então concluíram que o procedimento adotado para identificação de suspeitos carregando materiais radioativos nos Jogos Olímpicos Rio 2016 era o mais eficiente (ver Quadro 20, Seção 6.4).

De acordo com a avaliação dos agentes especialistas que participaram das sessões, ficou comprovada a adequação da ferramenta como forma de desenvolvimento de novas estratégias de treinamento para identificação de materiais radioativos. Eles destacaram, entre outros aspectos importantes, que a possibilidade de ter uma quantidade variada de agentes (inclusive de outras agências, como Bombeiros e Policiais), capazes de se comunicar entre si e com funcionalidades inerentes as suas atividades específicas é de fundamental importância na simulação dos procedimentos analisados.

Dentre as principais funções disponíveis no AVC proposto nesta Tese destacadas pelos agentes especialistas estão:

- capturar (o suspeito/ criminoso);
- soltar (o suspeito quando se configura o erro na identificação do mesmo);
- fechar portões (o que contribui para limitar a área de varredura para identificação de um suspeito);
- usar dosímetros (que possuem as mesmas funções disponíveis em seu equivalente real como contador de atividade radioativa e sinal sonoro para guia a identificação de uma fonte radioativa);
- colocar grades móveis (com objetivo de organizar filas, corredores, isolar áreas ou criar cercados).

Todos estes recursos, aliados à possibilidade de comunicação entre os usuários incorporada ao sistema (AVC) qualificam o método proposto como uma ferramenta promissora no auxílio da criação de novas estratégias de treinamento, evitando perdas com o deslocamento de pessoal e a disponibilidade de locais

específicos para a realização dos treinamentos além de ter a vantagem de não submeter os agentes a riscos de exposição radiológica.

A ferramenta ainda disponibiliza a função de um observador (não utilizada em nenhum dos cenários descritos anteriormente) que pode agir somente como observador ou como coordenador das equipes.

Quanto ao cenário apresentado para a execução do treinamento, os agentes acharam bem próximo da realidade que eles tiveram durante a copa do mundo de 2014 e os Jogos Olímpicos Rio 2016, tanto em relação a parte gráfica do ambiente quanto aos tipos de ações proporcionadas.

Quanto ao desenvolvimento do AVC denotou claramente a exigência da estruturação de uma equipe multidisciplinar. Nesta Tese, a equipe foi composta por quatro especialistas do CNEN que atuam na área de radioatividade e são familiarizados com os procedimentos de abordagens radiológicas, por dois *designers* gráficos que trabalharam no desenvolvimento da modelagem geométrica do ambiente virtual e por dois profissionais de TI familiarizados com a *engine* adotada que trabalharam na implementação das funcionalidades do simulador.

Para finalizar é oportuno ressaltar que todas as funcionalidades implementadas no ambiente para o cenário de identificação de suspeitos de portar materiais radioativos podem ser reaproveitadas e/ou expandidas para diversos outros cenários e/ou procedimentos de treinamento, o que torna a ferramenta versátil e adaptável.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver novos cenários para utilização do AVC proposto.
- Desenvolver novas funcionalidades para construção de novos eventos, como por exemplo, incêndio, colisões, manifestações entre outros, e consequentemente comportamentos condizentes com as novas funcionalidades para os avatares autômatos.
- Desenvolver comunicação não-verbal entre os avatares.
- Utilização da função “Observador” pelo(s) agente(s) com papel de coordenador da(s) equipe(s) na(s) simulação(ões).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHINA, M. A. C.; Mól, A. C. A.; ALMEIDA, A. A. H.; PEREIRA, C. M. N. A.; VARELA, T. B; CUNHA, G. G. Full Scope Simulator of a Nuclear Power Plant Control Room Using Virtual Reality 3D Stereo Technics for Operators Training. In: **International Nuclear Atlantic Conference**, 2007.

AUGUSTO, S. C.; MÓL, A. C. A.; COUTO, P. M.; SALES, D. S. Using Virtual Reality in the Training of Security Staff and Evaluation of Physical Protection Barriers in Nuclear Facilities. In: **International Nuclear Atlantic Conference**, 2009.

AUGUSTO, S. C. **Utilização de Ambientes Virtuais na Estimativa de Dose de Radiação em Instalações Nucleares**. 2008. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

AUGUSTO, S. C.; MÓL, A. C. A.; JORGE, C. A. F., et al. Use of virtual reality to estimate radiantion dose rates in nuclear plants. In: **International Nuclear Atlantic Conference**, 2007, Santos, São Paulo, Brasil.

AUTODESK. **Guia Oficial 3ds Max**. 1 ed. Rio de Janeiro:Elsevier - Campus, 2010, 648 p.

BAKER, K.; GREENBERG, S.; GUTWIN, C. Heuristic Evaluation of Groupware Based on the Mechanics of Collaboration. In: **8th IFIP Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction**, 2001, Toronto, Canada.

BALDWIN, R. Training for the management of major emergencies. Disaster Prevention and Management. In: **An International Journal**, 1994, UK. Vol 3 Iss:1, pp 16 - 23.

BENNETT C.; ANDERSON G.; BRADY J. Improving Situational Awareness Training for Patriot Radar Operators. In: **IEEE Aerospace Conference**, 2010, Big Sky, MT, 2010, pp. 1-7.

BERTRAM, J.; MOSKAULIK, J.; CRESS, U. Virtual police: acquiring Knowledge-in-use in Virtual Training Environments. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY INNOVATION**, 1., 2011, Singapura. Proceedings… Singapura: IEEE, 2011. p. 19-20

BITELLI, T. **Física e Dosimetria das Radiações**. 2 ed. São Paulo: Atheneu. 2006.

BOUKERCHE, A.; ARAÚJO, R.B.; LAFFRANCHI, M.M.; A Hybrid Solution to Support Multiuser 3D Virtual Simulation Environments in Peer-to-Peer Networks, In: **Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Application**, 2004, Budapest, Hungria, p. 61-68..

BLACKMAN, S. **Beginning 3D Game Development with Unity 4: All-in-one, multi-platform game development**, 2011, Nova Iorque: Apress Academic, 2011, 970p.

BLAS, N.D.; POGGI, C. **European virtual classrooms: building effective "virtual" educational experiences**. In: Virtual Reality, Springer 2007, vol.11, n. 2-3, pp. 129-143.

BRAGA, L. A. F. **Simulação de rota de fuga e sinalização utilizando multiagentes e realidade virtua**l. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

BURDEA, GRIGORE C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2 ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2003

CAIRD, J. K. Persistent issues in the application of virtual environment systems to training. In Hics'96: **Third annual symposium on human interaction with complex systems**, 1996, Los Alamitos. CA: IEEE Computer Society Press. 1996

CALCIOLARI, F*.* **3ds Max 2012 - Modelagem, Render, Efeitos e Animação**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2011, 424p.

CANNON-BOWERS, J.A.; SALAS, E. **Making decisions under stress: Implications for individual and team training.** Washington, D.C.: APA Books, 1998.

CAPPS M.; MCDOWELL, P; ZYDA M., A future for entertainment-defense research collaboration. In: **IEEE Computer Graphics and Applications**, 2001, v. 21, n.1, p. 37–43

CECIN, F. R. **FreeMMG:Uma arquitetura cliente-servidor e par-a-par de suporte a jogos maciçamente distribuídos**. Dissertação de Mestrado,Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, 2005.

CHIAVENATO, I. **Treinamento e Desenvolvimento de Recursos Humanos: como invrementar talentos na empresa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 1999

SHARABI C. et. al. Immersidata Analysis: Four Case Studies. In: **IEEE Computer**, 2007 Vol. 40, No. 7, p. 45-52.

DHS, Adapted from U.S. Department of Homeland Security, Homeland Security **Exercise and Evaluation Program**, Volume I, 2007

DHS/FEMA. Is 139: ***Exercise design (fema)*** **(Tech. Radiological Emergency Preparedness)**. 2009.

DUGDALE, J., et al. Emergency fire incident training in a virtual world. In: **Workshop on Information Systems for Crisis Response and Management**, 2004, Bruxelas.

FAISSTNAUER C. **Priority Scheduling for Networked Virtual Environments and Online Games.** Tese de Doutorado, Technische Universitat Wien, Viena, Austria, 2001

FÄRBER, M. et al. Heinz Handels Training and evaluation of lumbar punctures in a VR-environment using a 6DOF haptic device *Studies in Health Technologies.* In: **Medicine Meets Virtual Reality**, 16, 2008.

FEMA. **Emergency incident rehabilitation**. Emmitsburg, 2008

FITZGERALD, M.; RIVA, G. **Virtual Reality**. In: L. Beolchi, Ed, Telemedicine Glossary: European Commission-DG INFSO, 2001, p. 327-329.

FRANCIS, G.A.; TAN, H.S. Virtual reality as a training instrument. In: **TheTemasek Journal**, 7, 1999, p. 4 e 15.

FREITAS, V.G.G., **Determinação de dose de radiação, em tempo real, através de inteligência artificial e realidade virtual**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reatores) - IEN, Rio de Janeiro, Brasil. 2009

FRIEDLANDER, G.; J. W. KENNEDY; E. S. MACIAS; J. M. MILLER. **Nuclear and Radiochemistry**, 3 ed., New York, 1958, p. 243-252.

Fuks, H & Assis, R. L., Facilitating Perception on Virtual Learningware-Based Environments, **Journal on Systems and Information Technology**, 2001, in press.

GAHAN, A. **3ds Max Modeling For Games**. 2 ed. Waltham:Focal Press, 2011, 432p.

GARCIA, F. L. S.; TISSIANI, G.; CAMARGO, F. D. Metodologia para criação de ambientes virtuais tridimensionais. In: **IV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. 2001, São Paulo, Brasil.

GATTO, L. B. S. **Realidade Virtual na Avaliação Ergonômica de Salas de Controle de Plantas Nucleares**. 2012. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) - Comissão Nacional de Energia Nuclear/Instituto de Engenharia Nuclear, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Rio de Janeiro, 2012.

GONÇALVES, J. G. M., et al. Virtual Reality Based System for Nuclear Safeguards Applications. In: **IAEA Symposium on International Safeguard**, 2010.

GONÇALVES, S. P. G., et al. “Tomada de Decisão no tratamento de emergência”, 2004. **Revista Produção Online**, ISSN 1676 – 1901, Vol 7, Num. 1, abril/2007

GOPHER, D.; WEIL, M.; BAREKET, T. Transfer of skill from a computer game trainer to flight. In: **Hum. Factors**, 36, 1994, p. 387–405

GRIMES, J. Virtual reality 91 anticipates future reality. In: **IEEE Computer Graphics & Applications**, Nov. 199, p. 81-82.

HAGUENAUER, C.; CUNHA, G.G.; FILHO, F.C. **Realidade Virtual Aplicada ao Ensino**, 1 ed. Curitiba:EDITORA CRV, 2011. 180 p.

HARPER, J. **Mastering Autodesk 3ds Max 2013**. Camp Hill:Sybex, 2012.

HEILBRON, P.; XAVIER, A.; MAY, E.; FERREIRA, R. **Segurança Nuclear e Proteção do meio Ambiente**, Rio de Janeiro : E-papers, 2004. 316 p

HIMONA, S. et al. Sympol VR – a virtual reality law enforcement training simulator. In: **Mediterranean Conference on Information Systems**, 6., 2011. MCIS 2011 Proceeding. Paper 22.

HINTZE, N. **First responder problem solving and decision making in today's asymmetrical environment**. 2008 Unpublished master's thesis, Naval Postgraduate School.

HOLM, R.; PRIGLINGER, M.; STAUDER, E.; VOLKERT, J.; WAGNER, R. A Combined Immersive and Desktop Authoring Tool for Virtual Environments. In: **IEEE Virtual Reality**, 2002, USA, p. 93-100.

HSEEP, 2013. **Homeland Security Exercise and Evaluation Program**, Vol 1, disponível em https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1914-25045-8890/hseep_apr13_.pdf. Acessado em 02/06/2016

IAEA, **Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency**, EPR-METHOD 2003 .

JAIN, S.; MCLEAN, C. *Integrated simulation and gaming architecture for incident management training*. In: **Proceedings of the 37th Winter Simulation Conference**, Orlando, Florida.2005, p. 904–913.

JENTSCH F.; BOWERS C. Evidence for the validity of PC-based simulations in studying aircrew coordination. In: **The International Journal of Aviation. Psychology**. 8, 1998, p. 243–260

JORGE, C. A. F.; AGHINA, M. A. C.; MÓL, A. C. A.; PEREIRA, C. M. N. A. Man Machine Interface Based on Speech Recognition. In: **International Nuclear Atlantic Conference**; 2007.

KALAWSKY, R.S. **The science of virtual reality and virtual environments**, Ed. Addison-Wesley, 1993. 405 p.

KNOLL, G. F. **Radiation Detection and Measurement.** 3 ed, Editora Wiley, 2000. 816 p.

KIRNER, C.; SISCOUTTO, R.A. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: Livro do Pré-Simpósio: **IX Symposium on Virtual and Augmented Reality**, Petrópolis, 2007 p. 2-21.

KIRNER, C. et al. **Realidade Virtual: Conceitos e Tendências**. São Paulo:Editora SENAC, 2004.

KLEIN, G. A.; CALDERWOOD, R.; CLINTON-CIROOCO, A. Rapid decision making on the Fire ground. In: **30th annual human factors society**. 1986. Vol. 1, p. 576-580.

LAMB, K.; BOOSMAN M.; DAVIES J.; Introspect Model: Competency Assessment in the Virtual World. In : The 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management - **Proceedings of ISCRAM 2015 Conference**, 2015, Kristiansand May 24-27. Palen, Büscher, Comes & Hughes, eds.

LAW, A.M.; HIDER, S.W. Selecting simulation software for manufacturing applications: pratical guidelines & software survey, **Journal Industrial Engineering**, May 1989, pp. 33-46.

LÉVY, Pierre. **As Tecnologias da Inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. Tradução: Carlos Irineu da Costa. São Paulo:Editora 34, 1993, 203 p.

LI, H.; TANG, W.; SIMPSON, D. Behaviour based motion simulation for fire evacuation procedures. Published in: **Theory and Practice of Computer Graphics**, 2004. Bournemouth. ISBN: 0-7695-2137-1 Disponível em: < http://ieeexplore.ieee.org/document/1314460/ > Acesso em: 18 jun. 2016.

LOUKA, M. N.; GUSTAVSEN, M. A.; EDVARDSEN, S.; OLSEN, A.; RINDAHL, G. The Halden Viewer, A Tool for Virtual Walkthrough, Annotation, Radiation Visualisation, and Dose Evaluation. **Institutt for energiteknikk, OECD Halden Reactor Project**, Halden, Norway, 2005.

MACHADO L. S. et. al. A Fuzzy Rule-Based Evaluation for a Haptic and Stereo Simulator for Bone Marrow Harvest for Transplant. In: **5th Phantom Users Group Workshop Proceedings**, 2000.

LUKOSCH, H., VAN RUIJVEN T.; VERBRAECK , A. The participatory design of a simulation training game. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2012

MCCARTY, W.D. et al. A virtual cockpit for a distributed interactive simulation. Published In: **IEEE Computer Graphics and Application**. Jan 1994, Vol. 14, p. 49-54.

MELO, R. C. **Estudo de pressupostos tecnológicos e cognitivos para aperfeiçoamento de laboratórios virtuais e ambientes colaborativos virtuais para radiofarmácia** – Tese de Doutorado, IPEN, 2009

MÓL, A. C. A. ; JORGE, C ; COUTO, P ; AUGUSTO, S ; CUNHA, G ; LANDAU, L . Virtual environments simulation for dose assessment in nuclear plants. **Progress in Nuclear Energy**, 2009, v. 51, p. 382-387.

MÓL, A. C. A.; JORGE, C. A. F.; COUTO, P. M.; *Estudo do Uso de Núcleos de Jogos na Criação de Ambientes Virtuais para Suporte ao Planejamento de Evacuação de Prédios e Circulação em Áreas Sujeitas a Radiação*; Mostra de

Produtos e Protótipos de RV e RA. In: **IX Symposium on Virtual and Augmented Reality** – SVR; 2007.

MOSHELL, J.M. et al. **Dynamic terrain. Simulation**. Jan 1994, vol. 62, n. 1, p. 29-40.

OXFORD Dictionaries - www.oxforddictionaries.com; Consultado em 16/11/2015

PASTURA, V. Energia Nuclear e Proteção Radiológica. Divisão de Proteção Radiológica . **Instituto de Engenharia Nuclear . Comissão Nacional de Energia Nuclear**. 2003, Rio de Janeiro.

PIMENTEL, K.; BLAU, B.: Teaching your system to share. In: **IEEE Computer Graphics and Application**, 1994, p. 60-65.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality – through the new looking glass**. 2 ed. New York:McGraw-Hill, 1995.

PINHO, M. S. **Manipulação simultânea de objetos em ambientes virtuais imersivos**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Rio Grande do Sul, 2002

PINTO, A.; KIRNER, T. G.; KIRNER, C. Modelagem e Animação de Objetos e Cenários para Ambientes Virtuais. In: 4th SBC Symposium on Virtual Reality, 2001, Florianópolis. **Proceedings of the 4th SBC Symposium on Virtual Reality**. Porto Alegre : SBC, 2001. v. 1. p. 190-201.

PRICE, W. J., **Nuclear Radiation Detection**. 1 Ed, McGraw-Hill, 1958, 382 p.

RID, T.; HECKER, M. **War 2.0: Irregular Warfare in the Information Age**. 13808 ed, Westport: Praeger Security International, 2009, p. 280

RIVA, G. Applications of Virtual Environments in Medicine. **MIM – Methods of Information in Medicine**, 2003, vol. 42, n. 5, pp. 524-534.

ROSA, A. J. P. **O emprego da realidade virtual no treinamento policial para o enfrentamento de criminosos com ênfase nos chamados encontros mortais: uma abordagem baseada na teoria geral de sistemas.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis , 2014

ROSENBLUM, L.J. **Mission visualization for planning and training**, IEEE Computer Graphics and Application, Sep 1995, p. 12-14.

SALAS, E.; Cannon-Bowers, J. A., **The Science of Training: A Decade of Progress** Annual Review of Psychology. 2001, Vol. 52, p. 471-499

SALES, B. R. A., **Colaboração em Sistemas de Realidade Virtual voltados ao Treinamento Médico: Um Módulo para o Framework CyberMed**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Paraiba, 2010.

SANTOS, A. D.; MACHADO, L. S.; MORAES, R.; GOMES, R. **Avaliação baseada em lógica fuzzy para um framework voltado à construção de simuladores baseados em RV. Laboratório de Tecnologias para o Ensino Virtual e Estatística** - Universidade Federal da Paraíba – CCEN, 2010

SANTOS, I. H. F., RAPOSO, A.B.; GATTASS, M. Finding solutions for effective collaboration in a heterogeneous industrial scenario. In: **Computer Supported Cooperative Work in Design,** 2002. The 7th International Conference on , 2002, p.74-79.

SCHOEMAKER, P. J. H. Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. In: **Sloan Management Review**, 1995, Vol. 37(2): p. 25-40.

SCHOEMAKER, P. J. H.; CORNELIUS .A.J.M. van der Heijden, **Integrating Scenarios into Strategic Planning at Royal Dutch/Shell, Planning Review,** 1992, Vol. 20 (3), p.41-46.

SIGNIFICADOS - Significados.com.br – Consultado em 16/11/2015

SILAS C. A., MÓL A.C., MÓL Pedro, SALES D. Using Virtual Reality in the Training of Security Staff and Evaluation of Physical Protection Barriers in Nuclear Facilities. In: **International Atlantic Conference**, 2009, Rio de Janeiro, Brasil.

SILVA, M. H.; COTELLI, A; MARINS, E. R; SIQUEIRA. A.P.L.; MÓL, D.; MÓL, A.C. Using virtual reality to support the physical security of nuclear facilities; In: **Progress in Nuclear Energy**, 2015, Brasil.

SMITH, R. The application of existing simulation systems to emerging homeland security training needs. In: **Simulation interoperability workshop**. 2003, Europa.

(SNDC/MI) - Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Guia de orientações para elaboração de exercícios simulados de preparação para os desastres**, 2012, Brasília.

STANNEY, K. M. **Handbook of virtual environments: design, implementation and applications**. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 2002, 1232p.

UNICEF. **Simulacros escolares: Una guía para su preparación**. Panamá: lusgraftab, 2010.

VOSHELL, M. G. **Planning Support for Running Large Scale Exercises as Learning Laboratories**. 2009. Tese (Doutorado) - The Ohio State University, Ohio, EUA, 2009.

WITTEMBERG, G. **Training with virtual reality, Assembly Automation**, 1995. MCB UP Ltd 1995, v. 15, n. 3, p. 12-14.

WOODS, David D.; HOLLNAGEL, E. **Joint Cognitive System – Patterns in Cognitive Systems Engineering**, 1 ed, New York: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2006, 232 p.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2 ed., Porto Alegre: Bookman. 2001.

XAVIER, A. M.; MORO J. T.; HEILBRON, P. F. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. 4 ed, Rio Grande do Sul:Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014, 268 p.

XI, C.; WU, H.; JOHER, A.; KIRSCH, L.; LUO, C. 3-D Virtual Reality for Education, Training and Improved Human Performance in Nuclear Applications. In: **ANS NPIC HMIT 2009 Topical Meeting - Nuclear Plant Instrumentation, Controls, and Human Machine Interface Technology**. 2009, Knoxville, Tennessee.

XIAOWEI, W. Virtual reality technology in simulation training system of important person security guard. In: **International Conference on Software Engineering and Service Sciences**, 12, 2010, China.

XVR Simulation BV - Disponível em http://www.xvrsim.com Acessado em 12/05/2016

ZHOU, S.; CAI, W.; LEE, B. S.; TURNER S. Time-Space Consistency in Large-Scale Distribuited Virtual Enviroments. 2004. In: **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, 2004, v. 14, n. 1, p. 31-47.

APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de Realidade Virtual em ambientes colaborativos e em atividades Nucleares tornou-se uma constante nos últimos anos. Vários projetos dedicam-se a empregar o arcabouço de técnicas e ferramentas já desenvolvidas para o mercado regular de realidade virtual no desenvolvimento de jogos educacionais (Schank, 1997), simulações e treinamento em ambientes virtuais de plantas nucleares (Mol, et. al., 2009), nos treinamentos de procedimentos médicos (Riva, 2003), militares (Kalawsky, 1993), etc.

No campo específico do presente estudo, a pesquisa levantou alguns exemplos de aplicações correlatas, as quais abrangem aplicações diferenciadas. Algumas dessas aplicações são estritamente voltadas para a simulações nas quais não há participação direta do usuário no ambiente simulado. Outras são desenvolvidas de modo a permitir que o usuário estabeleça algum nível de interação direta com o ambiente virtual e com outros usuários, através da utilização de um avatar, (personagem virtual que representa o usuário) o qual atua diretamente no ambiente virtual, e cujas ações são controladas por algum tipo de dispositivo de entrada no sistema, como por exemplo, teclado, *mouse*, *jostick* e *head set*. Esses tipos de interação são amplamente conhecidos nos *games*.

No grupo das aplicações em que não exista participação direta dos usuários, o emprego da Inteligência Artificial (IA) em apoio ao desenvolvimento de estratégias para avaliar o comportamento humano em acidentes ou incidentes relacionados a emergências, se faz normalmente por aplicações multi-agente, as quais têm por finalidade antever situações potenciais de risco, de modo a permitir que se adotem as medidas necessárias para evitá-las ou contorná-las em situações reais. Nesta área de pesquisa, Braga (2006) propôs um sistema de Simulação de Rota de Fuga e Sinalização Utilizando Multi-Agentes e Realidade Virtual (Figura 46), realizada na COPPE/UFRJ. O estudo utiliza-se de inteligência artificial para validar rotas de fuga e sinalização de segurança e abandono de uma plataforma *offshore*, de modo a avaliar a eficácia do projeto em situações de emergência de incêndio a bordo. O simulador permite uma adaptação para diversos ambientes e tipos de agentes e sinistros, tornando-o uma ferramenta versátil.

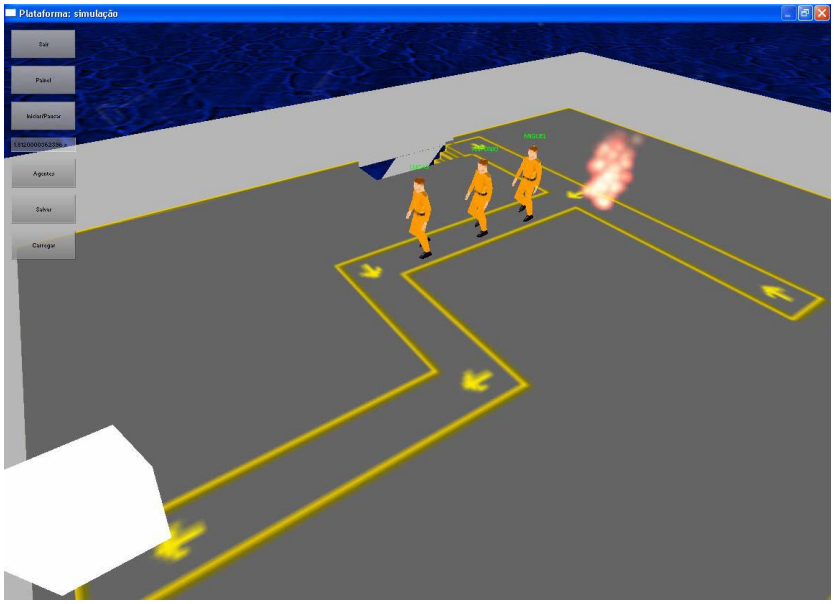


Figura 46 - Textura do piso com a sinalização, indicando a rota para a saída (Braga,2006)

Uma outra implementação semelhante é descrita no artigo *An Autonomus and Guided Crowd in Panic Situations,* através da qual é possível a definição de objetos que atuam internamente ao ambiente, de modo a redirecionar a ação dos agentes autônomos envolvidos na simulação. O estudo oferece ainda a possibilidade de utilizar um guia ou facilitador (FOUDIL, NOUREDDINE, 2007). A Figura 47 ilustra uma tela do simulador.

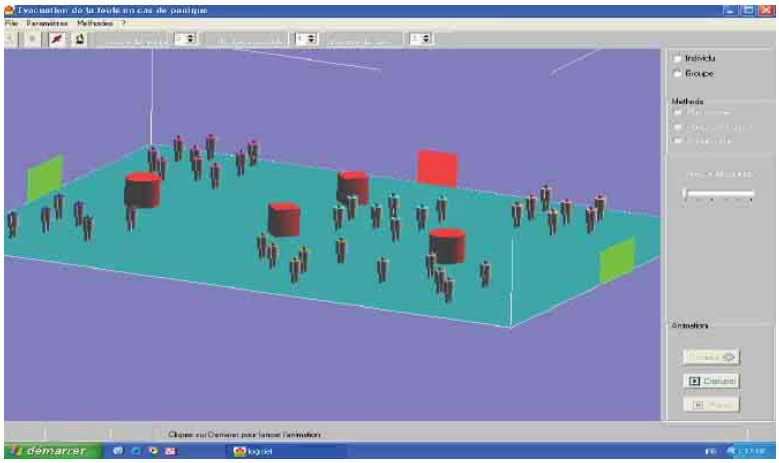


Figura 47 - Simulador para Avaliação de Multidão em Pânico (FOUDIL, NOUREDDINE, 2007)

Nas aplicações de simulação de emergências onde o usuário interage diretamente na cena participando da ação como se estivesse presente no ambiente simulado, destaca-se o aplicativo descrito no artigo *Emergency fire incident training*

in a virtual world (DUGDALE *et al*, 2004). O aplicativo desenvolvido simula uma situação de emergência de incêndio em um hotel para o treinamento dos bombeiros no combate e controle do incêndio. Além da equipe em treinamento dos bombeiros, outros personagens (também controlados por usuários) são colocados na cena para enriquecer a simulação de treinamento, aproximando-a da realidade. A Figura 48 mostra algumas telas do simulador.

Figura 48 - Esquema de vários estagiários que orientam seus personagens virtuais no ambiente de treinamento virtual.

O artigo *Behaviour Based Motion Simulation for Fire Evacuation Procedures* (Li, *et al*. 2004) descreve uma implementação semelhante, neste aplicativo desenvolvido para treinamento de procedimentos de evacuação voltados para espaços e edificações públicas. A simulação possibilita aos usuários assumir o controle de avatares, ao mesmo tempo em que introduz agentes autônomos com características comportamentais baseadas em regras pré-estabelecidas. A Figura 49 mostra o treinamento de evacuação no simulador.

Figura 49 - Treinamento de Evacuação de Incêndio em Edificação Pública (Li, *et al*. 2004).

Ainda sobre treinamento e simulação de evacuação, o Sistema de Realidade Virtual para Treinamento de Evacuação desenvolvido pelo IEN (Mól *et al*, 2008), onde foi utilizado o núcleo de jogo do Unreal Engine 2 Runtime, para criar uma ferramenta para treinamento e simulação de evacuação de sítios com grande aglomeração de pessoas. Para este fim, foram implementadas modificações no núcleo de jogo, de modo a tornar a simulação mais realista.

Na área de atividade nuclear destacam-se:

O Sistema VRdose desenvolvido pelo Halden Virtual Reality Centre (2009), onde o foco principal é a elaboração de um plano de trabalho levando em consideração a visualização da radiação e as estimativas destas doses. A visualização da dose de radiação permite aos seus utilizadores uma rápida avaliação da situação, a fim de proporcionar uma melhor compreensão da mesma;

O Sistema de Realidade Virtual (RÓDENAS *et al*., 2005) utilizado no programa de treinamento do CIPRES foi desenvolvido com o objetivo de reduzir as doses recebidas pelos trabalhadores e procura a minimizar o tempo das operações;

O Sistema de estimativa de dose em ambientes virtuais desenvolvido no IEN (MÓL *et al*., 2009), que utiliza tecnologias de Realidade Virtual para desenvolver uma ferramenta para construção de ambientes virtuais de modo a reproduzir instalações nucleares com suas respectivas áreas quentes, permitindo que o usuário navegue virtualmente nesta instalação, contabilizando a dose de radiação recebida.

Ainda na área de atividade nuclear, o Laboratório Virtual de Física Nuclear, desenvolvido por Dias et al., (2002) (Figura 50), utilizou técnicas de Realidade Virtual para desenvolver uma ferramenta de apoio ao ensino de Física Nuclear, destinado a simular o funcionamento de um detector de radiação do tipo Geiger-Müller, onde são implementadas as principais características dos contadores comumente comercializados, além de disponibilizar a modelagem de três amostras radioativas e placas absorvedoras.

Figura 50 -Tela principal do aplicativo

Na área de ambientes colaborativos, destaca-se o trabalho realizado por Mendes et al. (2013), onde os autores propõem um sistema colaborativo com o uso de dispositivos visuais grandes e dispositivos móveis para visualização, navegação e inspeção de modelos CAD 3D da indústria do petróleo (Figura 51). O sistema permite que os engenheiros de campo e as equipes em um centro de controle trabalhem em colaboração. Para isso, o sistema permite comunicação remota por voz, *viewport* compartilhado, avatares e congelamento de câmera . O uso do áudio permite comunicação remota, natural entre os usuários e crucial para tarefas colaborativas. O *viewport* compartilhado permite que outros participantes vejam o ponto de vista de um usuário, dando suporte a tarefas como mostrar a localização de objetos pequenos e visitas guiadas. O avatar representa a posição e orientação corrente no ambiente, favorecendo a localização do usuário e a identificação de em qual direção geral eles estão olhando em comparação com o compartilhamento de câmera. O congelamento de câmera permite aos usuários congelar a visão atual e mover-se, sem temer que os movimentos realizados mudem a posição da câmera e consequentemente do avatar.

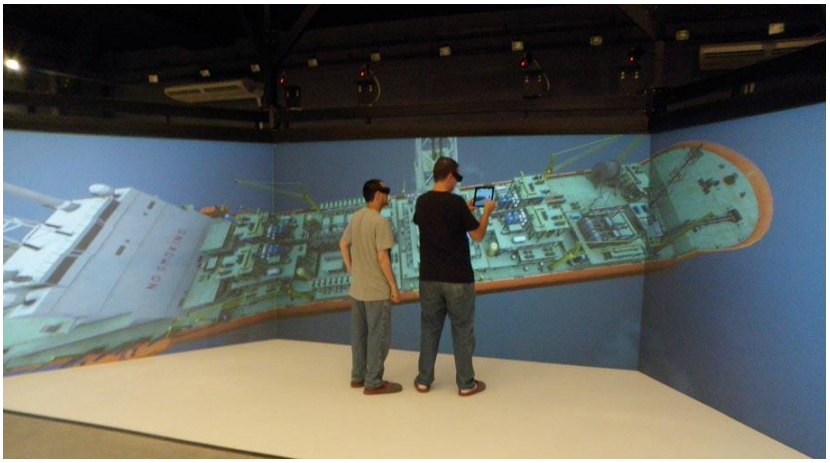


Figura 51 - Ambiente virtual colaborativo 3D mistura telas grandes escala com dispositivos móveis (Mendes et al, 2013)

.

Com a eficácia comprovada do uso de jogos eletrônicos interativos como ferramenta de aprendizado e treinamento em diversos trabalhos (Garris e Ahlers, 2001; Garris et al.,2002; Zyda, 2005), e o trabalho de Mól (2007) onde motores de jogos são utilizados para desenvolvimento de sistemas de simulação, a disseminação desta técnica abriu uma nova área chamada *serious game*. Diferentes pesquisas têm demonstrado as aplicabilidades dos núcleos de jogos, que incluem o treinamento de situações de emergência (Jacobson, 2005; Jain, 2005; Chatam, 2007; Badler, 2002; Hajek, 2004) e treinamento na área nuclear, onde motores de jogos têm sido usados principalmente na simulação de operações em instalações com níveis de radiação acima dos padrões naturais (Freitas, 2011; Ródenas, 2004). Mól et al. (2008) apresentaram o trabalho "*Virtual environments simulation for dose assessment in nuclear plants"*, que é um estudo de caso relativo à utilização de um motor de jogo na realização de simulações e treinamentos em ambientes virtuais de plantas nucleares para auxiliar na minimização do uso diário de dose radioativa nas rotinas operacionais. Ainda na área de dosimetria, o trabalho desenvolvido por Freitas *et al*. (2009), intitulado "*Determinação de dose de radiação, em tempo real, através de inteligência artificial e realidade virtual"*, dedica-se à determinação de dose de radiação no interior do reator de pesquisa Argonauta, instalado no Instituto de Engenharia Nuclear – IEN. Esse sistema utiliza o motor de jogo *Unreal Engine*, e apresenta uma modelagem em três dimensões da sala do reator, possibilitando assim a capacidade de inferir a taxa de dose em cada ponto do local. O trabalho

possibilita a realização de simulações e treinamentos, estimando a dose recebida por cada trabalhador envolvido no procedimento.

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

Quadro 23 - Questionário utilizado para avaliação após as sessões

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 24 - Questionário utilizado para avaliação após a quarta sessão

O AVC proposto como ferramenta para novas estratégias de treinamento	
Diante da estratégia proposta durante as olimpiadas, a ferramenta atendeu todos os requisitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
O AVC permite desenvolver novas estratégias de abordagens de suspeitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta poderia ser utilizada como forma alternativa de treinamento de agente sem perda de qualidade? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

APÊNDICE C – RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Respostas do questionário de cada agente referente a primeira sessão (quadros 25, 26 e 27) , segunda sessão (quadros 28, 29 e 30), terceira sessão (quadros 31, 32 e 33) e quarta sessão (quadros 34, 35 e 36).

Quadro 25 - Respostas do agente 1 referente ao questionário de avaliação da primeira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente do CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R – Uso de *Joystick* e som e possibilidade de manuseio do avatar na primeira pessoa	

Quadro 26 - Respostas do Agente 2 referente ao questionário de avaliação da primeira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real,		

como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)	
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo	
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R – Uso de *Joystick* e som no dosímetro	

Quadro 27 - Respostas do Agente 3 (Colaborador) referente ao questionário de avaliação da primeira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R – Uso de *Joystick* e som no dosímetro	

Quadro 28 - Respostas do Agente 1 referente ao questionário de avaliação da segunda sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo	
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 29 - Respostas do Agente 2 referente ao questionário de avaliação da segunda sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 30 - Respostas do Agente 3 (Colaborador) referente ao questionário de avaliação da segunda sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo	
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente da CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 31 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 1 na terceira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente do CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 32 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 2 na terceira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo	
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente do CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 33 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 3 na terceira sessão

Avaliando sua experiência prévia		
Já realizou uma abordagem a um suspeito em um evento?	Sim	Não
Já interagiu com algum simulador virtual?	Sim	Não
Que dificuldades você identificou para se adaptar ao uso do ambiente virtual proposto utilizado? Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de facilidade e 10 o de maior.		
Com relação ao hardware (parte física do equipamento)		
• Mouse / Teclado	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Joystick	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
• Monitor	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 1ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação ao personagem controlado em 3ª pessoa	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto ao grau de fidelidade entre o ambiente virtual e seu equivalente real, como você o avalia (Classifique cada um dos itens em uma escala 1 a 10, sendo 1 o menor grau de fidelidade e 10 o maior grau de fidelidade)		
Com relação à detecção da fonte radioativa pelo dosímetro	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação do estádio	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Com relação à representação das figuras humanas (avatares)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Quanto a utilização do AVC como ferramenta de treinamento colaborativo		
O uso do AVC permitiu uma comunicação efetiva (sem ruído ou falha de compreensão)? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) – Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a cooperação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
A simulação no ambiente virtual proposto permitiu a coordenação entre os membros da equipe de maneira similar ao que ocorre no procedimento real? Se sim, (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco satisfatória e 10 muito satisfatória) - Em caso negativo, aponte os problemas identificados R –	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	

Quanto a utilização da simulação como ferramenta de treinamento	
A atividade proposta é capaz de contribuir para melhorar a formação de um agente do CNEN? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 discordância máxima 10 concordância máxima)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta permitiu a execução correta das ações executadas dentro do(s) procedimento(s)? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Em relação aos procedimentos de campo, aos quais você já está familiarizado, o treinamento via AVC é capaz de aprimorar as habilidades necessárias? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 insuficiente ou pouco capaz e 10 muito capaz)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Como você avalia o sistema como uma ferramenta de treinamento? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito ruim e 10 excelente)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Que sugestões você daria para melhorar a utilização do ambiente proposto? R –	

Quadro 34 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 1 na quarta sessão

O AVC proposto como ferramenta para novas estratégias de treinamento	
Diante da estratégia proposta durante as olimpiadas, a ferramenta atendeu todos os requisitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
O AVC permite desenvolver novas estratégias de abordagens de suspeitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta poderia ser utilizada como forma alternativa de treinamento de agente sem perda de qualidade? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Quadro 35 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 2 na quarta sessão

O AVC proposto como ferramenta para novas estratégias de treinamento	
Diante da estratégia proposta durante as olimpiadas, a ferramenta atendeu todos os requisitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
O AVC permite desenvolver novas estratégias de abordagens de suspeitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta poderia ser utilizada como forma alternativa de treinamento de agente sem perda de qualidade? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Quadro 36 - Respostas referentes ao questionário de avaliação do agente 3 na quarta sessão

O AVC proposto como ferramenta para novas estratégias de treinamento	
Diante da estratégia proposta durante as olimpiadas, a ferramenta atendeu todos os requisitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
O AVC permite desenvolver novas estratégias de abordagens de suspeitos? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
A ferramenta poderia ser utilizada como forma alternativa de treinamento de agente sem perda de qualidade? (Classifique em uma escala 1 a 10, sendo 1 muito pouco 10 muito satisfatória)	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ANEXO A - DOSIMETRIA

A dosimetria das radiações consiste na determinação da taxa de exposição (do inglês *dose-rate*) à radiação em determinado ponto de um meio, seja ele vivo ou não (Knoll, 2000).

Formalmente, define-se que tal taxa consiste na relação entre o intervalo de tempo e a dose de exposição. Por dose de exposição (X) entende-se a razão entre todas as cargas de elétrons (ΔQ) frenadas em um volume ΔV de ar (em condições normais de temperatura e pressão - CNTP), sendo esses produzidos por interação de raios X ou raios γ com a massa Δm de ar do volume em questão (Bitelli, 2006).

$X = \Delta Q / \Delta m$

Onde ΔQ é a soma de todas as cargas elétricas em todos os íons de um único sinal produzido no ar, quando todos os elétrons (negativos ou positivos) liberados pelos fótons em um volume elementar de ar, cuja massa é Δm, são completamente parados no ar (Xavier et. al, 2014).

A Taxa de Exposição é dada pela quantidade de cargas por unidade de massa de ar sendo geradas por unidade de tempo, ou seja, Taxa de Exposição = dX/dt

Onde dX é a variação de X em função da grandeza física tempo .

Para medir a taxa de exposição de uma fonte gama, por exemplo, é preciso conhecer externamente, além de sua atividade específica (definida como sendo o grau de radioatividade ou o potencial de produção de radiação de uma determinada quantidade de material radioativo) (Knoll, 2000):

1) A forma geométrica

2) O espectro de emissão da fonte

3) A distância e geometria da medida

Além disso, necessitamos separar as fontes segundo o aspecto da auto-absorção em três categorias: fontes sem auto-absorção (caso ideal), fontes com auto-absorção e fontes com múltipla-dispersão.

A taxa de exposição de uma fonte sem auto-absorção e puntiforme (cujas dimensões possam ser consideradas desprezíveis em relação à distância entre ela e o detector) se constitui na lei fundamental do dosimetria, isto é, lei do Inverso do

quadrado da distância. Seu enunciado é: a “taxa de exposição” de uma fonte de radiação gama puntiforme num dado ponto é diretamente proporcional à atividade da fonte e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte e o ponto considerado”. (Xavier et. al, 2014)

A relação existente entre atividade e exposição depende de processos básicos de interação entre a radiação e o ar. No entanto, para emissores gama, a seguinte aproximação é amplamente utilizada:

$$Tx = \Gamma.A/d^{2}\ (R/h)$$

Onde **Tx** é a taxa de exposição, **Γ** é o coeficiente gama ou constante característica de cada emissor gama (fator gama) expressa em $(R.m^2)/(C_i.h)$, **A** é a atividade e **d** é a distância da fonte medida em metros.

Valores da constante específica da radiação gama, também conhecida como “gamão”, são apresentados no quadro 37, a seguir para alguns radioisótopos.

Quadro 37 - Valores de gamão – Fonte (Heilbron , 2004)

Radioisótopo	**Gamão – $(R.m^2)/(C_i.h)$ à 1cm**
Cobalto-60	1,32
Iodo-131	0,22
Césio-137	0,33
Irídio-192	0,48
Rádio-226*	0,82

*- fonte envolta por 0,5mm de platina

Por exemplo, a taxa de exposição à 50 centimetros de distância de uma fonte pontual de Co-60, de 100 mC_i de atividade, é :

$$Tx = 1{,}32 \times 0{,}1/(0{,}5^{2}) = 0{,}528\ R/h$$

Quando **A** é dada em mC_i e **d** em cm. O valor de Tx é determinado em R/h, desde que seja dado em $R/h.mC_i$ à distância de 1cm da fonte, isto é,

$$\Gamma = Tx.\frac{R}{h.mC_i} \text{ à 1 cm.}$$

Entretanto, uma unidade de medida comumente utilizada em medições reais é a taxa de contagem por unidade de tempo, CPS (counts per second), correspondente à taxa de eventos registrados em medições, sendo essa a unidade utilizada na presente Tese.

Para expressar a dose absorvida utiliza-se atualmente a unidade Gray (Gy). Ela é definida como a quantidade de radiação absorvida por uma porção de matéria, que corresponde a um joule por quilograma.

As normas de dosimetria estabelecem limites aceitáveis de dose de radiação para o meio ambiente e para os seres vivos. De acordo com o princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) estabelecido pela CRP (*International Commision on Radiological Protection* - Publication 60, 1990), a exposição à radiação deve ocorrer somente quando esta for realmente necessária, e deve ser tão baixa quanto razoavelmente exequível, garantindo assim a observância dos limites seguros de exposição, evitando uma dose nociva ao indivíduo.

Através do uso de detectores de radiação, é possível identificar a presença de radiação em indivíduos transportando material radioativo, colaborando para o desenvolvimento de procedimentos operacionais com o objetivo de coibir a disseminação do material radioativo.

Detectores de Radiação

Detector de radiação é um dispositivo que, colocado em um meio onde exista atividade radioativa, seja capaz de indicar a sua presença. Existem diversos processos pelos quais diferentes tipos de radiação podem interagir com o meio material analisado. Entre esses processos os mais utilizados são os que envolvem geração de cargas elétricas, a geração de luz, a sensibilização de películas fotográficas, a criação de traços no material, a geração de calor e a alteração da dinâmica de certos processos químicos. Normalmente, um detector é constituído de um elemento ou material sensível à radiação e um sistema que transforma esses efeitos em um valor relacionado a uma grandeza de medição dessa radiação.

Detector Geiger-Müller

O detector Geiger-Müller, Figura 52, foi introduzido em 1928 e em função de sua simplicidade, baixo custo, facilidade de operação e manutenção, são utilizados até hoje. Seu uso permite identificar substâncias radioativas e medir a intensidade de sua radioatividade. Em função de sua característica de um pulso de saída de

igual amplitude, independentemente do número de íons iniciais, o detector G-M funciona como um contador, não sendo capaz de discriminar energias.

Para a contagem de partículas carregadas, a maior dificuldade é causada pela sua absorção nas paredes do detector. Por esse motivo, são feitas janelas de material leve e fino, que permitam que elétrons e partículas alfa penetrem no volume sensível do detector. Os detectores G-M podem ser usados para estimar a dose de exposição, utilizando artifícios de instrumentação e metrologia. Nesse caso são normalmente calibrados para uma energia determinada e os valores dessas grandezas são calculados através da fluência (PASTURA, V., 2003).

Figura 52 – Fotos do Detector Geiger-Müller produzido no IEN.

Os detectores Geiger-Muller são dispositivos utilizados na detecção da radiação proveniente de reações nucleares (Knoll, 2000):

- partículas alfa, beta ou gama
- de raios X, esses provenientes da desexcitação de níveis atômicos
- detecção de nêutrons

A Figura 53 ilustra o esquema simplificado de como funciona esse contador.

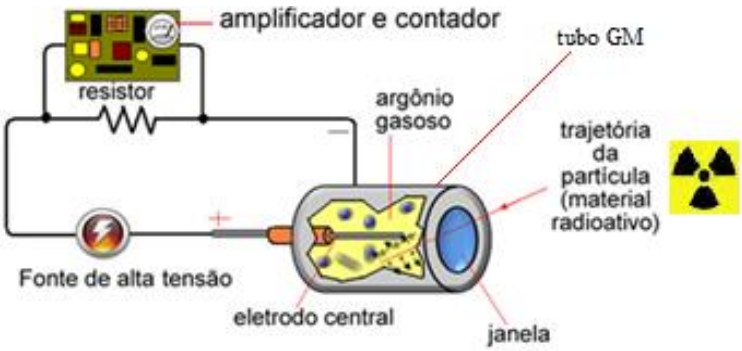


Figura 53 - Esquema simplificado do Detector Geiger-Müller, adaptado do diagrama de blocos da eletrônica de contagem associado com um tubo GM (Knoll, 2000).

O tubo metálico é preenchido com gás argônio a baixa pressão e um gás de congelamento, que pode ser vapor de um composto orgânico ou de halogênio, cuja função é inibir a ionização desenfreada do gás (Price, 1958). Nesse tubo há uma janela por onde passa o material radioativo. Em seu interior há um fio metálico rígido e isolado do corpo do detector, geralmente feito de tungstênio ($W_{(S)}$) que está ligado a um polo positivo (ânodo). O tubo está ligado ao polo negativo da fonte de alta voltagem (cátodo). Entre o fio central (ânodo) e o corpo cilíndrico (cátodo) é aplicada uma grande diferença de potencial.

Quando uma radiação entra no detector, o gás é ionizado, provocando a formação de íons e elétrons livres (Price, 1958). O forte campo elétrico criado entre os eletrodos do tubo acelera os íons positivos em direção ao cátodo e os elétrons em direção ao ânodo. Perto do ânodo, na "região de avalanche", os elétrons ganham energia suficiente para ionizar moléculas adicionais de gás e criar um grande número de avalanches de elétrons que se espalham ao longo do ânodo e de forma eficaz em toda a região da avalanche. Este é o "efeito de multiplicação de gás ", que dá ao tubo a sua principal característica de ser capaz de produzir um impulso de saída significativo de um único evento ionizante, gerando assim um pulso elétrico que é registrado no circuito contador.(Friedlander et. Al., 1958) (Knoll, 2000)

O pulso da corrente é registrada eletronicamente pelo amplificador e contador. O sinal da presença de radiação pode ser feito por meio de sons, luz ou movimentos do ponteiro do medidor. Normalmente, o medidor emite um som parecido com estalos, quanto mais forte os estalos significa que mais energia de radiação o medidor está exposto, consequentemente, aquele ambiente e as pessoas por perto.

ANEXO B - EXEMPLO DE SUCESSO DE RESPOSTA À CRISES EM DECORRÊNCIA DE TREINAMENTOS

Em algumas culturas organizacionais, o treinamento enfatiza adaptação e criação de solução de problemas. O relato a seguir refere-se a um desastre aéreo ocorrido no final da década de 1980 e serve como uma história de sucesso onde, duas organizações que investiram pesadamente em culturas de treinamento, foram capazes de coordenar ações conjuntas em resposta a um desastre complexo.

No meio da tarde, em 19 de julho de 1989, um acidente com o vôo 232 da United Airlines que pousou em Sioux City depois que uma falha de motor destruiu o sistema hidráulico do DC10. Como relatado pelo piloto, o capitão Al Halynes, essa falha foi estatisticamente improvável e engenheiros de aeronaves estavam certos de que havia redundância suficiente no sistema hidráulico para evitar que tal evento ocorresse. A explosão do motor lançou fragmentos de metal que cortaram as três linhas hidráulicas independentes. Com base em uma coordenação bem sucedida da tripulação dentro do *cockpit* com o controle de tráfego aéreo, eles foram surpreendentemente capazes de executar um pouso forçado.

Tão importante quanto este sucesso foram os esforços das equipes de resposta a emergências em cena. Com apenas 24 minutos de aviso, unidades de resgate recém-formados e agências de resposta que consistem em mais de 40 agências de incêndio locais e 300 de pessoal da Guarda Nacional estavam no chão e prontos. Sua resposta eficiente em última instância, salvou 186 vidas em uma das poucas grandes aterrisagens forçadas de um grande avião de passageiros da história da aviação. Muitos dos socorristas indicaram que a sua preparação adequada para lidar com o problema foi em grande parte a comprovação da utilidade de um recente exercício de treinamento em larga escala.

Dois anos antes do fatídico acidente da *United Airlines* 232, o Centro de Serviços de *Disastre de Sioux City* (DSC) realizou um exercício em grande escala com base em um acidente de avião comercial (FEMA, 2008). O DSC era composto por 40 representantes das partes interessadas das várias agências de resgate e resposta de emergência na comunidade, responsáveis por revisar os procedimentos

de resposta e planejamento de exercícios “realistas". O relatório após a ação do exercício completo, destacou uma quantidade significativa de confusão nas comunicações, bem como aparelhos de resgate inadequados e recursos na cena de resposta. Planejamento rigoroso e re-desenvolvimento de planos de resposta foram iniciados após o exercício para corrigir as deficiências observadas. A prática e cooperação ajudaram na resolução do acidente. Como citado pelo chefe adjunto dos bombeiros no dia seguinte ao acidente (DHS / FEMA, 2009): *"Cometemos erros [na simulação]. Os erros que cometemos em seguida, não se concretizaram ontem."*

A situação em evolução e a cascata de eventos tanto no ar como no solo é uma história notável de adaptação para agir de improviso. No entanto, com foco na concepção do exercício de resposta a desastres sem previsão, destacam-se algumas diferenças importantes entre as abordagens de treinamento por trás de cada organização. Em primeiro lugar, uma lição de história rápida é necessária para explicar o que levou a estas diferenças de treinamento. Em típicos treinamentos de aviação existentes há 30 anos, a maioria da formação de pilotos foi focada em como construir o avião (Billings, 1996). Abordagens de treinamentos e certificações enfatizavam conhecimento técnico complexo de sistemas de vôo, enquanto assumiam que fatores humanos, como a dinâmica de grupo, viriam sem custo.

Isso veio à tona como um número crescente de acidentes de alto nível na década de 1970 e, ao mesmo tempo, a indústria enfrentou crescentes pressões para reduzir o tempo de treinamento - um clássico "mais rápido, melhor e mais barato" (Woods, 2006). O ambiente de aviação foi impactado ainda mais com o rápido aumento da complexidade introduzida por novos sistemas de automação de *cockpit*. Tomadores de decisão podiam ver as demandas ambientais mutáveis e começaram a perceber que essas abordagens tradicionais de treinamento já não eram suficientes.

Embora a tecnologia de simulação de aviação continuasse a definir a vanguarda do treinamento de alta fidelidade, a fidelidade funcional / operacional (Caird, 1996) embutida no treinamento estava gravemente ausente. Abordagens tiveram de ser redesenhadas para apoiar pilotos aprendendo a operar esses sistemas complexos em vez de simplesmente treiná-los sob a forma como as máquinas funcionam de forma a lidar melhor quando os sistemas atingiram os seus limites.

Uma nova abordagem foi defendida por indivíduos-chave, que viram a complexidade da montagem e a Gestão de Recursos Cockpit (CRM) (do inglês, Cockpit Resource Management) nascerem. Combinando a sala de aula com missão completa de simulação de vôo, o CRM foi desenvolvido como uma nova abordagem de treinamento que complementou os programas de formação tradicionais, além de enfatizar ensinamentos de técnicas de trabalho em equipe e coordenação de cabine e não somente alavancas e controles de leme. O treinamento que encorajou respostas adaptativas em equipe provavelmente contribuiu para que os pilotos em Sioux City conseguissem pousar.

Quando começam a voar, os pilotos são apresentados aos princípios básicos de vôo, como a explicação de porque aviões não caem fora do ar - eles não são simplesmente treinados por repetição de resposta mecânica e memorização, pois um bom piloto entende a física e aerodinâmica de vôo, tendo sua formação complementada por uma maior coordenação a nível cognitivo e treinamento, os pilotos aprendem a entender funcionalmente como responder a um pacote de desafios de coordenação entre homens e máquinas.

O exemplo de Sioux City foi bem-sucedido em grande parte graças à liderança de resposta pró-ativa, que reconheceu a necessidade de treinamento devido às condições ambientais (proximidade de um aeroporto) e a falta de coordenação entre agências. Organizações de resposta de emergência realizaram exercícios, treinaram cenários com várias agências, e ajustaram o que não funcionou. Estes tipos de exercícios são em grande parte de natureza doutrinária. O treinamento doutrinal compreende as táticas, técnicas e procedimentos para cumprir tarefas específicas e é criado com base nas situações imaginadas que se espera encontrar em eventos anômalos.